

## **GRAVAEMULSIÓN. UNA BUENA TÉCNICA PARA NUESTRAS CARRETERAS.**

**Juan José Potti. Director Técnico**

**María Martínez. Adjunta al Director Técnico**

**Francisco Lara. Delegado de Extremadura.**

**Jose Luis Puerto. Jefe de Obra de la Ronda Norte de Cáceres.**

### **Resumen**

Según el artículo 514 del PG-3, de 1976, se denomina gravaemulsión a la mezcla íntima de áridos, emulsión asfáltica y agua que, convenientemente compactada, se utiliza en la construcción de firmes de carreteras.

Esta definición es realmente pobre y no distingue cuales son las particularidades de esta mezcla con respecto a otras. La gravaemulsión es una mezcla de granulometría continua, donde el ligante envuelve preferentemente los elementos finos, dando lugar a un mortero que cohesiona los áridos más gruesos. Por tanto en esta mezcla coexisten dos fases, la primera constituida por mortero de árido fino y emulsión que imparte cohesión y permite la adaptación a las deformaciones lentas del soporte sin fisurarse, y la segunda constituida por el árido grueso que proporciona elevado rozamiento interno para resistir los efectos de la acción del tráfico.

Otra diferencia radica en el menor contenido de ligante, que permite su manipulación después de rota la emulsión, al actuar el agua como lubricante de las partículas minerales, esto se traduce en que la gravaemulsión es almacenable (incluso durante meses), siempre que se mantenga húmeda.

La gravaemulsión es un material óptimo para el refuerzo de firmes como capa de base o intermedia, y es además idóneo en los ensanches de calzada. Sustituyendo los paquetes de zahorra, por gravaemulsión, se consigue una importante reducción del espesor de la capa de base del firme y es una opción que no debe olvidarse pues cada vez resulta más complicado encontrar zahorras de calidad para las carreteras.

## **1.INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Características generales de la Gravaemulsión.**

Se conoce como gravaemulsión el material bituminoso obtenido como mezcla de un árido en granulometría continua, densa, una emulsión en pequeña dotación (entre 3% y 4% de betún residual) de rotura lenta, agua y eventualmente aditivos, que se extiende y compacta a temperatura ambiente.

La gravaemulsión está constituida por unos componentes que son los mismos que los de una mezcla densa en frío, pero presenta unas características específicas que la diferencia de aquella.

1. En la grava-emulsión, el ligante envuelve preferentemente a los elementos finos dando lugar a un mortero que cohesiona los áridos más gruesos, que no tienen que estar completamente envueltos. Por tanto en la gravaemulsión coexisten dos fases:

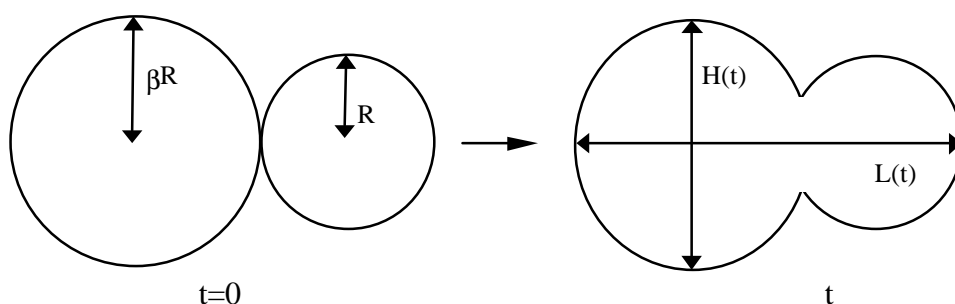
a) La primera constituida por el mortero de árido fino y emulsión que imparte cohesión y permite la adaptación a las deformaciones lentas del soporte sin fisurarse

b) La segunda constituida por el árido grueso "pintado" que proporciona elevado rozamiento interno para resistir los efectos de la acción del tráfico. Esta estructura se mantiene hasta que en el proceso de compactación, se produce un laminado de los glóbulos de betún que provoca la rotura definitiva, con lo que se consigue desarrollar una buena cohesión y una alta compacidad.

2. La otra diferencia con las mezclas densas radica en el menor contenido de ligante<sup>1</sup>, que permite su manipulación después de rota la emulsión, al actuar el agua como lubricante de las partículas minerales.

La compactación enérgica tiene una gran importancia en estas mezclas, porque lamina los glóbulos de betún (es decir, se rompe la emulsión) dando cohesión al mortero, y establece el contacto entre las partículas gruesas asegurando el rozamiento interno; además ayuda a eliminar el agua favoreciendo el proceso de maduración posterior.

El proceso de rotura de la emulsión y la toma de cohesión inicial es un proceso complejo que ha sido abordado dentro del proyecto OPTTEL, en la tarea 7. Dentro de estas etapas y desde un punto de vista científico la desestabilización de la emulsión pasa por una etapa denominada de contracción en la que las partículas de betún se empiezan a unir para formar partículas de mayor tamaño y desplazando el agua que las separaba.



**Figura 1**

Esta etapa está controlada básicamente por la tensión interfacial betún-agua y la viscosidad del ligante. Por tanto:

*Un proceso de rotura adecuado se producirá cuando la elección del emulsionante en relación a los materiales empleados, actividad iónica generada por estos al pH proyectado, permita obtener una baja tensión interfacial y será tanto más rápida cuanto menor sea la viscosidad del ligante de base emulsionado y mayor el tamaño de las partículas.*

---

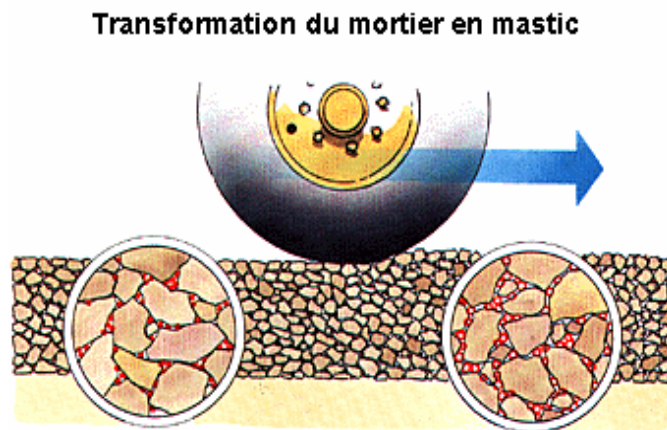
<sup>1</sup> Al recubrir las partículas más finas con una película de ligante más fina y activada por el emulgente residual que fue empleado en la fabricación de la emulsión, se consigue que con un mínimo de betún, recubrir el mortero del árido, dando cohesión a la mezcla.

En este proceso es evidente que materiales que retengan agua como las arcillas o áridos de elevada capacidad de absorción pueden retrasar la toma de cohesión al retardar el proceso de evacuación del agua que está directamente relacionado con el proceso anterior.

Las características mecánicas finales de la mezcla están directamente relacionadas con las características reológicas del ligante residual, su contenido, distribución y la densidad de la mezcla. En las mezclas en frío, en general, y en la gravaemulsión en particular no conviene olvidar la importancia del contenido en agua y del contenido en emulsionante residual.

*En ambos casos una cantidad elevada favorece los procesos de envuelta y manejabilidad pero por el contrario resultan perjudiciales en exceso para las propiedades mecánicas finales, afectando muy negativamente a la densidad final de la mezcla y a la distribución del ligante, respectivamente.*

El agua se elimina mediante el proceso de compactación y secado posterior. La cohesión va aumentando hasta alcanzar su valor definitivo, en un tiempo que puede oscilar entre unos días y varias semanas en función de las características de la mezcla, de las condiciones ambientales, del paso del tráfico y de las características drenantes del soporte.



**Figura 2**

## **1.2. Propiedades Características**

Las peculiaridades reseñadas son las responsables de las características específicas de la gravaemulsión que se enumeran a continuación:

- Alta resistencia a los esfuerzos de compresión (resistencia a las deformaciones plásticas) por el rozamiento interno de los áridos gruesos.
- Resistencia mecánica progresiva a medida que se elimina el agua en el proceso de maduración.
- Capacidad de absorber los esfuerzos de tracción por la presencia de un rico mortero bituminoso que garantiza la cohesión necesaria para absorber dichos esfuerzos. Es decir, excelente resistencia a la fatiga.

- Flexibilidad suficiente para adaptarse a soportes deformables, por la plasticidad del mortero.
- Autorreparación frente a posibles fisuras, por la riqueza en betún del mortero.
- Gran impermeabilidad por la granulometría continua que le proporciona la máxima compacidad complementada con un ligante activado.
- Almacenable durante meses siempre que se mantenga húmeda.
- Posibilidad de empleo de áridos locales

Con estas características se puede proponer su empleo en:

- ✓ Capas de base y subbase de firmes flexibles.
- ✓ Capas intermedias de firmes semirígidos. Se ha empleado en espesores mínimos de 8 cm como capa antirremonte de fisuras, entre grava-cemento y capa de rodadura, con resultados muy satisfactorios.
- ✓ Capas de refuerzo de firmes flexibles bituminosos. En la Normativa 6.3. IC “Rehabilitación de firmes” del Ministerio de Fomento se ha incluido este material para refuerzos en tráfico T2 a T4. En la Normativa de Castilla y León, que se nombra más adelante, se especifica que los refuerzos se hagan con gravaemulsión para tráfico T4.
- ✓ Reperfilados y ensanches. Es quizás el material mejor adaptado para esta aplicación.
- ✓ Bacheos y reparaciones localizadas.

Además, la fabricación de la grava-emulsión se hace en frío, lo que lleva a:

- ❖ Economía, combinando altos rendimientos de fabricación con movilidad y bajas inversiones en equipos.
- ❖ Ausencia de contaminación, al evitar los humos en el calentamiento de la mezcla o el polvo de la extracción del filler de los áridos.
- ❖ Seguridad, al no haber calentamiento de los materiales.
- ❖ Flexibilidad en las operaciones, ya que el material se puede acopiar y puede transcurrir un cierto tiempo entre la fabricación y el transporte y el extendido o entre el extendido y la compactación.

En este punto, hablaremos brevemente de la fabricación y puesta en obra de la gravaemulsión:

## **2. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA.**

Se puede realizar en central o in situ. Los equipos de fabricación in situ son similares a los que se utilizan en el reciclado in situ.

En obras importantes es preferible la fabricación en central. En este caso se utilizan plantas continuas compuestas por:

- Conjunto dosificador de áridos, con dos o más tolvas con alimentadores volumétricos o mejor ponderales.
- Cinta elevadora.
- Mezclador continuo de ejes paralelos.

- Depósito y dosificador de emulsión, generalmente una bomba de paletas con velocidad ajustable, mandada a su vez por el caudal real de áridos, que no necesita estar dotada de calefacción aunque puede ser conveniente.
- Difusor de emulsión en el mezclador
- Depósito, bomba, dosificador y difusor de agua.



**Foto1. Planta de fabricación de mezclas en frío**

Las tolvas dosificadoras de árido constan de compuerta y dispositivos mecánicos de salida que permiten regular los caudales constantes previamente tratados, con variador de la velocidad de la cinta. Es normal disponer en la tolva de árido fino vibradores que eviten la formación de bóvedas, frecuentes en la boca de descarga cuando la arena está húmeda.

Después de dosificar los elementos básicos se lleva a cabo la envuelta homogénea de los áridos con agua y ligante. Esta operación se realiza en el mezclador, que consta en esencia de una cuba de mezclado, dos ejes gemelos provistos de paletas y una compuerta que da paso a la tolva de descarga. La cuba de mezclado debe tener longitud suficiente para permitir la colocación correcta de los dispositivos de incorporación de agua y emulsión. Por uno de los extremos del mezclador entran los áridos. Si hay que añadir agua se realiza la operación en la zona de descarga de los mismos. El material avanza en el mezclado hacia el extremo de salida gracias a la inclinación de la cuba (entre 3% y 7% generalmente) y a la orientación de las paletas de los ejes. Después de un amasado previo de los áridos, se añade la emulsión mediante una barra regadora, y finalmente después de realizada la mezcla, el material vierte directamente sobre camión o al acopio.

Normalmente se utiliza la emulsión a temperatura ambiente, pero en algunos casos puede ser recomendable calentarla ligeramente para mejorar el funcionamiento de los inyectores y facilitar la envuelta.

Durante la fabricación debe vigilarse estrechamente la humedad del árido y ajustar la dotación de agua de preenvuelta. Hay que evitar que se produzca una mala envuelta por falta de humedad, pero, sobre todo, hay que evitar excesos de humedad que perjudiquen luego el proceso de compactación y de maduración de la mezcla.

Finalmente, la mezcla vierte sobre camión o sobre tolva. La altura de caída debe ser la menor posible para evitar segregaciones. El material puede acopiarse tomando únicamente la precaución de evitar contaminaciones de la zona sobre la que reposan. La gravaemulsión puede almacenarse durante largo tiempo si es necesario, especialmente en períodos fríos.

Las plantas descritas son del tipo utilizado para mezclas abiertas en frío (añadiéndoles tanques y difusores de agua) o para grava-cemento (añadiéndoles tanques y difusores de ligante). También puede realizarse la fabricación en centrales de hormigón o en centrales convencionales discontinuas para mezclas en caliente sin pasar los áridos por el tambor secador, incorporando los tanques y difusores de agua correspondientes, aunque el empleo de estas plantas resulta antieconómico.

La producción de las centrales continuas para gravaemulsión puede variar entre 50 t/h y 200 t/h, siendo las más frecuentes en obras de volumen medio las de 150 t/h. Su transporte puede hacerse por elementos, con un montaje de 3 a 5 días, o montadas sobre camión, en cuyo caso su utilización completa puede realizarse en un sólo día. Se pueden trasladar de forma económica, incluso para fabricar pequeñas cantidades de grava emulsión.

## **2.1 Puesta en Obra**

La puesta en obra puede hacerse con motoniveladora, extendedora de mezcla bituminosa, o incluso con una recicladora / estabilizadora que fabrique la mezcla in situ y la extienda. Puede extenderse directamente o depositarse en caballones para su extendido posterior.

La motoniveladora tiene una gran flexibilidad de funcionamiento y puede utilizarse tanto en reperfilados como en refuerzos. En reperfilados, el material puede extenderse a espesor prácticamente nulo, eliminando la hoja de la motoniveladora los áridos gruesos, con lo que queda un mastico rico en ligante y muy adherente. Con mezclas con exceso de agua, la motoniveladora permite airear el material antes del extendido. Permite además colocar espesores variables. Sin embargo, el uso de la motoniveladora por un maquinista poco experimentado puede conducir a segregaciones importantes, falta de uniformidad, mal acabado, etc.

Con unos ciertos espesores es mejor la extendedora, ya que reduce sensiblemente la segregación del material y además no hay pérdidas de material, evita la desecación que siempre produce la motoniveladora y mejora la regularidad superficial y el acabado lateral.

La experiencia demuestra que si el espesor sobrepasa los 10-12 cm compactados es mejor extender en dos capas. Cuanto más delgada es una capa mejor se airea y cura. Las capas de más de 12 cm pueden originar curados heterogéneos. Por otro lado, con soportes irregulares conviene regularizar con una primera capa y extender una segunda con espesor constante. En el extendido no son necesarias precauciones especiales, siempre que se respeten las reglas de buena práctica.



**Foto2. Extensión de gravaemulsión.**

## **2.2 Compactación**

La gravaemulsión necesita una enérgica compactación para laminar los glóbulos de betún y aumentar la cohesión del mortero, así como para poner en contacto partículas de árido grueso y aumentar el rozamiento interno, por tanto su misión es la de eliminar la mayor cantidad posible de agua, disminuir los huecos y aumentar la cohesión inicial de la mezcla. Lamina el agua de la emulsión y ayuda a que se produzca la rotura final. Es necesaria una compactación muy enérgica. Se trata de elementos gruesos con contactos casi secos, encastrados en un mástico.

El contenido de agua debe ser el óptimo o ligeramente inferior. Con contenidos elevados de agua se dificulta la compactación y se retrasa la cohesión.

El momento de entrada de los compactadores es muy flexible, lo que supone una gran ventaja de este material. Una vez extendida la mezcla puede compactarse de forma inmediata o bien esperar hasta varias horas.

Se suelen utilizar rodillos vibratorios pesados. Como la estabilidad inicial puede ser reducida es conveniente en general utilizarlos en modo estático en las pasadas iniciales, para después aplicar la vibración. Debe evitarse que un exceso de vibración pueda producir una migración del ligante hacia la superficie. En capas delgadas puede ser suficiente la compactación estática. A veces se utilizan compactadores de neumáticos, de 4-5 t por rueda, que tienen un gran efecto de amasado y ayudan mejor a eliminar el agua. El cierre de la superficie se hace mediante compactadores de neumáticos a baja presión o con el propio rodillo metálico en modo estático.

## **2.3 Protección**

Después de la ejecución hay que esperar un cierto tiempo para que se produzca la eliminación de la mayor parte del agua. Generalmente se permite el paso del tráfico y este ayuda a eliminar el agua. En épocas frías puede ser necesario realizar un riego para proteger la superficie. Se suele utilizar una emulsión de rotura rápida de 300 gr/m<sup>2</sup> de betún residual y una gravilla 0/3 ó 0/5. Si se desprenden partículas, se debe barrer enérgicamente y sellar con emulsión fluida. Se suele admitir que puede extenderse la capa superior cuando el contenido de humedad se encuentra en el entorno del 1%.

## **3. NORMATIVA ESPAÑOLA**

En España la gravaemulsión estaba recogida en el recientemente derogado artículo 514 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG3 del Ministerio de Fomento. En la actualidad está en revisión, por lo se aquí adelantan unas líneas meramente orientativas del artículo.

Se establece el empleo únicamente de cuatro tipos de emulsiones ECL-2, EAL-2, ECL-2d y EAL-2d.

Las exigencias respecto a los materiales, y específicamente respecto a los áridos se establecen de acuerdo con la categoría del tráfico y situación de la capa en el firme del mismo modo que en el caso de las mezclas en caliente, concretamente con las mezclas en caliente para capas de base.

Un aspecto muy importante son las modificaciones realizadas en los husos granulométricos. Se establecen los husos GE10, GE 12, GE20 y GE-S.

Los tres primeros están en línea con las denominaciones de las mezclas en caliente (S12, S20, S25), donde los números indican el tamaño máximo del árido.

El huso GE-S, mucho más amplio, se define para subbases o arcenes.

La dosificación de las mezclas se establece mediante el ensayo de inmersión-compresión.

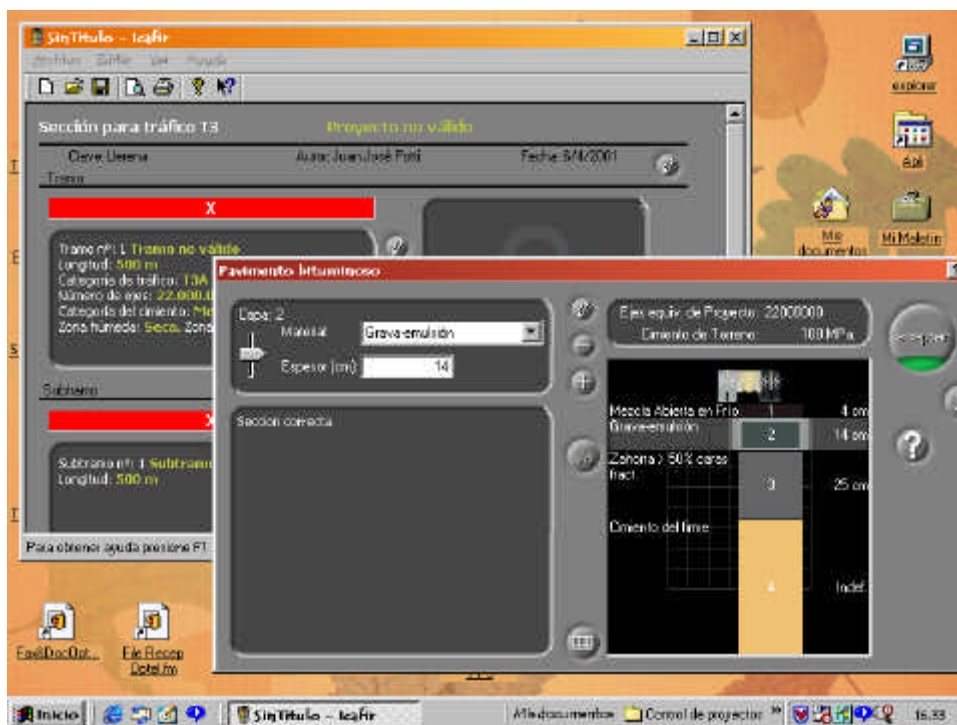
Otros aspectos especialmente importantes radican en las exigencias respecto a las características superficiales y control de calidad en línea con otros artículos.

Existe además Normativa de Comunidades Autónomas, en concreto de la Junta de Castilla y León y de la Junta de Andalucía.



Brevemente comentaremos que la Junta de Castilla y León sigue la línea de la Normativa Ministerial, es decir, pretende un tratamiento similar en cuanto a calidad y control de las capas de base en frío (gravaemulsión), con las capas de base en caliente.

La Junta de Andalucía, además, desarrolló una aplicación informática (ICAFIR), que permite fácilmente diseñar secciones de firmes adecuadas para cada tráfico. (Secciones a la carta).



Destaca dos tipos de módulos para la gravaemulsión: 4.000 Mpa si se fabrica en central y 2.500 si se fabrica in situ, sólo válida para T4.

#### 4. ULTIMA EXPERIENCIA DE PROBISA. RONDA NORTE DE CÁCERES.

En general, las normativas antes aludidas, recomiendan esta técnica para capas de base tráficos T2 a T4, ya sea en obra de nueva construcción o de rehabilitación, siendo óptima para rehabilitación y ensanche.

Estos tráficos implican que su uso se reduce a carreteras convencionales, pues las autovías se diseñan a partir de tráficos mayores.

Recientemente, gracias a la experiencia y al buen hacer de Probisa con esta técnica en Extremadura, la Junta de Extremadura autorizó un cambio de firme, avalado también por el CEDEX en el que se incluye gravaemulsión y que a continuación detallaremos. Se trata de la construcción del Tramo II de la Ronda Norte de Cáceres, adjudicada a Probisa en UTE con Aglosan. Se ha inaugurado a primeros de este mes de octubre.

La Ronda Norte comienza en la N-630, en la glorieta del V Centenario, y termina en la N-521. Tiene una longitud aproximada de seis kilómetros. El tramo II comprende los últimos tres kilómetros de toda la Ronda y su presupuesto de adjudicación fue de 9,5 millones de euros.

Se trata de una autovía urbana de tráfico T1, con ciertas particularidades que pretenden conseguir su integración en la ciudad, sin perjuicio de capacidad y seguridad.

La sección tipo del tronco definida en proyecto partía de explanada E2 y sobre ella:

- ✓ 25 cm de zahorra artificial
- ✓ 15 cm de mezcla bituminosa G25 como capa de base
- ✓ 7 cm de mezcla bituminosa D20 como capa intermedia
- ✓ 3 cm de mezcla bituminosa discontinua F10 como rodadura

Probisa en colaboración con el CEDEX, propuso a la Junta de Extremadura la siguiente alternativa, que fue finalmente aceptada:

- ✓ Explanada E3 conseguida con 30 cm de suelo estabilizado con cemento tipo SEST-3
- ✓ 20 cm de suelo cemento ejecutado in situ
- ✓ 13,5 cm de grava-emulsión como capa de base
- ✓ 6 cm de mezcla bituminosa S20 como capa intermedia
- ✓ 4 cm de mezcla bituminosa S12 como capa de rodadura.

Es la primera vez en España que se proyecta gravaemulsión bajo tráfico T1. En total se han aplicado más de 20.000 toneladas de gravaemulsión fabricadas y aplicadas por Probisa. Esta unidad de obra fue objeto de un P.A.C. (Plan de Aseguramiento de Calidad) muy estricto por parte del I+D de Probisa, además del control externo de obra.



**Foto 3. Ronda Norte de Cáceres. Capa de base gravaemulsión en ejecución.**

Para permitir en el futuro el tránsito de peatones y ciclistas, se ha proyectado una berma de 5,50m de ancho, junto al arcén exterior terminado en slurry rojo, fabricado con emulsión de ligante sintético pigmentado, y separado físicamente de la calzada, permitiéndose el cruce sólo en los pasos o pasarelas previstas.

Esta obra tiene además, 6 estructuras, y una pasarela peatonal de 52 m de luz.



**Foto 4. Aspecto final de la Ronda Norte de Cáceres.**

## **5. BIBLIOGRAFÍA:**

1. PROBISA, “Boletín Informativo 38”, Madrid, 1.989
2. MOPU. “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes”. Madrid, 1975
3. Junta de Castilla y León. “Recomendaciones de Proyecto y Construcción de Firmes y Pavimentos”. Valladolid, 2004.
4. Junta de Andalucía. “Instrucción para el diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía”. Sevilla, 1999.
5. Ministerio de Fomento. “Instrucción 6.1 Secciones de firme”, “Instrucción 6.3 IC. Rehabilitaciones de firmes”. Madrid 2003.
6. ATEB. La gravaemulsión en capas de base de firmes. Gonzalez, B. Junio 2004.
7. Potti, JJ. Capas de base. Gravaemulsión. Jornadas para Jefes de obra de Probisa. Madrid 2002.
8. Potti, JJ. Empleo de mezclas abiertas en frío y de gravaemulsión en la rehabilitación estructural, Octubre 2004.