

ANEJO 2**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 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.

TABLA 11
Materiales para rehabilitación estructural de firmes

Material	Coefficiente de equivalencia	Ley de fatiga	Limitaciones constructivas
Mezcla bituminosa en caliente (Tipos D, S y G)	1	$\varepsilon_r = 6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	- Espesor de capa de rodadura (D y S): - 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	-	- Espesor de capa de rodadura: - Para T00 a T1: 3 cm. - Para T2 a T4: 2 - 3 cm.
Mezcla bituminosa en caliente (Tipo PA)	1	-	- Espesor de capa de rodadura: - Para T00 a T31: 4 cm. - Para T32 y T4: No admisible. - Ver apartado 8.4
Mezcla bituminosa abierta en frío	1	-	- Espesor de capa de rodadura: - 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	$\varepsilon_r = 6,617 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	- 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	- Ver apartado 9.1.
Gravacemento ⁽²⁾	-	$\frac{\sigma_r}{R_F} = 1 - 0,065 \cdot \log N$	- Espesor mínimo: 20 cm. - Espesor máximo: 25 cm.
Gravaemulsión	0,75	Ley específica	- Espesor de capa: - 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	- Ver apartado 9.1. - Espesores: 6 a 12 cm.
Suelocemento ⁽²⁾	-	$\frac{\sigma_r}{R_F} = 1 - 0,080 \cdot \log N$	- 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.		- Ver apartado 9.1. - Espesores: 20 a 30 ⁽⁴⁾ cm.
Zahorra artificial	0,25 ⁽⁵⁾	$\varepsilon_z = 2,16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0,28}$	- 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 espaciamentos 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.

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.

ANEJO 3

Guía para el estudio de las deflexiones en firmes de pavimento bituminoso

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, etcétera). 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.

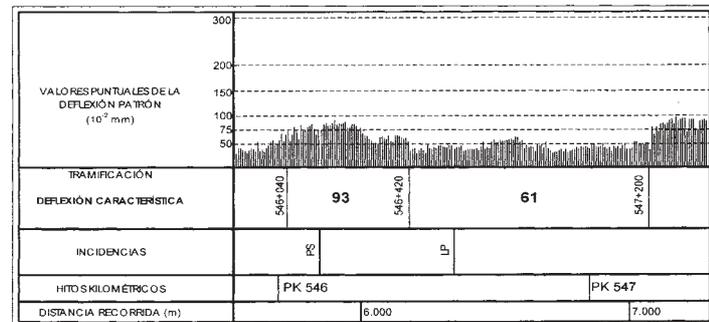


FIGURA 2. Ejemplo de deflectograma

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