

RESUMEN TEMA 9 GRUPO INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE.**SUBGRUPO 1 CARRETERAS****FIRMES (II)****1. FIRMES (II). CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES Y ESTRUCTURALES DE LOS FIRMES.**

Los firmes se definen como un **conjunto de capas superpuestas** relativamente horizontales de varios centímetros de espesor de distintos materiales adecuadamente compactados y apoyados en la explanada para soportar las cargas de tráfico por un periodo de años determinado, ser una superficie de rodadura cómoda y segura e independizar la explanada de los agentes exteriores. Debe poseer una serie de características tanto superficiales o funcionales como estructurales.

Las **características superficiales** están relacionadas con la capa de rodadura e influyen en aspectos como la comodidad, seguridad, gastos de explotación o contaminación. Entre las características más destacables están:

- **La resistencia al deslizamiento (seguridad):** para asegurar una buena adherencia se requiere siempre una microtextura pulida o áspera (irregularidades menores de 0,5 mm) pero además a velocidades altas y con pavimento mojado una macrotextura fina o gruesa (irregularidades entre 0,5 – 50 mm) para evacuar el agua. Existen una serie de prescripciones al respecto recogidas en el PG-3. Por ejemplo, en capas de rodadura en M.B.C. se exigen unos valores mínimos de 0,7 mm para la macrotextura superficial (MTD) y del 65 % para la resistencia al deslizamiento determinada por el Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRTS).
- **La regularidad o geometría superficial (comodidad):** afecta tanto longitudinal como transversalmente y para su valoración utilizamos el Índice de Regularidad Internacional (IRI) expresado en dm/hm. Existen una serie de prescripciones al respecto recogidas en el PG-3. Por ejemplo, en capas de rodadura en M.B.C. se exigen unos valores máximos de IRI de 1,5–2,0 en calzadas de autopistas y autovías.
- **Propiedades ópticas (comodidad y seguridad):** la macrotextura mejora la visibilidad con pavimento mojado y elimina/ reduce la reflexión de la luz.
- **Ruido de rodadura (comodidad):** provocado por la interacción neumático-pavimento.

Las **características estructurales** están relacionadas con las características mecánicas de los materiales del firme y con los espesores de las capas e interesan especialmente a los efectos de conservación del pavimento. Entre las características más destacables están:

- **Capacidad global de soporte del firme:** esta capacidad se evalúa a través de la deflexión (10^{-2} mm). Se deberá tramificar el firme por tramos homogéneos y se mide la deflexión con el empleo de la Viga Benkelman, obteniendo así la deflexión patrón, posteriormente en cada uno de los tramos delimitados, se determina la deflexión característica a partir del valor medio de deflexión del tramo más dos veces la desviación, y finalmente se obtendrá la deflexión de cálculo aplicando a la anterior unas correcciones por humedad y temperatura.

- **Espesor y naturaleza de las capas:** están indicadas en el catálogo de firmes, definidas en función del tipo de tráfico circulante y de la categoría de explanada. Su estudio se lleva a cabo bien con extracción de testigos o con equipos de georradar.

Por último, hacer una mención a los **ensayos de pista** para determinar con modelos a escala real la respuesta de los materiales ante las sollicitaciones del tráfico y los agentes atmosféricos del entorno. Las tipologías de pista se agrupan en Circulares, Lineales y Mixtas como es la pista Oval del CEDEX, que permite ensayar distintas secciones de firmes.

2. AUSCULTACION DE FIRMES.

Se define como el conjunto de técnicas para determinar el estado global de una carretera o de un parámetro concreto. Deberá analizarse tanto las características del firme como el entorno y el tipo de tráfico. Por su naturaleza puede ser tanto estructural como superficial o funcional.

Para la **Auscultación de las Características Superficiales o Funcionales**, podemos distinguir, en función del parámetro a determinar, los siguientes equipos:

✚ **Medida de la fricción o Resistencia al deslizamiento:**

- Péndulo de fricción: equipo estacionario y lento que requiere cortar el tráfico y que consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo conforme la zapata de goma roza sobre la superficie.
- SCRIM: equipo de alto rendimiento que permite obtener de manera continua el CRT entre un neumático normalizado y el pavimento mojado sin interferencias con el tráfico. Consta de una rueda lisa oblicua (20°) al sentido de la marcha y una cisterna que mantiene el pavimento mojado. Habitualmente también lleva incorporado un texturómetro.
- Otros equipos: menos comunes como el Griptester o Norsemer.

✚ **Medida de la textura o macrotextura:** mediante diferentes métodos:

- Método volumétrico: a través del Método del círculo de arena
- Medida del drenaje superficial: mediante equipos tipo drenómetros como el Permeámetro LCS.
- Medida del perfil: mediante los equipos Texturómetros laser de alto rendimiento y que emiten un rayo sobre el pavimento y determina su altura mediante un receptor.

✚ **Medida de la regularidad superficial:** al margen de los sistemas de nivelación precisa como el Dipstick, de bajo rendimiento, podemos distinguir entre:

- Equipos de referencia geométrica: que pueden ser equipos de regla fija como la conocida regla de 3 metros o equipos de regla rodante como los Perfilógrafos Perfilómetros. Destaca el Viógrafo que es un equipo basado en ocho ruedas alienadas, un bastidor central y una rueda libre.
- Equipos de referencia Inercial o de tipo dinámico de alto rendimiento, como el Perfilómetro Laser instalado en un vehículo que permite medidas de calzadas casi completas. Otros equipos utilizados (algunos multifunción) son el ARAN canadiense, el APL francés o el ARS.

- ✚ **Medida de las propiedades ópticas:** especialmente indicados para la evaluación de los niveles de retrorreflexión de la señalización. Destacan el ECODYN de origen francés o el GADES español.
- ✚ **Medición del Ruido de rodadura:** que se puede llevar a cabo mediante el método estadístico del paso de vehículos, con el equipo denominado SPB, o mediante el método de proximidad con el equipo CPX que consta de un remolque provisto de un neumático normalizado en una cámara que lo aísla del ruido exterior.

Para la **Auscultación de las Características Estructurales**, podemos distinguir, en función del parámetro a determinar, los siguientes equipos:

- ✚ **Medida de la capacidad de soporte:** que se realiza a través de la medida de la deflexión o deformación del firme bajo una carga. Podemos distinguir:
 - Deflectómetros de Impacto: con el impacto por caída libre de una masa sobre un sistema de amortiguación instalado sobre una placa de carga. Recomendado para firmes rígidos o semirrígidos.
 - Deflectógrafo Lacroix: diseñado para la medida de la deflexión de manera continua y en pavimentos flexibles.
 - Curviámetro MT: equipo de carga estática con un elemento mecánico principal formado por una cadena en forma de oruga que gira a una velocidad sincronizada con el vehículo.
- ✚ **Medida del espesor y naturaleza de las capas:** al margen de la extracción de testigos, destaca el GEORRADAR basado en las técnicas geofísicas de prospección del suelo y que permite evaluar espesores, rendimientos elevados y detectar heterogeneidades y anomalías como cavidades y humedades

Por último hay que destacar que además de la auscultación estructural y funcional se lleva a cabo la **inspección visual por técnicos especialistas** para la tramificación de la carretera.

3. ESTRATEGIAS DE CONSERVACION DE LOS FIRMES.

Debido al paso de los vehículos y las acciones climáticas, las características iniciales de una carretera se van degradando con el tiempo. Todas las operaciones tendentes a restituir en lo posible esas características pueden ser consideradas como parte de la conservación.

Entre los **objetivos** estará, el mantenimiento de la resistencia al deslizamiento, la regularidad superficial o la resistencia estructural. Entre los niveles de conservación habrá que distinguir entre la **conservación preventiva, curativa, estructural o la reconstrucción total o parcial del firme**. La **estrategia de conservación** se puede definir como el conjunto de actuaciones a desarrollar durante la vida de la carretera o del tramo. A este respecto cabría destacar la **Guía para el replanteo de las Obras de Conservación de Firms** cuyo objeto es definir el método de replanteo de detalle a realizar antes de la ejecución de las obras de conservación de firms de la RCE.

Los trabajos para la conservación de las **carreteras de la Red del Estado**, entre los que se incluyen los relativos al mantenimiento de la vialidad invernal, se llevan a cabo en el marco

de: **158 Contratos de Conservación Integral**; **11 Contratos de conservación y explotación de autovías de 1ª generación** (incluyendo el contrato de la A-66 en el tramo Benavente-Zamora); **12 Autopistas de peaje** (a través de las empresas concesionarias); **Convenio de Gestión directa** de las Autopistas de peaje que han revertido al Estado, entre la AGE y SEITT.

4. REHABILITACIÓN DE FIRMES. NORMA 6.3-IC

La **Norma 6.3-IC aprobada por Orden FOM 459/03, de 28 de noviembre**, en lo que se refiere al **ámbito de aplicación**, se aplicará en los estudios y proyectos de rehabilitación superficial o estructural de los firmes de las carreteras en servicio.

El **Capítulo 3** de esta Norma relativo al **Estudio de la Rehabilitación de un firme** recoge que las actuaciones a desarrollar se clasificaran por su finalidad básicamente en, **estructurales** aumentando la capacidad estructural del firme o **superficiales** mejorando las características superficiales.

La necesidad de la **rehabilitación estructural** se planteará ante un agotamiento estructural del firme, la previsión de crecimiento importante del tráfico, excesivos gastos de conservación ordinaria o la afección significativa a la vialidad de las actuaciones de conservación ordinaria. Entre las soluciones a aplicar en una rehabilitación estructural podrán ser la eliminación parcial y reposición del firme existente, recrecimiento aplicado sobre el pavimento existente, combinación de las anteriores o una reconstrucción total del firme, incluso una parte de la explanada.

Respecto a la **rehabilitación superficial**, las condiciones que justifican dicha actuación estarán, por razones de conservación preventiva, cuando no sea necesaria una rehabilitación estructural pero el estado superficial del pavimento presente deficiencias que afectan a la seguridad de la circulación o cuando realizada una tramitación existan tramos cortos (menores a 200 m) que no precisen una rehabilitación estructural ni superficial pero estén comprendidos entre 2 contiguos que si la necesitan, será conveniente dar continuidad a la superficie de rodadura.

Un aspecto muy importante en las rehabilitaciones de firmes, es la **sostenibilidad ambiental y económica**, ya que consideraciones ambientales hacen prioritario el empleo de técnicas de reciclado en los proyectos de rehabilitación estructural de firmes, como puede ser el empleo de caucho procedente de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en mezclas bituminosas o el aprovechamiento del material procedente de fresado en las mezclas bituminosas en proporciones < 10%.

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 (desde el tráfico T00 para valores de IMDp iguales a superiores a 4.000, hasta el tráfico T4 para valores de IMDp inferiores a 50).

Otra cuestión importante a considerar son los **criterios para realizar una tramificación previa**. 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 y Categoría de tráfico pesado.

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

El resto de Capítulos de la Norma recogen toda una serie de consideraciones muy detalladas relativas a, entre otros: Diagnóstico sobre el estado del firme; Análisis de soluciones y selección del tipo más apropiado; Factores de dimensionamiento de una rehabilitación estructural; Rehabilitación superficial y Aspectos constructivos.

5. ORDEN CIRCULAR 40/2017: RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS, RECICLADO IN SITU CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRME, RECICLADO EN CALIENTE Y SEMICALIENTE EN CENTRAL DE CAPAS BITUMINOSAS (RAP).

Esta orden recoge tres artículos que serán de aplicación para los PPTPs de los proyectos de carreteras.

Además, establece que será preceptivo tener en cuenta y priorizar las técnicas de reciclado en rehabilitaciones de firme con una **superficie superior a 70.000 m²**, para cualquier categoría de tráfico pesado.

Se define como **reciclado in situ con emulsión** de capas bituminosas a la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de mezcla bituminosa de un pavimento existente, una emulsión bituminosa, agua y, eventualmente, aditivos.

Se define como **reciclado in situ con cemento** de capas de firme la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material granular procedente del fresado de una o varias capas de un firme existente, con excepción de las de pavimento de hormigón y de hormigón magro vibrado, con cemento, agua y, eventualmente, aditivos y material de aportación.

Se define como **material bituminoso a reciclar (RAP)**, el procedente de la disgregación de capas de mezclas bituminosas (rodadura, intermedia o base), obtenido mediante fresado o demolición, eventual trituración y posterior tratamiento y clasificación. Este material debe estar compuesto por áridos de buena calidad y granulometría continua, cubiertos por betún asfáltico envejecido.

Se define como **reciclado en central de capas bituminosas** la técnica de fabricación de mezclas bituminosas consistente en la utilización del RAP con la aportación de un betún asfáltico, áridos, polvo mineral, y eventualmente, aditivos, con los que se obtiene una mezcla bituminosa (caliente y semicaliente) de las especificadas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

6. TRANSFORMACIÓN DE FIRMES RÍGIDOS DEGRADADOS EN FIRMES MIXTOS

En firms de hormigón que requieren una rehabilitación estructural, una de las soluciones posibles que recoge la norma 6.3- IC es el **recrecido mediante una capa de 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**.

7. CONSIDERACIONES AMBIENTALES: CARENCIA DE MATERIALES Y HUELLA ENERGÉTICA.

Respecto a la carencia de materiales, uno de los principales impactos de los firms es la cantidad de materias primas requeridas, que a medio plazo acabarán convertidos en residuos. Cada vez resulta más difícil encontrar áridos adecuados para la elaboración de mezclas bituminosas, y el reciclado aparece en el horizonte como una necesidad inaplazable. Por consideraciones ambientales y de valorización de los materiales envejecidos por el uso en los firms y pavimentos, en el análisis de soluciones en actuaciones de rehabilitación de un firme cuya superficie de aplicación sea superior a **70 000 m²** será preceptivo tener en cuenta y priorizar las técnicas de reciclado incluidas en la **OC 40/2017 sobre reciclado de firms y pavimentos bituminosos** de la que hablamos anteriormente.

Por último, la **huella energética** de los firms tradicionalmente se enfoca en las fases de fabricación y construcción, pero en el caso de firms en carreteras con tráfico, tiene mucha mayor relevancia en la huella energética la **fase de uso**, donde medidas como una adecuada conservación que reduzca el consumo de los vehículos que circulan por la carretera pueden suponer una gran reducción de la huella energética. Es por eso que tiene especial importancia el concepto del **análisis del ciclo de vida** completo, abarcando todas las fases. **En la fase de construcción** tiene especial relevancia en la reducción de la huella energética las tecnologías de fabricación de **mezclas asfálticas a baja temperatura** (semicalientes, templadas y en frío), que reduce el consumo energético empleado en el calentamiento de los áridos.