

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

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.

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 conllevara la calificación de «zona singular» se deberán analizar las causas que lo han originado y plantear soluciones de cajeros laterales de la plataforma y posterior reposición del firme, de reconstrucción total o de modificación 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 aquellas 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, considerarse 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. Factores de dimensionamiento de una rehabilitación estructural

**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 Generales para Obras de Conservación de Carreteras y Puentes (PG-4), se podrán utilizar los criterios sobre equivalencia estructural indicados en la tabla 11 (anejo 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 anejo 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 figu-