PATOLOGÍAS DE LOS PAVIMENTOS.
ENTREGA 01.

Andrés Costa
Excoordinador Grupo 1 de ASEFMA

0.- PRESENTACION

Dentro del Grupo de Trabajo 1 del Comité Técnico de la Asociación Española de Fabricantes de mezclas Asfálticas (ASEFMA), se ha preparado un documento que, en formato de Monografía y con el número 14, se ha dedicado al estudio de las Patologías de los Pavimentos.
En esta Monografía se han estudiado las patologías que se producen en los firmes en los que todas o algunas de sus capas y especialmente la de rodadura, están construidas con mezclas bituminosas.
El Comité de Redacción de la Revista Asfalto y Pavimentación ha considerado de interés la publicación de este documento mediante separatas coleccionables, que van a aparecer, a partir de este número de la Revista hasta completar lo que se ha recogido en la citada Monografía 14 de ASEFMA.

1.- INTRODUCCION

El firme de cualquier superficie pavimentada está formado por una serie de capas, de espesor variable entre unos pocos centímetros y 40 centímetros como máximo, colocadas horizontalmente unas sobre otras y a partir de una primera, formada en el terreno natural existente, denominada generalmente explanada.

Las propiedades de los firmes se pueden clasificar en los dos grandes grupos siguientes:

- **ESTRUCTURALES**
- **FUNCIONALES**

Entre las propiedades estructurales se incluyen: **ESTABILIDAD, DURABILIDAD y RESISTENCIA A LA FATIGA.** Cuando el firme pierde alguna de estas propiedades, el usuario lo detecta en grado ya avanzado porque afecta a la regularidad superficial de la superficie de rodadura.

Figura 1. Carretera con mala regularidad superficial.

Respecto a las propiedades funcionales, que influyen directamente en la comodidad y seguridad del usuario, éste detecta su pérdida inmediatamente a producirse. Entre las propiedades funcionales se pueden enumerar las siguientes:

- **Resistencia al deslizamiento.**
- **Textura y grado de drenabilidad superficial.**
- **Regularidad superficial.**
- **Sonoridad, en función del ruido de rodadura generado y de la capacidad de absorción acústica.**
- **Resistencia a la rodadura.**
- **Color y otras propiedades ópticas.**

La normativa española relativa al diseño de los firmes de carreteras de nueva construcción y al acondicionamiento de los ya existentes, recogida en la Norma 6.1 IC SECCIONES DE FIRMES del Ministerio de Fomento para la Red de Carreteras del Estado, así como la normativa que en este sentido han emitido algunas Comunidades Autónomas para sus Re-

des de Carreteras, tienen en cuenta dos características fundamentales para el comportamiento futuro del firme, el tipo de tráfico que va a soportar y las características de la explanada sobre la que se apoya el firme. Respecto a las pistas de aeropuertos, las recomendaciones de diseño están recogidas en el Anexo 14 y el Manual de Diseño de Aeródromos, parte3 de OACI, así como en la serie 150 Advisory Circulars for Airport Projects de la FAA (Federal Aviation Administration) americana. En general todas las normativas permiten considerar distintas secciones estructurales, eligiéndose aquella que sea las más adecuada en función de los materiales disponibles, de las técnicas constructivas y de las propiedades funcionales (seguridad y comodidad) que se requieran al firme.

En el diseño del firme y en la elección de los materiales más adecuados para cada una de las capas deben tenerse en cuenta los factores que van a influir en su deterioro para conseguir que sea el menor posible y lo más dilatado en el tiempo.

Estos factores, que determinan el deterioro del firme a través de la pérdida de sus propiedades estructurales y funcionales, se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **FACTORES PASIVOS**
- **FACTORES ACTIVOS**

Entre los factores pasivos, denominados así porque son intrínsecos al firme, se pueden incluir los espesores de las capas construidas, los materiales elegidos para formar cada capa y el proceso propiamente constructivo de diseño, fabricación de los materiales utilizados (mezclas bituminosas, materiales tratados con cemento, etc.) y puesta en obra de los mismos.

Entre los factores activos, denominados así porque en función de su intensidad y actividad se produce el deterioro del firme, se puede incluir el tráfico, no solo como número de vehículos que pasan, también como el número de ejes del vehículo, la carga por eje, la velocidad de los vehículos, el estado de la regularidad superficial, etc. La acción del tráfico trasmite al firme unas cargas horizontales y verticales que producen tensiones y deformaciones en las distintas capas del firme que se manifiestan en el tiempo en un cierto deterioro que suele producir, en el firme, alguna de las patologías siguientes: **Fisuración por fatiga, Baches, Deformaciones permanentes, Peladuras, Pulimento superficial, etc.**

Entre los factores activos se puede incluir también la climatología, que produce el deterioro del firme aunque no exista tráfico alguno. En este sentido la radiación solar, las variaciones de temperatura en el día y entre las distintas estaciones, el efecto del aire y del agua sobre el ligante de las mezclas bituminosas de la capa de rodadura, el hielo, la nieve (los materiales fundentes que se utilizan para prevenirlos y eliminarlos), etc., afectan a las características mecánicas de los materiales de las capas del firme, especialmente en el pavimento o capa de rodadura, produciendo la perdida de cohesión de las mezclas bituminosas, la aparición de fenómenos superficiales de degradación y desprendimiento del árido, la aparición de fenómenos de fisuración superficial por retracciones y dilataciones superficiales. Además, si el agua accede a las capas inferiores y a la explanada del firme, ejerce un pernicioso efecto sobre la capacidad de soporte y estabilidad del conjunto de capas que forman el firme.

El diseño de un firme exige tener en cuenta los factores activos y los factores pasivos que va a soportar durante su vida de servicio. El comportamiento estructural y las características funcionales y su resistencia al deterioro vienen determinados por los materiales que lo componen y de cómo se comportan bajo la acción del tráfico y de las condiciones climatológicas.

Por todo ello, un proyecto de firme que incluya la aplicación de una mezcla bituminosa requiere un estudio de los factores que intervienen tanto en su composición como en su comportamiento para conseguir combinar las mejores prestaciones con la solución económica más adecuada.

Dentro de estos factores que intervienen hay que tener en cuenta las consideraciones siguientes:

- **Definir las condiciones en las que va a trabajar la mezcla como son tipo de tráfico, meteorología, tipo de capa del firme, etc.**
- **Las propiedades requeridas que deben cumplir las mezclas para poder comportarse adecuadamente produciendo el menor daño posible, entre ellas se encuentran las características de resistencia mecánica, comportamiento frente a deformaciones plásticas.**
- **Determinación de las propiedades estructurales y funcionales que debe tener la mezcla, dadas las solicitaciones a las que se encuentra expuesta. De-**

be establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras.

- **Elección del tipo de mezcla que mejor se adapte a los requerimientos planteados, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar.**
- **Materiales disponibles, elección de los áridos, que deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un coste razonable. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación.**
- **Elección del tipo de ligante: betún convencional, betún modificado, emulsión bituminosa, etc...**
- **Dosificación y determinación de la Formula de Trabajo más adecuada para la mezcla bituminosa seleccionada, teniendo en cuenta las prestaciones a cumplir y los materiales disponibles.**
- **Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: exigencias de seguridad vial, estructura del firme, técnicas de fabricación y puesta en obra, ubicación de la obra (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), condiciones de drenaje y consideraciones económicas.**

Un firme bien diseñado y bien construido presenta inicialmente las propiedades estructurales y funcionales óptimas que se tuvieron en cuenta para realizar el diseño. Inmediatamente se inicia el deterioro del firme por la acción del tráfico y por las condiciones climatológicas. Como consecuencia de ello se producen algunas de las patologías que se describen en esta monografía. Este proceso de "envejecimiento" del firme no es lineal, aumenta de forma progresiva, de manera que una misma causa produce un daño mayor cuanto más se ha deteriorado éste y el envejecimiento es mucho más rápido. Cuando el firme alcanza un nivel de deterioro tal que apenas tiene capacidad soporte y, como consecuencia del deterioro sufrido, presenta una serie de patologías tales que no permite la circulación de los vehículos de manera cómoda y segura incluso a baja velocidad, se considera que el firme ha agotado su vida útil y es necesario reconstruirlo con una inversión prácticamente igual a la que se realizó inicialmente para su construcción como nuevo.

Una alternativa a este tipo de actuación consiste en realizar una conservación preventiva del firme de manera que apenas se produzcan las degradaciones de sus propiedades estructurales y funcionales, se actúa manteniendo, de forma más o menos continua en el tiempo, sus propiedades iniciales y permitiendo la circulación cómoda y segura de los usuarios a lo largo de muchos años.

SIEMPRE ES MAS ECONOMICO Y SOBRE TODO MAS SEGURO PARA LOS USUARIOS, SEGUIR UNA POLITICA DE CONSERVACION PREVENTIVA, CON ACTUACIONES PERIODICAS SOBRE EL FIRME, PARA MANTENER LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES INICIALES DEL FIRME CONSTRUIDO.

2.- TIPOS DE FIRMES

En principio, según el funcionamiento estructural y los materiales utilizados en la construcción de las capas, hay dos grandes grupos de tipos de firmes: **FLEXIBLES y RIDIGOS.** Posteriormente y como solución intermedia entre estos dos tipos de firme, se han desarrollado los denominados firmes **SEMIFLEXIBLES y SEMIRRIGIDOS.**

Así mismo se han desarrollado otros tipos de firmes, utilizados normalmente en vías urbanas, que responden a las denominaciones de firmes **MIXTOS, DISCONTINUOS POR ELEMENTOS y TERRIZOS.** Todos ellos se describen a continuación.

2.1.- Firmes Flexibles

Son firmes formados por capas de materiales granulares, con mayor calidad en la capa de base que en la de subbase, y un pavimento de tipo bituminoso que, en los casos con tráfico más ligero, puede ser un sencillo tratamiento superficial mediante riego con gravillas y en los demás casos, que suele ser la solución más habitual, mediante una capa de mezcla bituminosa de mayor o menor espesor según el tipo de tráfico pesado que soporte el firme.

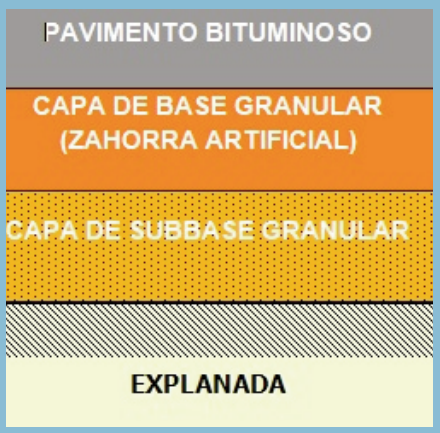

Figura 2: Sección tipo de un firme FLEXIBLE

La acción de las cargas del tráfico sobre el pavimento produce su deformación elástica, por flexión de la mezcla bituminosa, absorbiendo una parte de la tensión producida y transmitiendo a la capa inmediatamente inferior el resto de la tensión. Mientras el pavimento mantiene su comportamiento elástico, una vez ha pasado la carga, el pavimento recupera la deformación que se ha producido. La repetición de cargas produce la fatiga de la mezcla bituminosa y, al cabo de un número determinado de cargas, la deformación se hace permanente, se produce la fisuración de la capa y el firme ha agotado su capacidad de soporte siendo necesario reforzarlo.

La tensión transmitida en cada aplicación de carga a la capa granular, se reparte y va reduciendo su valor con la profundidad, gracias al contacto entre las partículas que forman el material granular. Al final, la capa de subbase transmite la tensión residual a la explanada que deberá soportarla sin deformarse de manera permanente pues, en caso contrario, el firme reflejaría estas deformaciones y no permitiría circular de manera cómoda y segura sobre él.

Es un pavimento económico y rápido de construcción, sensible a la presencia de agua, que requiere explanadas de cierta calidad para soportar las tensiones que llegan a ellas. Con cargas elevadas, es decir para tráficos muy pesados, puede haber problemas de roderas y deformaciones importantes.

2.2.- Firmes Semiflexibles

El aumento considerable de las cargas del tráfico en una carretera con un firme de tipo flexible, lleva a un mal comportamiento del firme, agotando su capacidad soporte en poco tiempo, salvo que se construyan con capas granulares de mucho espesor, solución que no es rentable económicamente y que no es aconsejable constructivamente.

Hay dos posibles soluciones en este caso. Aumentar el espesor de las capas de mezcla bituminosa o bien sustituir la capa de base granular por un material de mayor resistencia mecánica. Esto da lugar otros dos tipos de firmes, que son los semiflexibles y los semirrígidos.

Se denominan FIRMES SEMIFLEXIBLES aquellos que teniendo la misma estructura que los firmes flexibles, en cuanto a número de capas y materiales constituyentes de las mismas, el espesor total de las capas de mezcla bituminosa es superior a un cierto espesor. En general se considera este valor a partir de los 15 centímetros.

2.3.- Firmes Semirrígidos

Para mejorar el comportamiento resistente de los firmes flexibles con tráfico pesado alto, se pueden sustituir los materiales granulares de la capa de base e incluso de la capa de subbase, por materiales tratados o estabilizados con cemento. Estos materiales, que tienen unos módulos de elasticidad sensiblemente mayores que los materiales granulares, son capaces de absorber gran parte de las tensiones del tráfico, transmitiendo tensiones y deformaciones muy pequeñas a la explanada y alargando sensiblemente la vida útil del firme. Este nuevo tipo de firme se ha denominado: FIRMES SEMIRRIGIDOS.

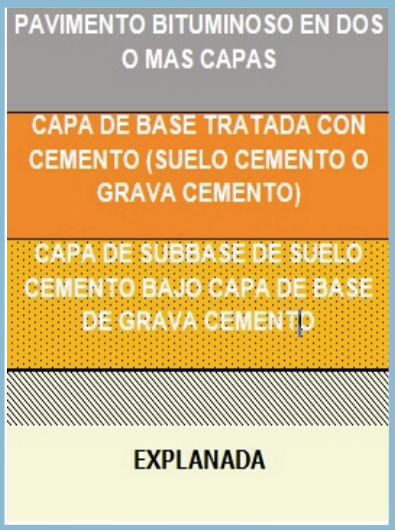

Figura 3: Sección tipo de un firme SEMIRRIGIDO

Son firmes formados por una capa de subbase de suelo cemento (solo cuando la capa de base es de grava cemento), una capa de base de suelo cemento o de grava cemento y una capa de rodadura con mezcla bituminosa en caliente en una o varias capas, según el espesor prescrito. Estos firmes tienen un inconveniente importante en la posible reflexión, a la superficie del pavimento, de las grietas de retracción propias de la base tratada con cemento. Esta reflexión es tanto más rápida cuanto menor es el espesor de la capa de mezcla bituminosa y cuanto mayor es el tráfico de vehículos pesados.

En la línea de evitar este problema de reflexión de grietas, se puede sustituir el material tratado con cemento de la capa de base, por algún tipo de mezcla bituminosa que sea capaz de absorber, en gran medida, las tensiones del tráfico transmitidas por el pavimento. Tradicionalmente se han utilizado: la grava emulsión o las mezclas bituminosas gruesas del tipo AC22 ó AC32base G (Articulo 542 del PG-3, actualizado por la Orden Ministerial FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, publicado en el BOE de 3 de enero de 2015). En esta línea se han desarrollado unas mezclas bituminosas en caliente denominadas de Alto Modulo (AC 22 base S MAM), también recogidas en el citado Artículo 542 del PG-3, cuyo comportamiento, a nivel resistente, es análogo al de una base tratada con cemento, con módulos elásticos similares, pero sin los problemas de las grietas de retracción reflejadas en la capa de rodadura.

Estas secciones se han utilizado de manera generalizada en los firmes de carreteras con tráficos pesados de las categorías más elevadas.

2.4.- Firmes Rígidos

Se caracterizan porque la absorción de las tensiones producidas por las cargas del tráfico la realiza una losa de hormigón, que actúa además como capa única de pavimento. La losa de hormigón puede construirse: en masa, en masa con pasadores en las juntas de las losas, de hormigón armado y de hormigón pretensado. Las dos últimas soluciones prácticamente no se han utilizado en las carreteras españolas por ser muy caras y complejas de construir.

Cuando los firmes rígidos se utilizan en las vías urbanas, uso algo más habitual que en carreteras, la solución es de hormigón en masa, con juntas longitudinales de alabeo separadas entre sí el ancho de los carriles que forman la vía y con juntas transversales, separadas de 4 a 6 metros entre cada dos contiguas para absorber las tensiones producidas por las retracciones térmica y de fraguado del hormigón.

Figura 4: Sección tipo de un firme RIGIDO

Las cargas del tráfico se transmiten por flexotracción, de manera que al distribuirse en una gran superficie y con el elevado módulo de elasticidad del hormigón, las tensiones y deformaciones transmitidas a la explanada son muy pequeñas.

En este tipo de firme la capa de base apenas tiene función resistente, es la propia losa de hormigón del pavimento la que tiene esta función, pero deben construirse y hacerlo de manera que sea una buena plataforma de apoyo y de trabajo para el pavimento. Ha de ser estable y no erosionable por el agua que puede entrar en el firme a través de las juntas de construcción y de las fisuras en el hormigón.

Exclusivamente para la construcción de vías urbanas se han desarrollado algunos tipos de firmes alternativos a los descritos hasta ahora, de manera que se adaptan y responden mucho mejor a las necesidades y características de los pavimentos urbanos. En esta línea están los firmes siguientes: **FIRMES MIXTOS, FIRMES DISCONTINUOS POR ELEMENTOS** y **FIRMES TERRIZOS** o **DE TIERRA**. A continuación se describen estos tres tipos de firmes habituales en las vías urbanas.

2 .5.- Firmes Mixtos

Los denominados **FIRMES MIXTOS**, de uso exclusivo en los viales urbanos, consisten en la construcción de una capa de base de hormigón en masa y una capa de pavimento con

mezcla bituminosa. Como subbase se suele utilizar un material granular o un suelo estabilizado con cemento, pudiendo prescindirse de esta capa para cargas de tráfico bajas y si hay una buena explanada.

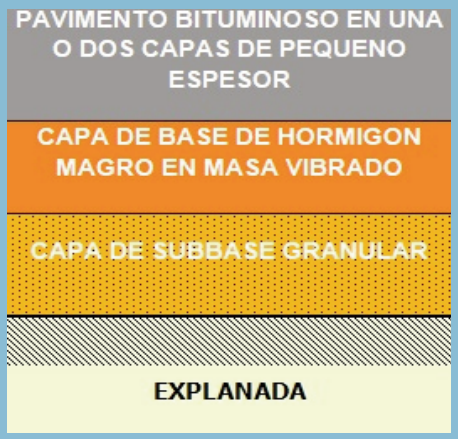

Figura 5: Sección tipo de un firme MIXTO

Puesto que la capa de base de un firme mixto no requiere una capacidad estructural elevada, es habitual emplear hormigones con una resistencia característica a compresión simple a 28 días de 15 MPa. Bajo la denominación de la Instrucción EHE 08, se trataría de un hormigón no estructural HNE-15, puesto que la resistencia mínima requerida a un hormigón en masa (20 MPa, HM-20) resulta excesiva para un firme de carretera.

Para el tipo de tráfico que normalmente soportan las vías urbanas, la utilización de hormigones de mayor resistencia característica no aportaría apenas ventajas e incidiría negativamente, al menos en los dos aspectos siguientes: en un número y un tamaño mayor de las grietas de retracción térmica y de fraguado en la construcción, y en una mayor dificultad para demoler esta capa de base al construir zanjas para acceder a las redes subterráneas de servicios.

En cuanto a la mezcla bituminosa del pavimento, normalmente se construye en una o dos capas en función del tipo de tráfico que soporta, con un espesor total relativamente pequeño. La primera o capa intermedia suele ser de los tipos AC16 S ó AC22 S (Articulo 542 del PG-3) y la superior o de rodadura propiamente dicha, con mezcla tipo AC16 D ó AC22 D (Articulo 542 del PG-3) o con mezclas discontinuas en capa delgada de los tipos BBTM 8B, BBTM 11B, BBTM 8A ó BBTM 11A (Articulo 543 del PG-3). Las mezclas porosas tipo PA 11 ó PA 16 no se suelen utilizar cuando se trata de firmes mixtos en vías urbanas.

Este tipo de firme presenta algunas ventajas para su utilización en vías urbanas. Entre esas ventajas están: su buen comportamiento, en la fase de construcción, sobre las redes subterráneas de servicios existentes, la facilidad de reposición de los materiales de las distintas capas al cerrar las zanjas sin dañar los servicios y de reposición del firme sin discontinuidades, la superficie de rodadura es cómoda, segura y de las más silenciosas para los usuarios y habitantes de la zona, la excelente resistencia mecánica de la base de hormigón permite una larga vida al firme, siendo muy sencillo y rápido eliminar y reponer la capa de rodadura cuando ha perdido sus características superficiales o incluso la capa de pavimento de mezcla bituminosa completa si está muy envejecida y agrietada, sin afectar a los servicios y sin modificar la rasante del firme.

Como inconveniente, posiblemente el mayor y cada vez peor soportado por los usuarios, está el reflejo de las grietas de retracción de la base de hormigón a la superficie de la capa de rodadura. Estas grietas se ha considerado que no resultaban incomodas para rodar sobre ellas mientras la velocidad de los vehículos fuese baja y tampoco había problemas de deformación y rotura de los bordes de las grietas mientras el tráfico de vehículos pesados circulando sobre ellas sea escaso.

En la actualidad las condiciones del tráfico en las ciudades han cambiado y las grietas de retracción de la capa de base de hormigón, reflejadas en el pavimento, resultan una incomodidad para los usuarios de los vehículos y un problema grave porque la degradación de sus bordes es importante, con formación de pequeños baches al perder parte de la capa de mezcla bituminosa. En vías urbanas con un nivel de tráfico alto es recomendable retrasar el reflejo de las grietas a la capa de rodadura lo más posible. Para ello hay varias soluciones: aumentar el espesor de las capas de mezcla bituminosa, o bien colocar alguna capa de un material con propiedades antirreflexión de grietas (geotextiles, arena betún, etc.), o bien utilizar un betún modificado con elastómeros en la fabricación de las mezclas bituminosas, buscando un tipo de mezcla y una fórmula de trabajo que permita poner una mayor cantidad de ligante en la mezcla, para dotarla de una mayor flexibilidad, aumentar su capacidad resistente y alargar sensiblemente su vida útil en buen estado.

Una buena solución alternativa puede estar en construir un firme semirrígido sustituyendo en la capa de base el hormigón magro en masa por una mezcla bituminosa de Alto Modulo. El comportamiento mecánico de esta solución es similar al firme mixto pero sin grietas de retracción que se reflejen en la capa del pavimento. En el caso de vías urbanas de nueva construcción, donde se puede colocar la red de servicios subterráneos por debajo de las aceras o en zonas de galería visitable, este tipo de firme es recomendable considerarlo como la solución más adecuada. En vías urbanas existentes y siempre que las redes de servicios discurran por debajo de la acera, es también recomendable utilizar este tipo de firme.

2.6.- Firmes Discontinuos por Elementos

Son firmes utilizados en las vías urbanas en los que la capa de pavimento está formada por piezas con mayor o menor grado de articulación, que se colocan sobre una capa de base que puede ser flexible, semirrígida o rígida.

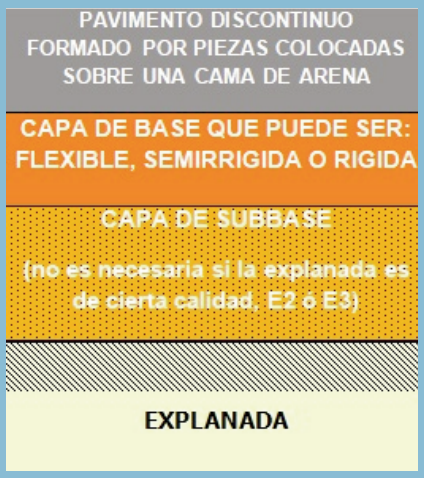

Figura 6: Sección tipo de un firme DISCONTINUO POR ELEMENTOS

En vías urbanas y siempre que haya servicios subterráneos por debajo de este tipo de firme, se recomienda que la base sea de tipo rígido. En cuanto a las piezas que forman el pavimento, los más utilizados son los siguientes: los adoquines de piedra natural, los adoquines de hormigón prefabricados, los enlosados de piedra natural y los enlosados de hormigón prefabricado.

El comportamiento de estos firmes depende del tipo de material colocado en la capa de base. Si la base es flexible, las piezas se colocan articuladas y selladas entre sí, exclusivamente con arena. El rozamiento entre las piezas y la imposibilidad de giro, confieren al conjunto una excelente flexibilidad y una mayor resistencia que la que tiene cada pieza por separado. Si están sometidos a cargas pesadas, puede haber deformaciones indeseables que no aconsejan su uso en ese caso y con este tipo de capa de base. Cuando la base es de hormigón, los elementos se unen entre sí mediante un mortero de cemento, comportándose el firme, bajo la acción de las cargas del tráfico, como un pavimento rígido.

Cuando se utilizan sobre base flexible con una arena de sellado entre las piezas articuladas, las reparaciones y reposiciones de los servicios subterráneos son extremadamente sencillas, rápidas y económicas pues permiten volver a utilizar las mismas piezas iniciales en el pavimento.

2.7.- Firmes Terrizos o de Tierra

Son firmes de vías urbanas muy sencillos, formados por un pavimento de tierra sobre una o más capas granulares. Es un caso de firme flexible simplificado donde se ha eliminado el pavimento bituminoso. Su utilización se recomienda restringirla para firmes con cargas muy bajas, como son las áreas de juego infantiles y deportivas, algunos paseos de uso exclusivamente peatonal y en algún vial con tráfico muy escaso y ligero, por razones estéticas y del entorno.

Su comportamiento estructural para los usos y condiciones de tráfico recomendados es bueno, siempre que estén bien construidos, necesitando un cierto mantenimiento periódico.

Para conseguir ese buen comportamiento se recomienda colocar bordes de confinamiento del mismo y conseguir que funcione bien el drenaje en este tipo de firme. Por ello, se debe colocar siempre en alguna capa inferior, un material granular drenante e incluso, si el terreno natural es impermeable, un sistema de drenaje adecuado. Las capas granulares superiores serán siempre de mayor calidad que las inferiores, es decir, se construirán con un material de mayor dureza y regularidad, con un tamaño máximo menor, con una granulometría más cuidada y con un menor contenido en finos y en plasticidad.

Si la explanada es de mala calidad, como sería en el caso de suelo no tolerable, se recomienda estabilizar el terreno con algún conglomerante hidráulico (cal o cemento).