

RESUMEN TEMA 8 GRUPO INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE.

SUBGRUPO 1 CARRETERAS

FIRMES (I)

1. FIRMES (I). CONCEPTOS GENERALES.

Los firmes pueden definirse como un **conjunto de capas** superpuestas relativamente horizontales y de varios cm de espesor de distintos materiales, adecuadamente compactados, apoyados en la explanada para soportar las cargas del tráfico durante un periodo de años determinado, proporcionar una superficie de rodadura cómoda y segura y resguardar la explanada de la intemperie.

Deben disponer de una serie de **características** tanto **superficiales** como son la regularidad superficial o el rozamiento rueda-pavimento, como **estructurales**, relacionadas con el comportamiento mecánico de resistencia a las cargas.

La **clasificación de los firmes** comúnmente utilizada distingue hasta 4 tipos de firmes:

- ✓ **Flexibles**, constituidos por capas granulares no tratadas y pavimento bituminoso de espesor < 15 cm
- ✓ **Semiflexibles**, constituidos por capas de mezcla bituminosa de espesor ≥ 15 cm sobre capas granulares no tratadas
- ✓ **Semirrígidos** son los constituidos por pavimento bituminoso de cualquier espesor sobre capas tratadas con conglomerantes hidráulicos de espesor ≥ 20 cm según la norma 6.1-IC y de 18 cm según la norma 6.3-IC
- ✓ Firmes **rígidos** son los constituidos por pavimentos de hormigón

A lo largo de este tema, además de la **Norma 6.1-IC** a la que haremos especial referencia, resulta de aplicación de manera particular la **Orden FOM 2523/2014** por la que se actualizan determinados artículos del PPTG, y en concreto, en el apartado de mezclas bituminosas, la reciente **Orden Circular 3/2019 sobre Mezclas Bituminosas tipo SMA**.

2. LA EXPLANADA: CAPACIDAD DE SOPORTE Y MATERIALES.

La norma 6.1-IC de Secciones de Firme, define la explanada como la superficie sobre la que se apoya el firme, no perteneciente a su estructura. Además, recoge en una tabla los espesores y materiales que debe formar la explanada, estableciendo **tres categorías de explanada en función de su capacidad de soporte**, denominadas respectivamente E1, E2 y E3. Estas categorías se determinan según el **módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (Ev2)** (con valores iguales o superiores a 60, 120 y 300 MPa respectivamente). Asimismo, el Proyecto deberá exigir **una deflexión patrón máxima** para cada categoría de explanada E1, E2 y E3 (con valores iguales o inferiores a 250, 200 y 125 centésimas de mm respectivamente)

La formación de las explanadas de las distintas categorías se recoge en la Norma 6.1-IC, **dependiendo del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, y de las características y espesores de los materiales disponibles**. En su ejecución, la Norma exige que

la cota de la explanada quede al menos a 60 cm por encima del nivel más alto previsible de la capa freática donde el macizo de apoyo esté formado por suelos seleccionados; a 80 cm donde esté formado por suelos adecuados; a 100 cm donde sean tolerables, y a 120 cm donde sean marginales o inadecuados.

Los **materiales naturales** para la formación de la explanada los clasifica la norma en Inadecuados o marginales, y suelos tipo 0, 1, 2 o 3, que se corresponden respectivamente con suelos tolerables (0), suelos adecuados (1), suelo seleccionado con CBR entre 10 y 20 (2) y suelo seleccionado con CBR > 20 (3).

Por último, la Norma 6.1-IC permite la **utilización de determinados suelos de baja calidad como los inadecuados o los marginales**, para la formación de explanadas, **siempre y cuando vayan estabilizados con cal o con cemento**. No hay que olvidar que la explanada conforma el cimientado de las futuras secciones de firme, es por este motivo que se debe asegurar una adecuada capacidad de soporte aun utilizando suelos de baja calidad.

Del mismo modo **pueden utilizarse suelos de buena calidad**, como suelos granulares, pero con estabilidad insuficiente. Es en estos casos donde tiene cabida la **estabilización de suelos in situ**, que se regula en el artículo 512 del PG-3, y que define los **suelos estabilizados in situ** como la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con un conglomerante, del tipo cal o cemento, y eventualmente agua, con el objetivo de disminuir su plasticidad y susceptibilidad al agua o aumentar su resistencia, y que, convenientemente compactada, se utiliza en la formación de explanadas y rellenos tipo terraplén. Pueden ser S-EST1, S-EST2, que pueden ser estabilizados con cemento o con cal, y S-EST 3, que debe ser estabilizado con cemento.

Con la estabilización de suelos, **se evita la reducción de los recursos naturales** disponibles al disminuir el empleo de suelos de mejor calidad y se **suprimen las operaciones de remoción** de los suelos existentes y su transporte a vertedero, así como las de **extracción y transporte a obra** de los suelos que los sustituyen

3. MATERIALES DE LOS FIRMES: ZAHORRAS, SUELOCEMENTO, GRAVACEMENTO.

El artículo 510 del PG-3 define como **ZAHORRA** el material granular, de granulometría continua, constituido por partículas total o parcialmente trituradas, en la proporción mínima que se especifique en cada caso y que es utilizado como capa de firme.

Los materiales para la zahorra procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural (para los tráficos T2 a T4, con las debidas prescripciones, se podrán utilizar materiales granulares reciclados o áridos siderúrgicos). La granulometría del material define 3 tipos de Zahorra: ZA 0/32, ZA 0/20 y ZAD 0/20

Además, a las zahorras se les exige, entre otras características: un Índice de Lajas inferior a 35, un Coeficiente de Los Ángeles máximo 30 para T00 a T2 o un Equivalente de arena del fino mayor de 40 para T00 a T1 y mayor de 35 para T2-T4 y arcenes de T00 a T2

Los **MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO** se definen como el material tratado con cemento la mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular,

cemento, agua y, eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada, se utiliza como capa estructural en firmes de carretera. Dependiendo del material granular utilizado se distinguen dos tipos de materiales tratados con cemento: suelocemento y gravacemento.

- ✚ Para el **suelocemento** se utilizará un suelo granular o material de origen natural, rodado o triturado, o una mezcla de ambos, exento de todo tipo de materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.
- ✚ En la **gravacemento** se utilizará un árido natural procedente de la trituración de piedra de cantera o de gravera. El árido se suministrará, al menos, en dos (2) fracciones granulométricas diferenciadas.

Además, en cuanto a otros materiales básicos empleados en firmes con mezclas bituminosas o pavimentos de hormigón, que veremos a continuación, tenemos:

A) En primer lugar se tienen los **ÁRIDOS**, utilizados en cualquier capa de firme con un porcentaje de hasta el 90%, distinguiendo entre árido grueso, fino y filler o polvo mineral.

Para la fabricación de mezclas bituminosas, los áridos se clasifican en fracciones uniformes a partir de la granulometría elegida. Árido grueso (fracción retenida por el tamiz 2 mm UNE) árido fino (fracción que pasa por el tamiz 2 y queda retenida por el 0,063 mm) y el filler (fracción que pasa por el tamiz 0,063). En el caso de la fabricación de pavimentos de hormigón, el árido grueso es la fracción retenida por el tamiz 4 mm UNE, y el árido fino será la parte que pasa por el tamiz 4 mm UNE.

B) En segundo lugar se tienen los **LIGANTES BITUMINOSOS**, que son una amplia gama de materiales con propiedades adhesivas y aglomerantes de naturaleza hidrocarbonada, pudiendo ser tanto naturales como manufacturados. Son materiales termoplásticos, con buena adhesividad con los áridos. Pueden englobarse en 3 grandes grupos:

- ✚ **Betunes asfálticos (art. 211)**, que podrán ser: convencionales, duros y multigrado. Los dos primeros se denominan según su penetración mínima y máxima, mientras que los multigrado, además de por la penetración mínima y máxima por el rango del punto de reblandecimiento
- ✚ **Emulsiones bituminosas (art. 214)**, o dispersiones de pequeñas partículas de un ligante hidrocarbonado en una solución acuosa y un agente emulsionante. Pueden ser tanto básicas o aniónicas, con buena adhesividad con los áridos calizos, como ácidas o catiónicas, si bien en la RCE las emulsiones utilizadas son las catiónicas de buena adhesividad con los áridos silíceos. Se conservan y manejan en estado acuoso y al ponerlas en contacto con la superficie de los áridos se produce la rotura de la emulsión, volviendo a juntarse las partículas de betún formando una película continua.

- ✚ **Betunes modificados con polímeros (art. 212)**, que son ligantes hidrocarbonados cuyas propiedades reológicas han sido modificadas durante la fabricación por el empleo de uno o más polímeros orgánicos, si bien las fibras orgánicas o minerales no se consideran modificadores del betún.

B) En tercer lugar tenemos los RIEGOS BITUMINOSOS, entre los que podemos distinguir entre RIEGOS DE **IMPRIMACIÓN** (entre capa granular y capa de MBC), RIEGOS DE **ADHERENCIA** (entre capas de MBC) y RIEGOS DE **CURADO** (sobre capas de conglomerante hidráulico).

C) En cuarto lugar se tendrían los CEMENTOS en pavimentos de hormigón, donde la clase resistente del mismo será salvo justificación en lo contrario, la 32,5 N o la 42,5 N. el director de las obras podrá autorizar el empleo de un cemento de clase resistente 42,5 R en épocas frías. No se podrán utilizar cementos de aluminato de calcio y los cementos portland con ceniza se limitará a la capa inferior de pavimentos bicapa. Además, se fijará el principio de fraguado no antes de los 100 minutos.

D) El AGUA es otro de los componentes esenciales tanto en pavimentos de hormigón donde deberá cumplir las prescripciones de la EHE (actualmente del nuevo Código Estructural), como para pavimentos bituminosos.

4. MEZCLAS BITUMINOSAS. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS.

En función del parámetro que se considere pueden encontrarse diversas **clasificaciones** como según la **temperatura** de fabricación y puesta en obra en mezclas bituminosas en frío y caliente, por su **granulometría** en continua o discontinua o según el **% de huecos** de la mezcla en cerradas si es <6%, semicerradas si esta entre el 6 y el 12%, abiertas si es > 12% y porosas si es superior al 20%.

No obstante, el PG3 hace referencia a **3 tipos de mezclas bituminosas**, las de **tipo hormigón bituminoso (art. 542)** según sean calientes o semicalientes, las de **capas de rodadura (art. 543)**, tanto drenantes como discontinuas e igualmente distinguiéndose entre calientes y semicalientes, y por último distinguimos las **mezclas bituminosas tipo SMA (art. 544)** (introducidas por la Orden circular 3/2019) que también se clasifican en calientes y semicalientes.

Las **mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso** se definen como la combinación de un betún asfáltico, áridos con granulometría continua, polvo mineral y eventualmente, aditivos de forma que todas las partículas queden recubiertas por una película homogénea de un ligante cuyo proceso de fabricación y puesta en obra deben realizarse a una temperatura muy superior a la del ambiente. Se pueden diferenciar mezclas con el mismo tamaño máximo de árido, pero con usos granulométricos diferentes, añadiendo la letra D, S o G según se trate de densa, semidensa o gruesa. En el caso de las mezclas de alto modulo se añade las letras MAM.

Las **mezclas bituminosas para capa de rodadura** son las resultantes de la combinación de betún asfáltico, áridos en granulometría continua con bajas proporciones de árido fino o discontinuidad granulométrica en algunos tamices, polvo mineral y, eventualmente, aditivos

de forma que todas las partículas queden recubiertas por una película homogénea de ligante cuyo proceso de fabricación y puesta en obra se hará a una temperatura muy superior a la del ambiente.

Finalmente destacar que las **mezclas bituminosas tipo SMA** se caracterizan por poseer una gran cantidad de árido grueso, una elevada proporción de ligante y de polvo mineral, una baja cantidad de árido de tamaño intermedio y una pequeña cantidad de aditivo estabilizante. Debido a su elevado coste y su limitada experiencia de uso y comportamiento a lo largo del tiempo, se deberá justificar adecuadamente su empleo y limitar, en principio, a los casos concretos de mejora de resistencia a la fisuración y/o a la fatiga, o bien a tramos de elevada intensidad de tráfico ($IMD > 75.000$ veh/día).

5. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN.

Los pavimentos de hormigón son aquellos en los que la parte resistente de la sección está encomendada a una capa de hormigón hidráulico. Entre las principales características de estos tipos de pavimentos están la rigidez del pavimento, la protección contra agentes externos, y en especial, su durabilidad que aumenta con el tiempo y los bajos requerimientos de conservación y mantenimiento. Una cuestión importante a destacar es que el RD 635/2006 establece que **en túneles de más de 1.000 m se empleará pavimento de hormigón** con aditivos coloreantes. A grandes rasgos, estos pavimentos pueden agruparse en **5 categorías**:

- **Pavimentos de hormigón en masa** con o sin pasadores en las juntas transversales de contracción
- **Pavimentos de hormigón compactado**, tienen un bajo contenido de agua y una relación agua cemento de entre 0,35-0,4 compactándose mediante rodillos vibratorios y de neumáticos, y con un elevado contenido de cenizas volantes > 35%
- **Pavimentos de hormigón armado** que pueden ser con juntas, pavimentos continuos o con fibras de acero, donde podrá reducirse el espesor del pavimento un 30% y aumentar el espaciado de las juntas. En ellos la cuantía mínima de acero será del 0,7% en hormigones HF-4,5 y del 0,6% en hormigones HF-4,0
- **Pavimentos de hormigón pretensado** se pueden construir losas de hasta 120 m y reducir el espesor de la misma en un 50% debido a la compresión que se introduce. Es en los aeropuertos donde esta técnica ha encontrado mayor aplicación.
- Por último están los **pavimentos prefabricados de hormigón** entre los que pueden señalarse los adoquines o las placas de hormigón armado prefabricadas.

A efectos de sus especificaciones hay que acudir al **artículo 550 del PG-3** (referido al pavimento de hormigón con juntas o de armado continuo), y también a la **Norma 6.1-IC de Secciones de Firme**, donde además establecer su dimensionamiento, se detallan las características de las Juntas, tanto longitudinales (de alabeo y hormigonado) como transversales (de contracción, dilatación y hormigonado).

6. NORMA 6.1. IC SECCIONES DE FIRME.

Respecto a la normativa de aplicación habrá que tener en consideración en el diseño de nuevos firmes la Norma 6.-IC de Secciones de Firme, la Norma 6.3-IC en el caso de Rehabilitación de firmes existentes y en lo referente a los materiales, el PG-3, incluyendo sus sucesivas modificaciones, entre las que destaca la más reciente citada a lo largo de la exposición llevada a cabo a través de la Orden FOM 2523/2014 y la aprobación de la nueva Orden Circular 3/2019

Si nos centramos en la **Norma 6.1-IC aprobada por Orden FOM / 3460 / 2003 de 28 de noviembre**, hay que indicar que su **ámbito de aplicación** se ciñe a los proyectos de firmes de carreteras de nueva construcción y de acondicionamiento de las existentes. Salvo justificación en contrario, también se aplicará a la reconstrucción total de firmes; no será aplicable, en cambio, a los pavimentos sobre puentes ni en túneles.

Sobre las **categorías de tráfico pesado**, la Norma establece que la estructura del firme, deberá adecuarse, entre otros factores, a la acción prevista del tráfico, fundamentalmente del más pesado, durante la vida útil del firme. Por ello, la sección estructural del firme dependerá en primer lugar de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio. A los efectos de aplicación de esta norma, se definen **ocho categorías de tráfico pesado** (desde el tráfico T00 para valores de IMDp iguales a superiores a 4.000, hasta el tráfico T42 para valores de IMDp inferiores a 25)

Y si nos referimos propiamente a **las secciones de firme**, en esta Norma, como ya hemos indicado, se ha optado, para el dimensionamiento de las secciones de firme, 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 admisibles al final de la vida útil.

Y ya por último señalar que esta Norma 6.1-IC incluye además una serie de referencias a **otros aspectos** a considerar como son:

- a) **Materiales para las secciones de firme:** características y espesores
- b) **Arcenes:** Salvo justificación en contrario, el firme de los arcenes de anchura no superior a 1,25 m será, por razones constructivas, prolongación del firme de la calzada adyacente. Su ejecución será simultánea, sin junta longitudinal entre la calzada y el arcén. En arcenes de anchura superior a 1,25 m, su firme dependerá de la categoría de tráfico pesado prevista para la calzada y de la sección adoptada en ésta; se evitará en lo posible la aparición de nuevas unidades de obra.
- c) **Juntas en pavimentos de hormigón,** tanto longitudinales como transversales
- d) **Aspectos constructivos:** entre los que podemos señalar que la anchura de la capa superior rebasará a la teórica al menos en 20 cm por cada borde. No obstante, en pavimentos de hormigón con arcén también de hormigón, podrá coincidir.