



Centro Politécnico Superior
Edificio "Agustín de Betancourt" Campus Río Ebro
50018 Zaragoza (Spain) - Tfno: (34) 976 761 000

“VIDA ÚTIL”. NECESIDAD DE REHABILITACIÓN CON SOLUCIONES INNOVADORAS

AUTOR: JOSÉ ANTONIO SOTO SÁNCHEZ
Director Técnico
CEPSA PROAS
Carretera de Daganzo km 5,5
A-28072809
28806 Alcalá de Henares (Madrid)
☎ 91-8871447
☎ 91-8884811
✉ joseantonio.soto@proas.cepsa.es

ZARAGOZA, 14 DE DICIEMBRE DE 2006

“VIDA ÚTIL”. RECONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS”

0. INTRODUCCIÓN

Por diversas causas es frecuente ver cómo nuestras carreteras se deterioran en períodos de tiempo inferiores a aquellos para los que fueron diseñados.

Las razones de este acortamiento de la vida útil pueden ser variados y de muy diferentes orígenes y por lo tanto tener consecuencias diferentes a la hora de juzgar si un pavimento está en buen o mal estado.

Encuestas recientes de la A.E.C. ponen en evidencia que en estos momentos nuestras carreteras no están pasando por su mejor momento, siendo necesaria una reconstrucción o rehabilitación para frenar esos deterioros que, de no detenerse, crecerían de forma exponencial.

Daremos un repaso a los diferentes desperfectos que pueden aparecer en una carretera y las posibles razones por los que podrían haber aparecido, y sobre todo la forma de reconstruir esos pavimentos.

1. VIDA ÚTIL. RECONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

Empezaremos por distinguir entre “VIDA ÚTIL” Y “VIDA RESIDUAL” según la O.C. 9/2002 sobre “Rehabilitación de firmes” [2]

- VIDA ÚTIL: La instrucción define vida útil como “el periodo de tiempo en el que el firme (o la capa de firme considerada) no presenta una degradación estructural generalizada.
- VIDA RESIDUAL: Período de tiempo que le queda de vida útil a un firme o a algunas de sus capas.

La Norma sobre “Rehabilitación de Firms” del Ministerio de Fomento recoge los criterios que deben primar a la hora de encontrar la solución idónea para la rehabilitación de un firme de carretera. Previamente habrá que hacer una evaluación del estado del firme para poder encontrar la solución más adecuada de rehabilitación según sea las condiciones técnicas, ambientales, económicas etc.

Las actuaciones, siguiendo con la O.C. 9/2002, de reconstrucción de firms y pavimentos podrán ser según su finalidad: [2]

- Estructurales
- Superficiales

Las primeras irán destinadas a restaurar o aumentar la capacidad estructural del firme deteriorado para adecuarlos al tráfico que soporta y las segundas tendrán como objetivos restablecer o mejorar las características funcionales (seguridad, confort etc.) y proteger el pavimento para lograr una mayor impermeabilidad, uniformidad etc. que a su vez se traduzca en una mayor DURABILIDAD.

Esta es la palabra clave “DURABILIDAD”.

Según la última encuesta hecha desde la A.E.C [3] sobre el estado de nuestras carreteras el panorama no puede ser más preocupante.

Los resultados de la encuesta se refieren a las carreteras de la Red del Estado y a las carreteras de la Red Autonómica y en ellos se pone de manifiesto que:

En la red del Estado un 35 % del firme se considera Muy Deficiente - Deficiente frente a un 22 % de la encuesta del 2003.

Si se trata de carreteras pertenecientes a la Red Autonómica el panorama aunque no tan grave es también preocupante ya que estamos en un 32 % consideradas como Muy deficientes – Deficientes frente al 27 % de la encuesta de 2003.

Además, las carreteras calificadas como Buenas o Muy Buenas han descendido del 59 % en 2003 al 33 % actual por la Red del Estado y del 57 % al 15% en la Red Autonómica.

En el aspecto económico decir que, según la encuesta de la AEC, serian necesarios casi 4.000 millones de euros en conservación para dejar nuestras carreteras al 100%, es decir en un estado bueno para el usuario.

Las razones por lo que se ha llegado a esta situación son muy variadas, a pesar de los importantes esfuerzos presupuestarios realizados, y una muy importante es la Puesta en Servicio entre el año 2000 y el 2004 de 1.000 nuevos kilómetros en la Red del Estado, llegando en este año a un 7% de la red de alta capacidad con mas de tres o más carriles por sentido.

Otro aspecto es el Incremento del Tráfico en el conjunto de las carreteras, 16% entre 2000–2004, es decir el *incremento de los kilómetros de red viaria y el incremento del tráfico han hecho, entre otras razones, que los esfuerzos en conservación hayan sido insuficientes.*

Sin embargo esta situación no es nueva y ya en los años 70 en el Boletín PROAS en los Comentarios de Actualidad (Volumen III) se decían cosas como:”...[1] *También parece lógico que los fondos suplementarios se dediquen fundamentalmente a obras de conservación ya que, en general, podría decirse que la red de carreteras españolas es suficiente, aunque, como es lógico, susceptible de mejoras, y en épocas de dificultades económicas que no hagan aconsejable el pensar en nuevas inversiones parece decisión muy interesante concretar los fondos de que se dispongan en mantener en condiciones de viabilidad satisfactorias aquello de que ya disponemos en lugar de realizar nuevas mientras la construida en años anteriores se deteriora, a veces irreparablemente”*

“A nivel de la red de carreteras de un país, economizar el gastos de conservación podría ser tan peligroso como, a nivel personal, economizar en medicinas” (año 1977).

Dentro de los comentarios del citado Boletín apareció los resultados de un “estudio de las inversiones necesarias para la conservación de la red estatal de carreteras” hecho en el seno de la AEC.

Las conclusiones si cambiamos pesetas por euros fueron similares. Aquí ya se hablaba como cifra “buena” de conservación, una inversión del 2 % del valor de nuestras carreteras (entonces, 1978, cifrado en 893.484 millones de pesetas y un gasto en conservación del 0,77 %, 6.836 millones de pesetas).

Esta situación, aunque vemos que no es nueva, no deja de ser preocupante y habrá que hacerle frente si no queremos que se dispare de manera alarmante las inversiones necesarias para volver a dar a nuestras carreteras un nivel de servicio adecuado.

¿Por qué se llega a esta situación? No todo son presupuestos insuficientes por parte de las diferentes administraciones. ¿No tendremos que ver algo los técnicos? ¿Por qué una carretera no dura, en unas condiciones aceptables el período de tiempo para el que fue proyectada?

Puede haber muchas razones que contestarían a esas preguntas y por las que llegamos a esta situación pero podríamos resumirlos en:

- Proyecto
 - Materiales
 - Ejecución
 - Cambio en las condiciones del tráfico
- } Control de calidad

Daremos un ligero repaso a cada uno.

2.1. PROYECTOS

Hoy en día en que todas la secciones están definidas en la Instrucción de Carretera del Ministerio de Fomento según sea el Tráfico, Zona Climática y Explanada es muy difícil equivocarse en la sección “teórica” adecuada, la elección de las posibles secciones va a depender en cualquier caso de la zona o inclinaciones del proyectista por una u otra tecnología pero siempre de las secciones que la Instrucción de Carreteras nos recomiende. Este sistema siempre es una garantía de seguridad y los fallos prematuros que se produzcan en la carretera no se deben a las soluciones del catálogo.

Otra posibilidad es el dimensionamiento analítico apoyándose en Programas de Cálculo en donde las hipótesis de partida pueden alterar las soluciones.

En cualquier caso siempre se está a tiempo de corregir un Proyecto ya que “pasa por muchas manos antes de iniciar su ejecución”

2.2. MATERIALES

Este apartado sí que tiene posibilidades de influir positiva o negativamente en la durabilidad de un firme.

No son muchos los materiales que forman parte de un firme y por lo tanto, en teoría, fácilmente controlables.

Casi siempre se piensa, creo que de forma equivocada, que los materiales de un firme son los conglomerantes (cemento y betún) y los áridos (incluido el filler) que componen las diferentes capas de éste, sin embargo el paquete del firme se apoya en una Explana y esta a su vez sobre unos suelos en desmonte o terraplén, que pueden ser roca o suelos calificados entre inadecuados, tolerables, adecuados y seleccionados.

La importancia de estas primeras capas, que realmente forman también parte de la estructura del firme, es primordial para el buen funcionamiento del paquete y sobre todo que una mala calidad en éstas dan lugar a deterioros cuya reparación es muy costosa y difícil de ejecutar ya que se debe proceder al saneo total de la carretera.

Una comprobación teórica con cualquier programa de cálculo o bien simplemente mirando las secciones de la Instrucción de Carreteras nos indica que el cambio de una E3 a E2 o E1 supone aumentos considerables del espesor de las diferentes capas del firme (la sección 211 frente a la 231 tiene 68 cm. frente a 45 cm. en total)

Las consecuencias de un cambio en la explanada son fáciles de predecir y de consecuencias muy negativas, para la carretera.

Importancia especial merece el filler, tanto su calidad como % necesario. La importancia filler/ betún, siendo importante como norma general no es siempre decisoria, hoy ciertos filler que por su naturaleza físico /química no nos permiten introducirlos en los % teóricos para que cumplan con la relación filler / betún de la norma. Es conveniente estudiar este aspecto detenidamente ya que, a veces, se desprecian filleres de recuperación injustamente.

Los ligantes bituminosos, betunes y emulsiones, son materiales generalmente muy controlados y por tanto cumplen con las especificaciones del Pliego General, sin embargo betunes que cumplan perfectamente con las Especificaciones no tienen por qué comportarse igual, dependiendo del crudo de origen.

Si fabricamos dos mezclas asfálticas con la mismo granulometría, la misma relación filler / betún etc. el comportamiento de la misma pueden ser muy diferente. Si el betún proviene de un crudo de los denominados parafínicos tendremos muchas posibilidades de que se produzcan Deformaciones Plásticas en la carretera.

Ésta, por supuesto, no es la única razón por la que pueden aparecer Deformaciones Plásticas. En el Foro de LIGANTES se llegó a la conclusión que un % de ligantes alto, un árido con caras redondeadas, una granulometría fuera del huso, una arena de mala calidad etc. son razones más que suficientes para que se produzcan. [9]

2.3. EJECUCIÓN

Por supuesto que una mala ejecución puede ser causa de una reducción de la vida útil de un firme. A título de ejemplo citaré dos problemas que durante mucho tiempo o bien no se ha tenido a cuenta o bien ha sido difícil detectarlo. Me refiero a los Riegos de Adherencia y a las Segregaciones Térmicas.

Los Riegos de Adherencia siempre ha formado parte del firme como la capa de ligantes bituminosos que mantienen unidas las diferentes capas del mismo, sin embargo y aunque realmente se realizaba, el resultado no era el deseado como consecuencia en parte por la calidad de la emulsión o por una dotación inadecuada o mal repartida.

Esto daba lugar a una disminución de la vida útil realmente escandalosa, así en el estudio realizado por el LCPC-SETRA “Concepción y dimensionamiento de las estructuras de una carretera” realizado con el programa ALIZE, en una sección compuesta por mezclas tipo S.G. base no tratada y una explanada tipo E3 (las mezclas equivalentes a la normativa francesa), demuestran que el cociente entre el número de ejes de la estructura pegada a despegada es de 3,8. Es decir, de estar pegadas a despegadas las capas, la vida útil del pavimento se divide prácticamente por cuatro.

En la actualidad, nuevos ligantes, emulsiones termo adherentes, unas extendedoras de ligante sofisticadas capaces de realizar riegos uniformes tanto longitudinal como transversalmente y la posibilidad de controlar el riego con ensayos, han hecho que este problema, poco a poco, vaya desapareciendo.

Segregaciones Térmicas. (Experiencia de SACYR) [5]

Un problema frecuente y muy perjudicial para la calidad de las capas de un pavimento bituminoso son las segregaciones de la mezcla que se producen desde su fabricación hasta su extendido. Son fallos que normalmente se detectan de manera visual pero cuando esto no ocurre, porque el tipo de mezcla lo enmascara, tendremos fallos por mala cohesión, módulos bajos y poca resistencia a la fatiga.

Pero hay otro tipo de segregaciones más difíciles de detectar, son las Segregaciones Térmicas, mucho más peligrosas si se producen en las capas delgadas de rodadura.

Cuando la segregación térmica es muy acusada se manifiesta generando mezclas con menor resistencia mecánica por tener un porcentaje más alto de huecos que a su vez se traducen en una mayor permeabilidad, una cohesión más baja que dará lugar a desprendimiento prematuros y un peor comportamiento a fatiga.

En resumen tenemos una serie de fallos, aleatoriamente repartidos que nos producen una serie de problemas impredecibles.

Las razones para que esto ocurra suelen ser las “costras de contorno en camiones”, “material frío en la tolva de la extendedora” o bien “paradas prolongadas por falta de camiones”, más acusadas por supuesto en época fría.

Técnicas de Termografía Infrarroja pueden detectar las zonas en el que tenemos la muestra a una temperatura más baja de lo permitido y que será causa de una disminución de su calidad.

La forma más adecuada de evitar problemas con la calidad de los materiales y con la ejecución es disponer de un buen sistema de Control de Calidad con medios y técnicos con CRITERIO capaces de distinguir lo importante de lo no importante.

2.4. CAMBIO EN LAS CONDICIONES DEL TRÁFICO

Es frecuente el fenómeno que se produce como consecuencia de la rehabilitación de una carretera, bien porque ésta se haya ensanchado, rectificado curvas o simplemente realizado un bacheo seguido del extendido de una capa de rodadura delgada.

Si además de esto tomar esa vía supone un ahorro en kilómetros nos encontramos con que la IMDp crecerá considerablemente. Este fenómeno también se da cuando se realiza obras importantes que hacen crecer considerablemente el tráfico de pesados de las carreteras adyacentes.

La consecuencia a todo esto es que la carretera en cuestión, diseñada para un tráfico determinado se ve de pronto sobrecargada por un aumento de vehículos pesados para el que no estaba diseñada por lo que termina deteriorándose estructuralmente.

La única forma de evitar esto es limitando el paso de vehículos pesados o teniendo en cuenta el posible incremento del tráfico realizando el refuerzo previo adecuado.

3. REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO.

La rehabilitación del pavimento de una carretera forma parte de un conjunto de actividades destinadas a la conservación de la misma. Estas actividades se pueden agrupar en:

- Vialidad invernal.
- Conservación del entorno y Medio Ambiente.
- Túneles y estructuras.
- Rehabilitación de pavimentos flexibles y semirígidos
- Firmes rígidos
- Obras de tierra y drenajes.
- Señalización, etc.

Las operaciones necesarias para la conservación de un pavimento van a depender lógicamente de los Deterioros que haya sufrido éste y tendrán como objetivo mantener la funcionalidad, la seguridad y el entorno. Actualmente la conservación de carreteras del Estado se realiza mediante “contratos de servicios de conservación integral” que incluye la ejecución de todas las operaciones. [4]

El Catalogo de Deterioros en Firmes [6] editado por el Ministerio de Fomento recoge aquellos que más frecuentemente aparecen en una carretera así como las posibles causas que los han originado y como deben cuantificarse, tanto en firmes Flexibles, Semirígidos y Rígidos. Estos deterioros pueden resumirse, como decíamos al principio en:

- Superficiales,
- Estructurales.

3.1. REHABILITACIÓN SUPERFICIAL

Este tipo de rehabilitación se realiza cuando el perfil longitudinal y transversal es adecuado y su capacidad estructural es suficiente. Son muchos los tipos de degradaciones superficiales que pueden darse en una capa de Rodadura según el catalogo pero casi todos pueden agruparse en torno a tres tipos:

- Fisuraciones.
- Deformaciones.
- Degradaciones Superficiales.

En general son deterioros que afectan a la Seguridad y Confort del usuario.

Otro punto importante que debemos tener en cuenta para la Rehabilitación Superficial son los beneficios que reportan a la rodadura la microtextura y la macrotextura de la mezcla. Una macrotextura elevada que aumente la capacidad de evacuación del agua y una microtextura adecuada en la capa de rodadura se traduce en unas condiciones de frenada más segura con el pavimento húmedo sobre todo en zonas de curvas y por consiguiente en una disminución del número de accidentes.

Vamos a describir a continuación estos deterioros y las formas de rehabilitarlos.

3.1.1. Fisuraciones [8]

Muchas son las causas por las que pueden aparecer fisuras en una carretera así como muchas también la forma de manifestarse por lo que nos vamos a limitar a exponer algunas técnicas para controlarlas, las más usuales y más novedosas, de las utilizadas en España durante los últimos años.

El objetivo primordial a la hora de combatir las fisuras es evitar la entrada de agua al núcleo de la carretera. Cuando tenemos una carretera fisurada los problemas que pueden presentarse son:

- Pérdida de estanqueidad
- Crecimiento de esfuerzos en los bordes de la grieta
- Degradación de la Capa de Rodadura
- Degradación del Núcleo
- Disminución de la Vida Útil.

Frente a estos problemas la Rehabilitación dependerá de la importancia del tráfico, del nivel de servicio que se quiera dar al usuario etc., teniendo siempre claro que las técnicas denominadas Antifisuras no evitan la aparición de las fisuras y sólo retrasan su aparición en superficie.

El objetivo de la lucha contra las fisuras debe centrarse en conseguir una rodadura con ausencia de grietas impidiendo su formación en origen para lo cual actuaremos sobre las causas de la fisuración: Materiales, Dimensionamiento y Aspectos Constructivos.

Si el firme esta formado por materiales hidráulicos, total o parcialmente, la fisuración por retracción térmica es difícil de evitar o muy costosa por lo que se recomienda controlar la distribución de las fisuras con técnicas de "Prefisuración" que distribuyan éstas de una forma controlada para reducir su abertura y sus movimientos debidos a cambios de temperaturas.

Si a pesar de haber actuado en origen sobre las causas que pueden producir fisuras como Materiales, Dimensionamiento y Aspectos Constructivos, éstas apareciesen en superficie, tendríamos que actuar utilizando técnicas de Ponteado y/o Complejos Antifisuras.

Con el Ponteado no controlamos el remonte de fisuras como tal, únicamente restablecemos la estanqueidad superficial aplicando una masilla de sellado sobre las fisuras.

Los Complejos Antifisuras tienen como objetivo disipar, reducir y retardar el remonte de la fisura. Hay varios sistemas que se han aplicado y se aplican con resultados varios entre los que destacamos:

- Morteros Bituminosos
- Membranas Bituminosas Gruesas (SAM y SAMI)
- Geotextiles Impregnados.

De estos sistemas podemos asegurar que Geotextil es el que más retrasa el inicio de la fisura y el Mortero Bituminoso el que la trasmite más lentamente.

Los Geotextiles suelen ser no tejido de polipropileno, poliéster protegidos con PVC y unidos mecánicamente, con gramajes de 140 gr. /m² – 150 gr. /m². Tienen una alta resistencia a

tracción y una gran capacidad para impregnarse de Betún o Emulsión Bituminosa según el tipo de solución. Generalmente los ligante bituminosos que se utilizan están modificados con polímeros.

Los Morteros Bituminosos se aplican en espesores no superiores a 2 cm., son muy ricos en ligante y la granulometría es del tipo 0/4 con un contenido de ligante superior al 9 % s/a y un % de filler superior a 12. Los ligantes bituminosos más utilizados son los BM-4 y BM-3c dependiendo del soporte y tipo de fisura.

Naturalmente sobre cualquiera de estos complejos tendremos que colocar alguna/s capas de mezcla bituminosa dependiendo del tráfico a soportar y de la calidad de la vía.

Estos complejos sin embargo tienen un inconveniente y es que están formados por varias capas por lo que su puesta en obra puede dificultar el tráfico durante muchas horas.

La solución que evita este inconveniente son las mezclas asfálticas con Alto Contenido de Ligante de Alta Viscosidad, aplicadas directamente sobre la capa fisurada salvo que ésta necesite una regularización previa.

Son mezclas de granulometría discontinua, con un alto % de huecos capaces de “alojar” un contenido alto de betún de alta viscosidad. Esta característica del ligante es esencial a la hora de dejar una película gruesa alrededor del árido sin riesgo de escurrimiento durante el transporte de la mezcla ni exudaciones bajo cualquier tipo de tráfico y en cualquier zona térmica estival.

Con estos ligantes podemos poner en obra mezclas M/F/Drenantes con 4/5cm de espesor sin que se produzcan deformaciones plásticas, siendo además:

- Autorreparables
- Resistentes al envejecimiento
- Muy cohesivas
- Muy resistentes a la fatiga

Los modificadores que generalmente se utilizan para conseguir estas propiedades son polímeros tipo SBS o SB, fibras cortas o polvo de neumáticos.

Las características de estos betunes podrían ser las siguientes según el borrador del Manual de Empleo de Betunes con NFUs.

Betunes Modificados de Alta Viscosidad

(Propuesta Manual betunes con NFUs) [10]

CARACTERÍSTICA		Ud.	BMAV-1	BMAV-2	BMAV-3
Ensayos sobre el betún original					
Penetración, 25°C		0,1mm	15-30	35-50	55-70
P.Reblandecimiento		°C	> 75	> 70	> 75
P.de Fragilidad Fraass		°C	< -4	< -8	< -15
Ductilidad (5cm/min.)	5°C	cm.	--	--	> 30
	25°C	cm.	--	--	--
Flotador		s	> 3000	> 3000	> 3000
Viscosidad dinámica 60°C		Pa.s			
Viscosidad cinemática	135 °C	mm ² /s	< 10000	< 7500	< 5000
	170°C	mm ² /s	> 1500	> 1200	> 800
Estabilidad al almacenam.	Dif. AyB	°C	< 5	< 5	< 5
	Dif. Pen	0,1mm	< 20	< 20	< 20
Recuperación elástica	25°C	%	> 10	> 15	> 75
	40°C	%	--	--	--
Contenido de agua		%	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Punto de Inflamación v/a		°C	> 235	> 235	> 235
Densidad relativa (25°C)			> 1,0		
Ensayos sobre el residuo del ensayo de película fina					
Variación de masa		%	< 0,8	< 0,8	< 1,0
Penetración retenida		%p.o.	> 70	> 70	> 70
Variación de P.Rebland.		°C	-4 / +8	-4 /+8	-5/+10
Ductilidad (5cm/min.)	5°C	cm.	--	> 1	> 15
	25°C	cm.	> 5	--	--

BMAV-1 y BMAV-2 son betunes modificados de alta viscosidad con NFUs.

BMAV-3 son betunes modificados de alta viscosidad con polímeros elastómericos.

Destacaremos:

- Bajo Punto Fraass.
- Alto Punto Reblandecimiento.
- Recuperación Elástica elevada.
- Alta viscosidad.

La fabricación de las mezclas debe hacerse a temperaturas superiores a 175 °C como consecuencia de la alta viscosidad del ligante. En cuanto al extendido y compactación es fundamental un buen riego de adherencia con emulsión modificada termoadherente, siendo su puesta en obra como cualquier mezcla discontinua. La compactación se realizará con compactadores metálicos y neumáticos.

Si el pavimento en rígido y las losas del hormigón hidráulico se han roto, sufren escalonamientos por hundimientos de la base, subida de finos etc. la solución puede ser cualquiera de las anteriormente descritas para las fisuras pero teniendo que realizar previamente otras operaciones como:

- Inyección de losas con lechada de cemento para rellenar los huecos.
- Regularización con mezclas bituminosas si hay escalonamiento.

Después de estas dos operaciones se pueden colocar los complejos antifisuras o bien aplicar una sola capa de mezcla bituminosa fabricada con betunes de alta viscosidad directamente sobre el hormigón (si está bien de regularidad superficial) o sobre la capa de regularización.

3.1.2. Deformaciones

Dentro de las deformaciones que puede sufrir un firme hay algunas que se suele producir de manera puntual como: [6]

- Hundimientos localizados.
- Blandones.
- Arroyamientos transversales.
- Hinchamientos localizados, etc.

Las causas de estos deterioros pueden deberse a defectos de la ejecución como drenajes mal ejecutados, contaminación de las capas inferiores, explanadas defectuosas, suelos expansivos, fallos en el riego de adherencia etc., pero casi siempre están muy localizados y su rehabilitación no es en exceso complicada ni costosa.

Sin embargo cuando las mezclas bituminosas se deforman al paso de vehículos pesados en la zona de rodada aparece el deterioro denominado Roderas o Deformación Plástica producido por la fluencia del material del pavimento y acompañado generalmente de cordones laterales.

Las Roderas aparecen por diferentes causas como se vio en las conclusiones a las que se llegó en el trabajo sobre Deformaciones Plásticas realizado por el Foro de Ligantes Bituminosos pero sólo vamos a analizar la importancia que puede tener el tipo de betún según su grado y procedencia. [9]

En la figura 1 se muestran los valores de la velocidad de deformación obtenidos para mezclas similares en las que sólo varía el tipo de ligante utilizado. Se puede observar como el uso de betunes con el mismo grado de penetración da lugar a velocidades de deformación diferentes y que aumentan al aumentar el índice de penetración de los betunes (-0,2 para los Ref, en torno a -1 para los L1 e inferior a -1 para los L2).

Esto significa que cuanto menor sea el índice de penetración del ligante mayor será la susceptibilidad a las deformaciones plásticas de las mezclas fabricadas con el mismo.

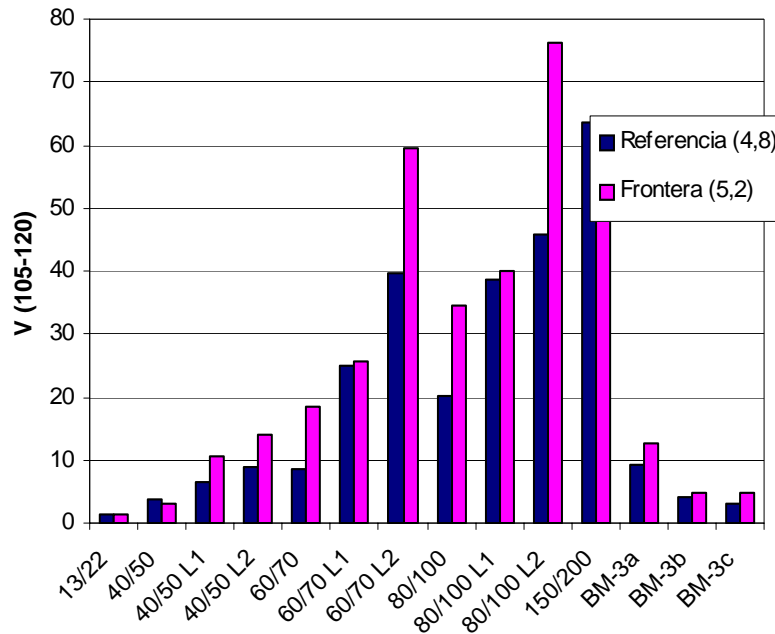


Fig. 1

Hay que destacar también que las mezclas fabricadas con los betunes modificados BM-3b y BM-3c dan valores de velocidad de deformación muy inferiores a las de los ligantes convencionales de igual penetración.

Por otra parte también se observa como el aumento del contenido de ligante (4,8 % s/a en la formulación de referencia y 5,2 % s/a en la formulación de referencia) implica, como era de esperar un aumento en la susceptibilidad de las mezclas a las deformaciones plásticas.

Por tanto si controlamos el tipo, el % y el origen del betún y si también la granulometría de los áridos cumple con las recomendaciones del Pliego General, dosificamos bien y la puesta en obra es correcta tendremos una garantía importante de que no se van a producir Deformaciones Plásticas.

La reparación de este problema pasa por el fresado de la/s capas deformadas y su reposición será con una mezclas bituminosa que cumplan con las recomendaciones exigidas en cuanto a tipo de ligante, dosificación de la mezcla etc. más adecuada para la ZTE.

3.1.3. Degradaciones Superficiales

Este tipo es quizás el que menos acusa al usuario, de manera que le haga disminuir la velocidad y por tanto el que esconde más peligro, así rodaduras brillantes por exudación de ligante, áridos pulimentados, baches con bordes cortados, desprendimientos de gravillas etc. pueden influir de manera muy negativa en la Seguridad y Confort.

Este tipo de deterioros se suelen rehabilitar, dependiendo del tráfico, con capas finas hechas con mezclas bituminosas discontinuas del tipo M y F o bien con Microaglomerados en frío que devuelven a la capa de rodadura sus características en cuanto a textura y resistencia al deslizamiento.

3.2. REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL

En la instrucción de carreteras 6.3 I.C. [11] vienen definidas las condiciones necesarias para que se realice una actuación sobre un pavimento ya existente, mejorando su capacidad estructural, esto es rehabilitarlo estructuralmente.

Normalmente será necesario un estudio de deflexiones para poder determinar la necesidad de mejorar estructuralmente el pavimento, pero siempre será necesario una auscultación visual, pues en la mayoría de los casos un fallo estructural llevará asociado un defecto superficial: blandones, piel de cocodrilo, etc.

Como ya hemos comentado, en el pliego se pueden consultar en cada caso las necesidades de rehabilitación estructural, normalmente definidas por el aumento de las deflexiones del pavimento o por la previsión de un aumento del tráfico pesado, lo que conllevaría un aumento de éstas en el futuro.

Nos centraremos principalmente en las soluciones con materiales bituminosos, haciendo especial hincapié en las técnicas más modernas y novedosas, que aunque alguna de ellas no estén recogidas en los pliegos oficiales o recogidas con bastantes limitaciones, es nuestro deber como técnicos el proponerlas, con la creencia de su buen funcionamiento, para que los técnicos responsables de la rehabilitación las tengan en cuenta....

A la hora de rehabilitar estructuralmente un firme podemos hacer una primera clasificación según sea el tipo de pavimento antiguo, y a la vez dentro de ellos una subclasificación en función de la solución aportada:

- Firmes con pavimento de hormigón
 - Recrecimiento del firme antiguo
 - * Con hormigón
 - * Con pavimento bituminoso
 - Eliminación y reposición del pavimento de hormigón

- Firmes con pavimento de mezclas bituminosas.
 - Recrecimiento sobre el firme antiguo con mezcla bituminosa.
 - Bacheos.
 - Fresado y reposición.
 - * Fresado y reposición con MB nueva.
 - * Fresado y reposición con aprovechamiento del fresado.

Como ya hemos comentado haremos referencia solo a las soluciones con mezclas bituminosas.

3.2.1. Firmes con pavimentos de hormigón

En el caso de recrecimiento con mezcla bituminosa se preverá el remonte de grietas y fisuras, por tanto se limitará el movimiento de las losas, tanto vertical como horizontalmente, y a partir de ahí se diseñará un sistema antirremonte de fisuras.

Los espesores de estas soluciones no se tendrán en cuenta en los recrecimientos del resto de mezcla bituminosa, como así lo indica la tabla 9 de la Norma 6.31C donde se indican los siguientes espesores de M.B. en el caso de recrecimiento sobre el hormigón y con interposición de un sistema antirremonte de fisuras:

Categoría de tráfico	T00	T0	T1	T2 y T31	T32	T4
Espesor de recrecimiento con M.B. (cm.)	20	15	12	10	7	4

Para tráficos elevados se pondrá como rodadura en estos recrecimientos una rodadura tipo “M”, “F” o “PA”, según proceda, y así asegurar la calidad y seguridad indicada en el resto de normativa de reciente aparición, realizando de paso una rehabilitación superficial.

Los sistemas antirremonte de fisuras, ya comentados en apartados anteriores y por tanto no repetiremos, deben protegerse en la mayoría de los casos de la acción del tráfico y la temperatura, pues suelen ser soluciones de bajo aporte estructural. Un mal diseño de mezcla y espesor de recrecimiento sobre éstos podría producir graves problemas de deformaciones plásticas.

Un caso aparte sería las rodaduras antireflexión de grietas realizadas con un elevado contenido de ligante modificado de alta viscosidad (de elevadas prestaciones), donde con la aplicación de una sola capa obtendríamos la rodadura y el sistema antifisuras. Lógicamente si lo combinamos con alguno de los ya indicados su eficacia mejoraría exponencialmente. También podríamos hacer todo el recrecimiento con mezcla convencional (tipo “S”ó “G”) pero con este ligante de altas prestaciones.

También ha habido alguna experiencia con mezclas de alto módulo (MAM) sobre pavimentos de hormigón, siendo recomendables las realizadas con betún modificado tipo BM1 sobre las realizadas con betún tipo 13/22 debido a la mayor resistencia a fatiga, y por tanto a la transmisión de fisuras de las primeras. Una de las ventajas de las MAM es su reducción de espesor sobre las mezclas convencionales lo que conlleva un menor tiempo de enfriamiento, a pesar de su mayor temperatura de extendido, y por tanto un menor tiempo de apertura al tráfico, muy importante en la mayoría de las actuaciones de rehabilitación.

En general la rehabilitación de pavimentos de hormigón suele ser más costosa y laboriosa que la de los pavimentos hechos con mezclas asfálticas.

3.2.2. Firmes con pavimento de mezclas bituminosas

Suelen ser las más habituales debido a su mayoría en la red de carreteras de nuestro país.

Como ya hemos comentado, la norma 6.3IC recoge las necesidades de rehabilitación estructural en cada caso, así como los espesores de M.B. recomendados según el estudio deflectométrico realizado.

Los materiales son los indicados en la tabla 11 del anejo 2 de dicha Norma, donde se prevé, así como se indica en el mismo anejo y aunque solo sea para tráfico ligero, la utilización de materiales o soluciones no habituales.

TABLA 11. MATERIALES PARA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE FIRMES

MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	LEY DE FATIGA	LIMITACIONES CONSTRUCTIVAS
Mezcla bituminosa en caliente (Tipos D, S y G)	1	$\epsilon_r = 6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa de rodadura (D y S): <ul style="list-style-type: none"> - Para T00, T0 y T1: No admisible. - Para T2: 5-6 cm - Para T3 y T4: 5 cm. • Espesor mínimo de capa intermedia: 5 cm, excepto en capas de reposición, reperfilado y en arcenes. • Espesor mínimo de capa de base: 7 cm, excepto en capas de reposición, reperfilado y arcenes.
Mezcla bituminosa discontinua en caliente (Tipos M y F)	1	-	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa de rodadura: <ul style="list-style-type: none"> - Para T00 a T1: 3 cm. - Para T2 a T4: 2-3 cm.
Mezcla bituminosa en caliente (Tipo PA)	1	-	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa de rodadura: <ul style="list-style-type: none"> - Para T00 a T31: 4 cm. - Para T32 y T4: No admisible. • Ver apartado 8.4.

TABLA 11. (CONTINUACIÓN)

MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	LEY DE FATIGA	LIMITACIONES CONSTRUCTIVAS
Mezcla bituminosa abierta en frío	1	–	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa de rodadura: <ul style="list-style-type: none"> – Para T00 a T31: No admisible. – Para T32 y T4: ≤ 5 cm. ⁽⁴⁾ ⁽⁴⁾ Excepto vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías.
Mezcla bituminosa de alto módulo (MAM)	1,25	$\varepsilon_r = 6,617 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	<ul style="list-style-type: none"> • Únicamente se podrán utilizar si el espesor total de mezcla nueva fuera superior a 25 cm.
Reciclado en caliente en central de capas bituminosas ⁽¹⁾	0,8 a 1	Ley específica	<ul style="list-style-type: none"> • Ver apartado 9.1.
Gravacemento ⁽²⁾	–	$\frac{\sigma_r}{R_F} = 1 - 0,065 \cdot \log N$	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor mínimo: 20 cm. • Espesor máximo: 25 cm.
Gravaemulsión	0,75	Ley específica	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de capa: <ul style="list-style-type: none"> – Para T00 a T1: No admisible. – Para T2 a T4: 6 a 12 cm.
Gravaescoria	Material equivalente a la gravacemento, a la que podrá sustituir en algún tipo de soluciones.		
Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas ⁽³⁾	0,75	Ley específica	<ul style="list-style-type: none"> • Ver apartado 9.1. • Espesores: 6 a 12 cm.
Suelocemento ⁽²⁾	–	$\frac{\sigma_r}{R_F} = 1 - 0,080 \cdot \log N$	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor mínimo: 20 cm. • Espesor máximo: 30 cm.
Reciclado in situ con cemento de capas de firme	Material semejante al suelocemento al que podrá sustituir en algún tipo de soluciones.		<ul style="list-style-type: none"> • Ver apartado 9.1. • Espesores: 20 a 30 ⁽⁴⁾ cm.
Zahorra artificial	0,25 ⁽⁵⁾	$\varepsilon_z = 2,16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0,28}$	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor mínimo: 15 cm. • Espesor máximo: 30 cm.
Macadam	Material equivalente a la zahorra artificial, a la que podrá sustituir en algún tipo de soluciones.		

⁽¹⁾ Fabricación en central (su coeficiente de equivalencia dependerá de la proporción de material reciclado utilizado).

⁽²⁾ Únicamente se podrán proyectar recrecimientos que incluyan capas de base tratadas con cemento, cuando el espesor total de mezcla bituminosa de dicho recrecimiento sea superior a 18 cm para gravacemento, y de 15 cm en el caso del suelocemento. En el supuesto de utilizar dichos materiales en las categorías de tráfico pesado T00 a T2, se deberán prefisurar durante su construcción, con espaciamentos de 3 a 4 m.

⁽³⁾ El material a reciclar está formado por mezclas bituminosas, de acuerdo con el artículo 20 de la OC 8/2001 o normativa que la sustituya.

⁽⁴⁾ Este valor se podrá subir a 35 siempre y cuando en la obra se garantice una compactación uniforme en todo el espesor de la capa.

⁽⁵⁾ Coeficiente de equivalencia aplicable especialmente en rehabilitación estructural con categoría de tráfico pesado T32, T41 y T42. Este tipo de solución deberá disponer de un pavimento de mezcla bituminosa en caliente muy flexible, de mezcla abierta en frío o de tratamientos superficiales.

N = número de ejes equivalentes de 128 kN (13 toneladas).

ε = deformación unitaria (ε_r = radial y ε_z = vertical).

σ_r = tensión de tracción en MPa.

R_F = resistencia a flexotracción del material en MPa.

En los siguientes apartados veremos las soluciones indicadas en el apartado 3.2. para pavimentos con mezcla bituminosa, aprovechando para realizar algunas indicaciones sobre los materiales bituminosos recogidos en la tabla anterior.

3.2.2.1. Recrecimiento sobre el firme antiguo con mezclas bituminosas

Antes del recrecimiento con M.B. es necesario la reparación de zonas singulares, bacheo y sellado de grietas si las hubiese. Del tema de bacheos comentaremos en el siguiente apartado algunas soluciones especiales.

Tras estas operaciones previas se realizará el recrecimiento con M.B. con un espesor que será función de la deflexión de cálculo. Estos datos vienen recogidos en la tabla 5 de la Norma 6.3IC. Igualmente, como ya hemos comentado, el reparto y clase de las capas que componen el refuerzo será el indicado en la tabla del apartado 3.2.2.

Si el riego de adherencia siempre es importante, en este caso lo es especialmente. Habrá que vigilar especialmente el riego realizado sobre el pavimento viejo, pues será primordial obtener una continuidad con el nuevo. Teniendo en cuenta la falta de betún residual y su "porosidad", el extendido de una adherencia en una capa regular y de dotación adecuada será fundamental. Es aquí donde se podrá observar la bondad de las emulsiones termoadherentes, de betún normal en las capas inferiores y de betún modificado bajo rodadura (se puede utilizar en cualquier capa).

3.2.2.2. Bacheos

En el caso de bacheos o reparaciones de cierta importancia, previa extensión o no de un refuerzo, se suele recurrir a mezclas bituminosas abiertas en frío, debido principalmente a su manejabilidad en el tiempo. Una alternativa de mayor calidad, que permite incluso la reparación de mezclas drenantes con muy buenos resultados, son las mezclas semicalientes.

Estas mezclas pueden hacerse tan abiertas como las convencionales o algo más cerradas, con lo cual mejoraríamos sus características mecánicas.

Se fabrican en plantas en caliente convencionales donde se calienta los áridos a unos 80-90°C, temperatura a la que se fabrica la mezcla y al cual se puede acopiar al menos 48 horas.

3.2.2.3. Fresado y reposición

Se realizará la eliminación parcial del firme, en la mayoría de los casos por fresado, cuando se observe un agotamiento estructural del firme. En un primer momento se podrá determinar este agotamiento mediante un análisis visual, pues suele ir acompañado de un agrietamiento, cuarteamiento o una deformación en profundidad. A continuación, como en los casos anteriores, el estudio de las deflexiones y la extracción de testigos nos determinará la profundidad del fresado, que debe llegar a todas las capas agotadas, y el espesor de refuerzo.

Las consideraciones generales a la hora de aplicar el refuerzo son las mismas que en los casos anteriores, teniendo en cuenta las peculiaridades del fresado:

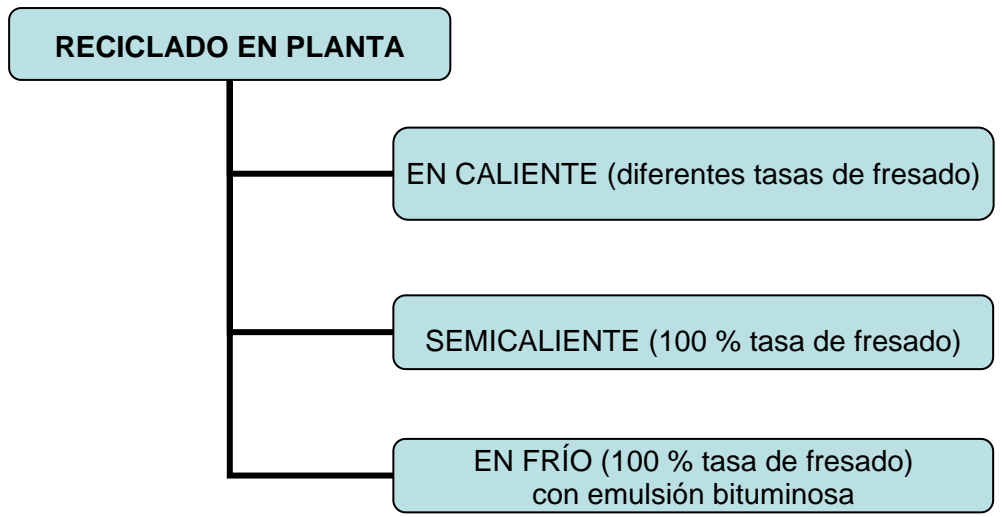
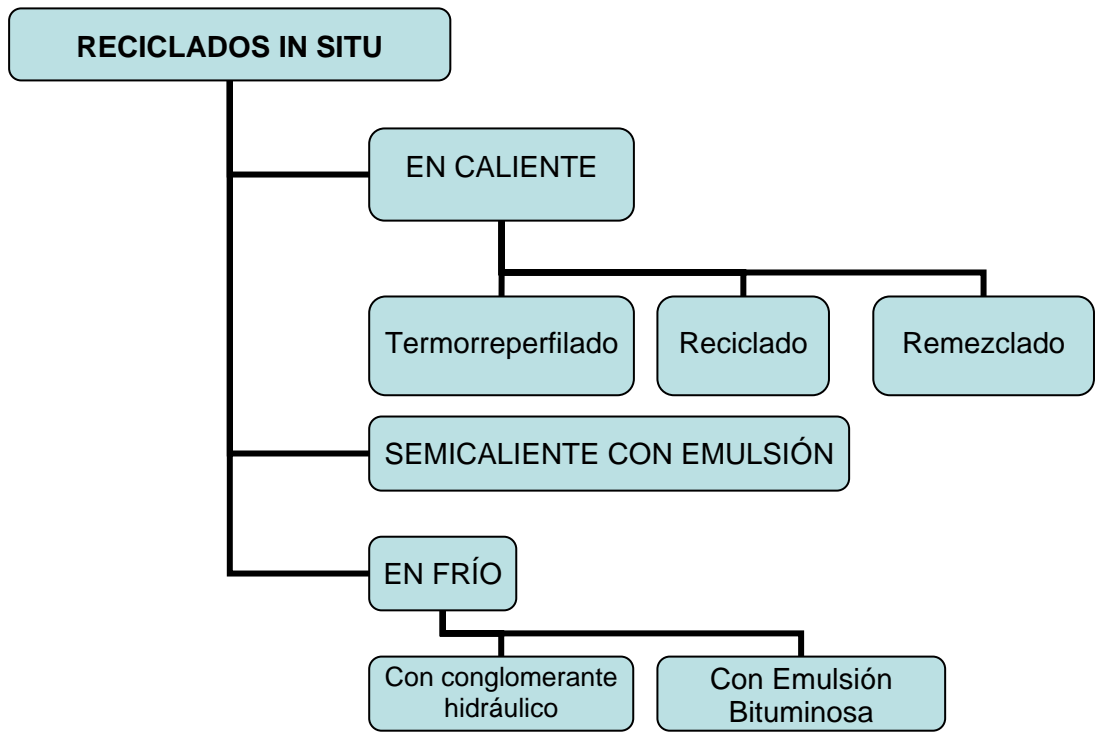
- No dejar pequeños espesores de una capa fresada para evitar el despegue posterior.
- Barrer convenientemente tras fresar para evitar polvo y partículas sueltas que dificulten la adherencia posterior.
- Realizar cuidadosamente el riego de adherencia sobre el fresado, pues los surcos producidos por éste pueden provocar pequeños estancamientos de la emulsión.

3.2.2.4 Fresado y reposición con aprovechamiento del fresado

Ya sea por motivos económicos o ecológicos, es cada vez más habitual el aprovechamiento del fresado para el refuerzo del firme del que normalmente proviene, y no solo para utilizarlo como zavorra de calidad.

Las experiencias realizadas hasta el momento con reciclados en frío, semicalientes y calientes, nos hacen ser optimistas en el futuro de este tipo de refuerzo.

En la siguiente tabla se expone una relación general de estas técnicas, de las cuales algunas de ellas desarrollaremos en el apartado de materiales.



4. MATERIALES

4.1. MEZCLAS BITUMINOSAS PARA REFUERZOS

Las mezclas bituminosas para refuerzos suelen ser las mismas que para obra nueva, a excepción de los reciclados. En los siguientes apartados realizaremos un breve comentario de algunas de ellas, recalcando las que creemos más novedosas o desconocidas.

4.1.1. Capas de rodadura

A la hora de elegir la capa de rodadura se seguirán los mismos criterios recogidos en la Norma 6.1 IC de Secciones de Firme y en el PG3. Primaran las rodaduras rugosas tipo "M", "F" y "PA" sobre todo para tráficos fuertes. Prácticamente no aportan ningún poder estructural, pero la seguridad y confort que aportan a la circulación lo compensa.

La tendencia actual es dejar las mezclas drenantes para unas situaciones muy específicas: cuando no exista problemas de hielo y nieve, para una determinada pluviométrica, etc. En general para tráficos mas fuertes las mezclas tipo "M" se están imponiendo, incluso sobre las "F", de las cuales existía más experiencia, pero como consecuencia su mayor rugosidad y menor coste junto a su buena aplicación las están desbancando.

4.1.2. Mezclas bituminosas convencionales

Son suficientemente conocidas y por tanto no las comentaremos.

4.1.3. Mezclas bituminosas de alto módulo

Son las llamadas MAM, consistentes en mezclas tipo S20 con mayor aportación de finos y fabricadas con unos betunes especiales más duros de lo normal, ya sean los de penetración B13/22 o los modificados tipos BM-1. Están diseñadas para contener un alto porcentaje de

estos ligantes, mínimo 5,2 % y habitualmente sobre el 5,5 % s/a. La combinación del tipo de ligante, su porcentaje y su granulometría hacen que estas mezclas posean un comportamiento a fatiga similar a una mezcla "S" convencional, pero un módulo dinámico de más del doble de estas (mínimo 11000 MPa).

Las características anteriores les permiten reducir el espesor de puesta en obra respecto a las mezclas convencionales, pues poseen un coeficiente de equivalencia de 1,25 respecto a las convencionales (C.E.= 1).

En la actualidad, y según el PG3, solo se pueden colocar en capa de base y en un limitado número de secciones (con espesores mínimos de 25 cm.de MB), aunque con anterioridad han existido experiencias en capas intermedias y con menores espesores.

En los refuerzos, según la tabla11 del anejo 2 de la Norma 6.3 IC, solo se aplicaran en refuerzos que lleven un mínimo de 25 cm. de M.B.

4.1.4. Mezclas bituminosas con betunes multigrados

Debido al incremento de tráfico pesado y al efecto de los ejes triden, unido al amplio gradiente climático de nuestro país nos ha llevado al desarrollo de los llamados betunes multigrado. Su principal característica es la resistencia a las deformaciones plásticas en un amplio rango de temperaturas y se pueden considerar una alternativa en cualidades y precio entre los betunes convencionales y modificados.

En España ya se han realizado tramos con ellos obteniéndose diferentes resultados, esto unido a las buenas características a las deformaciones plásticas que presentan los betunes convencionales de las principales refinerías españolas, dejan a las mezclas realizadas con ellos solo para situaciones muy especiales.

El proyecto de futura normativa de betunes pasa por las siguientes características:

Especificaciones Betún Multigrado

(Propuesta de especificación)

CARACTERÍSTICA		Ud.	40/50	Multigrado
Ensayos sobre el betún original				
Penetración, 25°C		0,1mm	40-50	35-50
Índice de Penetración		-	-1/+1	> 1,5
P. Reblandecimiento		°C	52-61	62-71
P. de Fragilidad Fraass		°C	< -5	< -12
Dúctil. (5cm/min.) 25 °C		cm.	> 100	-
Estabilidad al almacenam.	Dif. AyB	°C	-	5
	Dif. Pen.	0,1mm	-	8
Solubilidad		%	>99,5	>99,5
Contenido de agua		%	< 0,2	< 0,2
Punto de Inflamación v/a		°C	235	235
Densidad relativa (25°C)			1,0	1,0
Ensayos sobre el residuo del ensayo de película fina				
Variación de masa		%	< 0,5	< 1,0
Penetración retenida		%p.o.	> 55	> 70
Variación de P. Rebland.		°C	< 8	-4 - +8
Dúctil. (5cm/min) a 25 °C		cm	> 40	-

4.1.5. Mezclas bituminosas en frío

Dentro de las mezclas en frío las técnicas más utilizadas para rehabilitar firmes son la Grava-Emulsión y los Reciclados en frío "in situ".

4.1.5.1. Grava-emulsión

Aunque no aparece en el PG3, si aparece como alternativa de empleo en la 6.3IC. Está limitada a tráfico T2 a T4 en espesores de 6 a 12 cm. (preferentemente mínimo 8cm), y se le aplica un coeficiente de equivalencia de 0,75, lo que en buena lógica nos indica que debemos aumentar el espesor al sustituir una MBC por la grava-emulsión.

No se utiliza tanto en la actualidad como alguna de sus características nos podrían dar a entender, pues son mezclas muy flexibles, de fácil puesta en obra, almacenables y que habitualmente se colocaban como capa de regularización en ensanches de carreteras.

La Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB) tiene editados algunos pliegos de diversas técnicas en frío, entre ellos el de grava-emulsión. En él aparecen recomendaciones para su fabricación y puesta en obra, así como diferentes soluciones de secciones con la grava-emulsión.

4.2. RECICLADOS

En los últimos tiempos ha crecido el número de jornadas técnicas, congresos y publicaciones donde se hace referencia a los diversos tipos de reciclado (ver esquema del apartado 3.2.2.4.).

En cualquier caso comentaremos a continuación las principales técnicas utilizadas en la actualidad.

4.2.1. Reciclados en frío in situ.

Quizás sea la técnica más utilizada en la actualidad. Aparece en la Norma 6.3 IC con un coeficiente de equivalencia de 0,75 y para espesores entre 6 y 12 cm. y con las limitaciones y características recogidas en la O.C.8/2001.

En definitiva consiste en una técnica donde el fresado es mezclado in situ con una emulsión tipo ECL-2, en un porcentaje habitual de entre 3 a 3,5 % más una cantidad de agua (aprox. un 2%) que ayuda a la envuelta y compactación. Con ello se consigue una mezcla en frío de granulometría cerrada y de gran calidad, pues estamos envolviendo unos áridos mejorados debido al efecto lacado del ligante original. [12]

Tras su puesta en obra a veces es necesario un periodo de curado de unos 15 días antes de colocar las capas superiores de MBC. Recientemente y gracias a tensoactivos de nueva generación este tiempo se reduce considerablemente.

En general, la gran mayoría de las experiencias realizadas han sido satisfactorias, siempre y cuando se respeten unas mínimas condiciones de fabricación y puesta en obra.

Esta técnica siempre ha tenido unos puntos en donde no siempre hemos estado los fabricantes de acuerdo:

- Se mezcla el betún de la emulsión con los betunes envejecidos?.
- Ligantes de la emulsión duros o blandos?
- Regenerantes. Son útiles?

En el primer punto resulta difícil “creer” que a temperatura ambiente un ligante bituminoso termine por mezclarse con otro a pesar de llevar incorporados unos productos regenerantes.

Cuando se realiza un reciclado en frío in situ, una gran parte de las piedras de la mezcla a regenerar quedan partidas, otras, las menos, quedan totalmente cubiertas con el ligante viejo y otras, las finas, quedan agrupadas en conglomerados de áridos finos. El “árido” de la nueva mezcla estará, por tanto, formado por áridos que tienen una capa de betún viejo y otra superpuesta de betún nuevo.

Los áridos partidos tendrán caras con las dos capas de betún y otras, las fracturadas en el fresado, con sólo el ligante de aportación, y los conglomerados de áridos finos tendrán una envoltura del ligante nuevo y un núcleo de ligante viejo.

Como vemos son muchas las posibilidades que se pueden dar y por tanto debería ser diferentes las características de las mezclas según predomine una u otra.

Cuando analizamos estas mezclas y lavamos de betún residual la mezcla para analizarlo naturalmente sale el ligante teórico que tendría que salir si mezcláramos los dos betunes en caliente pero eso no es la realidad de la obra.

Hasta donde se mezclan estos betunes?. Hoy, aunque hay algunos estudios que indican que esto se produce, queda la duda si es totalmente o bien sólo en la zona de contacto. El hecho que las características de la mezcla mejoren con el tiempo podría ser debido únicamente a la maduración de la misma al ir perdiendo el agua que forma parte de ella en un principio.

La otra teoría es que estos reciclados funcionan como si fuese una mezcla bituminosa en frío sin más ni menos.

Es decir, no pasaría nada, no sería perjudicial para el paquete del firme tener como capa de base una mezcla en frío cerrada que trabaje por rozamiento interno en un principio y que poco a poco vaya adquiriendo cohesión a medida que la mezcla madure.

Precisamente la gran ventaja de estas mezclas es que los áridos están LIMPIOS y con muchas caras LACADAS, por lo que la envuelta es muy buena y además la granulometría de los fresados favorece también sus características mecánicas. En estos casos y bajo este prisma la utilización de ligantes más duros sería más lógico ya que alcanzaría características mecánicas iniciales más favorables a la capacidad portante de la capa.

En cualquier caso sea cierto o no que se produce la mezcla del betún viejo con el nuevo, que los regenerantes actúen como tales o que sea un buen aglomerado en frío, lo cierto es que el reciclado en frío in situ es una técnica que a día de hoy está cumpliendo ampliamente con el cometido para el que se diseñó y el funcionamiento en obra está siendo muy bueno siendo la base del futuro para gran parte de nuestros pavimentos.

En cuanto a los Regenerantes, independientemente que hay opiniones en todos los sentidos sobre si son útiles o simplemente utilizándose betunes muy blandos es suficiente, lo que sí

están todos los fabricantes de emulsiones de acuerdo es en utilizarlos por si realmente a muy largo plazo el efecto de los mismos beneficia la mezcla.

4.2.2. Reciclado en planta semicaliente

Este tipo de reciclado aprovecha ventajas de los reciclados en frío in situ y de los reciclados en caliente en planta.

Del Reciclado en Frío in situ tiene las siguientes ventajas:

- Tasa de fresado del 100 %.
- Temperatura de aplicación “casi ambiental”.
- Ser un procedimiento ecológico.

Con el Reciclado en planta en Caliente tiene en común:

- Poder dosificar previamente la Mezcla.
- Alta cohesión inicial de la Mezcla.
- No precisa maduración.
- Mayor “mordiente” de betún nuevo sobre el viejo.

La temperatura de fabricación de la mezcla estará comprendida entre 80°C-90°C y la temperatura de aplicación será superior a 60°C.

La fabricación podrá ser en planta continua o discontinua y es aconsejable instalar una criba del mezclador para quitar los tamaños muy gruesos.

El proceso, como en el resto de reciclados, pasa por los ensayos de laboratorio previos, en este caso, de:

- Envuelta.
- Cohesión.
- Inmersión-Compresión.

con los que se define el tipo de emulsión. Una vez definida la fórmula de trabajo se realizarán probetas para saber el Módulo Dinámico que alcanza la mezcla.

La experiencia hasta el momento nos dice que módulos superiores a 5.000 MPa son fácilmente asumibles por estas mezclas.

Para las granulometrías del fresado, al no estar esta técnica normalizada, se han tomado las mismas que las del reciclado en frío RE1 y RE2.

En cuanto al ligante, las características de la emulsión bituminosa serán:

- Viscosidad SSF, 25°C (s) → 25-35
- Carga de partículas → positiva
- Contenido de agua (%) → 40 máximo
- Betún Residual (%) → 60 mínimo
- Tamizado → 0
- Residuo por destilación:
 - Penetración (25°C; 100 g; 5 s) → 150 x 0,1 mm (*)

(*) Dependerá del betún de la mezcla a reciclar

Las recomendaciones de fabricación y puesta en obra que deben tenerse en cuenta son:

- Cribar el material fresado antes de entrar en la tolva dosificadora.
- El fresado se calentará entre 85°C-100°C.
- La temperatura de la emulsión será superior a 20°C.
- El % de emulsión será superior a un 3 % s/fresado.
- La temperatura final de la mezcla está comprendida entre 80°C-90°C.
- Para su aplicación se utilizarán extendedoras convencionales.
- La extensión podrá ser inmediata a la fabricación o no.
- El ligante de temperatura de extendido no bajará de 60°C.
- La compactación podrá realizarse a partir de rodillos metálicos (14 t) y con compactador de neumáticos (25 t).

Pruebas de frenada con vehículos lanzados, a los 20 minutos de estar compactada la mezcla, ha puesto de manifiesto la gran cohesión en las primeras horas, por lo que la apertura al tráfico se considera inmediata.

4.2.3. Reciclado en caliente

Existen varios tipos, pero en un principio los dividiremos en dos tipos fundamentales: en planta fija discontinua y planta fija continua.

4.2.3.1. Reciclado en planta fija continua

Las plantas convencionales de tambor secador mezclador suelen estar preparadas con un anillo central por el cual se puede añadir el fresado. En función de las humedades y de la producción se pueden llegar a reciclar hasta un 30 % de fresado, aunque habitualmente raramente se alcanza el 20%.

La posible degradación del fresado por las altas temperaturas en el tambor, junto con las humedades que aportan tanto los áridos, como el fresado, provocan que habitualmente se recicle, incluso, por debajo del citado 20%.

En otro tipo de plantas continuas formadas por dos tambores concéntricos, en el cual en el interior se calienta el árido y entre éste y el exterior se mezcla con el ligante, y por tanto sin ningún contacto posible entre el mechero y el betún. Se pueden llegar a realizar mezclas con el 50 % de material reciclado. En estos casos el material fresado se introduce a temperatura ambiente en la cámara de mezclado, donde se mezcla con el betún y el árido sobrecalentado (llegando incluso a los 300°C). La atmósfera inerte de la cámara evita una degradación excesiva del ligante nuevo y del viejo a pesar del fuerte choque térmico.

Las experiencias realizadas en este tipo de plantas con betunes especialmente diseñados para altos porcentajes de fresado han sido satisfactorias, tanto por el

procedimiento de fabricación, como por la acción del nuevo betún regenerarse en la mezcla.

4.2.3.2. Reciclado en planta fija discontinua

Debido a la posibilidad, según la nueva normativa, de utilizar hasta un 10% de fresado como si fuera árido sin tener que cambiar de betún, se ha implantado en las plantas discontinuas un sistema de alimentación que aporta directamente sobre el mezclador entre un 5 y un 15 % de material a reciclar. Apenas habrá que subir ligeramente la temperatura de áridos para compensar la del nuevo material, y aumentar algún segundo el tiempo de mezclado.

Otras plantas discontinuas aportan este pequeño porcentaje de fresado a la salida del tambor secador, donde se mezcla con el árido virgen y homogeniza su temperatura con él. Suele “manchar” los canjilones de transporte y las cribas de la planta, pero se suelen limpiar con facilidad por el efecto abrasivo del árido.

Para altas tasas se ha impuesto el trabajar con dos tambores en paralelo. En el primero se calienta el árido de forma convencional, y en el segundo se calienta el fresado hasta una temperatura que no suele exceder los 120 °C. Los gases producidos se “queman” en el mechero del primer tambor. El material resultante se mezcla directamente en la mezcladora donde se añadirá el ligante especialmente diseñado para este tipo de mezcla donde se puede llegar al 50 % de material reciclado.

4.3. COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE RECICLADO

Para terminar, en el siguiente cuadro pueden verse las singularidades de cada tipo:

	FRÍO	CALIENTE	SEMI-CALIENTE
TASA FRESADO	100 %	< 50 %	100 %
IN SITU	Sí	No ^(*)	No
COHESIÓN INICIAL	Deficiente	Muy buena	Buena
MADURACIÓN	Mín: 15 días	No precisa	No precisa
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	Máx: 4000 MPa	5000 MPa	5000 MPa
ÁRIDO APORTACIÓN	No	Sí	No
LIGANTE	Emulsión	Betún	Emulsión
TEMPERATURA APLICACIÓN	Temperatura ambiente	Técnica caliente	> 60°C
CONDICIONES NEGATIVAS ATMOSFÉRICAS	++	+	+

^(*) Obra in situ con 100 % aprovechamiento.

4.4. OTROS RECICLADOS.

Existen otros métodos menos utilizados o que han quedado en desuso en la actualidad: termorreperfilado, reciclado en caliente 100% in situ, remezclado, etc. pero parece que los métodos descritos anteriormente serán los que se impongan para la rehabilitación estructural de firmes.

5. CONCLUSIONES

Para terminar señalaremos algunos de los puntos a recordar dentro de la comunicación:

↳ El acortamiento de la vida útil de los firmes por causas diversas nos lleva a una necesidad de rehabilitación de las carreteras más costosa de lo previsto.

↳ Los contratos de “conservación integral” puede ser un arma importante para alcanzar un nivel de servicio adecuado.

↪ Aspectos constructivos como Riegos de Adherencia, Segregaciones térmicas, poco tenidos en consideración, pueden hacer que la vida útil de los pavimentos se acorte considerablemente.

↪ Dentro de los deterioros, los más peligrosos de cara a la Seguridad son los Superficiales.

↪ Hay soluciones suficientemente probadas para la rehabilitación de pavimentos y otras que actualmente, gracias a nuevos materiales, pueden incorporarse a las tradicionales una vez comprobado su buen comportamiento en tramos de ensayo.

↪ En general las actuaciones de Rehabilitación de Firmes Flexibles son más sencillas y económicas que la de firmes rígidos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BOLETÍN DE PROAS
- [2] ORDEN CIRCULAR 9/2002. “*Rehabilitación de firmes*”.
- [3] ENCUESTA DE LA A.E.C. “*Resultados de las inspecciones visuales 2005*”. Julio 2006.
- [4] PRIETO y PAYÁN DE TEJADA. “*Conservación sostenible de Carreteras*”. Revista Carreteras.
- [5] JACINTO L. GARCÍA SANTIAGO (SACYR). “*Las segregaciones técnicas: su identificación, influencia en la durabilidad y procedimiento para reducirlas*”. Agosto 2005.
- [6] CATÁLOGO DE DETERIOROS DE FIRMES. MINISTERIO DE FOMENTO.
- [7] ROUTES ROADS Nº 301. “*Évaluation des dégradations de surface*”. 1999.
- [8] JOSÉ A. SOTO SÁNCHEZ. “*Sistemas Antifisuras. Novedades y alternativas en firmes y pavimentos*”. Madrid 2006.
- [9] FORO DE LIGANTES BITUMINOSOS. “*Influencia de los betunes en las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas*”. Cedex 2002.
- [10] BORRADOR MANUAL BETUNES MODIFICADOS CON NFUs. Ministerio de Medio Ambiente.
- [11] NORMAS 6.1. IC, 6.2. IC, 6.3. IC. Ministerio de Fomento.
- [12] PUBLICACIONES ATEB. “*Reciclados en frío con emulsión*”.
- [14] JOSÉ A. SOTO SÁNCHEZ. “*Reciclado con ligantes bituminosos. Comparación entre reciclado en frío, semicaliente y caliente*”. Congreso Nacional de Firmes. Ávila 2006.