

LA TECNOLOGÍA DE LA EMULSIÓN BITUMINOSA, PRESENTE EN LOS FIRMES DE CARRETERAS.

DANIEL ANDALUZ GARCÍA

Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas
gerencia@ateb.es

LUCÍA MIRANDA PÉREZ

Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas
Lucia.miranda@composan.com

M^a DEL MAR COLÁS VICTORIA

Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas
marimar.colas@cepsa.com

FRANCISCO JOSÉ LUCAS OCHOA

Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas
fjlucaso@repsol.com

LA TECNOLOGÍA DE LA EMULSIÓN BITUMINOSA, PRESENTE EN LOS FIRMES DE CARRETERAS.

RESUMEN

Dentro del sector de la carretera no es nuevo tratar el empleo de emulsiones bituminosas, para cualquier tipo de carretera y tráfico, en su línea más general, como son los riegos, ni tampoco su empleo con áridos. Es conocido también que es una tecnología sostenible y dentro de esta sostenibilidad, amigable con el medio ambiente por su empleo a temperatura ambiente o ahora más reciente en forma de mezclas templadas.

Por sus características frente a prestaciones ha sido desbancada por las técnicas en caliente, sin embargo la versatilidad que la emulsión puede proporcionar hace que sea imprescindible no olvidarla y seguir recordando las posibilidades y alternativas que puede ofrecer.

Por ello en esta comunicación se pretende recordar y hacer una presentación de todas las posibles aplicaciones que se pueden realizar con emulsiones bituminosas desde las ya conocidas y habituales desde los inicios de la técnica, como son los riegos con gravilla, hasta la última tecnología que se está desarrollando y que cada vez tiene más auge como son las mezclas templadas con emulsión bituminosa.

1. INTRODUCCIÓN

En la construcción de un paquete de firme de una carretera son muy diversos los factores que son necesarios tener en cuenta para conseguir que cumpla con unos requisitos en cuanto a prestaciones, en función del tipo de tráfico, del volumen del mismo, de las condiciones ambientales, de las cargas que va a soportar, etc.

La amplia variedad de materiales que ahora mismo se disponen permite seleccionar el tipo o tecnología más adecuada para conseguir un firme que sea confortable, seguro y duradero.

Los años de abundancia económica, la construcción de firmes se ha centrado principalmente en el empleo de mezclas en caliente, sin embargo en algunas de las aplicaciones que se han llevado a cabo, hubiera sido posible otras alternativas ya no sólo más económicas sino además más adecuadas para unas condiciones determinadas, por ejemplo el empleo de técnicas con emulsión en zonas con tráfico ligero.

En la actualidad donde los recursos económicos son escasos, y además la mayoría de las actuaciones se centrarían en actuaciones de conservación, está surgiendo el empleo de técnicas con emulsión sobre todo los microaglomerados en frío. Pero no por ello hay que olvidar las limitaciones y bondades de esta técnica y no tomar como dogma de fe su empleo para cualquier situación que luego podría repercutir de manera negativa en la propia técnica.

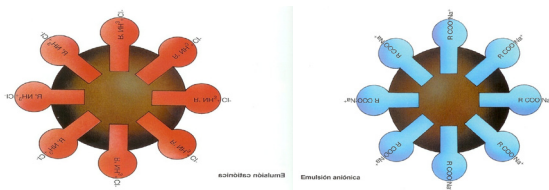
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Las técnicas con emulsión pueden tener dos aplicaciones:

- El empleo directo de la emulsión como un riego actuando como elemento de unión entre dos materiales o dos capas
- El empleo de emulsiones junto con un material granular

Emulsión bituminosa

Sistema heterogéneo de dos o varias fases líquidas, constituidas por una fase continua dispersante (agua-emulgente) y al menos por una segunda fase dispersa en la primera (betún asfáltico), en forma de pequeñas gotas.



En función del tipo de emulgente empleado se pueden conseguir emulsiones con diferente polaridad (catiónicas o aniónicas) permitiendo su empleo con diferentes tipos de áridos en función de su carga mineral. De las dos clases de emulsiones, son las catiónicas las que han destacado por su forma de interaccionar mediante reacción química al entrar en contacto con el árido. Este proceso permite la rotura de la emulsión rápida quedando el betún adherido a la superficie del árido y separándose el agua.

La formulación de las emulsiones se establece en cada caso en función de la naturaleza del árido y de las condiciones de aplicación. Así pues, cuando la temperatura ambiente sea elevada o las condiciones de la obra lo requieran, se podrán utilizar emulsiones con una mayor estabilidad (clase 6) en comportamiento a la rotura. Igualmente los tipos de betunes a utilizar pueden ser cualquiera desde betunes de mayor penetración hasta betunes de menor penetración

incluidos los modificados. Todo dependerá del tipo de aplicación y de las prestaciones que la mezcla vaya a proporcionar al firme.

Dentro de las dos clases de emulsiones, son muy diversos los tipos de emulsiones que se pueden fabricar y sus propiedades estarán en función de la aplicación a realizar. Entre los parámetros importantes a evaluar en una emulsión se encuentra:

- Contenido de ligante
- Viscosidad
- pH
- La estabilidad medido a través del índice de rotura (para las emulsiones catiónicas) que a su vez determina el tiempo de curado
- La capacidad de sedimentación

Todas estas propiedades son evaluadas para las emulsiones catiónicas y declaradas según los requisitos del Mercado CE recogidos en la norma UNE EN 13808 así como en el anexo nacional a esta norma UNE EN 13808/1M.



(Detalle de la elasticidad del ligante bituminoso modificado).

En el caso de las emulsiones aniónicas no se dispone de Mercado CE si bien a nivel nacional se ha elaborado una norma en la que se recogen las especificaciones para este tipo de emulsiones UNE 51603.

La aplicación de las emulsiones aniónicas está limitada por la reducción de las épocas de aplicación pues requieren una temperatura ambiente elevada que facilite la evaporación del agua y la consiguiente rotura de la emulsión.

La utilización de emulsiones modificadas aporta una serie de mejoras entre las que cabe destacar el aumento de la cohesión de la mezcla, la disminución de la susceptibilidad térmica, aumento de la elasticidad, mejora de la adhesividad de árido-ligante y una mayor viscosidad del ligante residual que retrasará el envejecimiento de la mezcla.

Los nuevos avances y desarrollos en el estudio de las emulsiones, se están enfocando en la obtención de emulsiones cada vez con menor tamaño de partícula, obteniendo las llamadas nanoemulsiones como el futuro de la tecnología.

Áridos

El árido es el componente mayoritario en una mezcla, por ejemplo en el caso de los microaglomerados en frío se encuentra en una proporción variable del 75 al 80% del total de mezcla. Deben ser áridos procedentes de machaqueo de piedra de cantera o de grava natural, con una proporción mínima de partículas del árido grueso que tengan dos o más caras de fractura. Es muy importante vigilar su limpieza y calidad, cumpliéndose las especificaciones relativas a equivalente de arena, coeficiente de Los Ángeles y resistencia al pulimento.

La limpieza de los áridos es un factor muy importante por la presencia de materia orgánica y materiales arcillosos, los cuales contienen finos muy activos que pueden producir los efectos siguientes: la rotura inmediata de la emulsión, dificultando la puesta en obra del tratamiento; disminuyendo la cohesión, retrasando su apertura al tráfico y, por último, también disminuye la adhesividad final del ligante con los áridos utilizados.

En cuanto a la granulometría dependerá del tipo de tratamiento a realizar, y que se diferencian en el tamaño máximo del árido o en los husos.

3. TÉCNICAS DONDE SE EMPLEAN EMULSIONES BITUMINOSAS

Como se ha indicado el empleo de emulsiones bituminosas destaca por su amplia versatilidad pudiendo ser aplicada en diferentes capas de un firme tanto en la etapa de construcción como en las etapas de conservación y rehabilitación.

Es una tecnología amigable con el medioambiente y además económica, propiedades que se potencian por:

- La posibilidad de trabajar a temperatura ambiente, como es el caso de las mezcla en frío o riegos auxiliares, o a temperaturas entre 70-90 °C como es el caso de las mezclas templadas
- La posibilidad de emplear material reciclado procedente de mezclas bituminosas extraídas de la carretera

3.1. RIEGOS AUXILIARES

Es una de las aplicaciones más habituales y extendidas del empleo de emulsiones bituminosas y además se encuentra presente en todas las unidades de obra de construcción de un firme.

Las emulsiones a utilizar son de diferentes características en función del tipo de aplicación a realizar así se puede distinguir emulsiones para:

- Riegos de curado
- Riegos de imprimación
- Riegos de adherencia

Estas aplicaciones son habituales si bien en los últimos años han tenido lugar algunos cambios a partir del Mercado CE de las emulsiones bituminosas y además en la última publicación del PG-3 se ha procedido a la adaptación de estos requisitos recogidos en los artículos 530, 531 y 532 (riegos de imprimación, riegos de adherencia y riegos de curado respectivamente).

Además en la publicación del PG-3 se ha recogido la importancia de la adherencia entre capas, en el caso de las emulsiones termoadherentes, al incluir el requisito de medida de esta propiedad determinada por el método NLT 382 descrito en el punto 531.6 del PG-3. Este hito se ha conseguido tras ser verificada y validada la bondad de este tipo de emulsiones en las aplicaciones de riego entre capas.

3.2. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE RIEGOS CON GRAVILLA

Esta técnica de pavimentación en frío consistente en la aplicación de una o varias extensiones de ligante bituminoso sobre la superficie, complementada con una o varias extensiones de árido. Esta sucesión de extensiones de ligante bituminoso y árido, deben de ser simultáneas o lo más inmediato, ya que de ello depende la buena adherencia final entre los materiales constituyentes.

El cometido de los TSRG, no es la de aumentar la capacidad estructural de un firme de una forma directa, ya que en los espesores en que se aplican no aportan dicha prestación, sino la de formar una membrana flexible que impermeabilice en soporte, dotando a la superficie de rodadura de una textura que asegure una buena resistencia al deslizamiento, colaborando en mantener la existente, y evitando la entrada de agua a las capas inferiores. Por ello, indirectamente si intervienen en la capacidad estructural del firme, ya que lo mantiene y lo impermeabiliza, consiguiendo que las mezclas bituminosas que existen en el firme, que si tienen esa misión, estén protegidas.



La aportación de los TSRG a la carretera se describe en los siguientes aspectos:

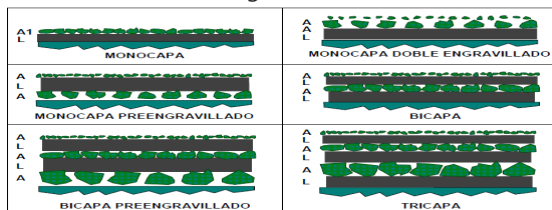
- **SEGURIDAD**, su alto nivel de macrotextura, proporcionado por los áridos a emplear, incide claramente en la correcta adherencia neumático/pavimento.
- **PROTECCIÓN DEL FIRME TRATADO**, garantiza la impermeabilidad, optimizando el buen comportamiento de las capas inferiores, aislándolas de la filtración de agua.
- **FLEXIBILIDAD DE EMPLEO**, se adapta a las necesidades y deterioros del firme, sobre todo para su aplicación en vías con tráfico ligero y medios.
- **RAPIDEZ DE EJECUCIÓN**, alcanzándose grandes rendimientos, empleando los materiales y medios adecuados.
- **ECONOMÍA**, posiblemente, junto con los Microaglomerados en frío, sea la técnica de pavimentación que mejor optimiza los costes de materiales y aplicación, en función de las características finalmente obtenidas.

Uno de los principales tipos de TSRG son los **monocapa o simples tratamientos** superficiales, formado por una aplicación de ligante bituminoso y otra de árido. Este tipo de tratamiento superficial, se debe aplicar sobre soportes con buena planimetría, evitando su aplicación en soportes heterogéneos.

Dentro de la tipología de **monocapa** se puede emplear el **doblo engravillado**, formado por dos extensiones de árido, entre las que se intercala una aplicación de ligante bituminoso, recomendado para aumentar la macrotextura. Otro tipo de **monocapa** es el **preengravillado**, formado por una primera extensión de árido, una de ligante bituminoso y otra de árido. Recomendable para corregir las exudaciones de ligante del soporte o para soportes heterogéneos.

El TSRG tipo **bicapa o dobles tratamientos superficiales**, es el formado por dos aplicaciones

sucesivas de ligante bituminoso y árido. Este tipo de tratamiento, es el que mejor se adapta a la gran mayoría de posibilidades, siendo poco crítico en su ejecución. Pudiéndose emplear el bicapa preengravillado, para corregir soportes con exudaciones o heterogéneos.



Tipos de tratamientos superficiales con gravilla TSRG.

Para finalizar la tipología de TSRG, existen los tipos tricapa o triples tratamientos, constituidos por la aplicación sucesiva de tres extensiones de ligante y de árido.

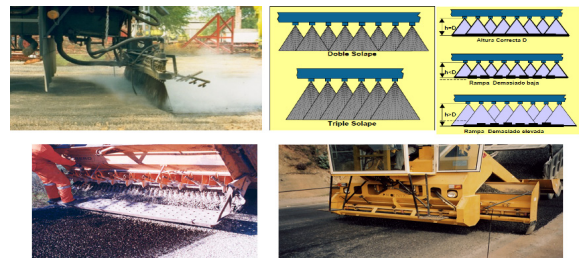
Uno de los aspectos clave para un adecuado comportamiento de los TSRG son los materiales empleados sobre todo estudiar la correcta compactibilidad e interacción árido/ligante. Para ello el ligante debe poseer la característica de "mojar" la superficie del árido, incluso en presencia de agua, para poder garantizar la adhesividad tanto activa como pasiva.

Actualmente se pueden fabricar emulsiones bituminosas "a la carta", en función del tipo de árido y tratamiento a emplear, ya que la química de los emulgentes, aditivos y avances en la industria, han evolucionado tecnológicamente en estos años.

Existen diferentes métodos de dosificación, el C.R.R – Centre de Recherches Routiers (Bélgica) y el Método de Linckenheyl o llamado "regla del décimo", este último tradicionalmente empleado en España. Dicho método tiene su base en considerar como parámetro de estudio, el tamaño medio del árido empleado en mm. $(D+d)/2$, el cual servirá para determinar la dotación volumétrica del árido a emplear, así como la dotación ponderal del ligante a utilizar por unidad de superficie.

Uno de los factores que más influyen en el éxito de la aplicación del TSRG, es una correcta ejecución,

para ello hay que considerar la adecuada maquinaria a emplear y seguir un buen plan de buenas prácticas. En varias publicaciones citan que el activo más importante, para el éxito de la ejecución del TSRG es el personal cualificado en obra.



Fotos del equipamiento utilizado para los TSRG y esquema de la difusión de la emulsión.

3.3. MICROAGLOMERADOS EN FRÍO Y LECHADAS BITUMINOSAS

Dentro de las actuaciones extraordinarias de rehabilitación, se encuentran los microaglomerados en frío y las lechadas bituminosas, ambas técnicas responden a un mismo concepto de aplicación, si bien hoy por hoy se diferencian básicamente en que las primeras, los microaglomerados en frío, tienen regulación normativa en el PG-3 en su artículo 540 y las segundas, las lechadas bituminosas, no cuentan con sustento normativo técnico nacional, si bien, ambas técnicas quedan amparadas según la UNE-EN 12273:2009.

Las lechadas bituminosas y microaglomerados en frío, comúnmente denominados slurries, son tratamientos superficiales que consisten en la aplicación de un mortero bituminoso fabricado en frío con áridos, emulsión bituminosa, agua, y eventualmente polvo mineral de aportación y aditivos, y cuya consistencia a temperatura ambiente es la adecuada para su puesta en obra medianita rastra con maestra de goma.

Son tratamientos, que exigen una formulación muy precisa, sobre todo en lo referente a la emulsión empleada en base a los áridos que conformarán la mezcla in situ. Se trata de una

técnica que ha evolucionado muy positivamente en el tiempo, desde la aparición de las emulsiones catiónicas que independizó en gran medida, la rotura de la emulsión de las condiciones climáticas frente a las emulsiones aniónicas. El empleo de aditivos controladores de la rotura y emulsiones modificadas con polímero, así como la evolución de la maquinaria, han conformado que sea una técnica de uso extendido para rodaduras de cualquier firme y solicitud de tráfico (es usada incluso en la rodadura de pistas de aeropuerto), dotando a las mismas de una rugosidad que garantiza la seguridad del usuario a un coste relativamente bajo.

Hasta el año 2011, la normativa vigente en España definía cuatro tipos de lechadas bituminosas, según la granulometría del árido utilizado. Las antiguas denominaciones LB-1, LB-2, LB-3 y LB-4 se correspondían con tamaños máximos del árido de 12,5; 8; 6,3 y 4 mm.

Desde enero de 2011, las lechadas y microaglomerados en frío deben contar con el Mercado CE y la correspondiente información que le acompaña, conforme a lo establecido en la norma UNE-EN 12273:2009.

Dicha normativa describe además de las características, los requisitos prestacionales y procedimientos de control para la aplicación de los micros o lechadas bituminosas como producto para el tratamiento superficial de carreteras y otras áreas de tráfico como aceras y carriles para bicicletas.

A partir de la exigencia del Mercado CE y en un primer momento con la publicación de la OC 29/2011 y posteriormente con la publicación del PG-3 en enero de 2015, las lechadas, que pasaron a denominarse microaglomerados en frío para todas aquellas obras sujetas a los requisitos del PG-3, se redujeron a tres tipos: MICROF5, MICROF8 y MICRO 11. Los husos de estos materiales equivalente en cuanto a su curva granulométrica a las correspondientes LB1, LB2 y LB3, no

contemplándose en este caso la posibilidad de una LB4 como capa de imprimación fina.

No obstante es importante dejar claro que las denominadas como “lechadas bituminosas”, formadas por los cuatro tipos descritos, son perfectamente aplicables en cualquier tipo de obra y se encuentran amparadas por la normativa UNE EN 12273 con todas las garantías dentro del proceso de ejecución y control.

En cuanto al comportamiento de la lechada bituminosa o el microaglomerado en frío, una vez puesta en obra destacar que para conseguir el estado final deseado es necesario un tiempo de curado de la mezcla obtenida después de la rotura de la emulsión al entrar en contacto con el árido y la evaporación final del agua presente en la mezcla hasta conseguir una consistencia necesaria para la apertura al tráfico.

Estos tratamientos son excelentes para mejorar las características superficiales de un firme en cuanto a textura y resistencia al deslizamiento, además de sellar la superficie para impedir o retrasar el envejecimiento del mismo mediante su impermeabilización.

El nivel de desarrollo alcanzado por esta técnica en nuestro país nos permite resolver la mayoría de los problemas superficiales que presentan los firmes, con soluciones de alta calidad, durabilidad y con un coste bajo de manera que la relación calidad precio para los microaglomerados es seguramente la más alta de las técnicas de renovación superficial de pavimentos.

Aunque las lechadas o microaglomerados en frío son muy versátiles y tienen muy buen reconocimiento como tratamiento superficial, es importante indicar que tiene sus limitaciones sobre todo para situaciones donde las características de un firme requieren de un tratamiento más agresivo debido a su estado de deterioro. En este caso la aplicación de un tratamiento con lechada o micro se podría aplicar siempre y cuando previamente

tenga lugar una reparación de las zonas más deterioradas, por todo ello es importante un análisis y estudio previo del estado del firme para asegurar las ventajas prestacionales de estas técnicas con una calidad óptima.

3.4. MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN BITUMINOSA

Con objeto de aprovechar las cualidades de las mezclas en caliente y en frío, y buscando en todo momento las mejores prestaciones mecánicas, se han desarrollado las mezclas templadas con emulsión bituminosa, que permiten fabricar mezclas bituminosas a temperaturas intermedias entre las calientes y las frías.

Denominadas en inglés como HWMA “half-warm mix asphalt” y en francés como “enrobés semi-tièdes”) permiten reducir drásticamente la temperatura de fabricación y puesta en obra por debajo de 100 °C, ya que se fabrican, extienden y compactan generalmente entre 70 y 95 °C. Estas mezclas están compuestas por áridos graduados calentados a temperaturas inferiores a 100 °C y una emulsión adecuada para recubrir totalmente dichos áridos, si bien también se puede emplear métodos de espumación de betún por vía directa o indirecta.



Extendido de una mezcla templada con 100% de material reciclado.

Las mezclas templadas presentan importantes ventajas medio ambientales y constituirán en un futuro no muy lejano una alternativa eficaz para la fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas.

Las primeras aplicaciones de las mezclas templadas se realizaron con mezclas drenantes, si bien también se han realizado experiencias con mezclas discontinuas y con reciclados templados en los que es posible reciclar mezcla bituminosa hasta tasas del 100% en planta, lo que sin duda fue un avance importante para el aprovechamiento total de las mezclas bituminosas procedentes de firmes deteriorados.

Estas mezclas templadas han sido proyectadas, caracterizadas, fabricadas y puestas en obra adaptando los métodos y maquinaria existentes a las características específicas de este tipo de mezclas, ya que no existe ninguna normativa tanto a nivel nacional como internacional que recoja sus particularidades.

Los posibles campos de aplicación de las mezclas templadas, quedarán condicionados por la tipología de mezcla que se trate, atendiendo fundamentalmente a la granulometría elegida, así como a la emulsión considerada en la composición de la misma, buscando las prestaciones requeridas en cada una de las aplicaciones.

Las mezclas templadas pueden ser una de las técnicas más versátiles a ser utilizadas en nuestras carreteras puesto que la experiencia así lo ha mostrado en la diversa documentación que sobre ello se ha publicado y que se puede resumir en los siguientes puntos:

- Mejoras medioambientales por la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera
- Mejoras económicas por la reducción en el consumo de combustibles fósiles
- Mejoras sociales que contribuyen a facilitar el trabajo del personal que ejecuta las obras al encontrarse expuestos a temperaturas inferiores a las habituales empleadas en el caso de las mezclas en caliente

- Mejoras en las prestaciones con respecto a las mezclas en frío al eliminarse la necesidad de tiempo de curado de la mezcla y permitir agilizar la apertura al tráfico y con respecto a las mezclas en caliente contribuir a un menor envejecimiento de la mezcla al reducirse el calentamiento de los materiales en el proceso de fabricación y en cualquier caso sin interferir en las prestaciones finales de la mezcla.

Otras ventajas también a destacar interesantes para su empleo son:

- La reducción de la temperatura permite prolongar el tiempo de transporte aspecto importante a tener en cuenta en aquellas situaciones donde una obra se encuentre alejada a una planta
- La fabricación de las mezclas se puede realizar disponiendo de las plantas que actualmente se utilizan para las mezclas en caliente realizando pequeñas modificaciones que no suponen un coste elevado
- La posibilidad de empleo de material reciclado de mezclas bituminosas, incluso hasta del 100%, permite tener en consideración esta técnica para reducir tanto costes de producción como costes medioambientales al evitar la necesidad del desecho del material extraído del firme.

CONCLUSIONES

Como se indica en el título, la tecnología de las emulsiones bituminosas, ha estado, está y estará presente tanto en los procesos de construcción como de rehabilitación de firmes de carretera. Por ello es una técnica que es importante ser tenida en cuenta en los proyectos, ya no solo en su aplicación como riegos auxiliares, sino en su aplicación en tecnologías como las aquí presentadas de TSRG, las lechadas o microaglomerados en frío y sobre todo las mezclas templadas con emulsión.

Los nuevos avances de investigación y desarrollo que se están llevado a cabo para encontrar emulsiones con mejores comportamientos y propiedades, abre un campo de aplicación muy amplio que es importante ser valorado para una tecnología que es versátil, económica, amigable con el medio ambiente y todo ello sin olvidar en ningún momento sus prestaciones adecuadas para las sollicitaciones del tráfico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- M^a del Mar Colás Victoria; Francisco José Lucas Ochoa; Daniel Andaluz García. "Tratamientos superficiales con emulsión bituminosa. Soluciones a bajo coste para la rehabilitación superficial de los firmes de carreteras". 22 Vyodeal en Zaragoza. Año 2014.
- Francisco José Lucas Ochoa. "Rehabilitación estructural y superficial de vías de baja intensidad de tráfico (BIT): Grava-emulsión, riegos (TSRG) y lechadas". 20 Vyodeal en Pontevedra. Año 2009.
- Monografía 4 de AEFMA. "Marcado CE de las lechadas bituminosas".
- Mercedes Gómez. M^o FOMENTO. "Nuevo art 540 del PG-3". Año 2009.
- Lechadas bituminosas y Microaglomerados en Frío. Jornada Técnica ATC.
- Miguel Angel Del Val Melús; Alberto Bardesi Orúe-Echevarria. "Manual de pavimentos asfálticos para vías de baja intensidad de tráfico".
- Miguel Angel Del Val Melús; Luis Alberto Solís. "Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos". Junta de Castilla y León. Año 2004.
- Miguel Angel Del Val Melús; Carlos Kraemer; José María Pardillo; Sandro Rocci; Manuel Romana; Pardillo. J. M; Víctor Sánchez. "Ingeniería de carreteras" Vol II. Año 2004.
- Miguel Angel Del Val Melús; Carlos Kraemer. "Firmes y pavimentos". Año 1998.
- Alberto Bardesi Orúe-Echevarria; Andrés Costa Hernández. "Lechadas bituminosas y microaglomerados en frío".
- Alberto Bardesi Orúe-Echevarria; Ramón Tomás Raz. "Monografía ATEB sobre riegos con gravilla".
- Juan José Potti. "Refuerzo de firmes en vías de baja intensidad de tráfico". Jornada sobre rehabilitación de firmes, Zuera (Zaragoza). Año 1998.