



Los firmes en carreteras: características generales y funciones

Apellidos, nombre	López Maldonado, Griselda ¹ (grilomal@tra.upv.es) Pérez Zuriaga, Ana María ² (anpezu@tra.upv.es)
Departamento	^{1,2} Ingeniería e Infraestructura de los Transportes
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

El firme de la carretera constituye la parte correspondiente a la superestructura de la carretera. En este artículo se presentan los conceptos generales sobre firmes de carreteras, así como cuáles son sus funciones y qué materiales los constituyen.

2 Objetivos

Una vez que el alumnado se lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Describir las funciones y principales características del firme.
- Identificar los materiales básicos y compuestos que se emplean para formar las distintas capas del firme.
- Distinguir las diferentes tipologías de firme.

3 Introducción

El firme de una carretera, conocido también en otros países bajo el nombre de pavimento, es una estructura que presenta ciertas características particulares:

- Está formado por una serie de capas, ejecutadas con materiales seleccionados, y, generalmente, tratadas.
- Debe resistir las cargas del tráfico, permitiendo que la circulación tenga lugar con seguridad y comodidad.



Sabes qué ocurre cuando no existe el firme de la carretera. Observa las siguientes imágenes, son tres ejemplos de carreteras que no presentan firme.



Imagen 1. Ejemplos de carreteras sin firme.



Con un vistazo a estas imágenes podemos observar en la imagen A cómo en la carretera se han producido deformaciones por el paso del tráfico, mientras que en la imagen B y C observamos otro problema asociado a condiciones climáticas. Con condiciones climáticas adversas (A,) el firme es deslizante e inestable, mientras que en tiempo seco (B), la superficie es polvorienta e irregular.

Revisado el concepto de firme, cabe preguntarse **¿de qué depende la estructura de un firme?** En España, para la realización del **proyecto del firme**, la Norma de referencia es la **Instrucción 6.1-I.C. "Secciones de Firme"** publicada por el Ministerio de Fomento. En ella veremos que la estructura de un firme de carretera depende fundamentalmente de dos parámetros, que son: la **categoría de tráfico pesado** (expresada en función de la Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el año de puesta en servicio), y la **categoría de la explanada** (es decir, de la calidad del terreno sobre el que se va a apoyar el firme). Sin embargo, el paso previo para el dimensionamiento de estas estructuras es conocer sus generalidades, cómo funcionan y cuáles son los materiales que pueden emplearse en su formación.

4 Funciones y características del firme

Las principales **funciones de los firmes** que se emplean en la construcción de carreteras son las siguientes:

- **Resistencia de las sollicitaciones previstas del tráfico** (tráfico pesado), durante el período de proyecto del firme. Para ello, el firme debe repartir las presiones verticales ejercidas por las cargas del tráfico, de forma que a la explanada solo llegue una pequeña fracción de las cargas (*compatibles con su capacidad portante*); presentando deformaciones admisibles.
- **Proporcionar una superficie de rodadura segura y cómoda**. Para ello, la superficie del firme debe tener ciertas irregularidades que aseguren la adherencia de los vehículos. Además, las características del firme deben ser permanentes a lo largo de su vida útil, pudiendo producirse deformaciones admisibles y deterioros que puedan ser objeto de actuaciones eventuales de conservación y mantenimiento.
- **Proteger a la explanada de la intemperie**, especialmente del agua, heladas y deshielo. La acción del agua sobre la explanada produciría el deterioro de la misma (deformaciones volumétricas, lavado de material, ...); por ello, es importante en las labores de conservación y el mantenimiento el sellado de las fisuras superficiales.

De las funciones que se han descrito, derivan las principales **características de los firmes**:

Características superficiales (funcionales). Afectan principalmente a los usuarios de la vía y, por ello, el firme debe proporcionar:

- Resistencia al deslizamiento, obtenida a través de la microtextura que debe presentar el firme.
- Regularidad superficial del pavimento, que debe asegurarse tanto longitudinal como transversalmente.
- Propiedades de reflexión luminosa, siendo especialmente importantes para la conducción nocturna.

- Desagüe superficial rápido para evitar infiltraciones de agua a otras capas, así como acumulación de agua en la superficie que podría provocar aquaplaning del vehículo.

Finalmente cabe destacar que el pavimento proporciona el ruido de rodadura, que afecta tanto a los usuarios (interior del vehículo) como en el entorno en el que se ubica la vía (exterior).

Características estructurales (mecánicas), que afectan en las fases de proyecto, construcción, conservación y explotación de las carreteras. Estas características son función de los materiales constituyentes y del espesor de estos. Además, afectan factores relacionados con la armonización estructural y la adhesividad entre capas.

5 Capas del firme

Anteriormente, se ha indicado que el firme está formado por una serie de capas, siendo particularmente estas capas: capa de rodadura, capa intermedia y capa base. Las dos primeras componen el pavimento. En la imagen 2, puede observarse cómo se disponen estas capas para formar el firme de la carretera.

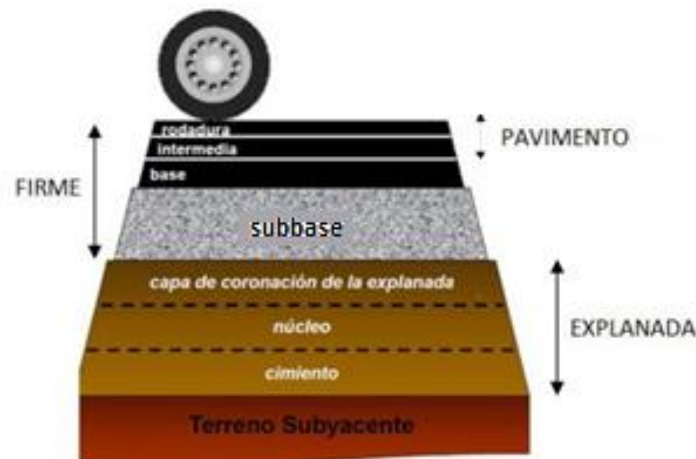


Imagen 2. Estructura del firme.

Pavimento

El pavimento, por ser la capa superior del firme, proporciona las características funcionales. Dada esta posición dentro de la estructura, se encuentra sometido a la acción del tráfico y a las acciones climáticas. Por ello, desde el punto de vista estructural, debe absorber completamente los esfuerzos horizontales (aceleraciones, frenadas, cambios de carril, etc.). Sin embargo, la absorción de los esfuerzos verticales es parcial, dependiendo de su rigidez y espesor.

Finalmente, el pavimento debe impedir la infiltración del agua de lluvia a las capas inferiores; sin embargo, no siempre la capa de rodadura será impermeable (existen pavimentos drenantes, en los que la capa de rodadura es permeable, y requieren que sea otra capa la que garantice la función impermeable).

Base

La capa base, tiene una misión puramente estructural (resistente). Tiene que absorber la mayor parte de los esfuerzos verticales procedentes de los vehículos

pesados, evitando que lleguen a la subbase presiones superiores a su capacidad estructural.

Subbase

La subbase completa la misión estructural, dado que a esta capa pueden llegar esfuerzos verticales que no hayan sido absorbidos por la capa base, y su misión será que estos esfuerzos lleguen atenuados a la explanada.

La subbase sirve para uniformizar el apoyo del firme sobre la explanada y, además, dada la diferente naturaleza que tiene el firme y la explanada, esta capa sirve de transición entre el cimiento del firme y la estructura.



Sabías que...

La capa subbase puede no ser necesaria cuando la explanada tiene una gran capacidad de soporte. Sin embargo, la presencia de esta capa puede disminuir el coste del firme, ya que cuando esta capa está presente, el espesor de la capa base puede ser menor.

6 Materiales que constituyen los firmes

Los materiales básicos que se emplean en la construcción del firme son materiales de naturaleza pétreo (áridos procedentes de machaqueo total o parcial), suelos granulares seleccionados, ligantes asfálticos y productos derivados, conglomerantes hidráulicos (como son los cemento y las cales), agua y otros materiales varios con los que aportar características particulares; entre estos materiales cabe destacar el acero, geolótopos, aireantes, plastificantes, activantes o resinas.

Cabe destacar que cada día es más frecuente el empleo de materiales procedentes de desechos, siendo uno de los más utilizados en los últimos años los neumáticos fuera de uso (NFU); así como subproductos y materiales reciclados (por ejemplo, el material procedente del fresado de la carretera).

Los materiales básicos se combinan dando lugar a lo que se denomina materiales compuestos. Con estos materiales compuestos se forman cada una de las posibles capas que constituyen el firme. Estas capas se conocen como unidades de obra, y particularmente son: (a) capas granulares (zahorras artificiales), (b) materiales granulares estabilizados con cal o cemento (suelocemento y gravacemento), (c) tratamientos superficiales y riegos (adherencia, imprimación y curado), (d) mezclas bituminosas y (e) hormigón (pavimentos de hormigón y hormigón magro vibrado)

En la imagen 3 se muestran algunos ejemplos de las unidades de obra que se han descrito, y se indican los artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carretera y Puentes (PG 3) en el que puede consultarse información más detallada sobre estos materiales.

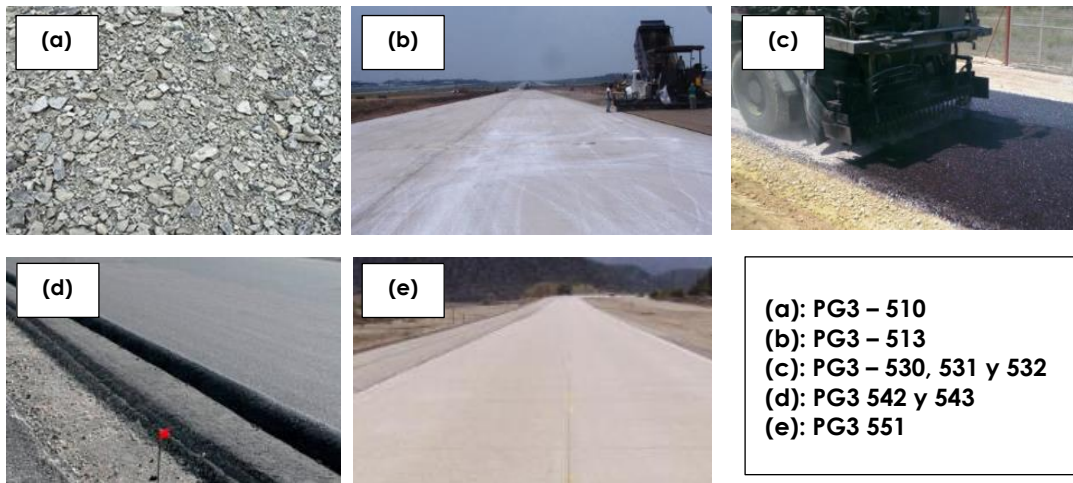


Imagen 3. Ejemplos de las unidades de obra que componen el firme de la carretera.



Ahora que conocemos los materiales compuestos. ¿Sabes en qué capas del firme pueden emplearse?

Los materiales compuestos que pueden formar el pavimento son:

- ✓ Tratamientos superficiales
- ✓ Mezclas bituminosas
- ✓ Hormigón

Los materiales compuestos que pueden formar la base son:

- ✓ Capas granulares, cuando se tiene poco tráfico de vehículos pesados
- ✓ Mezclas bituminosas, cuando el volumen de tráfico pesado es más alto
- ✓ Capas tratadas con cemento, para alto tráfico de vehículos pesados

Los materiales compuestos que pueden formar la subbase son:

- ✓ Capas granulares (zahorras)
- ✓ Suelocemento y gravacemento

7 Tipos de firme

Los firmes pueden constituirse de diverso modo, lo que da lugar a diferentes tipos. En la construcción de carreteras se utilizan firmes flexibles, semiflexibles, semirrígidos y rígidos. Según la norma 6.1 IC de Secciones de Firme, se definen del siguiente modo:

- **Firmes flexibles:** están constituidos por capas granulares no tratadas y un pavimento bituminoso de espesor inferior a 15 cm (salvo caminos con baja intensidad de tráfico). Los esfuerzos son transmitidos a las capas inferiores.

- **Firmes semiflexibles:** al igual que los firmes flexibles, están constituidos por capas granulares no tratadas y un pavimento bituminoso, sin embargo, su espesor total es igual o superior a 15 cm. Los esfuerzos son transmitidos a las capas inferiores.
- **Firmes semirrígidos:** firme constituido por un pavimento bituminoso de cualquier espesor sobre una o más capas granulares tratadas con conglomerantes hidráulicos (de espesor igual o superior a 20 cm). Los firmes semirrígidos suelen emplearse para mayor volumen de vehículos pesados. De este modo, en lugar de aumentarse los espesores de las mezclas bituminosas, se pueden sustituir las capas granulares inferiores por capas formadas con material tratado con cemento.
- **Firmes rígidos:** están constituidos por una capa de hormigón y capas de material tipo zahorra artificial si la explanada es de mala calidad. Se caracterizan porque apenas transmiten cargas y tensiones a las capas inferiores, cumpliendo estas una función de regulación y base de trabajo.

En la imagen 4 se muestra un esquema de los tipos firmes que se han descrito:

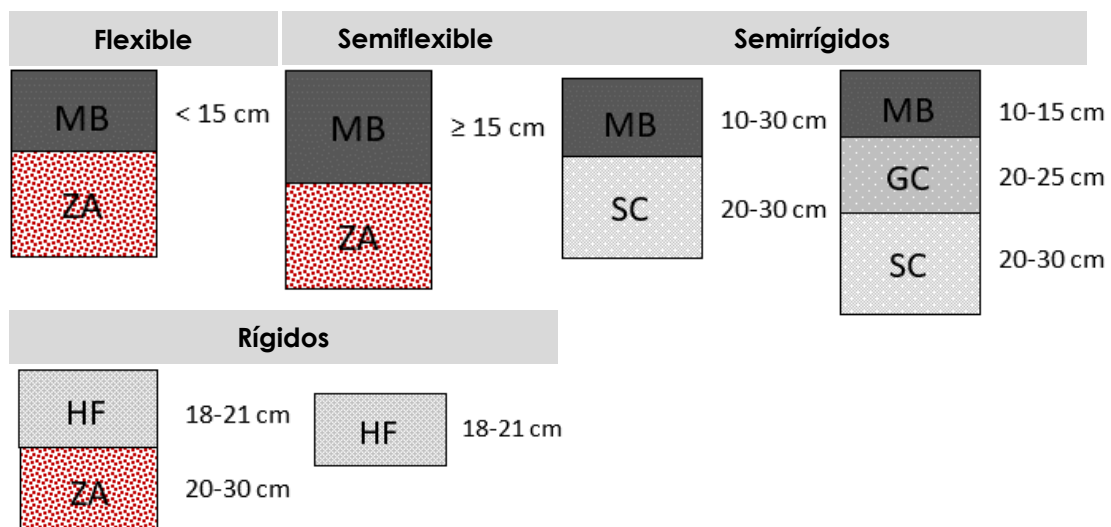


Imagen 3. Ejemplos de las diferentes tipologías de firmes.

8 Conclusión

En este documento se han explicado cuáles son las funciones y las características de los firmes. Además, se han descrito los diferentes tipos de materiales que pueden emplearse en la construcción de firmes de carretera; y en función de estos materiales y los espesores de los mismo, se han identificado las diferentes tipologías de firme recogidas en la Norma 6.1 IC "Secciones de Firmes".

Con estos conocimientos básicos podrás identificar y describir las características de los posibles firmes que se contemplando Norma, en función del valor de tráfico pesado (categoría de tráfico) y tipo de explanada (categoría de explanada). Vamos a comprobarlo:

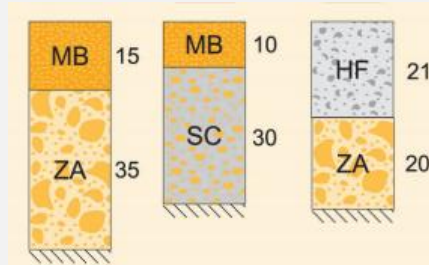


Sabiendo que la categoría de tráfico para una carretera convencional en el año de puesta en servicio corresponde a una categoría T32 y que la que se ha proyectado una explanada E2. ¿podrías indicar y describir qué secciones de firme son válidas según la Norma 6.1.I.C.?

Revisando la Norma 6.1.I.C. y teniendo como datos:

- Categoría de tráfico: T32
- Categoría de explanada: E2

En la Figura 2.2, en las que se recogen las secciones de firme para las categorías de tráfico pesados T3 y T4 en función de la explanada, se observa tienen 3 posibles opciones de diseño:



Sección 1: corresponde con un firme semiflexible formado por 14 cm de mezclas bituminosas y 35 cm de zahorras artificiales.

Sección 2: corresponde con un firme semirrígido. Podemos observar que el espesor de las mezclas se reduce porque está constituida por materiales con cemento. En particular se forma por 10 cm de mezclas bituminosas y 30 cm de suelocemento.

Sección 3: corresponde con un firme rígido formado por 21 cm de hormigón de firme y 20 cm de zahorras artificiales.

La elección concreta de la sección del firme dependerá de un estudio técnico en el que se deben tener en cuenta, entre otros factores, la calidad y procedencia de los diferentes materiales, así como un estudio económico de las distintas secciones.

9 Bibliografía

Kraemer, C. et al. (2004). "Ingeniería de Carreteras. Vol. 2". McGraw-Hill.

Ministerio de Fomento (2003). "Norma 6.1-IC «Secciones de firme» de la Instrucción de Carreteras", ORDEN FOM/3460/2003, Ministerio de Fomento, Madrid.

Ministerio de Fomento (2014). "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carretera y Puentes (PG-3)". ORDEN FOM/2523/2014, Ministerio de Fomento, Madrid.