

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.

#### 4. Recopilación y análisis de datos

Para poder evaluar el estado de un firme se deberán analizar previamente sus parámetros más significativos, los del entorno y los de las solicitudes 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, ...).

Solicitudes 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. Evaluación del estado del firme y de su nivel de agotamiento

**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 solicitudes 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 1A

## Categorías de tráfico pesado

Categoría de tráfico pesado	T00	T0	T1	T2	T3	T4
IMDp (vehículos pesados/día)	≥4000	<4000 ≥2000	<2000 ≥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 1B

## 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 categorías 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 aquéllos en los que existan variaciones sensibles en los datos de partida indicados en el apartado 4 que puedan influir significati-

vamente 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 recrecimiento, 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.

## 6. 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. Análisis de soluciones y selección del tipo más apropiado

**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.