

ORDEN FOM/3459/2003, DE 28 DE NOVIEMBRE, POR LA QUE SE APRUEBA LA NORMA 6.3 IC: REHABILITACIÓN DE FIRMES, DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS (BOE DE 12 DE DICIEMBRE DE 2003)

Por Orden de 26 de marzo de 1980, del entonces Ministro de Obras Públicas y Urbanismo, se aprobó la Instrucción 6.3 IC "Refuerzo de firmes". El tiempo transcurrido desde entonces ha aconsejado su revisión para adaptarla al incremento del tráfico, al estado actual de las carreteras españolas, a la evolución tecnológica de los materiales y sistemas constructivos específicos de la pavimentación, a la necesidad de incorporar los sistemas de inspección y auscultación actuales, y a la experiencia sobre el dimensionamiento de rehabilitación en firmes con pavimento de hormigón y semirrígidos.

Además de lo anterior, la necesidad de conservación y protección del medio ambiente obliga al estudio y aplicación de técnicas de reciclado de firmes y pavimentos de las carreteras a rehabilitar, así como al aprovechamiento de una serie de residuos, subproductos y materiales marginales, que en los últimos años han mostrado la posibilidad de su aplicación en la técnica vial.

Por otra parte en la selección de las tipologías de soluciones de rehabilitación se ha tenido en cuenta también la reducción de afección al tráfico de las obras y muy especialmente los aspectos relacionados con la seguridad de la circulación vial.

Por las razones antes expuestas, y de conformidad con lo establecido en la Disposición adicional segunda de la Ley 25/1988, de 29 de julio, de Carreteras, y en los artículos 29, 40, 51 y en la Disposición final única del Reglamento General de Carreteras, aprobado por Real Decreto 1812/1994, de 2 de septiembre, modificado por Real Decreto 597/1999, de 16 de abril, y cumplidos los trámites establecidos en la Ley 50/1997, de 27 de noviembre, del Gobierno y en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, por el que se regula la remisión de información en materia de normas y reglamentos técnicos y reglamentos relativos a los servicios de la sociedad de la información, y en la Directiva 98/34/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de junio, modificada por la Directiva 98/48/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de julio, dispongo:

Primero: *Aprobación de la Norma 6.3 IC: "Rehabilitación de firmes" de la Instrucción de Carreteras.*

Se aprueba la Norma 6.3 IC: "Rehabilitación de firmes", que figura como anejo a esta Orden.

Segundo: *Ámbito de aplicación.*

La Norma 6.3 IC "Rehabilitación de firmes", con las prescripciones en ella establecidas, se aplicará a los proyectos y obras relativos al acondicionamiento, a la rehabilitación o a la mejora de las carreteras existentes.

Tercero: *Prescripción de obligatoriedad de estudiar técnica y económicamente los materiales reciclados de firmes y pavimentos.*

Por consideraciones ambientales y de reutilización de los materiales existentes en los firmes y pavimentos, en aquellas actuaciones cuya superficie de rehabilitación sea superior a setenta mil (70 000) m², se deberá considerar el empleo de las técnicas de reciclado, con las limitaciones y prescripciones que figuran en el anejo que acompaña a esta Orden.

Disposición transitoria única. *Aplicación a proyectos y obras.*

1. Los proyectos que se encuentren en fase de redacción, a la entrada en vigor de esta Orden, se desarrollarán conforme a lo establecido en ella.

-
2. A las obras que se encuentren en fase de licitación, realización o a aquellas que se ejecuten en desarrollo de proyectos que ya estuviesen aprobados a la entrada en vigor de esta Orden, no les será de aplicación lo dispuesto en la misma.

Disposición derogatoria. *Claúsula derogatoria.*

Queda derogada la Orden de 26 de marzo de 1980, del entonces Ministro de Obras Públicas y Urbanismo, por la que se aprobó la Instrucción 6.3 IC "Refuerzo de firmes" y aquellas disposiciones de igual o inferior rango que se opongan a lo dispuesto en esta Orden.

Disposición final. Entrada en vigor.

Esta Orden entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

Madrid, 28 de noviembre de 2003

ÁLVAREZ-CASCOS FERNÁNDEZ

EXCMO. SR. SECRETARIO DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS E
ILMO SR. DIRECTOR GENERAL DE CARRETERAS

ANEJO:
Norma 6.3 IC: REHABILITACIÓN DE FIRMES

1. OBJETO	9
2. ÁMBITO DE APLICACIÓN	11
3. ESTUDIO DE LA REHABILITACIÓN DE UN FIRME	13
3.1. Planteamiento de la necesidad de rehabilitación	13
3.1.1. Necesidad de rehabilitación estructural	13
3.1.2. Necesidad de rehabilitación superficial	14
3.2. Método para la determinación de la solución adecuada	14
4. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	15
5. EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL FIRME Y DE SU NIVEL DE AGOTAMIENTO	17
5.1. Generalidades	17
5.2. Tipos de firme	17
5.3. Categorías de tráfico pesado	17
5.4. Criterios para la realización de la tramificación previa	19
5.5. Criterios para realizar una inspección visual del conjunto de la plataforma	20
5.6. Auscultación del firme	20
5.6.1. Generalidades	20
5.6.2. Evaluación y cálculo de las deflexiones	20
5.6.3. Estudios complementarios	21
6. DIAGNÓSTICO SOBRE EL ESTADO DEL FIRME	23
6.1. Esquema resumen y tramificación de la carretera	23
6.2. Establecimiento del diagnóstico	24
7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES Y SELECCIÓN DEL TIPO MÁS APROPIADO	25
7.1. Generalidades	25
7.2. Actuaciones de rehabilitación estructural	25
7.3. Actuaciones de rehabilitación superficial	27
7.4. Criterios de aplicación de las técnicas de reciclado de firmes	27
8. FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO DE UNA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL	29
8.1. Tráfico pesado	29
8.2. Tipo de firme existente	29
8.3. Deflexiones	29
8.4. Materiales	29
8.4.1. Capas de rodadura con mezcla bituminosa	30
9. REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE FIRMES QUE TENGAN PAVIMENTO BITUMINOSO	31
9.1. Planteamiento básico	31
9.2. Reparación previa de las zonas singulares	31
9.2.1. Determinación de las zonas singulares	31
9.2.2. Criterios de proyecto	32
9.3. Eliminación parcial y reposición del firme existente	33
9.3.1. Criterios generales	33
9.3.2. Criterios de proyecto	33

9.4.	Sellado de grietas	34
9.5.	Recrecimiento del firme existente	35
9.5.1.	Recrecimiento con mezclas bituminosas	35
9.5.2.	Recrecimiento mediante pavimento de hormigón	37
9.6.	Combinación de las soluciones de eliminación parcial y reposición y de recrecimiento	38
9.7.	Otros tipos de rehabilitación estructural del firme existente	39
9.8.	Zonas de actuación preventiva	39
9.9.	Zonas de estudio especial	40
10.	REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE FIRMES QUE TENGAN PAVIMENTO DE HORMIGÓN	41
10.1.	Planteamiento básico	41
10.2.	Reparación previa de las zonas singulares	41
10.3.	Eliminación y reposición del firme	41
10.4.	Recrecimiento del firme existente	42
10.4.1.	Recrecimiento mediante pavimento de hormigón	42
10.4.1.1.	Reparaciones previas	42
10.4.1.2.	Capa de separación	42
10.4.1.3.	Dimensionamiento del recrecimiento	43
10.4.2.	Recrecimiento con mezcla bituminosa	43
10.5.	Actuaciones de conservación preventiva	44
10.5.1.	Deterioros en las juntas	44
10.5.2.	Actuaciones estructurales	45
11.	REHABILITACIÓN SUPERFICIAL	47
11.1.	Criterios generales	47
11.2.	Procedimientos y técnicas específicas para la rehabilitación superficial	47
11.2.1.	Adherencia neumático-pavimento (textura y resistencia al deslizamiento)	47
11.2.2.	Regularidad superficial	48
11.2.3.	Tratamiento de grietas	48
11.3.	Materiales específicos de rehabilitación superficial	49
11.4.	Análisis de soluciones	49
12.	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	51
12.1.	Generalidades	51
12.2.	Mejoras del drenaje existente	51
12.3.	Ampliación de la sección transversal	51
12.4.	Correcciones de trazado	52
12.5.	Adecuación de los sistemas de contención de vehículos	53
12.6.	Regularización superficial	53
12.7.	Rehabilitación de arcenes	54
12.7.1.	En rehabilitaciones de la calzada mediante pavimento bituminoso	54
12.7.2.	En rehabilitaciones de la calzada mediante pavimento de hormigón	55
12.7.3.	Otras recomendaciones	55
ANEJO 1:	DEFINICIONES	57
ANEJO 2:	EQUIVALENCIA ESTRUCTURAL SIMPLIFICADA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE FIRMES	61
ANEJO 3:	GUÍA PARA EL ESTUDIO DE LAS DEFLEXIONES EN FIRMES DE PAVIMENTO BITUMINOSO	65
1.	OBJETO	65
2.	ESTUDIO DE DEFLEXIONES	66
2.1.	Deflectograma, tramificación y definición de zonas singulares	66
2.2.	Estudios complementarios	67
2.3.	Deflexión característica	68
2.4.	Correlaciones con la deflexión patrón	69
2.5.	Corrección por humedad en la explanada	69
2.6.	Corrección por temperatura del pavimento	71

El objeto de esta norma es establecer los criterios que permitan seleccionar y proyectar la solución idónea de rehabilitación de un firme de carretera. Para ello, se pone a disposición del proyectista un procedimiento para la evaluación y análisis del estado de un firme y una gama de posibles soluciones de rehabilitación, entre las que se deberá elegir en cada caso la más adecuada, atendiendo a consideraciones técnicas, económicas y ambientales, así como de mínima repercusión en la circulación durante la ejecución de las obras, especialmente en lo que se refiere a la seguridad.

Se ha considerado conveniente incluir en esta norma referencias a materiales y técnicas que, habiendo demostrado ya su idoneidad, no han sido incluidas aún, por diversas razones, en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación (PG-4). Es el caso, por ejemplo, de los sellados de grietas, de la mejora de los sistemas de drenaje y de las técnicas de fresado. Por ello, se ha pretendido también dar directrices sobre cuándo y cómo emplear estas técnicas.

Una dificultad añadida en la redacción de esta norma es el hecho de tener que considerar en las vías actuales de la Red de Carreteras del Estado, para caracterizar el tráfico como factor de dimensionamiento, la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp). Así, en las vías de servicio no agrícolas de las actuales autovías interurbanas, en especial de las construidas en los últimos años, confluyen dos circunstancias:

- Tienen generalmente las categorías de tráfico pesado T3 y T4, aunque como se indica en el apartado 5.3, a efectos de dimensionamiento se les asignan categorías de tráfico pesado superiores.
- Un número significativo de kilómetros de estas vías son tramos de antiguas carreteras cuyos firmes y pavimentos existentes requieren soluciones de rehabilitación superficial o estructural sensiblemente diferentes a las carreteras convencionales con esas mismas categorías de tráfico pesado.

Por ello, se ha pretendido dar cabida a ambas situaciones, proponiendo, cuando ha sido posible, soluciones distintas en uno y en otro caso.

Por último, conviene indicar que atendiendo a la lógica demanda de algunas Administraciones de Carreteras de Comunidades Autónomas, que han manifestado interés en la armonización de los criterios de las distintas Administraciones, en materia de firmes y pavimentos, se ha considerado dentro del texto reglamentario la opción de dividir las categorías de tráfico pesado T3 y T4 (tabla 1B), indicando criterios específicos de rehabilitación estructural para dicha división de tráfico (tabla 5C).

Esta norma se aplicará en los estudios y proyectos de rehabilitación superficial o estructural de los firmes de las carreteras en servicio. Cuando dichos estudios y proyectos incluyan tramos con firmes de nueva construcción o con reconstrucción total del existente, dichos tramos se proyectarán de acuerdo con la vigente Norma 6.1 IC de Secciones de firme.

En los supuestos de obras de acondicionamiento, mejora de trazado, ensanches y duplicación de calzadas, con aprovechamiento de parte o de la totalidad de la calzada existente, se aplicarán conjuntamente los criterios de esta norma y de la Norma 6.1 IC. Asimismo, en actuaciones que conlleven un aumento del número de carriles, para la definición de los espesores del firme se tendrá en cuenta la Norma 6.1 IC y para la elección del tipo de solución y de sus materiales constituyentes se adoptarán los criterios recogidos en esta norma.

Esta norma sólo será de aplicación en los supuestos considerados en cada uno de sus artículos y para los tipos de firme citados en su apartado 5.2.

En el caso de la ejecución de obras por la propia Administración (artículo 152 del texto refundido de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas) que, teniendo por objeto la rehabilitación del firme, no alcancen un presupuesto de 120 202,42 euros se podrán simplificar los estudios necesarios, al amparo del artículo 124.2 del citado texto legal, y no será de aplicación esta norma. No obstante, en todo caso deberán justificarse las soluciones adoptadas, manteniendo en lo posible las reglas y recomendaciones que aquí figuran.

En los estudios y proyectos de rehabilitación de firmes de carreteras situadas a una altitud superior a 1 500 m se comprobará, mediante un estudio especial, que la explanada y el drenaje subterráneo son adecuados para evitar la formación de lentejones de hielo debajo del firme, ajustándose en lo demás a esta norma.

Junto a las especificaciones que se recogen en esta norma se establecerán las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de mercancías peligrosas estuviera vigente en cada momento.

3.1. PLANTEAMIENTO DE LA NECESIDAD DE REHABILITACIÓN

A los efectos de aplicación de esta norma, las actuaciones de rehabilitación de firmes y pavimentos se clasificarán, según su finalidad, en **estructurales** y **superficiales**. Las primeras tendrán por objeto aumentar significativamente la capacidad estructural del firme existente, adecuándola a las acciones del tráfico previsto durante su período de servicio. El objeto de las segundas será conservar o mejorar sus características funcionales (seguridad, comodidad, etc.) y la protección del conjunto del firme (aumento de la durabilidad, impermeabilidad, uniformidad, aspecto, etc.).

Las actuaciones de rehabilitación estructural, adecuadamente proyectadas y construidas, darán solución a ambos supuestos, ya que supondrán la mejora de la regularidad longitudinal y transversal y de la textura superficial.

3.1.1. NECESIDAD DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL

La necesidad de una rehabilitación estructural se planteará si concurre alguna de las circunstancias siguientes:

1. Agotamiento estructural del firme.
2. Previsión de crecimiento importante de la intensidad de tráfico pesado.
3. Gastos excesivos de conservación ordinaria.
4. Afección significativa a la vialidad de las actuaciones de conservación ordinaria.

En el primer caso la rehabilitación resultará necesaria por haberse agotado, o estar próxima a agotarse, la vida útil del firme, aunque no se hubiesen cumplido las hipótesis de proyecto. Se evaluará por medio de una inspección visual y de una auscultación, efectuadas con equipos de gran rendimiento o mediante ensayos localizados.

En el segundo caso, un incremento del volumen de tráfico pesado sobre las previsiones realizadas cuando el tramo objeto de estudio se puso en servicio podría producir un agotamiento acelerado del firme a corto o medio plazo, lo que haría conveniente su rehabilitación por consideraciones técnicas o económicas.

El tercer caso deberá ser consecuencia de la gestión de la conservación de la red, que podrá predeterminar cuáles son los gastos de conservación ordinaria normales para cada tipo de firme y carretera, y además establecer el umbral a partir del cual un incremento de estos gastos, en el tramo considerado, indicaría que se debe proceder a un cambio de estrategia de conservación.

El cuarto supuesto deberá valorarse en función de las perturbaciones que afecten a los usuarios de la vía, derivadas de actuaciones de conservación significativamente intensas o frecuentes.

3.1.2. NECESIDAD DE REHABILITACIÓN SUPERFICIAL

La rehabilitación o renovación superficial de un tramo de carretera podrá justificarse si se produce alguno de los supuestos siguientes:

- Cuando no sea necesaria una rehabilitación estructural, de acuerdo con lo indicado en esta norma, pero el estado superficial del pavimento presente deficiencias que afectan a la seguridad de la circulación, a la comodidad del usuario o a la durabilidad del pavimento. Las deficiencias que, en determinado grado, pueden justificar una rehabilitación superficial del firme son las siguientes:
 - Pavimento deslizante por pulimento o por falta de macrotextura.
 - Pavimento deformado longitudinal o transversalmente, con una regularidad superficial inadecuada.
 - Pavimento fisurado, descarnado o en proceso de desintegración superficial.
- Cuando, realizada la tramificación según lo indicado en el apartado 6.1, existan tramos cortos (inferiores a 200 m) que no precisen rehabilitación estructural ni superficial, pero estén comprendidos entre dos contiguos que sí la necesitan, podrá ser conveniente dar continuidad a la superficie de rodadura, por criterios de uniformidad funcional.
- Por razones de conservación preventiva, en ciertos casos convendrá aplicar el criterio anterior a tramos o grupos de tramos de longitud mayor, en los que, de acuerdo con esta norma, no sea estrictamente necesaria la rehabilitación (estructural o superficial), pero se prevea que lo vaya a ser a corto plazo.

3.2. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADECUADA

Una vez establecida la necesidad de la rehabilitación estructural o superficial de un firme o pavimento de carretera, la determinación de la solución más adecuada deberá cubrir las siguientes etapas en el caso más general:

- Recopilación y análisis de datos.
- Evaluación del estado del firme y de su nivel de agotamiento.
- Diagnóstico sobre el estado del firme.
- Análisis de soluciones y selección del tipo más apropiado.
- Proyecto de la solución adoptada.

En algunos casos, las etapas anteriores se podrán simultanear o simplificar, según sea la naturaleza de los deterioros del firme y la técnica de rehabilitación que se vaya a utilizar.

Para poder evaluar el estado de un firme se deberán analizar previamente sus parámetros más significativos, los del entorno y los de las solicitaciones del tráfico. Entre los datos básicos a analizar se pueden destacar:

Características del firme existente y estado del pavimento:

- Sección estructural del firme de la calzada y de los arcenes (naturaleza y espesor de sus capas).
- Características de los materiales.
- Fecha de puesta en servicio.
- Tipos y fechas de realización de las distintas actuaciones de conservación o de rehabilitación del firme desde su construcción.
- Otras informaciones disponibles (inspección visual previa, auscultaciones, etc.) sobre el estado del firme y del pavimento, de las que se intentará obtener la evolución estructural y superficial mediante la comparación de las características determinadas en diferentes campañas.

Entorno:

- Características geométricas (sección transversal y perfil longitudinal).
- Características de la explanada.
- Drenaje y su comportamiento, con definición de las zonas de posible acumulación de agua superficial o subterránea.
- Condiciones climáticas de la zona.
- Naturaleza del tramo (urbano, interurbano, ...).

Solicitaciones del tráfico:

- Intensidad y composición del tráfico, fundamentalmente del pesado, incluyendo previsiones sobre su evolución a medio y largo plazo, partiendo, si existen, de datos estadísticos.

5.1. GENERALIDADES

La evaluación del estado del firme existente tendrá por objeto establecer un diagnóstico que permita seleccionar y proyectar la actuación de rehabilitación más adecuada en cada uno de los tramos homogéneos en que pueda dividirse el tramo de carretera en estudio.

El proceso de recopilación de la información necesaria para evaluar el nivel de deterioro de un firme se deberá hacer con la amplitud y el detalle precisos en cada caso, para poder conseguir los objetivos de la evaluación y hacer posible la definición de la actuación de rehabilitación a llevar a cabo. Por todo ello, los métodos para la evaluación del firme existente, el diagnóstico sobre su estado, el análisis de las distintas opciones de rehabilitación y la selección de la más apropiada dependerán de la sección estructural del firme.

5.2. TIPOS DE FIRME

A los efectos de aplicación de esta norma, los firmes se clasificarán en: **flexibles, semiflexibles, semirrígidos y con pavimento de hormigón**. Para simplificar los criterios de definición de las actuaciones, en alguno de los apartados de esta norma, los tres primeros se engloban en la denominación de **firmes con pavimento bituminoso**.

Se consideran firmes flexibles los constituidos por capas granulares no tratadas y materiales bituminosos en un espesor inferior a 15 cm. Si el espesor de los materiales bituminosos sobre capas granulares no tratadas iguala o supera los 15 cm, los firmes se consideran como semiflexibles.

Se consideran firmes semirrígidos los constituidos por materiales bituminosos en cualquier espesor sobre una o más capas tratadas con conglomerantes hidráulicos o puzolánicos, siendo el espesor conjunto de éstas igual o superior a 18 cm y con un comportamiento que garantice todavía una contribución significativa a la resistencia estructural del conjunto del firme.

No son objeto directo de esta norma otros tipos de firme distintos de los citados (adoquinados, firmes mixtos compuestos por mezclas bituminosas sobre hormigón, firmes sin pavimentar, etc.), cuya rehabilitación se deberá efectuar mediante un estudio adecuado a sus características y solicitaciones específicas.

5.3. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO

El análisis del estado del firme y la elección y el proyecto de la actuación de rehabilitación, dependerán, entre otros factores, de la acción del tráfico, fundamentalmente del tráfico pesado, durante el período de servicio del firme.

Teniendo en cuenta la incidencia en la fluidez del tráfico y en la seguridad de la circulación vial de las actuaciones de conservación o de rehabilitación, en relación con las categorías de tráfico pesado que más adelante se denominan T00, T0, T1 y T2, se ha trabajado con carácter general sobre la base de un período de servicio más prolongado que el considerado en la normativa anterior. Se

ha pretendido de esta forma que en las carreteras con mayores intensidades de tráfico pesado, tras una adecuada rehabilitación estructural, sus características resistentes y funcionales se aproximen a las que habitualmente se especifican para obras de nueva construcción.

En el resto de las categorías de tráfico pesado (denominadas T3 y T4) y en el caso de las rehabilitaciones superficiales, el concepto teórico de período de servicio tiene un significado diferente. Por ello, en esas situaciones no se ha tenido en cuenta tanto este criterio como otros relacionados con las limitaciones técnicas o constructivas de algunos materiales o con aspectos funcionales.

El tipo y sección estructural del firme conjunto (existente más rehabilitación) en cada carril dependerá de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea en ese carril en el año de puesta en servicio de la actuación de rehabilitación.

Para la determinación de la categoría de tráfico pesado que solicita el tramo de carretera que se va a rehabilitar se partirá de los aforos de intensidades y proporción de vehículos pesados y de los datos disponibles para la previsión de su evolución. Si no se pudiera disponer de datos sobre asignación por carriles, para el cálculo de la categoría de tráfico pesado se podrá admitir lo siguiente:

- En calzadas de dos carriles y doble sentido de circulación, incide sobre cada carril la mitad de los vehículos pesados que circulan por la calzada.
- En calzadas de dos carriles por sentido de circulación, en el carril exterior se considera la categoría de tráfico pesado correspondiente a todos los vehículos pesados que circulan en el sentido considerado.
- En calzadas de tres o más carriles por sentido de circulación, se considera que actúan sobre el exterior el 85% de los vehículos pesados que circulan en el sentido considerado.

Para estimar la evolución del tráfico pesado se podrá adoptar como tasa de crecimiento el valor medio de las obtenidas en los cinco últimos años en la estación de aforo permanente o de control (primaria o secundaria) más próxima al tramo en estudio en el mismo itinerario.

A los efectos de aplicación de esta norma, se definen seis categorías de tráfico pesado, en función de la IMDp que se prevea para el carril en el año de puesta en servicio de la actuación de rehabilitación (tabla 1A).

TABLA 1.A – CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T2	T3	T4
IMDp (vehículos pesados/día)	≥ 4 000	< 4 000 ≥ 2,000	< 2 000 ≥ 800	< 800 ≥ 200	< 200 ≥ 50	< 50

Si se considera oportuno como medio para la optimización de las soluciones de rehabilitación, las categorías de tráfico pesado T3 y T4 podrán dividirse en dos cada una de ellas, según lo indicado en la tabla 1B.

TABLA 1.B – DIVISIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4

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

(*) Estas subcategorías no podrán utilizarse en el caso de las antiguas carreteras convertidas en vías de servicio no agrícolas de autopistas o autovías interurbanas, salvo que las características del tráfico lo justifiquen y con autorización expresa de la Dirección General de Carreteras.

La categoría de tráfico pesado que se considerará en la rehabilitación de los carriles exteriores de las calzadas principales de las autopistas, autovías y otras carreteras de calzadas separadas, en ningún caso será inferior a la definida como T1.

Salvo justificación en contrario, en las vías de servicio no agrícolas de autopistas, autovías y otras carreteras de calzadas separadas (excepto las de categorías de tráfico pesado T00 y T0, para las que es preceptivo un estudio específico) se considerarán dos categorías de tráfico pesado menos que la que corresponda a la calzada principal. Así mismo, los enlaces, ramales, confluencias y bifurcaciones se dimensionarán, como mínimo, con la categoría de tráfico pesado inmediatamente inferior.

Donde se justifique que los ejes de los vehículos pesados están especialmente sobrecargados, deberá considerarse la posibilidad de adoptar una categoría de tráfico pesado inmediatamente superior (en las inferiores a la T00), especialmente en los valores próximos al límite superior de la categoría correspondiente. Del mismo modo podrá procederse en los casos de tramos en rampa con inclinaciones medias superiores al 5% (o superiores al 3% cuya longitud sea superior a 500 m).

Salvo justificación en contrario, en los carriles que no sean el más solicitado por el tráfico pesado (donde hubiera más de uno por sentido de circulación), la categoría de tráfico pesado que se considerará en actuaciones de rehabilitación estructural no podrá ser inferior en más de una a la de dicho carril más solicitado. El mismo criterio deberá establecerse en los supuestos de rehabilitación de calzadas existentes con ampliación del número de carriles o duplicación de calzadas.

Atendiendo a las repercusiones en la fluidez del tráfico y en la seguridad de la circulación vial, en el caso de que la IMDp en el carril más solicitado sea superior a 4 000 vehículos pesados/día (categoría de tráfico pesado T00) se deberá comprobar expresamente, mediante un estudio específico, que la solución adoptada es válida, desde el punto de vista estructural y funcional, durante un período de servicio mínimo de 10 años.

5.4. CRITERIOS PARA LA REALIZACIÓN DE LA TRAMIFICACIÓN PREVIA

El estudio de los datos básicos, indicados en el apartado 4, deberá permitir establecer una tramificación previa que facilite la programación de los trabajos de campo necesarios, para conseguir muestras suficientemente representativas, y el análisis de los datos disponibles para establecer el posterior diagnóstico del estado del firme. A los efectos de realizar esta tramificación, se considerarán tramos distintos aquellos en los que existan variaciones sensibles en los datos de partida indicados en el apartado 4 que puedan influir significativamente en el comportamiento del firme y en la solución de rehabilitación que se vaya a adoptar.

En principio, se considerarán tramos homogéneos (salvo que se disponga de mayor información relativa al tipo de firme, a la naturaleza de la explanada o al clima) los que sean iguales en:

- Número de carriles por calzada, no computándose a estos efectos los carriles de cambio de velocidad laterales, para accesos o intersecciones.
- Sección estructural del firme (naturaleza y espesor de las capas).
- Fecha en que se realizó la última actuación de tipo estructural sobre el firme, esto es, sin tener en cuenta las de tipo superficial (riegos con gravilla, lechadas bituminosas y mezclas bituminosas de espesor igual o menor que 4 cm), ni el eventual fresado y reposición de capas asfálticas en zonas aisladas y localizadas.
- Categoría de tráfico pesado.

Los tramos supuestamente homogéneos deberán además presentar un comportamiento uniforme. Normalmente esta uniformidad no podrá establecerse contando exclusivamente con los datos de partida antes reseñados, sino que deberá basarse además en la inspección visual y en la auscultación con equipos de medida de deflexiones, completándose el análisis, en su caso, con sondeos, calicatas, toma de muestras y ensayos de laboratorio, según se indica en los apartados siguientes.

5.5. CRITERIOS PARA REALIZAR UNA INSPECCIÓN VISUAL DEL CONJUNTO DE LA PLATAFORMA

Independientemente de disponer de los datos de inspecciones sistemáticas del firme, y de campañas de auscultación superficial de los pavimentos, cuando sea preciso abordar un proyecto de rehabilitación estructural los datos anteriores se deberán completar con una inspección visual detallada del firme y de aquellos aspectos de su entorno que puedan tener influencia en su estado, tales como el tipo de explanación (desmonte, terraplén o media ladera), las condiciones de drenaje (cunetas, desagües, drenes, etc.) y la capacidad de soporte de la explanada y del terreno que la sustenta. En carreteras con más de un carril por sentido de circulación, se deberán inspeccionar no sólo los carriles exteriores, sino también el resto de la sección transversal.

La inspección visual, fundamental para la evaluación precisa del estado del firme, deberá efectuarse e interpretarse por técnicos especialistas, a poder ser en la época más adecuada del año, de acuerdo con las características climáticas de cada zona.

Con la inspección visual detallada el ingeniero responsable del proyecto intentará fundamentalmente caracterizar el estado del firme. Al mismo tiempo, esta inspección ayudará a tramificar la carretera objeto de estudio y a interpretar los resultados de la preceptiva auscultación (efectuada con equipos de medida de la deflexión en el caso de firmes con pavimento bituminoso).

5.6. AUSCULTACIÓN DEL FIRME

5.6.1. GENERALIDADES

La inspección visual de detalle, preceptiva de acuerdo con lo indicado en el apartado anterior, se completará con la auscultación del firme mediante equipos que proporcionen información precisa y cuantitativa sobre el estado de sus características estructurales y superficiales.

La auscultación estructural de firmes con pavimento bituminoso se realizará con equipos que evalúen la capacidad resistente del firme a través de la medida de la deflexión. La forma de hacerlo y los valores obtenidos varían de unos equipos a otros, por lo que los resultados de medida se unificarán de acuerdo con lo que se indica en el apartado 5.6.2, válido para firmes con pavimento bituminoso.

La auscultación de firmes con pavimento de hormigón y de ciertas características específicas de los semirrígidos se realizará atendiendo a sus singularidades, especialmente en lo relativo a la transmisión de cargas entre ambos lados de las juntas o de las grietas que puedan existir. Asimismo, y en especial en pavimentos constituidos por losas de hormigón sin pasadores, será conveniente evaluar el grado de erosionabilidad de la capa de base y con ello las posibilidades de descalce de dichas losas.

La auscultación de las características superficiales del firme se realizará con los equipos de medida adecuados, y lo habitual será obtener esta información de la auscultación sistemática realizada a nivel de red, completándola o actualizándola si se considerase necesario, o llevándola a cabo cuando no exista. Dada su importancia para la seguridad de la circulación, en el supuesto de la rehabilitación superficial se tendrán siempre en cuenta las medidas de adherencia neumático-pavimento.

Además, la regularidad superficial, cuantificada a través del índice de regularidad internacional (IRI), deberá ser utilizada para la definición del tipo de actuación en rehabilitaciones superficiales y para establecer la necesidad de una eventual capa de regularización o de un fresado en ambos tipos de rehabilitación.

5.6.2. EVALUACIÓN Y CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES

A los efectos de definir la necesidad de rehabilitación estructural de un firme con pavimento bituminoso y sus características, así como para calcular los espesores de reposición y recrecimien-

to, se considerará como deflexión patrón normalizada la que se obtenga con la viga Benkelman, según el método de recuperación elástica de la superficie del firme (norma NLT-356), y en las condiciones siguientes:

- Eje de 128 kN (13 t).
- Temperatura en la superficie del pavimento de 20 °C.
- Valor mínimo del módulo de deformación de la explanada, (dentro del campo de variación debida a los cambios de humedad en ella).

Cuando se empleen equipos distintos para medir la deflexión, la obtenida se relacionará con la normalizada de acuerdo con lo que se indica en el apartado 2.4 de la "Guía para el estudio de las deflexiones en firmes con pavimento bituminoso", que acompaña como anejo 3 a esta norma.

La distancia máxima entre dos medidas consecutivas de la deflexión no podrá ser superior a 20 m.

Para obtener los valores de la deflexión patrón, a cada medida se le aplicarán los correspondientes coeficientes de corrección por humedad de la explanada y por temperatura (apartados 2.5 y 2.6 de la Guía).

En cualquier caso, para que la medida de la deflexión sea válida y aplicable a las soluciones de rehabilitación estructural, los ensayos se realizarán siempre que la temperatura de la superficie del pavimento esté comprendida entre los siguientes límites:

- De 5 °C a 30 °C, si el pavimento tiene 10 cm o más de mezcla bituminosa.
- De 5 °C a 40 °C, si el pavimento tiene menos de 10 cm de mezcla bituminosa.

Además de los valores localizados de la deflexión patrón se utilizará, como indicador del estado del firme, el valor de la deflexión de cálculo de cada tramo homogéneo de comportamiento uniforme, según las condiciones de homogeneidad establecidas en la mencionada Guía. A partir de la deflexión característica (d_k) de cada tramo homogéneo, definida en el apartado 2.3 de la Guía, y aplicando los correspondientes coeficientes de corrección por humedad de la explanada (apartado 2.5 de la Guía) y por temperatura (apartado 2.6 de la Guía), se obtendrá la deflexión de cálculo (d_c):

$$d_c = C_h \cdot C_t \cdot d_k$$

Por otra parte, los valores de la deflexión empleados en la redacción del proyecto de rehabilitación de un firme deberán haber sido tomados en un período reciente y, en ningún caso, más de 1 año antes.

5.6.3. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

Para el proceso completo de evaluación del firme existente, tras el análisis de los datos básicos, la inspección visual y la auscultación con equipos, se inspeccionará la carretera confirmando el proceso de evaluación realizado y definiendo, en el caso de que se considere necesario, el emplazamiento y objeto de los sondeos y calicatas, la toma de muestras y los ensayos de laboratorio precisos para completar los datos anteriores. Tanto por razones de eficacia como para minimizar las repercusiones en la fluidez del tráfico y en la seguridad de la circulación vial, las evaluaciones complementarias se llevarán a cabo prioritariamente con equipos de alto rendimiento y no destructivos, cuya idoneidad esté suficientemente contrastada.

Básicamente se deberá obtener información lo más precisa posible sobre:

- La naturaleza, el espesor y las características de los materiales de las distintas capas del firme.
- Las características resistentes de las capas y la adherencia entre ellas.
- Las características y capacidades de soporte de la explanada.
- El origen y extensión de los deterioros observados.

Cuando sea preciso, esta información estará basada en la toma de muestras. El número de zonas que se deberá estudiar y su localización dependerá de cada caso concreto, pero deberá ser tal que permita el diagnóstico y la delimitación del problema de cada uno de los tramos homogéneos de comportamiento uniforme y de las zonas singulares que se hayan establecido.

El análisis de los datos que proporcionan algunos equipos de medida de deflexión puede contribuir a clarificar o a cuantificar mejor los problemas. Concretamente, en el estudio de la rehabilitación de un firme resulta fundamental conocer, con la mayor precisión posible, el estado estructural de las distintas capas que lo componen, especialmente con vistas a establecer una reparación puntual selectiva. Para ello, puede resultar de gran ayuda el análisis de la forma del cuenco de deflexión, a través de sus posibles parámetros característicos (radio de curvatura, línea de influencia de la deformada, etc.), lo que permite evaluar la vida residual del firme mediante una estimación del módulo de rigidez de las distintas capas.

DIAGNÓSTICO SOBRE EL ESTADO DEL FIRME

6.1. ESQUEMA RESUMEN Y TRAMIFICACIÓN DE LA CARRETERA

Una vez recopilados los datos básicos de caracterización de un firme y su entorno, los resultados se sintetizarán en un esquema resumen, en el que se representarán:

- En **abscisas**, las distancias longitudinales.
- En **ordenadas**, un resumen significativo de la información existente, según los siguientes bloques de información:

General:

- Características de la explanada.
- Intensidad media diaria (IMD).
- Anchura de la calzada y de los arcenes.
- Características de la plataforma (desmonte, terraplén o media ladera) y de sus condiciones de drenaje.
- Fecha y naturaleza de las actuaciones de conservación realizadas.
- Observaciones varias (intersecciones, obras de fábrica, etc.).

Para cada carril:

- Resultados de la inspección visual realizada.
- Resultados de la medida de deflexiones.
- Resultados de otras medidas de auscultación (resistencia al deslizamiento, regularidad, etc.).
- Sección estructural del firme.
- Categoría del tráfico pesado.
- Resultados de sondeos y calicatas.

El análisis conjunto de la información permitirá realizar una tramificación de la carretera en tramos homogéneos para su estudio y para la definición de las posibles actuaciones de rehabilitación. Salvo justificación en contrario, la longitud de los tramos estará comprendida entre 200 y 1 000 m.

En la tramificación se estudiarán especialmente los casos en que existan discrepancias entre los valores de la deflexión en relación con la sección estructural del firme y el aspecto superficial del pavimento, con el fin de conocer las razones de tales discrepancias, efectuando eventualmente trabajos complementarios de reconocimiento (nuevas medidas de auscultación, sondeos, calicatas, etc.), que permitan evaluar con la mayor precisión posible la solución del tramo en estudio.

6.2. ESTABLECIMIENTO DEL DIAGNÓSTICO

El análisis del esquema resumen servirá para poder establecer un primer diagnóstico sobre las posibles causas de los deterioros observados y diferenciar entre los que son indicativos de un deficiente comportamiento estructural del firme y aquellos otros que, en principio, sólo afectan a la superficie del pavimento. El análisis deberá considerar las condiciones de comodidad y de seguridad del pavimento, su nivel de deterioro superficial y la capacidad estructural del firme y su adecuación al tráfico a que va a estar sometido.

7.1. GENERALIDADES

Después de haber establecido el diagnóstico sobre el estado de cada tramo homogéneo y el nivel de sus deterioros, se analizarán las soluciones de rehabilitación posibles y se proyectará la más apropiada en cada caso, de acuerdo con los criterios de esta norma.

La selección y el proyecto de la solución de rehabilitación se individualizará para cada uno de los tramos homogéneos de comportamiento uniforme que se hayan determinado, basándose en la inspección visual y en la auscultación del firme y, en especial, en el estudio de las deflexiones, realizados de acuerdo con lo que se indica en los apartados 5.5 y 5.6. A las zonas singulares que pudieran existir dentro de cada tramo homogéneo se les aplicará la solución específica que les corresponda.

7.2. ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL

Las soluciones a aplicar en una rehabilitación estructural podrán ser de los siguientes tipos:

- Eliminación parcial y reposición del firme existente, incluyendo el reciclado de los materiales de acuerdo con lo expuesto en el apartado 7.4.
- Recrecimiento aplicado sobre el pavimento existente.
- Combinación de los dos tipos anteriores.
- Reconstrucción total del firme, que eventualmente podrá incluir la explanada.

En la eliminación parcial y reposición del firme se retirarán la capa o capas agotadas, o próximas a agotarse, hasta la profundidad necesaria, sustituyéndolas por otras de materiales adecuados, que conviene que sean similares a los del firme existente. El recrecimiento consistirá en colocar sobre el pavimento existente una o varias capas nuevas, elevando por tanto la cota de la superficie de rodadura.

Las soluciones basadas en la eliminación parcial y reposición del firme existente deberán ser siempre objeto de estudio en las secciones estructurales de firme definidas en el apartado 5.2 como semiflexibles y semirrígidas y en las denominadas flexibles cuando su espesor de pavimento bituminoso sea superior a 10 cm.

No se podrá proyectar la reconstrucción total del firme excepto en los supuestos indicados en los apartados 9.2 y 10.2. Si el nivel de deterioro del firme existente conllevase la calificación de "zona singular" se deberán analizar las causas que lo han originado y plantear soluciones de cajeos laterales de la plataforma y posterior reposición del firme, de reconstrucción total o de modificaciones del trazado, en los dos últimos casos previa autorización expresa de la Dirección General de Carreteras.

La selección de la solución de rehabilitación que se vaya a adoptar se basará en un estudio técnico y económico en el que se analicen y valoren no sólo las opciones más adecuadas para cada tramo homogéneo de comportamiento uniforme, sino también la mejor combinación posible entre todas ellas. En el análisis deberán valorarse la disponibilidad de los materiales, la facilidad de ejecución, la durabilidad de los firmes, los costes de ejecución, los desvíos provisionales, la afección al tráfico durante las obras, la elevación de barreras y, en su caso, gálibos, aceras, etc., así como las consideraciones que la legislación vigente establezca en materia ambiental y de seguridad y salud.

A los efectos de aplicación de esta norma, en el análisis de cada solución habrá que considerar, entre otros, los siguientes factores:

- Características del tramo (si es calzada única o doble, si existen limitaciones de gálibo, si se trata de una estructura, medio urbano, etc.).
- Coste de la actuación.
- Coste ocasionado a los usuarios por la ejecución de las obras (además en todos los proyectos se estudiará y justificará el procedimiento de ejecución para causar las molestias mínimas a los usuarios de la carretera).
- Vida útil prevista de la actuación. Por aspectos relacionados con la repercusión en la fluidez del tráfico y en la seguridad de la circulación vial este factor será relevante especialmente en los tramos de carretera con IMDp > 4 000 (apartado 5.3). También habrá que considerarlo en aquellos otros en los que sea previsible una evolución significativa del volumen o composición del tráfico respecto a los considerados en esta norma.
- Coste de la conservación ordinaria de la actuación a lo largo de su vida útil.

Sin perjuicio de los estudios basados en los anteriores principios, como reglas generales pueden indicarse las siguientes:

- La solución de eliminación parcial y reposición del firme, seguida o no de un recrecimiento de espesor limitado (capa de rodadura en toda la anchura de la calzada), suele ser la más indicada en los casos en que exista un carril que requiera una rehabilitación mucho más importante que la de los restantes. Tal es el caso de las autopistas, autovías y otras carreteras de calzadas separadas en las que haya que rehabilitar los carriles exteriores, por donde circula principalmente el tráfico pesado, y el resto de los carriles no precisen rehabilitación estructural o sea suficiente la extensión de una nueva capa de rodadura. Podrá ocurrir lo mismo en carreteras de calzada única, en las que el carril adicional para vehículos lentos se encuentre más deteriorado que los dos restantes, o en aquéllas en las que la composición del tráfico pesado ponga de manifiesto un fuerte desequilibrio entre ambos sentidos de circulación.
- Atendiendo únicamente a criterios de tipo funcional, la solución de eliminación parcial y reposición del firme se elegirá siempre que tenga que mantenerse la rasante por limitaciones de gálibo (paso bajo estructuras, túneles, etc.) o por otros motivos (travesías, intersecciones, etc.). Así mismo, se elegirá este tipo de solución para pavimentos sobre estructuras, para no sobrecargarlas innecesariamente.
- En los demás casos, la solución de recrecimiento podrá tener, a veces, la ventaja de un menor perjuicio para los usuarios, al ser las interrupciones y cortes de circulación durante las obras menos prolongados.

Seleccionadas las soluciones más apropiadas para los distintos tramos, se procederá a un análisis técnico y económico conjunto de todo el proyecto, teniendo en cuenta no sólo el tipo y los espesores de la rehabilitación, sino además toda una serie de aspectos que influyen en su eficacia y durabilidad, tales como: estudio de los materiales a utilizar y sus dosificaciones, redacción de un Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares que asegure la calidad de la actuación, modo de tratamiento de juntas y grietas del firme existente, cómo resolver la regularidad superficial con el menor sobre coste posible, integración de los arcenes al conjunto de la carretera (con previsión de la naturaleza y de los espesores de las capas que se construyan o recrezcan), sistemas de drenaje existentes y su eventual mejora, etc. Además, se planificará la resolución de los problemas constructivos que puedan plantearse durante la ejecución de las obras.

A partir de este análisis, deberá elegirse la solución de rehabilitación más apropiada desde el punto de vista económico y de seguridad de la circulación vial, como combinación de las diversas soluciones técnicamente aconsejables en cada tramo.

Las distintas actuaciones que se recogen en esta norma se deben considerar de modo conjunto y no independiente. El análisis de las deflexiones de cálculo debe realizarse siempre, no pudiendo,

por tanto, considerar únicamente el estudio de las medidas de deflexión, aplicando el apartado 9.3, para determinar si un tramo requiere rehabilitación estructural o no.

Así, en la rehabilitación estructural de firmes con pavimento bituminoso, además de realizar el estudio de las medidas de deflexión en los distintos puntos para así localizar las zonas singulares donde el agotamiento afecte a la explanada, según el apartado 9.2, se debe analizar qué tipo de actuación es la más adecuada: una actuación de recrecimiento únicamente (apartado 9.5, mediante el estudio de las deflexiones de cálculo de cada tramo homogéneo), una actuación de eliminación parcial y reposición (apartado 9.3, mediante el estudio de las medidas de deflexión en cada punto) o, como será más conveniente en muchos casos, una actuación combinada de eliminación parcial y reposición y recrecimiento (apartado 9.6). Debe tenerse en cuenta que con la actuación de eliminación parcial y reposición de las zonas del tramo homogéneo con medidas de deflexión más elevadas se logra reducir el valor de la deflexión de cálculo del tramo homogéneo.

7.3. ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN SUPERFICIAL

Cuando el estado del firme no haga necesaria la realización de una actuación de rehabilitación estructural, pero la superficie del pavimento presente deterioros que afecten a la seguridad de la circulación, a la comodidad del usuario o a la durabilidad del pavimento o del firme, se procederá a su rehabilitación superficial, siguiendo lo establecido en el apartado 11.

Análogamente a lo indicado para la rehabilitación estructural, mediante un estudio técnico y económico se decidirá sobre las distintas opciones previstas en el apartado 11, pudiéndose utilizar otro tipo de soluciones que estén debidamente justificadas.

7.4. CRITERIOS DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO DE FIRMES

En el proyecto de la rehabilitación de un firme se podrán utilizar las técnicas de reciclado teniendo en cuenta las limitaciones y prescripciones siguientes:

- En carreteras con categoría de tráfico pesado T00 no se podrán utilizar en ningún caso materiales reciclados.
- En carreteras con categoría de tráfico pesado T0 no se podrán utilizar en ningún caso las técnicas de reciclado in situ en frío (con emulsión bituminosa o con cemento). Únicamente se podrán emplear mezclas bituminosas en caliente recicladas en central en el recrecimiento de arcenes, siempre que sobre ellas se disponga posteriormente como mínimo una capa de rodadura. También podrá ser aplicable este último tipo de material reciclado en capas de reposición en calzada cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 10 cm.
- En carreteras con categoría de tráfico pesado T1 se podrán utilizar las mezclas bituminosas en caliente recicladas en central en los mismos supuestos indicados para carreteras con categoría de tráfico pesado T0, considerando, en este caso, que sobre las capas de reposición con mezclas bituminosas recicladas en central deben colocarse capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 6 cm. Además podrán emplearse mezclas bituminosas recicladas in situ con emulsión bituminosa en arcenes cuando sobre este material se disponga como mínimo una capa de rodadura. También podrá ser aplicable este último tipo de material reciclado en capas de reposición en calzada cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 8 cm.
- Para carreteras con categorías de tráfico pesado T2 a T4, incluidas las vías de servicio no agrícolas de autovías y autopistas, podrán utilizarse todas las técnicas de reciclado indicadas, así como el reciclado in situ con cemento, con la condición de disponer sobre cualquiera de ellas, como mínimo, una capa de mezcla bituminosa en caliente del tipo densa (D) o semidensa (S).

8.1. TRÁFICO PESADO

A los efectos de aplicación de esta norma, para la evaluación de las solicitaciones de tráfico en cada carril, se aplicarán las categorías de tráfico pesado definidas en el apartado 5.3.

8.2. TIPO DE FIRME EXISTENTE

A los efectos de aplicación de esta norma, los firmes se clasificarán de acuerdo con lo indicado en el apartado 5.2.

8.3. DEFLEXIONES

Para el dimensionamiento de las soluciones de rehabilitación de firmes con pavimento bituminoso, se aplicarán tanto los valores de la deflexión patrón, como las deflexiones de cálculo de cada tramo homogéneo de comportamiento uniforme, según el apartado 5.6.2.

8.4. MATERIALES

A los efectos de aplicación de esta norma, sólo se consideran las unidades de obra más usuales y de comportamiento suficientemente experimentado, adoptándose como materiales de comparación las mezclas bituminosas en caliente de los tipos denso (D), semidenso (S) y grueso (G) del artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) y el pavimento de hormigón (artículo 550 del PG-3).

Para la elección del tipo de betún asfáltico, para la fijación de la relación ponderal entre la dosificación del polvo mineral y del betún y para aplicar el ensayo de pista de laboratorio a las mezclas bituminosas en caliente mencionadas en el párrafo anterior, se tendrá en cuenta la zona térmica estival (figura 3 del anejo 3).

Si por razones técnicas o económicas se justificase el empleo de materiales distintos (capas granulares, capas tratadas con cemento, gravaemulsión, gravaescoria, reciclado del firme, etc.), se realizará un estudio especial para dimensionar correctamente la solución de rehabilitación, de acuerdo con lo indicado en los diferentes apartados de esta norma y adoptando los criterios recogidos en la tabla 11 del anejo 2.

Las características generales de los materiales y la ejecución de las unidades de obra serán las definidas en el articulado del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), con las prescripciones complementarias establecidas en la Norma 6.1 IC de Secciones de firme en lo referente a materiales y espesores de las capas.

Para el empleo de materiales cuyas prescripciones no estén incluidas en el PG-3 a la entrada en vigor de esta norma, o no constituyan un artículo específico en el Pliego de Prescripciones Técnicas,

nicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras y Puentes (PG-4), se podrán utilizar los criterios sobre equivalencia estructural indicados en la tabla 11 (anexo 2), y si no fuera suficiente se solicitará informe a los servicios técnicos de la Dirección General de Carreteras.

8.4.1. CAPAS DE RODADURA CON MEZCLA BITUMINOSA

En particular, en lo que se refiere a las capas de rodadura con mezcla bituminosa, su naturaleza y espesor serán los indicados en la tabla 11 del anexo 2 de esta norma.

La capa de rodadura estará constituida por una mezcla bituminosa drenante (PA), definida en el artículo 542 del PG-3, por una mezcla bituminosa discontinua en caliente de tipo M o F, definida en el artículo 543 del PG-3, o por una mezcla bituminosa en caliente de tipo denso (D) o semidenso (S), definida en el artículo 542 del PG-3.

Para las categorías de tráfico pesado T00 a T1 se emplearán las mezclas bituminosas discontinuas en caliente tipo M o bien las drenantes, según las condiciones de intensidad de la circulación y pluviométricas.

Las mezclas drenantes sólo podrán aplicarse en carreteras sin problemas de nieve o de formación de hielo, cuyos accesos estén pavimentados, con tráfico suficiente ($IMD \geq 5\ 000$ vehículos/día) y con un régimen de lluvias razonablemente constante que facilite su limpieza. No se utilizarán sobre tableros de estructuras que no estén debidamente impermeabilizados y en todo caso deberán preverse sistemas específicos de captación y de eliminación del agua infiltrada a través de la superficie del pavimento.

A los efectos de aplicación de esta norma, y salvo justificación en contrario, no deberán proyectarse pavimentos con mezcla drenante en altitudes superiores a los 1 200 m, ni cuando el tramo a proyectar esté comprendido en la zona pluviométrica poco lluviosa. La figura 4 recoge las zonas pluviométricas lluviosa y poco lluviosa.

En la zona pluviométrica poco lluviosa podrá excepcionalmente utilizarse mezcla drenante en tramos de pequeña pendiente longitudinal (inferior a 1,5%) en los que además el régimen de precipitación sea corto, pero intenso, durante un número significativo de días al año; la longitud pavimentada con mezcla drenante no deberá ser inferior a 500 m.

Con el fin de mejorar la seguridad y la comodidad en tiempo de lluvia, en autopistas y autovías urbanas y periurbanas con intensidad de tráfico superior a diez mil vehículos al día ($IMD > 10\ 000$ vehículos/día), podrán utilizarse mezclas drenantes, previa justificación, teniendo en cuenta los criterios establecidos anteriormente, y siempre que las características climáticas, de trazado y de tráfico lo aconsejen.

9.1. PLANTEAMIENTO BÁSICO

Entre las posibles soluciones de rehabilitación estructural de firmes que tengan pavimento bituminoso, básicamente se considerarán los tipos de actuación siguientes entre los indicados en el apartado 7.2:

- Eliminación parcial de una parte del firme existente y reposición con mezcla bituminosa hasta la misma cota que la superficie original del pavimento existente.
- Recrecimiento mediante mezclas bituminosas o mediante pavimento de hormigón.
- Combinación de los dos tipos de actuación anteriores, incluyendo las técnicas de reciclado de materiales de acuerdo con lo expuesto en el apartado 7.4.

Por consideraciones ambientales y de reutilización de los materiales existentes en los firmes y pavimentos, en actuaciones cuya superficie de rehabilitación sea superior a 70 000 m², se deberán tener en cuenta en el análisis de las soluciones las técnicas de reciclado con las limitaciones y prescripciones indicadas en el apartado 7.4.

No se considerará como solución general de rehabilitación estructural la demolición y reconstrucción total del firme en toda la longitud, que deberá reservarse sólo para zonas o tramos muy excepcionales.

Los tres tipos de solución se dimensionarán siguiendo lo establecido en los apartados 9.3, 9.5 y 9.6.

Previamente a la ejecución de cualquier tipo de rehabilitación generalizada, se sanearán los blandones y zonas singulares de longitud inferior a 100 m, de acuerdo con lo que se indica en el apartado 9.2. También se cumplirá lo dispuesto en el apartado 9.4 sobre el sellado de las grietas de reflexión o de otro origen no estructural.

Los recrecimientos podrán también realizarse con materiales distintos a las mezclas bituminosas en determinados casos, de acuerdo con lo indicado en el apartado 9.7.

9.2. REPARACIÓN PREVIA DE LAS ZONAS SINGULARES

9.2.1. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS SINGULARES

Son zonas singulares las que presentan una falta de capacidad estructural que afecta a la explanada o tiene su origen en ella. Suelen presentarse superficialmente como deterioros localizados, de pequeña longitud (inferior a 100 m) y con un aspecto visual sensiblemente diferente al existente con carácter general en el resto del tramo.

A efectos prácticos, si no se dispusiera de un estudio específico del tramo que demuestre lo contrario, se entenderá que el agotamiento estructural afecta a la explanada no sólo en las zonas localizadas de blandones, detectadas visualmente, sino también cuando para la categoría de tráfico pesado correspondiente, el valor de la deflexión patrón en un punto determinado supere los valores indicados en la tabla 2.

TABLA 2. UMBRALES DEL VALOR PUNTUAL DE LA DEFLEXIÓN PATRÓN (10^{-2} mm) PARA LOS QUE SE CONSIDERA QUE EL AGOTAMIENTO ESTRUCTURAL AFECTA A LA EXPLANADA

2.A – FIRMES FLEXIBLES Y SEMIFLEXIBLES

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
T00	T0	T1	T2	T3	T4
100	125	150	200	250 (*)	300 (*)

(*) Excepto en antiguas carreteras que actualmente son vías de servicio de autopistas y autovías interurbanas, cuyo umbral será 200.

2.B – FIRMES SEMIRRÍGIDOS

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
T00 y T0	T1 y T2	T3 y T4
75	100	125 (**)

(**) Excepto en antiguas carreteras que actualmente son vías de servicio de autopistas y autovías interurbanas, cuyo umbral será 100.

Las zonas singulares de longitud mayor o igual a 100 m, en las que las deflexiones superen los valores indicados en la tabla 2, se considerarán, a todos los efectos, zonas de estudio especial a las que será aplicable el apartado 9.9.

En el caso de firmes semirrígidos, si se detectase surgencia de finos a través de las grietas o de las juntas del pavimento o movimiento de las losas, se procederá a la reparación de las zonas afectadas hasta la profundidad necesaria, o bien se estabilizarán las losas mediante inyección.

9.2.2. CRITERIOS DE PROYECTO

Debe tenerse en cuenta que, en la mayoría de las ocasiones, las deflexiones excesivas en zonas de desmonte suelen tener su origen en defectos de drenaje, situación que también se puede producir en terraplenes en zonas bajas donde no tienen salida las aguas; en ambos casos deberá corregirse el drenaje previamente a la rehabilitación. Por otra parte, puede que, aunque no se tengan valores excesivos de deflexión, existan deficiencias generalizadas de drenaje (por lo menos, en lo que al drenaje superficial se refiere) que podrían repercutir negativamente a corto plazo en la capacidad resistente del firme y que, en consecuencia, habría que corregir también.

Las zonas singulares, de longitud inferior a 100 m, en las que el agotamiento estructural afecte a la explanada, se sanearán demoliendo la totalidad del firme y excavando una profundidad de 80 cm por debajo de la cota de la explanada. En todos los casos en los que sea necesario, se actuará sobre el drenaje, asegurando la salida del agua que pudiera acumularse en el fondo de la zona excavada.

La superficie de la explanada deberá quedar al menos 60 cm por encima del nivel más alto previsible de la capa freática donde el suelo sea seleccionado, 80 cm donde sea adecuado, 100 cm donde sea tolerable y 120 cm donde sea inadecuado o marginal. A tal fin se adoptarán medidas tales como la colocación de drenes subterráneos, la interposición de geotextiles o de una capa drenante, etc., y se asegurará la evacuación del agua infiltrada a través del firme de la calzada y de los arcones o a través de la junta entre éstos y aquélla. En todo caso, se tendrán en cuenta los criterios indicados en la normativa vigente sobre drenaje.

En el caso de que la técnica escogida para la rehabilitación del firme sea la de eliminación parcial y reposición, en firmes semirrígidos la excavación realizada se rellenará con zahorra artificial hasta la cota de la explanada, y sobre ella se extenderá una mezcla bituminosa hasta enrasar con

la superficie del pavimento. En firmes flexibles y semiflexibles se rellenará con zahorra artificial hasta la cota inferior de la mezcla bituminosa del firme adyacente y sobre ella se extenderá una mezcla bituminosa hasta alcanzar la superficie del pavimento.

En todos los casos, se preverá el drenaje necesario para la salida del agua que se pueda acumular en el fondo de la zona excavada y, si se juzga necesario, se completará la solución con medidas de prevención de una posible contaminación por finos arcillosos.

Otro tipo de reparaciones sólo podrá utilizarse previo estudio y justificación de su idoneidad y con la aprobación expresa de la Dirección General de Carreteras.

9.3. ELIMINACIÓN PARCIAL Y REPOSICIÓN DEL FIRME EXISTENTE

9.3.1. CRITERIOS GENERALES

Consistirá esta solución en la eliminación y retirada por medios mecánicos de los materiales que componen el firme hasta la profundidad precisa y su reposición con el mismo espesor de mezclas bituminosas. La eliminación parcial de las capas aglomeradas en firmes con pavimento bituminoso se realizará siempre mediante técnicas de fresado. En firmes muy flexibles con un espesor total de materiales bituminosos inferior a seis centímetros (6 cm), podría eventualmente considerarse el empleo de otros procedimientos.

La eliminación parcial y reposición alcanzarán a todas las zonas y capas del firme que presenten agotamiento estructural o vida residual insuficiente. Para la delimitación de la superficie y de la profundidad de esta solución se partirá de los valores de la deflexión patrón en los diferentes puntos de medida y de los resultados de una inspección visual detallada.

Se considerará que existe agotamiento estructural del firme cuando se observe en su superficie un agrietamiento de tipo estructural (zonas del carril cuarteadas en malla gruesa o fina y zonas de las rodadas con grietas longitudinales, ramificadas o no). En este caso, si no se conoce la profundidad del agrietamiento, se procederá a un reconocimiento más detallado del firme del carril mediante la extracción de testigos y la ejecución de calicatas escalonadas capa a capa. La eliminación parcial de firme y su posterior reposición deberá alcanzar la profundidad necesaria de acuerdo con lo indicado en el apartado 9.3.2, o hasta la capa cuya superficie no presente agrietamiento estructural. En todo caso, se eliminará la parte superior de la capa no eliminada (1 cm) cuando presente alteraciones que afecten a su integridad o no pueda quedar garantizada una buena adherencia con el material de reposición.

9.3.2. CRITERIOS DE PROYECTO

Se considerará que el firme tiene una vida residual insuficiente siempre que el valor de la deflexión patrón en un punto determinado supere los umbrales indicados en la tabla 3, salvo que un estudio y análisis más específico del estado de cada tramo homogéneo justifiquen la asignación de valores distintos para dichos umbrales.

TABLA 3. UMBRALES DEL VALOR PUNTUAL DE LA DEFLEXIÓN PATRÓN (10^{-2} mm) PARA EL AGOTAMIENTO ESTRUCTURAL

3.A – FIRMES FLEXIBLES Y SEMIFLEXIBLES

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
T00 y T0	T1	T2	T3	T4
50	75	100	125	150 (*) 200 (**)

(*) Firmes con espesor de pavimento bituminoso \geq 5cm

(**) Firmes con espesor de pavimento bituminoso < 5cm

3.B – FIRMES SEMIRRÍGIDOS

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
T00	T0 y T1	T2 y T3	T4
35	40	50	80

Según la categoría de tráfico pesado, la profundidad de eliminación parcial y de reposición del firme será la necesaria para que el espesor total de mezclas bituminosas nuevas sea, como mínimo, el indicado en la tabla 4.

TABLA 4. ESPESOR TOTAL (cm) DE MEZCLA BITUMINOSA NUEVA

4.A – FIRMES FLEXIBLES, SEMIFLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN LOS QUE SE ELIMINAN TOTAL O PARCIALMENTE LAS CAPAS TRATADAS CON CEMENTO

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
T00	T0	T1	T2	T3	T4
35	30	25	20	– (*)	– (*)

(*) Para antiguas carreteras que actualmente sean vías de servicio de autopistas y autovías interurbanas: 15 cm para T3 y 5 cm para T4.

4.B – FIRMES SEMIRRÍGIDOS EN LOS QUE SE CONSERVA TOTALMENTE ALGUNA CAPA TRATADA CON CEMENTO

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO						
Capa que se mantiene	T00	T0	T1	T2	T3	T4
Gravacemento	20	18	18	15	12	–
Suelocemento	27	25	20	15	12	–

En el caso en que, después de eliminar las capas agrietadas, queden mezclas bituminosas con suficiente vida útil, los espesores de éstas deberán considerarse, a efectos de dimensionamiento, si no presentan fisuración, como espesores de mezclas bituminosas nuevas, aplicando a su espesor real el coeficiente de equivalencia de 0,75.

9.4. SELLADO DE GRIETAS

Aunque el sellado de grietas en la superficie del pavimento debe considerarse como una actuación específica de conservación, puede darse el caso de que en las zonas no tratadas según los criterios indicados en los apartados 9.2 y 9.3 existan grietas reflejadas o de otro origen no estructural. En este caso, se sellarán siempre que la longitud de sellado sea inferior a 3 km por kilómetro de calzada, incluso si estuviera previsto un recrecimiento en dichas zonas.

En el caso de que la longitud de sellado en el tramo fuera superior a los 3 km por kilómetro de calzada, se realizará un estudio especial para determinar sus causas y su previsible evolución, con objeto de decidir si técnica y económicamente es aconsejable sellar o es necesaria la eliminación y reposición de la capa objeto de estudio.

En los casos de firmes semirrígidos, si en las capas no eliminadas del firme existieran grietas de retracción o de reflexión de éstas, además de sanearlas y de sellarlas, se deberá estudiar la conveniencia de utilizar un sistema antirreflexión de grietas para minimizar el efecto perjudicial de dicha reflexión en la superficie del firme rehabilitado.

9.5. RECRECIMIENTO DEL FIRME EXISTENTE

9.5.1. RECRECIMIENTO CON MEZCLAS BITUMINOSAS

El recrecimiento consistirá en la extensión de una o varias capas de mezcla bituminosa sobre el firme existente. La actuación se extenderá a todo el tramo definido como homogéneo y de comportamiento uniforme de acuerdo con los criterios indicados en el apartado 6.

Previamente, se procederá a la reparación de los blandones y de las zonas singulares de longitud inferior a 100 m en las que las medidas de la deflexión superen los valores de la tabla 2, de acuerdo con lo indicado en el apartado 9.2, y a sellar las grietas que eventualmente pudieran existir, de acuerdo con el apartado 9.4.

Una vez realizadas las eventuales reparaciones y sellados de grietas, se procederá al recrecimiento con el espesor de mezcla bituminosa indicado en la tabla 5 en función de la deflexión de cálculo (d_c) y de la categoría de tráfico pesado.

Si se considera conveniente, como medio de optimización de las soluciones de rehabilitación estructural, la división de las categorías de tráfico pesado T3 y T4 en las subcategorías (T31, T32, T41 y T42) indicadas en el apartado 5.3, el espesor mínimo de recrecimiento con mezcla bituminosa para cualquier tipo de firme existente será el indicado en la tabla 5.C.

TABLA 5. ESPESOR (*) (cm) DE RECRECIMIENTO CON MEZCLA BITUMINOSA

5.A – FIRMES FLEXIBLES Y SEMIFLEXIBLES

DEFLEXIÓN DE CÁLCULO (d_c) (10^{-2} mm)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2	T3	T4
0-40	10	ZONA DE ACTUACIÓN PREVENTIVA				
40-60	12	10	8			
60-80	15	12	10	8		
80-100	18	15	12	10	5	
100-125		18	15	12	8	5
125-150			18	15	10 ^(**)	6 ^(**)
150-200				18	12 ^(**)	8 ^(**)
> 200	ZONA DE ESTUDIO ESPECIAL					

(*) Valor mínimo en cualquier punto de la sección transversal del carril de proyecto.

(**) Ver apartado 9.7.

5.B – FIRMES SEMIRRÍGIDOS

DEFLEXIÓN DE CÁLCULO (d_c) (10^{-2} mm)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2	T3	T4
0-40	8	6	ZONA DE ACTUACIÓN PREVENTIVA			
40-50	15	12	10			
50-80	18	15	12	10	8	
80-125			15	12	8	5
125-150			18	15	10 ^(**)	6 ^(**)
150-200				18	12 ^(**)	8 ^(**)
> 200	ZONA DE ESTUDIO ESPECIAL					

(*) Valor mínimo en cualquier punto de la sección transversal del carril de proyecto.

(**) Ver apartado 9.7.

5.C – ESPESOR (*) (cm) DE RECRECIMIENTO CON MEZCLA BITUMINOSA CON SUBDIVISIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4

DEFLEXIÓN DE CÁLCULO (d_c) (10^{-2} mm)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO(**)			
	T31	T32	T41	T42
60-80	6	ZONA DE ACTUACIÓN PREVENTIVA		
80-100	8	5		
100-125	10	8	6	5
125-150	12	10 ^(***)	8 ^(***)	6 ^(***)
150-200	15	12 ^(***)	10 ^(***)	8 ^(***)
> 200	ZONA DE ESTUDIO ESPECIAL			

(*) Valor mínimo en cualquier punto de la sección transversal del carril de proyecto.

(**) Estas subcategorías no podrán utilizarse en el caso de las antiguas carreteras convertidas en vías de servicio no agrícolas de autopistas o autovías interurbanas, salvo que las características del tráfico lo justifiquen y con autorización expresa de la Dirección General de Carreteras.

(***) Ver apartado 9.7.

En las zonas de rehabilitación con recrecimiento, además de tener en cuenta los espesores mínimos indicados en la tabla 5, se deberá cumplir, en todos los casos, la condición de que el espesor total de mezclas bituminosas nuevas sea, como mínimo, el indicado en la tabla 4. A efectos de la evaluación de dicho espesor total, no se tendrá en cuenta el de las capas del firme existente que estén afectadas por cuarteo, pero sí el de las capas de mezcla bituminosa que no presenten fisuración, el cual computará aplicando a su espesor real el coeficiente de equivalencia 0,75.

Si quedan zonas de pequeña longitud relativa entre tramos sobre los que es necesario actuar, se recomienda la extensión de una capa semejante en toda la carretera, con el fin de dar continuidad a la capa de rodadura. Su espesor dependerá de su naturaleza y de la categoría del tráfico pesado y se fijará de acuerdo con los criterios constructivos establecidos en la tabla 11 del anejo 2.

En el caso de obras de acondicionamiento o de duplicación de calzada en las que se aproveche parte o la totalidad de la calzada existente, se aplicarán los criterios de esta norma. Cuando en estos

tipos de obra existan tramos situados en la zona de la tabla 5 denominada de actuación preventiva, se proyectará, en cualquier caso, una capa de rodadura según los criterios del párrafo anterior.

9.5.2. RECRECIMIENTO MEDIANTE PAVIMENTO DE HORMIGÓN

El recrecimiento de los firmes de pavimento bituminoso puede realizarse también mediante un pavimento de hormigón en masa o con uno continuo de hormigón armado. En la tabla 6 se recogen los espesores mínimos de recrecimiento mediante pavimento de hormigón.

TABLA 6. ESPESORES MÍNIMOS DE RECRECIMIENTO MEDIANTE PAVIMENTO DE HORMIGÓN (cm)

TIPO DE PAVIMENTO	TIPO DE HORMIGÓN (*)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
		T00	T0	T1	T2	T3	T4
Continuo de hormigón armado (**)	HF-4,5	24	21	19			
	HF-4,0	–	23	21			
Hormigón en masa	HF-4,5			23	–	–	–
	HF-4,0			25	21	20	18
	HF-3,5			–	23	22	20

(*) La especial nomenclatura adoptada corresponde a Hormigón de Firme (HF) seguida del valor de la resistencia a flexotracción en megapascuales (MPa). Estos hormigones deben cumplir las características especificadas en el artículo 550 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

(**) La cuantía geométrica de las armaduras longitudinales en los pavimentos continuos de hormigón armado será del 0,7% para hormigones HF-4,5 y del 0,6% para hormigones HF-4,0.

Deberán corregirse previamente todas las irregularidades (roderas, arrollamientos, ondulaciones, etc.) que superen los 20 mm donde el recrecimiento se realice con un pavimento de hormigón en masa, valor que se reducirá a 10 mm si se utiliza un pavimento continuo de hormigón armado.

En los recrecimientos mediante pavimento de hormigón en masa las juntas se proyectarán de acuerdo con los siguientes criterios:

- En las zonas en las que la anchura de hormigonado sea superior a 5 m se proyectarán juntas longitudinales de alabeo, dividiendo el pavimento en franjas aproximadamente iguales, procurando que coincidan sensiblemente con las separaciones entre carriles de circulación y evitando que lo hagan con las zonas de rodadura, con una marca vial o con un pasador. Se ejecutarán por aserrado, con una profundidad de corte no inferior al tercio del espesor de la losa.
- Donde el hormigonado se realice por franjas se proyectarán juntas longitudinales de hormigonado, procurando que coincidan sensiblemente con las separaciones entre carriles de circulación y evitando que lo hagan con las rodadas o con una marca vial.
- Para las categorías de tráfico pesado T1 y T2 se proyectarán, transversalmente a la junta longitudinal de hormigonado, barras corrugadas de unión de 12 mm de diámetro, 80 cm de longitud y espaciadas 1 m. Esta disposición es recomendable también para las categorías inferiores de tráfico pesado.
- En el proyecto de las juntas longitudinales, tanto de alabeo como de hormigonado, se especificará su sellado por alguno de los siguientes procedimientos:
 - Practicando un cajeadado en el que se introducirá un cordón de algún material sintético idóneo, sobre el que se colocará un producto específico de sellado.
 - Mediante un perfil de material elastomérico específico, introducido a presión.

- Las juntas transversales de contracción se realizarán por aserrado. La anchura de corte no será superior a 4 mm, y su profundidad no deberá ser inferior al cuarto del espesor de la losa.
- Para las categorías de tráfico pesado T1 y T2, las juntas transversales de contracción se proyectarán provistas de pasadores (a la mitad de espesor de la losa, colocados transversalmente y simétricos respecto a la junta) de acero liso de 25 mm de diámetro, 50 cm de longitud y separación variable, (30 cm bajo las rodadas del carril de proyecto y 60 cm en otras zonas o en el carril interior en vías de más de un carril por sentido de circulación). Estas juntas se proyectarán perpendiculares al eje de la calzada e irán separadas entre sí una longitud comprendida entre 4 y 5 m.
- Para las categorías de tráfico pesado T3 y T4, se podrán proyectar juntas transversales de contracción sin pasadores a una distancia no superior a 4 m, la cual se reducirá hasta los 3,5 m en las zonas donde las variaciones diarias de la temperatura ambiente sean superiores a 20 °C. Estas juntas transversales de contracción sin pasadores se proyectarán sesgadas, con una inclinación respecto al eje de la calzada de 6:1, de forma que las ruedas de la izquierda de cada eje las atraviesen antes que las de la derecha.
- Las juntas transversales de hormigonado se harán coincidir con el emplazamiento de una junta de contracción e irán siempre provistas de pasadores, siendo por ello perpendiculares al eje de la calzada.
- Respecto al sellado de las juntas transversales, tanto de contracción como de hormigonado, según la zona pluviométrica (anexo 3), se especificará lo siguiente:

Zona pluviométrica lluviosa (zonas 1 a 4 del mapa de la figura 4 del anexo 3): Irán selladas como las juntas longitudinales.

Zona pluviométrica poco lluviosa (zonas 5 a 7 del mapa de la figura 4 del anexo 3): La ranura podrá dejarse sin sellar, en cuyo caso no se cajeará y se alojará en ella a presión un cordel inmediatamente después de serrar; antes de abrir a la circulación se extraerá el cordel y se limpiará la junta.

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

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

9.6. COMBINACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE ELIMINACIÓN PARCIAL Y REPOSICIÓN Y DE RECRECIMIENTO

Esta solución que, de acuerdo con lo especificado en el apartado 7.2, deberá ser la más usual, consistirá en una combinación de la de eliminación parcial y reposición del firme existente, descrita en el apartado 9.3, y la de recrecimiento con mezclas bituminosas, según el apartado 9.5.1.

La solución de eliminación parcial del firme existente y su reposición con mezclas bituminosas (convencionales o recicladas) hasta la misma cota que la superficie original del pavimento podrá ir seguida de un recrecimiento con mezcla bituminosa extendida en toda la anchura de la calzada. Asimismo, la solución de recrecimiento con mezclas bituminosas podrá ir precedida de una eliminación parcial y reposición de firme en las zonas en que se considere necesario. El recrecimiento de los arcenes, en estos casos, se ajustará a los criterios del apartado 12.7.

En ambos casos se procederá como se indica en el apartado 9.3, contabilizando en el espesor de mezclas bituminosas nuevas, tanto el de la mezcla de reposición como el del recrecimiento. Las

zonas del firme no afectadas por la eliminación parcial y reposición, pero sí por el recrecimiento, deberán cumplir lo indicado en el apartado 9.5.

9.7. OTROS TIPOS DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DEL FIRME EXISTENTE

En determinados casos también podrán utilizarse en el recrecimiento de firmes de pavimento bituminoso otros materiales, de acuerdo con los criterios indicados en el apartado 8.4.

En este sentido conviene tener en cuenta que las soluciones indicadas en las tablas 5.A y 5.B para las categorías de tráfico pesado T3 y T4 pueden ser las más aconsejables si la rehabilitación estructural se está proyectando en un tramo de carretera con un firme con espesor elevado de mezcla bituminosa (es el caso de antiguas carreteras que actualmente son las vías de servicio de autovías o de autopistas interurbanas en las que las dos calzadas se han construido de nuevo trazado).

Sin embargo, si el tramo en estudio tiene una menor estructura de firme, pueden resultar más adecuadas, por razones técnicas o económicas que habrá que valorar expresamente en cada caso concreto, otras soluciones de rehabilitación estructural. Puede ser el caso de algunas carreteras convencionales en servicio con una categoría de tráfico pesado T3 (T32) o T4 (T41 y T42). Entre los materiales cuyo empleo puede ser considerado, siempre que lo avale la experiencia local, cabe citar las capas granulares, las gravas tratadas (con cemento, escoria o emulsión bituminosa), así como, para las capas de rodadura, las mezclas bituminosas abiertas en frío y los tratamientos superficiales (lechadas bituminosas y riegos con gravilla).

En todo caso, para las categorías de tráfico pesado T3 (T32) y T4 (T41 y T42) en las que pueden ser recomendables soluciones basadas en el empleo de capas granulares y de mezclas bituminosas, el espesor de estas últimas no podrá estar comprendido entre 6 y 12 cm. En este tipo de solución, con una capa de base granular como elemento básico estructural, el espesor del pavimento bituminoso deberá proyectarse igual o inferior a 5 cm, y se deberá garantizar una flexibilidad suficiente, definiendo adecuadamente el tipo de mezcla bituminosa y la dotación del ligante o, si su empleo está avalado por la experiencia local, recurriendo a una mezcla bituminosa abierta en frío o a tratamientos superficiales con gravilla.

9.8. ZONAS DE ACTUACIÓN PREVENTIVA

En la zona denominada de actuación preventiva en la tabla 5, el valor de la deflexión de cálculo es menor del que se requiere para una actuación de rehabilitación estructural, al no alcanzar los umbrales de agotamiento definidos en dicha tabla. En estos casos (con la salvedad indicada en el último párrafo del apartado 9.5.1) suele ser aconsejable una actuación preventiva que prolongue la vida útil del firme antes de que la aceleración de las degradaciones obligue a una rehabilitación estructural más profunda.

Las actuaciones preventivas consistirán, en general, en recrecimientos de pequeño espesor. Para carreteras de categorías de tráfico pesado T00 y T0 únicamente se admitirá el empleo de mezclas drenantes y mezclas bituminosas discontinuas en caliente, teniendo en cuenta siempre las características de la capa de rodadura de acuerdo con los criterios constructivos establecidos en la tabla 11 del anejo 2. Para el resto de las carreteras, también podrán utilizarse tratamientos superficiales del tipo lechada bituminosa, dada la capacidad de éstos para impermeabilizar. No obstante, para carreteras con categorías de tráfico pesado T1 y T2 serán preferibles los recrecimientos con mezclas bituminosas en caliente, pues supone una mayor prolongación de la vida útil de la sección estructural del firme.

El momento adecuado para llevar a cabo una actuación preventiva se deducirá de los estudios técnicos y económicos en los que se tenga en cuenta la evolución previsible del estado del firme, de acuerdo con sus características (tipo, espesores, edad, estado, tráfico, clima, etc.), la prolongación de la vida útil que suponen las distintas opciones de actuación preventiva y de rehabilitación, y el coste de las alternativas posibles. Suele ser conveniente intervenir a partir del momento en el

que el índice de deterioro estructural (proporción de longitud de carril con respecto a la total con deterioros por agotamiento estructural), alcanza los valores indicados en la tabla 7.

TABLA 7. ÍNDICES DE DETERIORO ESTRUCTURAL QUE HACEN CONVENIENTE LA ACTUACIÓN PREVENTIVA (*)

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
T00 y T0	T1 y T2	T3 y T4
> 5	> 10	> 15

(*) Se trata de valores deseables como referencia. De forma justificada, se podrán considerar otros valores distintos, dependiendo del tipo de red existente y de la política de conservación establecida.

9.9. ZONAS DE ESTUDIO ESPECIAL

La zona de estudio especial indicada en la tabla 5 queda fuera de una solución convencional de recrecimiento, debido al elevado valor de la deflexión de cálculo. En estos casos, se analizarán con detalle los motivos de esta anomalía para determinar la solución de rehabilitación más apropiada. Una vez determinados los motivos se procederá a plantear la solución, con objeto de aumentar la capacidad estructural del firme.

El estudio especial tendrá por objeto decidir entre la reconstrucción total del firme, la eliminación parcial y reposición del firme, los cajeros laterales de la plataforma, con posterior relleno y reposición del firme, o el recrecimiento con correcciones complementarias de drenaje, mejora de explanada y empleo de las técnicas de reciclado, estabilización u otras que permitan aumentar, de manera significativa, la capacidad de soporte del tramo. En cualquier circunstancia se considerará prioritaria la mejora del sistema de drenaje.

El estudio especial requerirá, en general, la extracción de testigos y la apertura de calicatas, en las que se tomarán muestras de los materiales del firme y de la explanada para su ensayo y evaluación en el laboratorio. Por otra parte, se anotarán los espesores de las capas, grado de compactación, humedad, etc., para su análisis y determinación de la solución de rehabilitación más apropiada.

10.1. PLANTEAMIENTO BÁSICO

En la rehabilitación estructural de firmes que tengan pavimento de hormigón se considerarán los dos tipos de actuación siguientes, entre los indicados en el apartado 7.2:

- Eliminación y reposición del pavimento de hormigón.
- Recrecimiento mediante mezclas bituminosas o mediante pavimento de hormigón.

Estos dos tipos de solución se dimensionarán y realizarán siguiendo lo establecido en los apartados 10.3 y 10.4.

No se considerará como solución general de rehabilitación estructural la eliminación y reconstrucción total del firme, que deberá reservarse sólo para casos excepcionales, en los que no se pueda asegurar la estabilidad del firme existente.

Previamente a la ejecución de los recrecimientos, se realizará un estudio para determinar la causa de los deterioros y poder adoptar las medidas precisas antes de proceder a la rehabilitación estructural, a fin de asegurar que el firme existente constituya un asiento suficientemente estable para las nuevas capas.

10.2. REPARACIÓN PREVIA DE LAS ZONAS SINGULARES

Previamente a las actuaciones mencionadas en el apartado 10.1 se repararán todas las zonas del firme que presenten deterioros atribuibles a fallos de la explanada. Para su estudio se podrá recurrir a los conceptos generales indicados en el apartado 9.2, excepto los referentes a la deflexión patrón, criterio que corresponde exclusivamente a firmes con pavimento bituminoso.

10.3. ELIMINACIÓN Y REPOSICIÓN DEL FIRME

Esta solución es de aplicación exclusivamente en zonas o tramos muy localizados y consistirá en la demolición y retirada por medios mecánicos del hormigón que constituya el pavimento, así como la de otras capas del firme si fuera necesario, para posteriormente reponerlas con materiales de naturaleza semejante y de características adecuadas.

Para la delimitación de la superficie y de las capas que sea necesario demoler, se partirá de los resultados de una inspección detallada, que podrán complementarse con la extracción de testigos del firme.

Si el agotamiento estructural del firme no afectase a la explanada, y siempre que las condiciones de seguridad de la circulación vial lo permitan, se procurará proyectar la demolición y la sustitución de la capa o capas agotadas por otras de características similares a las originales, con el fin de que no se produzca una discontinuidad en la sección estructural del firme.

En el caso de haberse demolido varias capas del firme, entre ellas alguna tratada con cemento, podrán reponerse conjuntamente en una sola capa la base y el pavimento de hormigón, proyectando una solución de losa única con un espesor igual a la suma de las dos capas.

Si el agotamiento estructural afectase a la explanada, se proyectará la reparación de ésta, tal y como se indica en el apartado 10.2, procediéndose posteriormente a la reposición del firme con los criterios anteriormente mencionados.

En el caso de los pavimentos de hormigón en masa deberán disponerse pasadores en las juntas transversales y barras de unión en las longitudinales, de acuerdo con lo establecido en el apartado 9.5.2. En el caso de los pavimentos de hormigón armado continuo se repondrán las armaduras y se dispondrán barras de unión en las juntas longitudinales.

10.4. RECRECIMIENTO DEL FIRME EXISTENTE

La solución de recrecimiento consistirá en la extensión de un pavimento de hormigón o de una o varias capas de mezcla bituminosa sobre el firme existente. La actuación se extenderá sobre todo el tramo definido como homogéneo y de comportamiento uniforme.

10.4.1. RECRECIMIENTO MEDIANTE PAVIMENTO DE HORMIGÓN

En esta norma se especifican exclusivamente los criterios necesarios para realizar recrecimientos no adheridos, (se trata de impedir en ellos cualquier tipo de unión con el firme existente mediante la interposición de una capa de separación). Este tipo de recrecimiento podrá proyectarse con un pavimento de hormigón en masa o con un pavimento continuo de hormigón armado.

El recrecimiento adherido únicamente podría ser utilizado sobre pavimentos en buen estado de conservación en los que fuera necesario aumentar su capacidad estructural o bien renovar sus características superficiales, debiéndose reservar su empleo a situaciones muy especiales. Su aplicación en una obra concreta deberá ser objeto de un estudio específico, previa autorización expresa de la Dirección General de Carreteras.

10.4.1.1. REPARACIONES PREVIAS

Antes de proceder a la extensión del recrecimiento, deberán repararse todos los desperfectos graves, tales como losas inestables, asentamientos, punzonamientos de pavimentos continuos de hormigón armado y en especial todos los problemas derivados de un mal funcionamiento del sistema de drenaje o de la falta de capacidad de soporte de las capas subyacentes, con el fin de proporcionar al recrecimiento una superficie de apoyo estable, uniforme, no erosionable y sin problemas de drenaje.

Todas estas medidas de reparación deberán tenerse en cuenta en el proyecto, sin que sea admisible sustituirlas por el dimensionamiento de un recrecimiento de mayor espesor.

10.4.1.2. CAPA DE SEPARACIÓN

La capa de separación deberá independizar el recrecimiento del pavimento existente, con el fin de evitar la adherencia entre ambos y la transmisión de grietas y juntas. El tipo de material a utilizar, que deberá ser aprobado por la Dirección General de Carreteras, dependerá del estado del firme, y podrá ser:

- **Mezcla bituminosa en caliente:** se recomienda cuando además sea necesario disponer una capa de regularización para corregir escalonamientos entre losas o la pendiente transversal. En este caso, el espesor mínimo en cualquier punto de la sección que se vaya a rehabilitar no será inferior a 4 cm.

- **Otros materiales:** cuando solo sea necesario un efecto separador, podrán emplearse láminas de polietileno u otros productos sancionados por la experiencia que impidan la adherencia del pavimento existente con el recrecimiento.

10.4.1.3. DIMENSIONAMIENTO DEL RECRECIMIENTO

En los recrecimientos mediante pavimento de hormigón las juntas se realizarán de acuerdo con los criterios establecidos en el apartado 9.5.2, debiendo en este caso proyectar las juntas transversales de contracción de tal manera que no coincidan con las del pavimento existente, y debiendo quedar, en general, a una distancia de éstas superior a 50 cm. En la tabla 8 se indican los espesores mínimos de recrecimiento.

TABLA 8. ESPESORES MÍNIMOS DE RECRECIMIENTO MEDIANTE PAVIMENTO DE HORMIGÓN (cm)

TIPO DE PAVIMENTO	TIPO DE HORMIGÓN (*)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
		T00	T0	T1	T2	T3	T4
Continuo de hormigón armado (**)	HF-4,5	22	20	18			
	HF-4,0	–	22	20			
Hormigón en masa	HF-4,5			21	–	–	–
	HF-4,0			23	20	18	–
	HF-3,5			–	22	20	18

(*) La especial nomenclatura adoptada corresponde a Hormigón de Firme (HF) seguida del valor de la resistencia a flexotracción en megapascuales (MPa). Estos hormigones deben cumplir las características especificadas en el artículo 550 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

(**) La cuantía geométrica de las armaduras longitudinales en los pavimentos continuos de hormigón armado será del 0,7% para hormigones HF-4,5 y del 0,6% para hormigones HF-4,0.

10.4.2. RECRECIMIENTO CON MEZCLA BITUMINOSA

El proyecto de recrecimiento de un firme con pavimento de hormigón en masa mediante una mezcla bituminosa deberá prever la adopción de las medidas necesarias para evitar la aparición de grietas de reflexión en la superficie. Para ello deberán limitarse los movimientos verticales y horizontales de las juntas y de las grietas. Como valor orientativo, los movimientos verticales relativos de las juntas, bajo una carga equivalente a un eje de 13 t, no deberán ser superiores a 0,5 mm para las categorías de tráfico pesado T00 a T1, ni a 1 mm para las categorías de tráfico pesado T2 a T4.

Si el pavimento presenta un nivel de deterioro bajo, la reducción de los movimientos verticales podrá realizarse en losas aisladas mediante la inyección de lechada bajo ellas o, si el problema afecta a muchas losas, mediante la rotura controlada y asentamiento del firme existente. El control de los movimientos horizontales (que existen siempre y son producidos por las variaciones de temperatura) podrá realizarse con esta última técnica o mediante los denominados sistemas antirreflexión de fisuras.

a) Rotura controlada y asentamiento del firme existente

Si el nivel de degradación del pavimento es elevado, con deterioros generalizados y movimientos verticales apreciables en juntas y grietas, el procedimiento más recomendable para evitar su reflexión será proceder a una rotura controlada.

El firme existente deberá fragmentarse en trozos inferiores a 0,25 m², evitando que se produzca un deterioro importante de su superficie (desportillados). Finalizada la fragmentación se procederá a asentar el firme mediante el paso de compactadores pesados de neumáticos.

b) Sistemas antirreflexión de fisuras

Los sistemas antirreflexión, cuyo objetivo principal es controlar la propagación de fisuras producidas por movimientos horizontales, se podrán proyectar únicamente cuando los movimientos verticales en las juntas sean muy reducidos. Los tratamientos a emplear, ya sean de pequeño espesor o gruesos, deberán disponerse de forma continua sobre toda la superficie del firme y no localizados únicamente sobre las juntas o las fisuras.

Los tratamientos de pequeño espesor pueden estar formados por geotextiles impregnados, morteros bituminosos u otros procedimientos análogos suficientemente contrastados, que deberán ser aprobados por la Dirección General de Carreteras. Por su parte, los tratamientos gruesos podrán consistir en la disposición de una capa de zahorra artificial de 12 cm de espesor mínimo, o de una mezcla bituminosa de 6 cm de espesor mínimo y de suficiente flexibilidad para absorber, sin fisurarse, los movimientos horizontales que puedan producirse.

Los espesores de recrecimiento mínimos necesarios para rehabilitar estructuralmente un pavimento de hormigón con mezclas bituminosas se indican en la tabla 9. Los valores correspondientes a las categorías de tráfico pesado T32 y T4 (T41 y T42) pueden no ser suficientes para evitar la aparición de grietas de reflexión durante la vida útil prevista; sin embargo, la reflexión de grietas puede ser aceptable en este tipo de vías, en las que no es previsible que se produzca un deterioro importante y acelerado de la mezcla bituminosa, debido a la reducida intensidad del tráfico pesado.

TABLA 9. ESPESORES DE RECRECIMIENTO DE FIRMES CON PAVIMENTO DE HORMIGÓN MEDIANTE MEZCLA BITUMINOSA (cm)

TIPO DE TRATAMIENTO DEL PAVIMENTO ANTIGUO	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2 y T31	T32	T4
Rotura controlada y asentamiento del firme existente	25	20	16	12	9	6
Interposición de un sistema antirreflexión de fisuras (*)	20	15	12	10	7	4

(*) El espesor del sistema antirreflexión de fisuras utilizado no se tendrá en cuenta a efectos de recrecimiento.

10.5. ACTUACIONES DE CONSERVACIÓN PREVENTIVA

La estrategia de conservación más aconsejable para los firmes que tengan un pavimento de hormigón es la conservación preventiva, consistente en actuaciones localizadas encaminadas a evitar una aceleración en el proceso de degradación del pavimento existente.

10.5.1. DETERIOROS EN LAS JUNTAS

A excepción de los perfiles de materiales sintéticos y elastoméricos específicos, la vida útil de los productos utilizados para el sellado de las juntas de los pavimentos de hormigón suele ser muy inferior a la del firme, por lo que periódicamente habrá que proceder a su sustitución, con una frecuencia que dependerá del tipo de producto utilizado, o de la aparición de defectos de adherencia, extrusión o integridad del material utilizado.

Los desportillados y grietas en las proximidades de las juntas se corregirán mediante reparaciones de espesor parcial de la losa, consistente en eliminar el hormigón dañado y sustituirlo por un mortero o por un hormigón con características específicas. La reparación se proyectará sobre un rectángulo que englobe totalmente el defecto a subsanar. La dimensión del lado más pequeño de la zona de reparación no será inferior a 15 cm. Asimismo, la distancia mínima desde el borde del deterioro hasta el de la zona de reparación no será inferior a 5 cm.

En ningún caso las reparaciones de espesor parcial podrán afectar a más de un tercio del espesor de la losa. En caso de que el deterioro afectase a un espesor mayor, deberá procederse a la reparación de la losa a espesor completo. Además se procurará que la junta reparada quede en uno de los bordes de la zona de reparación, o bien centrada en ella, adoptándose las medidas oportunas para que la junta pueda seguir teniendo los mismos movimientos que el resto de la losa.

10.5.2. ACTUACIONES ESTRUCTURALES

En ocasiones el firme deberá repararse preventivamente para evitar problemas estructurales a corto o a medio plazo derivados de un aumento de las solicitaciones existentes, o por la aparición de un deterioro estructural de gravedad media o baja, pero que puede evolucionar rápidamente de no adoptarse ningún tipo de medida, como, por ejemplo, la pérdida de transferencia de carga entre las juntas. En el primero de los casos deberá incrementarse la capacidad estructural del pavimento de hormigón proyectando un recrecimiento o la disposición de un arcén de hormigón o de una banda de borde en el arcén existente, unidos al pavimento mediante barras de unión.

El restablecimiento de la transferencia de carga entre las juntas permitirá prevenir el desarrollo de deterioros en las juntas y grietas transversales del firme, pudiéndose llevar a cabo mediante la inserción de pasadores o mediante la colocación de conectores de otro tipo. La adopción de este último procedimiento exigirá la realización previa de un tramo de prueba para definir la eficacia del procedimiento y la autorización expresa de la Dirección General de Carreteras.

Otras posibles medidas preventivas podrán consistir en evitar los fallos estructurales producidos por un funcionamiento inadecuado de los sistemas de drenaje del firme. Para ello, deberán adoptarse las medidas encaminadas a impedir la acumulación de agua en la interfaz entre la base y el pavimento y en el contacto entre la calzada y el arcén, y a mantener los sistemas de drenaje, antiguos o nuevos, en unas condiciones aceptables de funcionamiento.

11.1. CRITERIOS GENERALES

La rehabilitación o renovación superficial tiene por objeto restaurar o mejorar las características superficiales del pavimento, adecuándolas a sus necesidades funcionales y de durabilidad. A diferencia de la rehabilitación estructural, no tiene como finalidad aumentar la capacidad resistente del firme, aun cuando en determinados casos pueda mejorarla.

Para el estudio y la selección de las actuaciones de rehabilitación superficial más adecuadas, se seguirá la metodología indicada en el apartado 3. La carretera objeto de estudio se dividirá en tramos de comportamiento superficial uniforme, de acuerdo con los datos básicos, la inspección visual y la auscultación con equipos de medida de características superficiales. Analizadas las deficiencias, se corregirán con los procedimientos y materiales que se indican a continuación.

11.2. PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS ESPECÍFICAS PARA LA REHABILITACIÓN SUPERFICIAL

Según la característica superficial que sea necesario mejorar, dentro de los distintos procedimientos posibles de rehabilitación superficial, se elegirá entre los que se indican a continuación, salvo justificación en contrario.

Cuando sea necesario además reducir el ruido de rodadura, podrá recurrirse al empleo de capas de rodadura drenantes o de mezclas bituminosas discontinuas en caliente, justificando debidamente la solución de acuerdo con las indicaciones de los párrafos siguientes.

11.2.1. ADHERENCIA NEUMÁTICO-PAVIMENTO (TEXTURA Y RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO)

La extensión de una capa de rodadura de mezclas bituminosas, proyectada para la mejora de la regularidad superficial, o para una rehabilitación estructural, contribuirá también a regenerar la adherencia neumático-pavimento. Por ello, la resolución específica de una inadecuada textura superficial de un tramo de carretera se llevará a cabo sólo si se dispone de un adecuado perfil longitudinal y transversal, así como de una suficiente capacidad estructural del firme.

En el caso de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 y T0 o con intensidad de circulación por calzada mayor de 10 000 vehículos/día, se proyectará un tratamiento con mezclas bituminosas discontinuas en caliente. En los demás casos se podrá proyectar también un tratamiento superficial con lechadas bituminosas. En las carreteras con categorías de tráfico pesado T3 (T32) y T4 (T42 y T41), opcionalmente podrán utilizarse riegos con gravilla, siempre que no tengan la función de vías de servicio no agrícola de autopistas y autovías, en cuyo caso se utilizarán lechadas bituminosas.

Como solución en tramos localizados, a la espera de otra más definitiva con aportación de materiales, podrán emplearse para la mejora de la textura superficial técnicas de microfresado superficial o de ranurado.

En el caso de detectarse problemas de deslizamiento en pavimentos de hormigón, se corregirán a través del tratamiento de la superficie mediante microfresado, ranurado, o mediante técnicas con aportación de material, previa justificación y aprobación de la Dirección General de Carreteras.

Con el fin de mejorar la seguridad y la comodidad en tiempo de lluvia, sobre pavimentos bituminosos podrán utilizarse mezclas drenantes, previa justificación, teniendo en cuenta los criterios establecidos en el apartado 8.4 y tabla 11, y siempre que las características climáticas, de trazado y de tráfico lo aconsejen, especialmente en zonas urbanas y periurbanas con alta intensidad de tráfico ($IMD \geq 10\,000$ vehículos/día).

Las actuaciones de renovación de la textura deberán extenderse siempre a la totalidad de la plataforma, excepto si su espesor es menor de 1 cm, en cuyo caso podrá limitarse a la anchura completa de uno o de varios carriles.

11.2.2. REGULARIDAD SUPERFICIAL

Para corregir deficiencias de regularidad superficial en cualquier tipo de pavimento, se utilizarán técnicas de eliminación (mediante cepillado o fresado), recrecimiento o combinación de ambas. Cuando se evalúe la conveniencia de este tipo de actuaciones y se decida su aplicación, los valores máximos de IRI a alcanzar serán los establecidos en la tabla 10.

Siempre que sea posible, y al objeto de evitar soluciones basadas en recrecimientos de espesores muy variables y difíciles de construir con la calidad adecuada, los defectos de regularidad superficial se corregirán mediante la eliminación de los puntos altos por cepillado de la superficie. En el caso de una rehabilitación estructural con un espesor de recrecimiento inferior a 10 cm y con necesidades de adecuación del perfil longitudinal o transversal, se deberán analizar técnica y económicamente, los posibles métodos para la corrección del perfil mediante cepillado o fresado, antes de proceder a la extensión de la capa o capas específicas de la rehabilitación estructural.

En pavimentos de hormigón el escalonamiento de juntas deberá corregirse en todas las losas en que se supere el valor de 3 mm, o cuando el IRI del tramo en estudio supere los valores indicados en la tabla 10. La corrección del escalonamiento podrá realizarse mediante fresado de la junta o mediante inyección de lechada, pero este segundo procedimiento sólo se utilizará si la capa de apoyo del pavimento estuviera erosionada. En todos los casos, antes de proceder a la corrección del escalonamiento se comprobará si puede estar asociado a un mal funcionamiento del sistema de drenaje del firme, que deberá solucionarse previamente.

En cualquier pavimento, los puntos bajos producidos por asentamiento general de la explanada o por consolidación de rellenos mal compactados (por ejemplo, junto a los estribos de las obras de paso), se corregirán con mezcla bituminosa, adecuando las capas y sus espesores para conseguir las prescripciones referentes a la regularidad superficial indicadas en la tabla 10.

11.2.3. TRATAMIENTO DE GRIETAS

Aunque el sellado de grietas en pavimentos bituminosos es una operación habitual de conservación, cuando sea necesario hacerla para asegurar la integridad e impermeabilidad del firme, se procederá como se indica en el apartado 9.4. Asimismo, en los pavimentos de hormigón los defectos superficiales tales como grietas de retracción, fisuración, descarnaduras, etc., deberán corregirse mediante reparaciones de espesor parcial de la losa, según los criterios indicados en el apartado 10.5.1 para la reparación de desportillados y grietas en las proximidades de las juntas.

En los pavimentos continuos de hormigón armado las grietas transversales finas no requerirán ningún tipo de actuación, siempre que su abertura sea inferior a 1 mm. Si es superior se procederá a realizar reparaciones de espesor parcial de la losa, según los criterios indicados en el apartado 10.5.1 para la reparación de desportillados y grietas en las proximidades de las juntas.

11.3. MATERIALES ESPECÍFICOS DE REHABILITACIÓN SUPERFICIAL

A los efectos de la aplicación de esta norma, sólo se han considerado para el proyecto de una rehabilitación superficial las unidades de obra más usuales en el momento de su redacción y de comportamiento suficientemente experimentado. Si, por razones económicas, se justificase el empleo de otras distintas, se realizará un estudio específico de sus características, para proyectar correctamente la solución de rehabilitación superficial, que en todo caso deberá ser aprobada por la Dirección General de Carreteras.

Las características generales de los materiales y la ejecución de las unidades de obra serán las definidas en el articulado del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) o del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras y Puentes (PG-4).

11.4. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

Entre las posibles soluciones de rehabilitación superficial deberá realizarse un estudio técnico y económico, seleccionando aquella que, además de dar solución a los problemas existentes, sea más ventajosa en la relación coste-durabilidad y haciendo prevalecer en cualquier circunstancia los criterios de mejora de la seguridad de la circulación.

Si, además de la rehabilitación superficial, el tramo objeto de estudio necesita una actuación de tipo estructural (incluida alguna con criterio preventivo) que suponga la extensión de una capa de rodadura nueva, se optará por la integración de ambas en la solución de rehabilitación estructural.

12.1. GENERALIDADES

En la rehabilitación de firmes mediante las soluciones más convencionales pueden plantearse ciertos problemas cuya previsión y detenido estudio en la fase de proyecto servirá para adoptar la solución más correcta en cada caso. En este sentido el mantenimiento del tráfico en condiciones aceptables para los usuarios, en especial en lo que se refiere a la seguridad de la circulación vial, podrá ser causa determinante para la elección del tipo de rehabilitación.

Si el firme está muy deformado, será necesario reperfilarlo antes de la rehabilitación; además, como se ha señalado en los apartados correspondientes, en el proyecto de rehabilitación estructural deberán tenerse en cuenta las reparaciones localizadas y las mejoras del drenaje tanto superficial como subterráneo. También se considerarán los problemas ocasionales que puedan presentarse en los ensanches del firme, en las pequeñas correcciones de trazado y en la rehabilitación de los arceles.

12.2. MEJORAS DEL DRENAJE EXISTENTE

De la evaluación del firme existente (apartado 5), se puede deducir en ciertos casos la necesidad de efectuar correcciones de drenaje, bien porque no exista, porque el existente sea insuficiente o porque su funcionamiento sea deficiente.

Cuando sea posible, el drenaje se corregirá con la antelación suficiente para que sus efectos se pongan de manifiesto antes de determinar la actuación de rehabilitación necesaria.

Entre los procedimientos de mejora del drenaje que se deberán estudiar, pueden citarse:

- La profundización o limpieza de cunetas para dar salida al agua, así como la idoneidad de su revestimiento (si se opta por la profundización deberán adoptarse en ocasiones medidas complementarias para garantizar que no se vea afectada la seguridad de la circulación).
- El establecimiento de drenes subterráneos longitudinales o en espina de pez.
- El aumento del número de sumideros y de desagües.
- Las correcciones localizadas del perfil.

Para proyectar estas soluciones, deberá tenerse en cuenta, en todo caso, la normativa vigente sobre drenaje.

12.3. AMPLIACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

En caso de que sea necesario proyectar ensanches, habrá que tener cuidado no sólo de no perjudicar el drenaje del firme, sino de mejorarlo, siempre que sea posible, realizando el ensanche con un material realmente drenante o colocando los dispositivos adecuados de drenaje del firme.

Dadas las dificultades de ejecución de este tipo de obras (estado de los bordes de la zona excavada, dificultades de extensión y compactación de las distintas capas, etc.), deberán realizarse de

acuerdo con una programación detallada aprobada con suficiente antelación. La excavación se proyectará escalonada y saneando suficientemente los bordes del firme existente (figura 1). Si el suelo de la explanada es inadecuado o marginal según el artículo 330 del PG-3, se estabilizará con cemento o con cal, según corresponda, para conseguir un material homogéneo y de capacidad de soporte suficiente, así como para evitar una excavación más profunda que pueda modificar la evacuación del agua y dificultar la construcción.

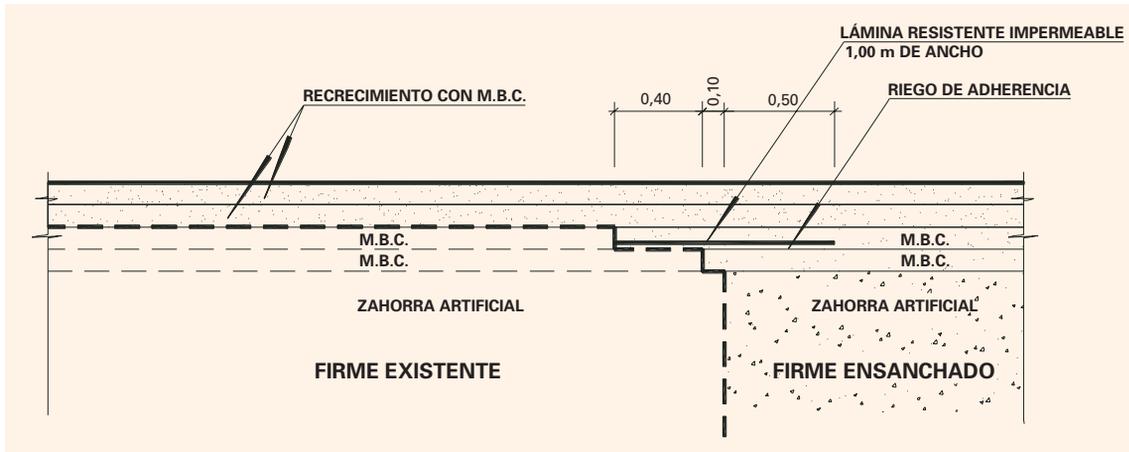


FIGURA 1. ESQUEMA DE SECCIÓN TIPO DE ENSANCHE DE FIRME

Los ensanches deberán proyectarse con una sección estructural de capacidad resistente similar a la del resto de la sección del firme, y compactando convenientemente los materiales para que no se produzca, por asiento diferencial, un escalón o una grieta longitudinal. Además, el contacto entre el firme existente y el ensanche nunca deberá coincidir con la futura zona de rodada de los vehículos pesados.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y los Planos del Proyecto fijarán la longitud máxima de excavación sin rellenar y la señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos que se necesiten, así como el plazo máximo de tiempo que puede transcurrir entre el inicio y la terminación del ensanche.

La zona de ensanche se señalará y balizará de forma adecuada, según la Norma 8.3 IC de Señalización de Obras, y, salvo justificación en contrario, se colocará una barrera de seguridad rígida tipo TD.

El dimensionamiento de los ensanches se realizará adaptando al caso que corresponda, las secciones de la Norma 6.1 IC de Secciones de firme. Para paliar los efectos derivados de la dificultad de ejecución, podrá aumentarse en una categoría del tráfico pesado considerada en el proyecto de la rehabilitación estructural. Por razones constructivas, podrá ser conveniente enrasar la base o subbase del ensanche con la capa superior del firme existente y extender sobre ambos firmes el recrecimiento necesario.

12.4. CORRECCIONES DE TRAZADO

Salvo justificación en contrario, el dimensionamiento del firme se realizará de acuerdo con la Norma 6.1 IC de Secciones de firme en las correcciones de trazado de longitud superior a un kilómetro. En longitudes inferiores podrá ser de aplicación dicha norma o bien los criterios indicados en el apartado 12.3 para los ensanches del firme.

En los tramos interurbanos que se inundan sistemáticamente, se realizará un estudio hidrológico para determinar si dicha anomalía se produce por falta de capacidad de desagüe o por estar la

rasante en una cota inundable. En el primer caso se ampliará el drenaje transversal de acuerdo con lo establecido en la Norma 5.2-IC de Drenaje superficial y en el segundo caso se elevará la rasante hasta la cota definida en el estudio hidrológico correspondiente.

En las correcciones de peraltes, se exigirá al material utilizado unas condiciones de estabilidad suficientes para que no se produzcan desplazamientos laterales. Los espesores necesarios para la adecuación del perfil transversal no se considerarán en el cálculo del recrecimiento, salvo que, por razones constructivas, se requiera un espesor mínimo en toda la sección del carril de cálculo que se rehabilita; en este caso, podrá disminuirse dicho espesor del total necesario.

12.5. ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS

Cuando, tras el recrecimiento del firme, los sistemas de contención existentes no cumplan las condiciones mínimas exigidas por la normativa vigente, se incluirá en el proyecto de rehabilitación su adecuación para cumplir lo establecido en la Orden Circular 321/95 T y P "Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos" o normativa que la sustituya.

12.6. REGULARIZACIÓN SUPERFICIAL

Las obras de rehabilitación estructural se proyectarán en cualquier circunstancia teniendo en cuenta la necesidad de conseguir una regularización de la superficie de la calzada y alcanzar, como mínimo, los valores del IRI, en cada porcentaje de hectómetros del tramo, que se indican en la tabla 10, en función del tipo de vía y del espesor de recrecimiento previsto.

TABLA 10. VALORES MÁXIMOS DEL IRI (dm/hm) QUE DEBEN OBTENERSE EN LOS RECRECIMIENTOS (*)

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS DEL TRAMO	TIPO DE VÍA			
	CALZADAS DE AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS		RESTO DE VÍAS	
	ESPESOR DE RECRECIMIENTO (cm)			
	> 10	≤ 10	> 10	≤ 10
50	1,5	1,5	1,5	2,0
80	1,8	2,0	2,0	2,5
100	2,0	2,5	2,5	3,0

(*) Los valores de IRI obtenidos con los equipos de medida deberán incluir los coeficientes de corrección establecidos por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento para cada equipo.

En el caso de que el recrecimiento se realice mediante un pavimento de hormigón los valores del IRI que se obtengan serán como máximo los indicados en la tabla 10 para el espesor de recrecimiento mayor que 10 cm y el tipo de vía que corresponda.

A los efectos de aplicación de este apartado, se excluyen los firmes y pavimentos constituidos por capas granulares y tratamientos superficiales en los que la actuación de rehabilitación consista únicamente en la aplicación de otro tratamiento superficial (riego con gravilla o lechada bituminosa).

Sólo podrá emplearse material granular para la regularización si el firme existente está constituido por una base granular y un pavimento de tratamiento superficial y siempre previa escarificación de dicho firme.

Cuando el recrecimiento pueda hacerse con más de una capa de mezcla bituminosa, la regularización se proyectará siempre en la capa inferior, de modo que en cualquier punto de la sección transversal el espesor total que se obtenga sea superior a los valores mínimos que figuran en la tabla 5.

Cuando el recrecimiento se reduzca a una única capa, y el IRI del firme que se va a rehabilitar supere los valores de la tabla 10, se proyectará una capa de regularización adicional con el espesor mínimo posible para corregir la irregularidad del firme, y sobre ella se dispondrá la capa de rodadura prevista. En este caso se deberán tener en cuenta los criterios indicados en el apartado 11.2.2, referentes a cómo se debe regularizar y conseguir un adecuado perfil longitudinal o transversal.

En el caso de eliminación mediante fresado y reposición del firme existente, se utilizará un fresado o cepillado adicional de los puntos elevados, para corregir las deficiencias de regularidad superficial que den valores de IRI superiores a los indicados en la tabla 10. En caso de que no fuera posible, se deberá proyectar una solución combinada de regularización y de fresado, con el recrecimiento previsto en cada caso.

En todos los casos, en el preceptivo análisis técnico y económico indicado en el apartado 7.3, se tendrán en cuenta los incrementos de volumen de mezcla bituminosa o de la superficie de tratamiento por fresado necesarios para obtener la regularidad superficial requerida antes de la ejecución del recrecimiento.

12.7. REHABILITACIÓN DE ARCENES

Para las categorías de tráfico pesado T00 a T31 y en las vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías es preceptivo, por exigencias de seguridad de la circulación vial, proyectar los arcenes con una capa de rodadura completa transversalmente y con la misma rasante que la calzada, de manera que no haya un escalón entre ambas superficies.

En el caso de que, de acuerdo con los estudios de tráfico, se consideren probables solicitudes más intensas que las que en principio corresponderían a la categoría de tráfico pesado adoptada, será posible justificar, con carácter excepcional, secciones de los arcenes de mayor capacidad estructural que las indicadas en este apartado, previa autorización de la Dirección General de Carreteras. En este supuesto se podría llegar incluso a disponer el mismo firme que en la calzada, aprovechando las ventajas constructivas y permitiendo así en caso necesario utilizar los arcenes como carriles adicionales. Esta posible solución se valorará técnica y económicamente de manera especial en autopistas y autovías urbanas y periurbanas con intensidades de tráfico superiores a veinticinco mil vehículos al día ($IMD > 25\ 000$ vehículos/día).

Para las categorías de tráfico pesado T32 y T4 (T41 y T42) el arcén, que se deberá proyectar siempre enrasado con la calzada, podrá no estar pavimentado, o tener un pavimento constituido por un tratamiento superficial. El firme del arcén estará constituido por zahorra artificial, procurando enrasar con una de las capas del firme de la calzada; y el resto, hasta la explanada, podrá ser de zahorra artificial o de suelo seleccionado. Si no se pavimentase se proyectarán arcenes con zahorras cuyos finos tengan un índice de plasticidad (IP) entre 6 y 10.

En vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías el arcén tendrá un pavimento constituido por un tratamiento superficial, el cual podrá no disponerse en los demás casos. La capa de base estará constituida por zahorra artificial, procurando enrasar con una de las capas del firme de la calzada; el resto, hasta llegar a la explanada, será de zahorra, o de suelo seleccionado con un CBR ≥ 20 , en las condiciones especificadas de puesta en obra.

12.7.1. REHABILITACIÓN DE LA CALZADA CON PAVIMENTO BITUMINOSO

En el supuesto de rehabilitación de la calzada con soluciones que supongan su recrecimiento, el firme de los arcenes de anchura no superior a 1,25 m será prolongación del firme de la calzada rehabilitada adyacente. Su ejecución será simultánea, sin junta longitudinal entre la calzada y el arcén.

En arcenes de anchura superior a 1,25 m, si constructivamente fuese posible, se adoptará una de las soluciones que se indican en el apartado 7 (arcenes) de la Norma 6.1 IC de Secciones de firme.

12.7.2. REHABILITACIÓN DE LA CALZADA CON PAVIMENTO DE HORMIGÓN

En el caso de rehabilitación de firmes mediante pavimento de hormigón, en las categorías de tráfico pesado T00 y T0 el pavimento del arcén será de hormigón en masa, de idénticas características que el utilizado en la calzada. El arcén irá atado al pavimento de la calzada mediante barras de unión de 12 mm de diámetro y 80 cm de longitud, situadas a mitad del espesor, perpendiculares a la junta longitudinal y espaciadas 1 m. Salvo justificación en contrario, la textura superficial del arcén será transversal.

El recrecimiento de arcenes mediante hormigón en masa tendrá un espesor mínimo de 15 cm, salvo en sus 50 cm interiores en los que su espesor deberá coincidir con el correspondiente al recrecimiento de la calzada.

Para carreteras con categoría de tráfico pesado T1, si el arcén está pavimentado con hormigón se podrá utilizar una solución semejante a la anterior. Alternativamente, se podrá disponer un arcén de hormigón magro vibrado (artículo 551 del PG-3) de espesor uniforme e igual al del pavimento de la calzada y atado a éste mediante barras de unión.

En los restantes casos de recrecimiento mediante pavimento de hormigón, se dispondrá un arcén formado por una capa de rodadura de mezcla bituminosa en caliente de 5 cm de espesor apoyada sobre una capa de zahorra artificial. La junta entre el pavimento y el arcén deberá sellarse en zona pluviométrica lluviosa. Si tras la rehabilitación los arcenes se pavimentan, en carreteras con categorías de tráfico pesado T3 (T32) y T4 (T41 y T42) podrá sustituirse la capa de mezcla bituminosa por un tratamiento superficial.

12.7.3. OTRAS RECOMENDACIONES

El espesor total de pavimento en los arcenes no será nunca superior al especificado en la Norma 6.1 IC de Secciones de firme, excepto por limitaciones constructivas derivadas de una rasante elevada de la calzada, debida a un importante espesor de recrecimiento. En este supuesto, y teniendo en cuenta la gran incidencia que en la medición pueden tener los arcenes en carreteras con calzadas separadas, será imprescindible estudiar soluciones de eliminación y reposición parcial del firme y recrecimiento, frente a las de simple recrecimiento. En todo caso, deberá hacerse un estudio económico que determine la solución más apropiada. En el caso de que se prevean solicitudes anormalmente intensas, podrán justificarse rehabilitaciones de arcenes de mayor capacidad estructural a las indicadas en los apartados anteriores.

Si la calzada que se va a rehabilitar dispusiera de una capa de rodadura drenante, y ésta debiera seguir manteniendo esa función drenante, se deberá prolongar en el arcén hasta desaguar a un sistema de drenaje adecuado.

Para fijar los espesores de las capas del firme del arcén se tendrá en cuenta la distribución del firme de la calzada, a fin de coordinar su construcción. Si a medio plazo fuera previsible ensanchar la calzada a costa del arcén, se procurará asimismo adoptar la solución más compatible posible con la futura actuación.

En el caso de que la calzada dispusiera de una capa o elemento inferior drenante o de separación, éstos se prolongarán bajo el arcén hasta conectar con un sistema de drenaje adecuado.

ACTUACIÓN PREVENTIVA: Conjunto de operaciones que se realizan para prolongar la vida útil de un firme que no presenta aún agotamiento estructural.

AGOTAMIENTO ESTRUCTURAL: Estado de un firme que presenta una degradación estructural generalizada.

ARCÉN: A los efectos de esta norma se define como la franja longitudinal contigua a la calzada, dotada de firme, pero no destinada al uso de vehículos automóviles más que en circunstancias excepcionales.

AUSCULTACIÓN DE UN FIRME: Reconocimiento de las características estructurales o superficiales de un firme mediante equipos específicos de medida.

BACHEO: Operación específica de conservación cuyo objeto es la eliminación de un bache.

CALZADA: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de uno o de varios carriles.

CAPA DE BASE: Capa del firme situada debajo del pavimento cuya misión es eminentemente estructural.

CAPA DE RODADURA: Capa superior o única de un pavimento de mezcla bituminosa.

CAPA INTERMEDIA: Capa de un pavimento de mezcla bituminosa situada debajo de la capa de rodadura.

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

CARRIL DE PROYECTO: Carril por el que en una calzada circula el mayor número de vehículos pesados.

CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO: Intervalos que se establecen, a efectos del dimensionamiento de la sección estructural del firme, para la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMD_p).

CORRECCIÓN DE TRAZADO: Modificación localizada del trazado de una vía consistente, por ejemplo, en el aumento del radio de una curva, en el cambio de la pendiente transversal, en el aumento del parámetro de un acuerdo vertical, etc.

DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA: Valor de la deflexión que corresponde a la media de las deflexiones más dos veces el valor de la desviación típica muestral de las deflexiones en un tramo homogéneo de comportamiento uniforme.

DEFLEXIÓN DE CÁLCULO: Deflexión característica de un tramo homogéneo corregida por humedad y temperatura.

DEFLEXIÓN PATRÓN: Recuperación elástica de la superficie de un firme, al tomarse su medida mediante la viga Benkelman, siguiendo el método de recuperación y en las condiciones indicadas en la norma NLT-356.

DETERIORO: Alteración producida en la superficie de un pavimento, detectable visualmente y producida por un defecto de construcción o por la acción del tráfico, del agua o de las acciones climáticas.

DIAGNÓSTICO: Identificación de las posibles causas de un deterioro.

ESTUDIO ESPECIAL: El que ha de llevarse a cabo cuando se miden deflexiones anormalmente elevadas para el tipo de firme que se está analizando y para la categoría de tráfico pesado que le corresponde.

EXPLANADA: Superficie sobre la que se apoya el firme, no perteneciente a su estructura.

DESMONTE: Parte de la explanación situada bajo el terreno original.

FIRME: Conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados, y, generalmente, tratados, que constituye la superestructura de la plataforma, resiste las cargas del tráfico y permite que la circulación tenga lugar con seguridad y comodidad.

FIRME FLEXIBLE: Firme constituido por capas granulares no tratadas y por un pavimento bituminoso de espesor inferior a 15 cm (puede ser un tratamiento superficial).

FIRME SEMIFLEXIBLE: Firme constituido por capas de mezcla bituminosa, de espesor total igual o superior a 15 cm, sobre capas granulares no tratadas.

FIRME SEMIRRÍGIDO: Firme constituido por un pavimento bituminoso de cualquier espesor sobre una o más capas tratadas con conglomerantes hidráulicos, con espesor conjunto de éstas igual o superior a 18 cm y cuyo comportamiento garantice todavía una contribución significativa a la resistencia estructural del firme.

FRESADO: Levantamiento de los materiales del firme a temperatura ambiente y en una cierta profundidad, mediante un equipo autopropulsado que dispone de un rotor provisto de elementos punzantes, cuya misión es disgregar el material existente.

GRAVACEMENTO: Mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y excepcionalmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carreteras.

GRIETA (FISURA): Discontinuidad o línea de rotura en la superficie de un pavimento.

GRIETA DE ORIGEN ESTRUCTURAL: La que aparece como consecuencia del agotamiento estructural de alguna de las capas del firme.

GRIETA DE ORIGEN NO ESTRUCTURAL: La producida por una causa diferente del agotamiento estructural de alguna de las capas del firme: retracción hidráulica o térmica, fluencia, etc.

HORMIGÓN MAGRO VIBRADO: Mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y aditivos, empleada en capas de base bajo pavimentos de hormigón, que se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación.

INSPECCIÓN VISUAL: Reconocimiento de la superficie de la carretera destinado a identificar los posibles deterioros del pavimento y los elementos del entorno que puedan influir en el estado del firme.

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

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

LEY DE FATIGA: Expresión matemática que permite estimar el número de aplicaciones de carga que un material puede soportar hasta su agotamiento, en función de un determinado parámetro característico de su comportamiento estructural.

MEZCLA BITUMINOSA ABIERTA EN FRÍO: Combinación de una emulsión bituminosa, áridos con un contenido de finos muy reducido y aditivos, de manera que todas las partículas de árido que-

den recubiertas de una película de ligante. Su proceso de fabricación no implica calentar el ligante ni los áridos, y su puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

MEZCLA BITUMINOSA DE ALTO MÓDULO: Mezcla bituminosa en caliente en la que el valor del módulo dinámico a veinte grados Celsius (20 °C), según la NLT-349, es superior a once mil megapascals (11 000 MPa).

MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE: Combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (incluido el polvo mineral) y aditivos, de manera que todas las partículas de árido queden recubiertas de una película de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los áridos, y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

MEZCLA BITUMINOSA DISCONTINUA EN CALIENTE: Mezcla bituminosa en caliente para capas de rodadura cuyos áridos presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamaños inferiores del árido grueso.

MICROFRESADO: Técnica de fresado que afecta a una profundidad muy reducida, con el objeto de mejorar significativamente la textura superficial del pavimento o colaborar en la regularización de la superficie a rehabilitar. A esta técnica especializada se la denomina también cepillado.

MÓDULO DE ELASTICIDAD: En un material de comportamiento esencialmente elástico es el cociente entre la tensión aplicada en un ensayo uniaxial y la deformación unitaria producida en el mismo eje.

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

PAVIMENTO DE HORMIGÓN: Pavimento constituido por losas de hormigón en masa, separadas por juntas, o por una losa continua de hormigón armado; el hormigón se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación y maquinaria específica para su extensión y acabado superficial.

PERÍODO DE SERVICIO: Período de tiempo considerado para el proyecto y dimensionamiento de la rehabilitación estructural de un firme.

RECICLADO EN CENTRAL: Técnica de reciclado en la que los materiales levantados se llevan a una central de fabricación para mezclarlos, en caliente, con una cierta proporción de materiales de aportación.

RECICLADO IN SITU: Técnica de reciclado en la que los materiales levantados para su aprovechamiento no se trasladan fuera de la carretera.

RECICLADO: Rehabilitación de un firme consistente en el levantamiento, normalmente por fresado, de los materiales que han estado en servicio, su mezcla con materiales de aportación y su aplicación en el mismo lugar o en otro diferente.

RECONSTRUCCIÓN PARCIAL DEL FIRME: Eliminación parcial y reposición del firme existente que no afecta a la totalidad del espesor.

RECONSTRUCCIÓN TOTAL DEL FIRME: Sustitución completa del firme existente por otro de nueva construcción en la totalidad de un tramo, o zona de la carretera.

RECRECIMIENTO: Colocación de una o varias capas sobre un firme existente para aumentar su capacidad estructural, adecuándola a las condiciones previsibles de tráfico durante su vida útil.

REGULARIZACIÓN SUPERFICIAL: Actuación localizada o generalizada destinada a eliminar en todo o en parte las irregularidades de un pavimento.

REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL: Aumento de la capacidad estructural del firme existente, adecuándola a las condiciones previsibles de tráfico durante su vida útil.

REHABILITACIÓN SUPERFICIAL: Restauración o mejora de las características superficiales de un firme. A diferencia de la rehabilitación estructural, no tiene por objeto aumentar la capacidad resistente del firme, aun cuando en determinados casos pueda mejorarla.

-
- REPOSICIÓN DEL FIRME:** Eliminación en una zona de la capa o capas deterioradas del firme hasta la profundidad necesaria, sustituyéndolas por otra u otras de materiales adecuados, que pueden no ser los del firme existente.
- RIEGO DE ADHERENCIA:** Aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa tratada con ligantes hidrocarbonados o con conglomerantes hidráulicos, previa a la colocación sobre ésta de una mezcla bituminosa.
- RIEGO DE CURADO:** Aplicación de una película continua y uniforme de emulsión bituminosa sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, al objeto de impedir la evaporación prematura de humedad.
- RIEGO DE IMPRIMACIÓN:** Aplicación de un ligante hidrocarbonado sobre una capa granular, previa a la colocación sobre ésta de una capa bituminosa.
- SELLADO DE GRIETAS:** Actuación de conservación localizada en las grietas para impedir el paso del agua a través de ellas y limitar en la medida de lo posible los movimientos de sus bordes.
- SUELOCEMENTO:** Mezcla homogénea de materiales granulares (zahorra, suelo granular o productos inertes de desecho), cemento, agua y eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera.
- TERRAPLÉN:** Parte de la explanación situada sobre el terreno original.
- TRAMIFICACIÓN:** Estudio de una carretera destinado a establecer en ella tramos homogéneos de cara a una eventual rehabilitación del firme.
- TRAMO HOMOGÉNEO DE COMPORTAMIENTO UNIFORME:** Tramo homogéneo en su origen, cuyo firme se encuentra en un mismo estado superficial o estructural, según una inspección visual y una auscultación con equipos.
- TRAMO HOMOGÉNEO:** Segmento de carretera que tiene idéntica sección estructural del firme (naturaleza y espesor de las capas), realizada en el mismo o los mismos años, y sobre el que circula un tráfico pesado de la misma categoría.
- TRATAMIENTO SUPERFICIAL:** Técnica de pavimentación cuyo objetivo es dotar al firme de unas ciertas características superficiales, sin aumento directo y apreciable de la capacidad resistente ni tampoco en general de la regularidad superficial.
- UMBRAL:** Valor a partir del cual deben considerarse los efectos de una determinada característica.
- VEHÍCULO PESADO:** A los efectos de esta norma se incluyen con esta denominación los camiones de carga útil superior a 3 t, de más de 4 ruedas y sin remolque; los camiones con uno o varios remolques; los vehículos articulados y los vehículos especiales; y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.
- VÍA DE SERVICIO:** Camino sensiblemente paralelo a una carretera, respecto de la cual tiene carácter secundario, conectado a ésta solamente en algunos puntos, y que sirve a las propiedades o edificios contiguos. Puede ser con sentido único o doble sentido de circulación.
- VIDA RESIDUAL:** Período de tiempo que le queda de vida útil a un firme o a alguna de sus capas.
- VIDA ÚTIL:** Período de tiempo en el que el firme (o la capa del firme considerada) no presenta una degradación estructural generalizada.
- ZAHORRA:** Material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de firme. Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o parcialmente trituradas. Zahorra natural es el material formado básicamente por partículas no trituradas.
- ZONA SINGULAR:** Zona en la que el comportamiento y estado del firme es sensiblemente diferente que el del resto del tramo homogéneo en que se encuentra situada.

EQUIVALENCIA ESTRUCTURAL SIMPLIFICADA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE FIRMES

Como se pone de manifiesto en los capítulos 9 y 10, en esta norma se ha optado, para el dimensionamiento de las rehabilitaciones estructurales, por el procedimiento más generalizado entre las Administraciones de Carreteras. Se basa, fundamentalmente, en las relaciones, en cada tipo de sección estructural, entre las intensidades de tráfico pesado y los niveles de deterioro y las deflexiones. Sin embargo, en la preparación de las tablas de espesores de recrecimiento se ha recurrido también a comprobaciones con métodos de cálculo analítico.

Sin embargo la experiencia para el establecimiento de dichas relaciones no es suficientemente amplia cuando se trata de determinadas técnicas de rehabilitación (el reciclado, por ejemplo). Por otro lado, a veces es necesario recurrir a equivalencias estructurales entre unidades de obra diferentes; por ejemplo, eso ocurre cuando al ejecutar la rehabilitación se demuestra que el estado real del firme hace inviable la solución proyectada.

En consecuencia, si se justifica adecuadamente, esta norma no excluye en las categorías de tráfico pesado más bajas, T32 y T4 (T41 y T42), la posibilidad de un dimensionamiento con técnicas o materiales distintos de los incluidos expresamente en las tablas de espesores de recrecimiento, ya que determinadas condiciones locales pueden hacer que soluciones diferentes resulten de interés técnico o económico, con mejores resultados desde el punto de vista ambiental o de la seguridad de la circulación vial. Por esta razón se ha desarrollado la tabla 11, en la que se incluyen coeficientes de equivalencia (cociente entre los espesores de dos capas de diferente naturaleza que se supone aportan una capacidad estructural semejante), respecto a las mezclas bituminosas en caliente convencionales, para

TABLA 11. MATERIALES PARA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE FIRMES

MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	LEY DE FATIGA	LIMITACIONES CONSTRUCTIVAS
Mezcla bituminosa en caliente (Tipos D, S y G)	1	$\epsilon_r = 6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa de rodadura (D y S): <ul style="list-style-type: none"> – Para T00, T0 y T1: No admisible. – Para T2: 5-6 cm – Para T3 y T4: 5 cm. • Espesor mínimo de capa intermedia: 5 cm, excepto en capas de reposición, reperfilado y en arcenes. • Espesor mínimo de capa de base: 7 cm, excepto en capas de reposición, reperfilado y arcenes.
Mezcla bituminosa discontinua en caliente (Tipos M y F)	1	–	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa de rodadura: <ul style="list-style-type: none"> – Para T00 a T1: 3 cm. – Para T2 a T4: 2-3 cm.
Mezcla bituminosa en caliente (Tipo PA)	1	–	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa de rodadura: <ul style="list-style-type: none"> – Para T00 a T31: 4 cm. – Para T32 y T4: No admisible. • Ver apartado 8.4.

TABLA 11. (CONTINUACIÓN)

MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	LEY DE FATIGA	LIMITACIONES CONSTRUCTIVAS
Mezcla bituminosa abierta en frío	1	–	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa de rodadura: <ul style="list-style-type: none"> – Para T00 a T31: No admisible. – Para T32 y T4: ≤ 5 cm. ^(*) (*) Excepto vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías.
Mezcla bituminosa de alto módulo (MAM)	1,25	$\varepsilon_r = 6,617 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	<ul style="list-style-type: none"> • Únicamente se podrán utilizar si el espesor total de mezcla nueva fuera superior a 25 cm.
Reciclado en caliente en central de capas bituminosas ⁽¹⁾	0,8 a 1	Ley específica	<ul style="list-style-type: none"> • Ver apartado 9.1.
Gravacemento ⁽²⁾	–	$\frac{\sigma_r}{R_F} = 1 - 0,065 \cdot \log N$	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor mínimo: 20 cm. • Espesor máximo: 25 cm.
Gravaemulsión	0,75	Ley específica	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa: <ul style="list-style-type: none"> – Para T00 a T1: No admisible. – Para T2 a T4: 6 a 12 cm.
Gravaescoria	Material equivalente a la gravacemento, a la que podrá sustituir en algún tipo de soluciones.		
Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas ⁽³⁾	0,75	Ley específica	<ul style="list-style-type: none"> • Ver apartado 9.1. • Espesores: 6 a 12 cm.
Suelocemento ⁽²⁾	–	$\frac{\sigma_r}{R_F} = 1 - 0,080 \cdot \log N$	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor mínimo: 20 cm. • Espesor máximo: 30 cm.
Reciclado in situ con cemento de capas de firme	Material semejante al suelocemento al que podrá sustituir en algún tipo de soluciones.		<ul style="list-style-type: none"> • Ver apartado 9.1. • Espesores: 20 a 30⁽⁴⁾ cm.
Zahorra artificial	0,25 ⁽⁵⁾	$\varepsilon_z = 2,16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0,28}$	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor mínimo: 15 cm. • Espesor máximo: 30 cm.
Macadam	Material equivalente a la zahorra artificial, a la que podrá sustituir en algún tipo de soluciones.		

⁽¹⁾ Fabricación en central (su coeficiente de equivalencia dependerá de la proporción de material reciclado utilizado).

⁽²⁾ Únicamente se podrán proyectar recrecimientos que incluyan capas de base tratadas con cemento, cuando el espesor total de mezcla bituminosa de dicho recrecimiento sea superior a 18 cm para gravacemento, y de 15 cm en el caso del suelocemento. En el supuesto de utilizar dichos materiales en las categorías de tráfico pesado T00 a T2, se deberán prefisurar durante su construcción, con espaciamientos de 3 a 4 m.

⁽³⁾ El material a reciclar está formado por mezclas bituminosas, de acuerdo con el artículo 20 de la OC 8/2001 o normativa que la sustituya.

⁽⁴⁾ Este valor se podrá subir a 35 siempre y cuando en la obra se garantice una compacidad uniforme en todo el espesor de la capa.

⁽⁵⁾ Coeficiente de equivalencia aplicable especialmente en rehabilitación estructural con categoría de tráfico pesado T32, T41 y T42. Este tipo de solución deberá disponer de un pavimento de mezcla bituminosa en caliente muy flexible, de mezcla abierta en frío o de tratamientos superficiales.

N = número de ejes equivalentes de 128 kN (13 toneladas).

ε = deformación unitaria (ε_r = radial y ε_z = vertical).

σ_r = tensión de tracción en MPa.

R_F = resistencia a flexotracción del material en MPa.

los casos en los que fuese necesario recurrir a la equivalencia estructural entre diferentes materiales y no se disponga de los correspondientes módulos y leyes de fatiga de los materiales a utilizar.

Como aspecto muy importante en cualquier circunstancia, en dicha tabla se recogen también limitaciones constructivas, que deben ser tenidas en cuenta tanto en el proyecto como en la ejecución de la rehabilitación.

En algunos casos, para conseguir los espesores de recrecimiento de mezcla bituminosa, especificados en las tablas 5 ó 9 para las capas de mezclas bituminosas en caliente, los espesores indicados en la tabla 11 podrán no cumplirse, siempre y cuando se justifique y se satisfagan las siguientes condiciones:

- El espesor de una capa deberá ser siempre, mayor o igual que el espesor de su capa inmediatamente superior.
- Los espesores de las capas de rodadura deberán ser iguales a los establecidos en la tabla 11 o, excepcionalmente, diferir de ellos en no más de 1 cm.

1. OBJETO

Esta Guía tiene por objeto facilitar la labor del ingeniero que tenga que analizar las deflexiones de una carretera con pavimento bituminoso y, basándose en ellas, además de en otros datos, proyectar la rehabilitación estructural más adecuada en cada uno de los tramos homogéneos diferenciados que se establezcan a partir del análisis completo de sus problemas específicos.

La Guía pretende además simplificar y armonizar todas las fases de evaluación, interpretación y determinación de las deflexiones, así como del posterior cálculo de los espesores de eliminación parcial, reposición o recrecimiento con los que se definirán finalmente las actuaciones que hayan de llevarse a cabo.

Para el estudio del estado del firme de una carretera se dispondrá, como elementos básicos, de la evaluación del deflectograma y de la segmentación en tramos homogéneos de comportamiento uniforme, caracterizados por el valor medio de las deflexiones patrón, su dispersión y la deflexión característica.

Junto con las deflexiones, una inspección visual detallada definirá los trabajos complementarios de extracción de testigos, calicatas y eventuales ensayos que se deban realizar. La inspección visual se intensificará en aspectos concretos que convenga aclarar (como por ejemplo, zonas singulares que no cumplan las condiciones de tramificación, puntos o zonas de extensión muy limitada con deflexiones anormalmente altas, estado del drenaje, etc.). Es importante determinar los tramos homogéneos de comportamiento uniforme, cuyo estudio puede hacerse globalmente, incluso aunque no sean adyacentes. Se tendrá así una visión más amplia de los problemas, lo que puede reducir los trabajos de reconocimiento y análisis mediante extracción de testigos, calicatas, ensayos de laboratorio o in situ, u otros.

La inspección visual, las deflexiones y los otros parámetros de que se disponga, servirán para establecer una programación óptima de los trabajos de campo, que no deberán ser más que los necesarios (para evitar un mayor coste económico y un aumento de los plazos de estudio y de redacción del proyecto), ni menos de lo conveniente, para poder evaluar correctamente el estado del firme y definir con suficiente precisión las soluciones de rehabilitación.

En algún caso, la inspección visual puede ser determinante en la elección de la solución de rehabilitación más adecuada. También este tipo de reconocimiento cuidadoso juega un papel importante, aunque no exclusivo, en la determinación de la solución correcta en las zonas donde, por la magnitud de las deflexiones, se requiera un estudio especial o donde convenga un tratamiento singular y diferenciado.

En la mayoría de las ocasiones, las deflexiones excesivas en zonas de desmonte se deben a defectos de drenaje que deben corregirse. Es frecuente que, aunque no se llegue a esos valores considerados como excesivos, existan deficiencias generalizadas de drenaje (por lo menos, en lo que al drenaje superficial se refiere), que repercutan negativamente en la capacidad resistente del firme, y que habría que corregir en cualquier circunstancia, para garantizar la eficacia de cualquier solución de rehabilitación del firme que después se aplique.

El análisis de otros datos que proporcionan algunos equipos de medida de deflexión, como la línea de influencia de la deformada o el radio de curvatura, puede contribuir a clarificar o a cuantificar mejor los problemas y sus posibles soluciones.

2. ESTUDIO DE DEFLEXIONES

2.1. DEFLECTOGRAMA, TRAMIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE ZONAS SINGULARES

Para establecer una tramificación de zonas homogéneas a las que luego se aplicará una única solución de rehabilitación estructural, es recomendable disponer de una representación gráfica de las deflexiones (deflectograma), tomando como abscisas las distancias al origen de los puntos de medida y, como ordenadas, los valores de las deflexiones. Un ejemplo puede ser el esquematizado en la figura 2.

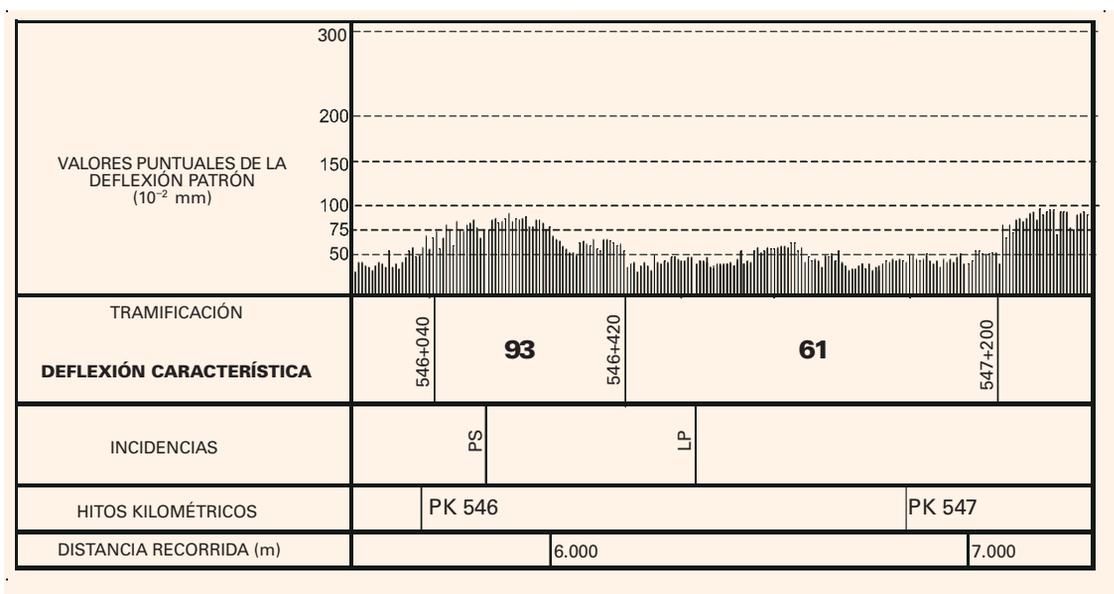


FIGURA 2. EJEMPLO DE DEFLECTOGRAMA

Se puede realizar visualmente en él una tramificación provisional de zonas homogéneas de comportamiento uniforme que complete o corrija la efectuada previamente, según lo indicado en el apartado 5.4 del cuerpo de esta norma. En la mayoría de los equipos de auscultación actuales, este deflectograma es proporcionado directamente por el propio equipo de medida.

Este método visual puede sustituirse o completarse con otros realizados mediante ordenador. Son interesantes, sobre todo, programas de tratamiento automático de las deflexiones que permiten determinar, de una manera precisa, tramos estadísticamente homogéneos mediante test de homogeneidad.

Como a efectos constructivos no es operativo que los espesores de recrecimiento varíen cada pocos metros, convendrá establecer en cada proyecto de rehabilitación estructural una longitud mínima operativa de tramo de estudio, considerándose zonas singulares, que requerirán un estudio especial, las que no alcancen la longitud mínima, que a los efectos de aplicación de esta Guía se considera de 100 m.

En un tramo homogéneo (ver apartado 5.4 del cuerpo de esta norma) que tenga un comportamiento uniforme, sus deflexiones se distribuirán aleatoriamente alrededor de la media (m), siguiendo una distribución normal con una desviación típica muestral (s). La experiencia acumulada en España sobre el tratamiento de las deflexiones medidas con cualquiera de los equipos de auscultación indica que es frecuente encontrar, en este tipo de tramos, unos coeficientes de (s/m) comprendidos entre 0,20 y 0,30. En tramos muy uniformes se dan valores inferiores a estos. Valores entre 0,30 y 0,40 indican menor uniformidad, pero se considera todavía aceptable. Si el coeficiente de variación de las deflexiones supera ampliamente el valor de 0,40, no podrá considerarse que el tramo tiene un comportamiento uniforme.

Como consecuencia de todo lo expuesto, la tramificación deberá hacerse, entre otros, con los criterios siguientes:

1. En los tramos homogéneos de comportamiento uniforme, los valores de las deflexiones variarán aleatoriamente en torno al valor medio (***m***).
2. Del orden del 95% de los valores de las deflexiones de cada tramo estarán comprendidos dentro del intervalo cuyo extremo superior sea vez y media el valor medio de las deflexiones, y cuyo extremo inferior sea la mitad de dicho valor medio (es decir, entre 0,5 ***m*** y 1,5 ***m***).
3. Se considerarán distintos los tramos con valores medios diferentes.
4. Dos tramos con los mismos valores medios, pero con diferentes amplitudes de variación de las deflexiones (o sea, diferente ***s***), serán asimismo distintos.
5. El coeficiente de variación de las deflexiones será inferior a 0,40.
6. La longitud de los tramos estará, en general, comprendida entre 200 y 1 000 m, diferenciando en el caso de autopistas, autovías y carreteras de calzadas separadas ambas calzadas a los efectos de tramificación de las deflexiones y cálculo de la rehabilitación estructural.
7. En cualquier caso, la longitud mínima en un tramo será de 100 m.

Analizado el deflectograma, las zonas que no hayan podido tramificarse según los criterios indicados, en especial los numerados como 2, 5 y 7, se considerarán como singulares y, por tanto, en ellos será preceptivo disponer de información complementaria, según se indica en el apartado 2.2.

2.2. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

Realizada la tramificación, según los criterios definidos en el apartado anterior, deberá ser comprobada y verificada in situ por el ingeniero encargado del proyecto de rehabilitación. Se estudiarán especialmente los casos en que exista discrepancia entre los valores de la deflexión, el aspecto superficial del pavimento y la sección estructural del firme, para conocer las razones de tal discrepancia, efectuando eventualmente trabajos adicionales de reconocimiento (nuevas medidas de deflexión, calicatas y ensayos complementarios, etc.).

La tabla 12 recoge y resume las diferentes opciones que se pueden presentar. En general, se considerará que hay suficiente concordancia cuando, siendo las deflexiones altas, el pavimento esté degradado y se estime que la sección estructural del firme es escasa para las solicitaciones que soporta; así mismo, cuando las deflexiones sean bajas, el pavimento presente buen aspecto superficial y la sección estructural del firme parezca adecuada para las solicitaciones que soporta. Estos dos supuestos corresponden a los números 1 y 8 de la tabla 12, mientras que los casos en que no hay tal concordancia vienen dados por los números 2 a 7 de la misma tabla. En ésta se indica la conveniencia o no de emplear en el dimensionamiento de la rehabilitación estructural los valores de las deflexiones y algunas posibles causas de las discrepancias observadas.

Conviene tener en cuenta que la calificación de las deflexiones como altas o bajas es relativa y éstas deben relacionarse siempre con las características de la sección estructural del firme existente; como es evidente, no cabe esperar los mismos valores de deflexión en los firmes flexibles, que en los semiflexibles y semirrígidos.

Sin perjuicio de lo anterior, deberán estudiarse con detalle las zonas singulares, en particular las de valores altos de deflexión, para proyectar y realizar en ellas los tratamientos necesarios independientes de la rehabilitación general, tales como mejora de drenaje, corrección de blandones, reparaciones específicas más profundas, reconstrucción total del firme, etc.

TABLA 12. COMPARACIÓN Y CONTRASTE DE LA INSPECCIÓN VISUAL, EL TIPO DE SECCIÓN ESTRUCTURAL Y LAS MEDIDAS DE LA DEFLEXIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE REHABILITACIÓN PRECISA (*)

CASO	ASPECTO SUPERFICIAL	SECCIÓN ESTRUCTURAL DEL FIRME	DEFLEXIONES	DIMENSIONAMIENTO POR DEFLEXIONES	OBSERVACIONES Y ALGUNAS CAUSAS POSIBLES DE DISCREPANCIA
1	Malo	Escasa	Altas	SÍ	Se precisa una rehabilitación estructural.
2	Malo	Escasa	Bajas	NO	Si las deflexiones son bajas por haberlas medido en época seca, repetir las en época adecuada o emplear un coeficiente corrector más ajustado al real. La aparente discrepancia también puede deberse a que alguna capa del firme haya sido tratada con un conglomerante hidráulico, y no se haya tenido en cuenta esta circunstancia.
3	Malo	Adecuada	Altas	DUDOSO	Si hay deterioros de una capa del firme o de la explanada, corregirlos antes de efectuar la rehabilitación generalizada. Si la vida útil del firme está agotada, puede dimensionarse la rehabilitación por deflexiones.
4	Bueno	Escasa	Altas	DUDOSO	Posible rehabilitación o renovación superficial reciente, firme recién construido (en tales casos, puede dimensionarse la rehabilitación por deflexiones).
5	Malo	Adecuada	Bajas	NO	Defectos en la capa superficial (debe hacerse rehabilitación superficial).
6	Bueno	Escasa	Bajas	NO	Si el buen aspecto del pavimento proviene de una reciente renovación superficial, se está en un caso análogo al 2.
7	Bueno	Adecuada	Altas	NO	Posible medida de deflexiones con temperatura elevada del pavimento, o tramo con pocas medidas.
8	Bueno	Adecuada	Bajas	SÍ	Puede no ser precisa una rehabilitación.

(*) Esta tabla es la adaptación a la tipología de firmes en España de una clásica tabla conceptual editada en revistas y documentos de congresos internacionales desde los años 70.

2.3. DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

Cada tramo homogéneo establecido se estudiará por separado y en él se determinará un valor de la deflexión que se considerará representativo del estado del firme. Lo normal será emplear un valor de deflexión característica d_k el cual, suponiendo que los valores de la deflexión se reparten según una curva de Gauss, vendrá definido por la expresión:

$$d_k = m + 2 s$$

en donde:

$$m = \frac{\sum d_i}{n}; \quad y \quad s = \sqrt{\frac{\sum (d_i - m)^2}{n-1}}$$

siendo:

d_i : la deflexión patrón, sin corregir por humedad y temperatura, del punto i .

n : el número de puntos medidos.

El coeficiente 2 que figura en la expresión de d_k equivale a una probabilidad del 97,5 % de que la deflexión característica no sea sobrepasada en el tramo (el valor 2 es una aproximación del 1,96 que se obtiene con una distribución normal).

Es importante, en todo caso, tratar independientemente las poblaciones de las deflexiones del carril derecho e izquierdo de la misma calzada, puesto que corresponden, en general, a familias claramente diferenciadas, para evitar cometer un error no admisible en el tratamiento de los datos y en el cálculo del espesor de recrecimiento correspondiente. La diferencia entre los valores de los diferentes carriles podría explicarse porque, aparte de que la sección estructural del firme es a veces distinta en ambos (sobre todo, si se ha ensanchado la carretera por un lado), las condiciones de drenaje y del suelo suelen ser diferentes en las carreteras a media ladera, y también en ocasiones las de drenaje en los desmontes, ya que el agua del subsuelo puede provenir preferentemente del lado derecho o izquierdo de la carretera, en función de las pendientes longitudinales y transversales de la calzada y de la explanada.

Si se miden por separado las deflexiones en la rueda derecha e izquierda del equipo de auscultación, como hacen los deflectógrafos, se podrá observar también que las medidas corresponden a poblaciones distintas, siendo generalmente más desfavorables la de la rodada derecha, situada más cerca del borde de la carretera, que la de la rodada interior, correspondiente al centro, que normalmente tiene menos humedad en la explanada.

Cuando la solución de rehabilitación estructural que se adopte consista en un recrecimiento por igual en toda la anchura de la calzada, a efectos de dimensionamiento del espesor necesario deberán tomarse las deflexiones del carril y su rodada más desfavorables.

2.4. CORRELACIONES CON LA DEFLEXIÓN PATRÓN

Para equipos de medida diferentes a la viga Benkelman, las deflexiones se corregirán con el fin de que sean equivalentes a la deflexión patrón, los factores de corrección se determinarán a partir de estudios comparativos debidamente justificados. Para los equipos de auscultación más habituales en España las correlaciones se podrán simplificar teniendo en cuenta los factores de corrección que en cada momento haya establecido la Dirección General de Carreteras.

2.5. CORRECCIÓN POR HUMEDAD EN LA EXPLANADA

En principio, y siempre que sea posible, las medidas de la deflexión del tramo objeto de estudio se realizarán en la época de máxima humedad de la explanada, que será función de la climatología de la zona y del tipo de sección estructural del firme auscultado. En caso contrario, a las medidas obtenidas habrá de aplicárseles un coeficiente corrector C_h , determinado por estudios de variación de deflexiones con la humedad de la explanada en la zona de que se trate. En cualquier circunstancia hay que prescindir de medidas tomadas con la explanada helada y también será preferible no utilizar medidas realizadas en época muy seca.

Para rehabilitaciones estructurales de firmes de carreteras con categorías de tráfico pesado T00 a T1 o de superficie de actuación superior a 70 000 m², el proyecto de rehabilitación del firme deberá contener un estudio específico y detallado de la variación de las deflexiones con la humedad de la explanada. Para el resto de situaciones, o si en el caso anterior no fuera posible disponer del mencionado estudio, podrán utilizarse los coeficientes correctores obtenidos por el método que se describe a continuación:

Se considerarán dos tipos de explanada según la clasificación de suelos hecha de acuerdo con los artículos 330 y 512 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3):

- A: Suelos estabilizados S-EST2 y S-EST1, seleccionados y adecuados.
- B: Suelos tolerables, marginales e inadecuados.

Se considerarán además dos tipos de condiciones de drenaje:

1. Buenas condiciones de drenaje.
2. Malas condiciones de drenaje.

A estos tipos de explanada y drenaje les corresponderán los coeficientes correctores C_h de la deflexión característica, según la época del año en la que se realice la medida, de acuerdo con lo indicado en la tabla 13.

TABLA 13. COEFICIENTES CORRECTORES DE LA DEFLEXIÓN POR HUMEDAD DE LA EXPLANADA

TIPO DE EXPLANADA Y DRENAJE	COEFICIENTE C_h		
	PERÍODO HÚMEDO	PERÍODO INTERMEDIO	PERÍODO SECO
A 1	1	1,15	1,30
A 2, B 1	1	1,25	1,45(*)
B 2	1	1,30(*)	1,60(*)

(*) Valor orientativo, si no se dispone de información. De cualquier manera se recomienda efectuar un estudio especial, así como que la rehabilitación del tramo en estudio se dictamine después de mejorar necesariamente las condiciones de drenaje existentes y, posteriormente, medir de nuevo las deflexiones.

En explanadas con suelos estabilizados in situ del tipo S-EST3 y espesores superiores o iguales a 25 cm, se podrá considerar el siguiente coeficiente corrector:

- Período húmedo e intermedio: 1,0 y
- Período seco: 1,15.

Los períodos húmedo, intermedio y seco deberán determinarse en cada caso específico, teniendo en cuenta que las máximas deflexiones suelen producirse con cierto desfase respecto a la época de lluvias (nunca inferior a las dos semanas). En el caso de no disponer de datos suficientemente fiables para determinar si la medida de las deflexiones corresponden a un período húmedo, intermedio o seco, se adoptará el siguiente criterio:

Se tomará la precipitación de la estación meteorológica más próxima al tramo en estudio dentro de cada zona de referencia y, mediante comparación con los valores de la tabla 14, se determinará si el período climático en el que se ha realizado la medida de la deflexión es húmedo, intermedio o seco.

Si las deflexiones se han medido en la segunda quincena de un determinado mes, se comparará la precipitación recogida en dicha estación meteorológica durante el mes anterior al de las medidas, con los valores que figuran en la tabla 14. Si la medida se ha hecho en la primera quincena de un mes, la comparación con los valores de la tabla 14 se hará sumando la precipitación de la primera quincena del mes anterior y la de la segunda quincena de dos meses antes al que se han medido las deflexiones.

Así, por ejemplo, para deflexiones medidas entre el 6 y el 8 de marzo se tomará como comparación con los valores de la tabla 14, la precipitación total ocurrida en la estación meteorológica

de referencia entre el 16 de enero y el 15 de febrero del mismo año; para deflexiones medidas entre el 20 y el 22 de marzo, se tomará como precipitación total la del mes de febrero del mismo año. Con esta metodología, se tiene en cuenta el desfase habitual entre las máximas deflexiones y la época de lluvias, y al que se ha hecho referencia anteriormente.

TABLA 14. ZONAS CON NIVEL DE PRECIPITACIÓN ANUAL SEMEJANTE PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS PERÍODOS HÚMEDO, INTERMEDIO Y SECO(*)

ZONA(**)	PRECIPITACIÓN EN EL MES DE REFERENCIA (mm)		
	PERÍODO HÚMEDO	PERÍODO INTERMEDIO	PERÍODO SECO
1	> 125	90-125	< 90
2	> 100	70-100	< 70
3	> 80	50-80	< 50
4	> 65	45-65	< 45
5	> 45	30-45	< 30
6	> 30	20-30	< 20
7	> 20	10-20	< 10

(*) Los datos de la tabla se han determinado por adaptación y simplificación de los datos disponibles durante un período de 30 años en las estaciones principales del Instituto Nacional de Meteorología.
 (**) Ver figura 4.

2.6. CORRECCIÓN POR TEMPERATURA DEL PAVIMENTO

La deflexión patrón se referirá a una temperatura del pavimento igual a 20 °C. En firmes sin mezclas bituminosas no hay variación a efectos prácticos, porque la temperatura no influye en las deflexiones y, por tanto, son válidas las medidas hechas a otra temperatura, sin aplicar ninguna corrección. La misma simplificación puede aceptarse cuando el espesor total de las mezclas del pavimento existente sea pequeño (inferior a 10 cm).

Cuando el espesor es mayor (10 cm o más de mezclas bituminosas), hay que aplicar un coeficiente de corrección C_t por temperatura, en función de la existente en el pavimento en el momento de la medición, siguiendo el procedimiento indicado en la norma NLT-356.

En la figura 5 se representan los coeficientes C_t de la norma NLT-356 que deben aplicarse en función de que el pavimento esté poco o muy fisurado. Si el pavimento está muy fisurado, la temperatura tiene menos influencia en la deflexión; en el caso límite de un pavimento totalmente fisurado, el firme se comportaría como un material granular sin cohesión, en el que no habría que aplicar coeficiente corrector por temperatura.

En ningún caso deberán hacerse las medidas con temperaturas del pavimento inferiores a 5 °C, para prevenir hacerlo con un firme helado, lo que invalidaría los resultados. Tampoco deberán hacerse con más de 30 °C si el pavimento tiene 10 cm o más de mezclas bituminosas o con más de 40 °C si el pavimento tiene menos de 10 cm de mezcla bituminosa, ya que no se podría obtener una deflexión fiable (ver apartado 5.6.2 del cuerpo de esta norma).

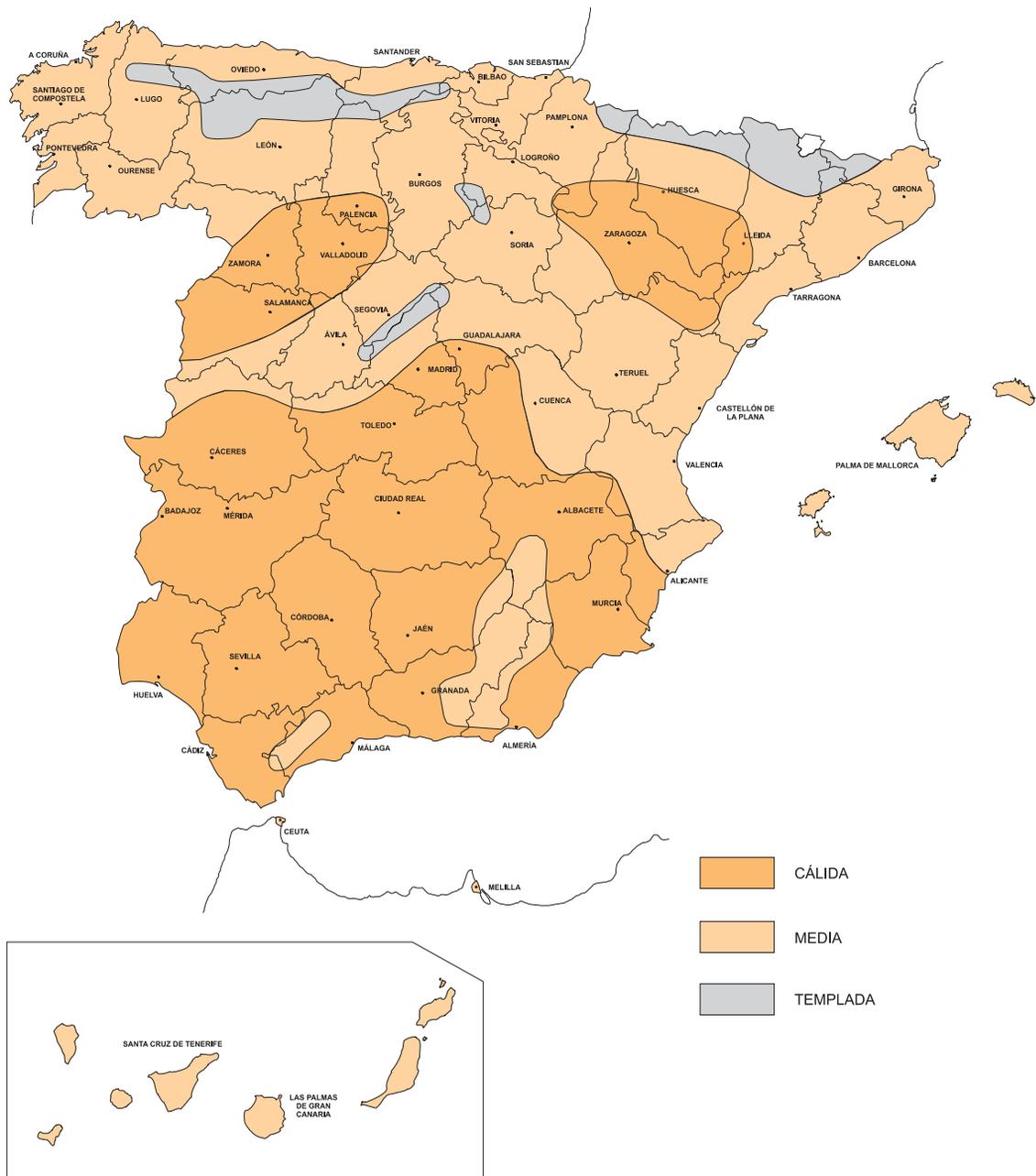


FIGURA 3. ZONAS TÉRMICAS ESTIVALES

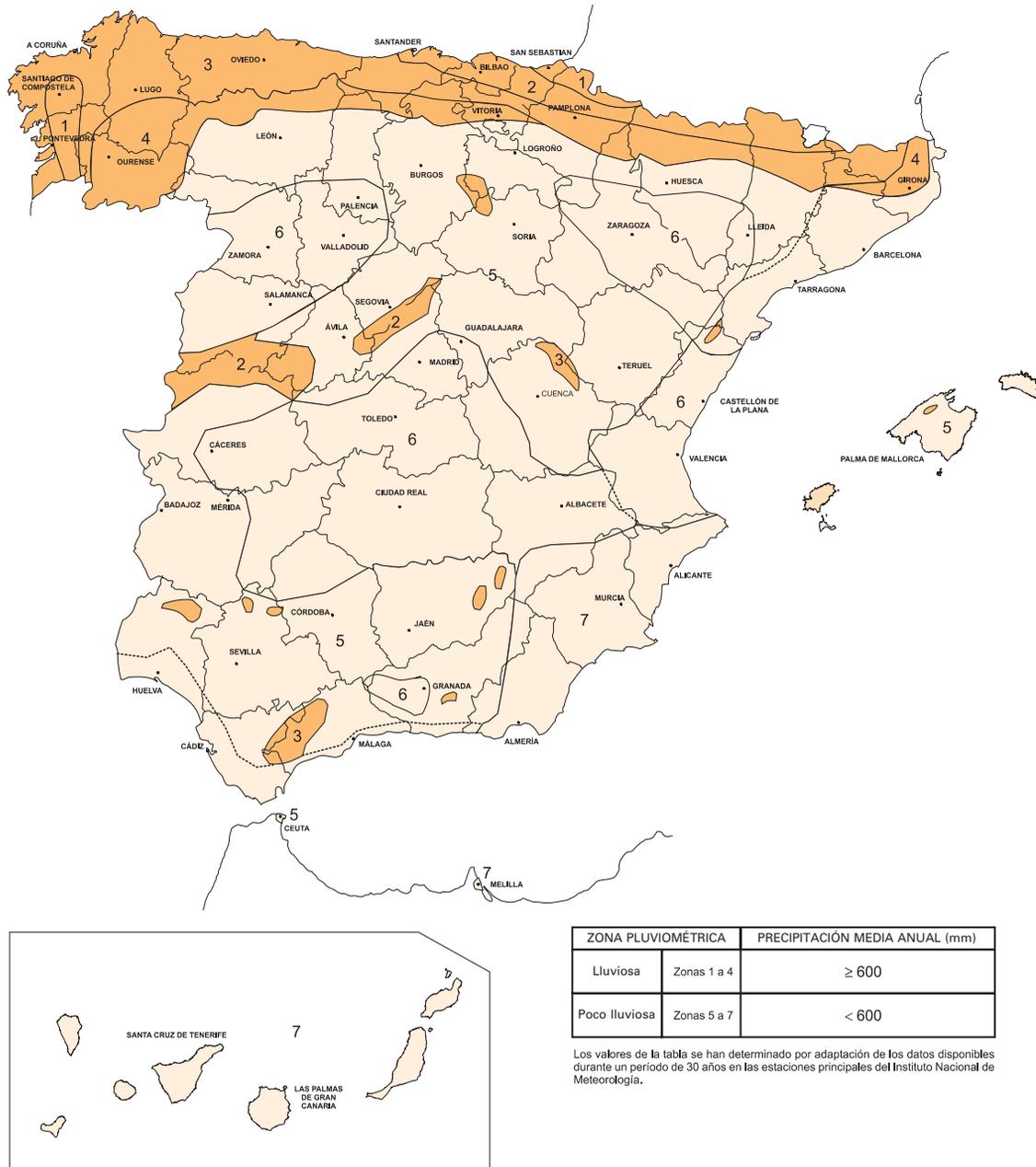


FIGURA 4. ZONAS CON NIVEL DE PRECIPITACIÓN ANUAL SEMEJANTE

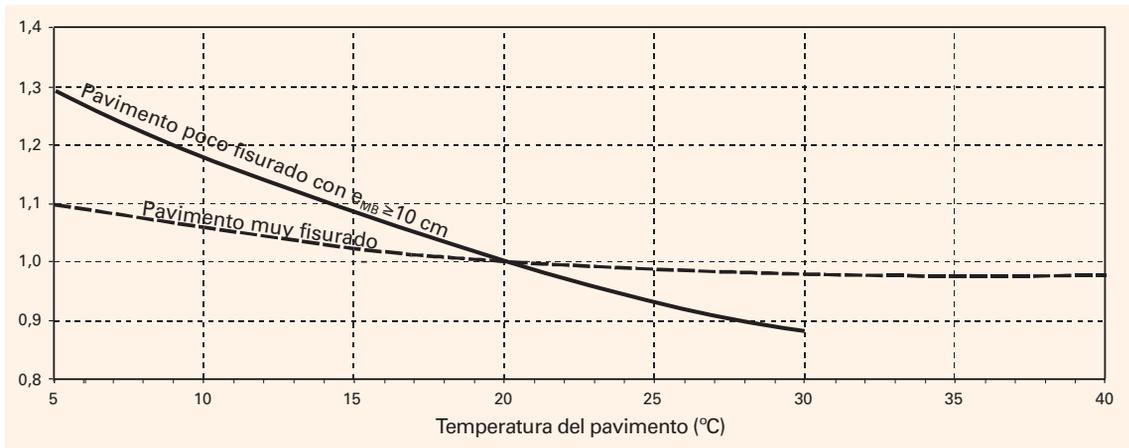


FIGURA 5. COEFICIENTE CORRECTOR POR TEMPERATURA

Como expresiones analíticas del coeficiente C_t pueden tomarse las indicadas en la tabla 15 (en función de la temperatura t del pavimento, en grados Celsius).

TABLA 15. COEFICIENTE CORRECTOR DE LA TEMPERATURA C_t

FIRMES CON PAVIMENTO POCO FISURADO Y ESPESOR DE MB ≥ 10 cm	FIRMES CON PAVIMENTO MUY FISURADO	FIRMES FLEXIBLES CON ESPESOR DE MB < 10 cm, O FIRMES TOTALMENTE FISURADOS
$C_t = \frac{200}{3t + 140}$	$C_t = \frac{2t + 160}{3t + 140}$	$C_t = 1$