

INFORME TÉCNICO JUSTIFICATIVO PARA APROBACIÓN DE PPTP MEZCLAS ASFÁLTICAS SOSTENIBLES

INDICE DE CONTENIDO

MEMORIA

1	Referencia normativa	2
2	Mejoras técnicas, medioambientales y ventajas del uso de estos aglomerados reciclados.....	3
2.1	Fresado	3
2.2	Empleo de caucho (NFVU).....	9
2.3	Rebajas de las temperaturas de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas 21	
3	Administraciones que llevan a cabo estas mezclas bituminosas.....	29
4	Objetivos de esta normativa del Consell.....	30
5	Nuevas vías de financiación.....	31

ANEJOS

- ANEJO Nº1. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A FISURACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS FABRICADAS CON POLVO DE NEUMÁTICO FUERA DE USO
- ANEJO Nº2. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS SMA FABRICADAS CON POLVO DE NEUMÁTICO FUERA DE VIDA ÚTIL PRE-TRATADO (RAR-X)
- ANEJO Nº3. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA FISURACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS CON CAUCHO
- ANEJO Nº4. ENSAYO DE DOS SECCIONES DE MEZCLAS BITUMINOSAS FABRICADAS CON POLVO DE CAUCHO EN LA PISTA DE ENSAYO ACELERADO DE FIMES DEL CET. CEDEX
- ANEJO Nº5. ESTUDIO COMPARATIVO MEDIANTE ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA HUELLA AMBIENTAL DE CONSTRUIR LA CAPA DE RODADURA DE MANERA CONVENCIONAL FRENTE A HACERLO CON BETÚN RAR-X Y CON BETÚN CON NFU. IGUAL VOLUMEN
- ANEJO Nº6. ESTUDIO COMPARATIVO MEDIANTE ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA HUELLA AMBIENTAL DE CONSTRUIR LA CAPA DE RODADURA DE MANERA CONVENCIONAL FRENTE A HACERLO CON BETÚN RAR-X Y CON BETÚN CON NFU. OPTIMIZACIÓN
- ANEJO Nº7. AUTORIZACIÓN INSTALACIÓN DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y PARA LA REALIZACIÓN DE OPERACIONES DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS. MATIAS ARROM BIBILONI S.L
- ANEJO Nº8. AUTORIZACIÓN INSTALACIÓN DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y PARA LA REALIZACIÓN DE OPERACIONES DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS. ABISA S.A

INFORME TÉCNICO JUSTIFICATIVO PARA APROBACIÓN DE PPTP MEZCLAS ASFÁLTICAS SOSTENIBLES

1. Referencia normativa

El PPTP redactado se ha fundamentado exclusivamente en normativa vigente, europea, nacional española o local.

No se ha incorporado al documento ninguna especificación que no esté recogida en normativa de aplicación en España.

Todo lo indicado en el documento está refrendado por experiencia de obras de infraestructuras viarias ejecutadas en España.

La normativa redactada cumple con las condiciones o especificaciones técnicas del artículo 125.1 a) i el artículo 126. 1 y 6 de la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de contratos del sector público.

En esencia esta normativa redactada por el Consell ha consistido en “elegir” de la normativa vigente mezclas bituminosas con eminentemente carácter sostenible, pero a su vez son las mezclas bituminosas consideradas como de mayor durabilidad y confort para el usuario de la carretera.

La normativa en la que se ha fundamentado ha sido:

Normativa mundial

- ONU, AGENDA 2030 para el desarrollo sostenible.

Normativa Europea de medioambiente

- Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular, (https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_1&format=PDF)

Normativa Europea de carreteras

- UNE-EN 13108-1:2019. Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso.
- UNE-EN 13108-5:2007/AC: 2008. Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 5: Mezclas bituminosas tipo SMA.
- UNE-EN 13108-8:2018. Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 8: Asfalto recuperado.

Normativa Ministerio de Fomento

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).
- Orden Circular 40/2017. Reciclado de Firmes y Pavimentos Bituminosos (PG-4).

- Orden Circular 21/2007. Sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU).
- Orden circular 21 BIS/2009.
- Manual del CEDEX de empleo de NFU en mezclas bituminosas.
- Orden circular 3/2019 sobre mezclas bituminosas tipo SMA.
- NOTA TÉCNICA NT 02/2020 Sustitución de un betún mejorado con caucho (BC) por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente.

Normativa Gerencia Municipal de Urbanismo de Málaga

- Recomendaciones para la utilización de mezclas bituminosas tratadas con polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) en firmes de viales en Málaga.

Normativa Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022.
- España Circular 2030, Estrategia española de la Economía circular.
- Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD) 2001-2006
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

2. Mejoras técnicas, medioambientales y ventajas del uso de estos aglomerados reciclados

2.1 Reciclado de firmes y uso de fresado

La construcción sostenible de carreteras es en la actualidad, no sólo una necesidad, sino también un deber inexcusable, y más cuando dicha construcción ofrece numerosas oportunidades para la reutilización de materiales, tanto generados por la propia obra como aportados desde el exterior.

Los proyectos de rehabilitación de carreteras generan un gran volumen de residuos de fresado, al tener que retirar en la mayoría de los casos la capa de rodadura envejecida, para la colocación de una nueva capa de aglomerado.

Este material fresado, está compuesto por el árido pétreo y betún envejecido. Siendo hasta la fecha retirado a un gestor autorizado como residuo de construcción y demolición sin uso alguno.

Pero las tecnologías actuales, nos permiten pensar en el completo aprovechamiento de este material para su uso de nuevo en los asfaltos generando una verdadera economía circular.

El reciclado de firmes y pavimentos existentes comprende una serie de técnicas constructivas tendentes al máximo aprovechamiento de materiales envejecidos por el uso en la rehabilitación estructural de firmes y pavimentos de carretera.

Si atendemos a los requerimientos y normativas ambientales, el PEMAR 2016-2022 establece la reutilización de al menos el 70% de los residuos de construcción y demolición antes del año 2020.

Por otro lado la estrategia España Circular 2030 establece una reducción de un 30 % el consumo de materiales en relación con el PIB, tomando como año de referencia el 2010.

La orden circular 40/2017, establece una revisión normativa del uso del fresado en las obras adaptándose a las nuevas técnicas y experiencias en el sector.

De esta forma se establecen tres sistemas de reutilización del fresado:

- Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas.
- Reciclado in situ con cemento de capas de firme
- Reciclado en caliente y semicalientes de capas bituminosas.
- Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas.

El reciclado en frío con emulsión es una alternativa, frente al fresado y reposición convencional. Se trata de una técnica sostenible de rehabilitación de firmes degradados, que con una sola pasada de máquina recicladora se consigue fresar el material deteriorado, su mezclado y homogeneización con emulsión y agua, y finalmente, su extendido y precompactación.

El empleo de esta tecnología favorece el ahorro de costes derivados de la ejecución de obra, la eco-eficacia energética, el medioambiente y la seguridad. Esta técnica ha tenido un importante progreso durante la última década gracias a la evolución de la maquinaria a utilizar, al desarrollo de las emulsiones y a la experiencia de las empresas que han apostado por este tipo de tecnología desde sus comienzos.

Pero esta técnica solamente se aplica a grandes espesores de fresado, que no están en consonancia con las rehabilitaciones superficiales, que suelen ser la generalidad de los proyectos.

Por otro lado, exigen unos equipos especiales de obra que no están a disposición de ninguna empresa de Mallorca, lo que dificultaría la incorporación de la técnica en los proyectos.



Equipo de ejecución reciclado in situ con emulsión.

- *Reciclado in situ con cemento de capas de firme*

El reciclado de firmes in situ con cemento es una técnica de rehabilitación que data de los años 90 y que se mantendrá siempre actual gracias a sus importantes ventajas tanto técnicas, entre las que destaca la homogenización de una carretera logrando una capa que recupera la capacidad estructural inicial, como las ventajas medioambientales, destacando la reutilización de los áridos existentes que permite no utilizar los yacimientos y vertederos, lo que se traduce todo en importantes ventajas económicas, puesto que la reutilización de los materiales supone un importante ahorro.

Es una práctica habitual en muchos países europeos de rehabilitación de carreteras que abarca la reparación de los firmes deteriorados, tanto los denominados flexibles (con mezclas bituminosas sobre una capa granular de zahorra machacada o macadam), como los semiflexibles (con mayor capa bituminosa) o semirrígidos (con capa de base de materiales que se trataron con cemento).

Esta práctica se realiza con equipos rápidos que proceden a un correcto mezclado del cemento con los materiales existentes en la carretera (normalmente un material granular con ciertos finos bituminosos) y que permite llegar a profundidades superiores a las que es posible densificar, logrando así materiales suficientemente flexibles (con módulos de rigidez inferiores a los de una base tratada con cemento) pero suficientemente rígidos en su conjunto para lograr una carretera que dotada de una rodadura cómoda y segura tenga un comportamiento correcto con el paso de los años, el tráfico circulante y el clima existente en la región.

Pero al igual que la técnica anterior, esta técnica requiere de un equipamiento que no existe en Mallorca, y que debido al volumen de proyectos existentes, no es factible la inversión por un volumen de empresas que permita la competencia en los proyectos.



Equipo de reciclado in situ con cemento

- *Reciclado en caliente y semicalientes de capas bituminosas en planta asfáltica*

Se entiende por reciclado de mezclas bituminosas en planta en caliente la reutilización de mezclas bituminosas retiradas de capas envejecidas mediante un tratamiento en una central de fabricación en caliente. En este tratamiento se añaden a las mezclas antiguas otros áridos y ligante nuevos y, a veces, un agente rejuvenecedor del ligante. El empleo de los materiales reciclados puede hacerse en el mismo firme de que proceden o en otra localización, debiendo cumplir las mezclas bituminosas fabricadas con estos materiales las mismas prescripciones exigidas a las mezclas bituminosas en caliente convencionales.

El proceso se realiza retirando las mezclas mediante el fresado, los materiales si sólo se quiere eliminar una parte de la capa bituminosa. El material retirado es trasladado a una central de fabricación de mezclas bituminosas en la que, después de una eventual clasificación granulométrica, se mezcla en caliente con áridos y ligantes nuevos, así como agentes rejuvenecedores, obteniéndose una mezcla bituminosa compuesta en parte por el material reciclado y destinada normalmente para capas inferiores y arcenes, y para capa de rodadura siempre que se tenga el control total sobre el tipo de árido y procedencia del fresado.

De esta forma se define como material bituminoso a reciclar (**RA**), el procedente de la disgregación de capas de mezclas bituminosas (rodadura, intermedia o base), obtenido mediante fresado o demolición, eventual trituración y posterior tratamiento y clasificación. Este material debe estar compuesto por áridos de buena calidad y granulometría continua, cubiertos por betún asfáltico envejecido.

Se define como reciclado en central de capas bituminosas la técnica de fabricación de mezclas bituminosas consistente en la utilización del RAP con la aportación de un betún asfáltico, áridos, polvo mineral, y eventualmente, aditivos, con los que se obtiene una mezcla bituminosa (caliente y semicaliente) de las especificadas en el artículo 542 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

Los principios generales aplicables a la técnica de reciclado en caliente en planta son los siguientes:

- a) Las mezclas obtenidas por reciclado deben cumplir los mismos requisitos que las mezclas convencionales equivalentes.
- b) Las características del ligante final de la mezcla deben estar en el rango o próximas al de los ligantes que serían aplicables en mezclas equivalentes con áridos nuevos. Ello puede suponer la utilización de betunes nuevos con una mayor penetración, con características regenerantes, o con la adición de un aditivo rejuvenecedor, a medida que aumenta la proporción de RAP en la mezcla o con ligante del RAP muy envejecido. Asimismo, al aumentar la proporción de RAP, hay que ir disminuyendo la de ligante nuevo a añadir para mantener un contenido total de ligante adecuado.
- c) Para un mezclado eficaz y reconstitución de la mezcla, el RAP debe alcanzar una temperatura suficientemente elevada para permitir la fluidificación del ligante viejo y su mezcla con el nuevo. En la práctica, esto se traduce en que debe alcanzar unas temperaturas en torno a 160°C para las mezclas habituales en nuestro país.
- d) En el calentamiento del RAP por transferencia de calor a partir de los áridos sobrecalentados, la temperatura de éstos no debe ser tan alta como para provocar un envejecimiento adicional del ligante por choque térmico.

Atendiendo a la Orden Circular 40/2007, **una mezcla bituminosa reciclada contendrá una proporción en masa de RA superior al quince por ciento (> 15 %)** de la masa total de la mezcla. Si dicha proporción es igual o inferior al quince por ciento ($\leq 15\%$) se considerará dicho material como árido y ligante para la fabricación de mezclas tipo hormigón bituminoso de las especificadas en el artículo 542 del PG-3. Las mezclas bituminosas recicladas en central se clasifican como de tipo 1 (tasa baja), tipo 2 (tasa media) o tipo 3, en función de la proporción de RAP en la masa total de la mezcla, de acuerdo a lo indicado en la tabla 22.1.

TABLA 22.1- CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS RECICLADAS

TIPO	CONTENIDO DE RAP (% sobre la masa total de la mezcla)	
	Límite inferior	Límite superior
1	>15	≤ 30
2	>30	≤ 60
3	>60	≤ 80

Según la misma OC, solamente para la ejecución de mezclas bituminosas recicladas del tipo 3, será preceptiva la autorización expresa de la Dirección General de Carreteras. Siendo el resto posibles de ejecutar siguiendo los requisitos de dicha orden.

La maquinaria para llevar a cabo es la propia planta de asfalto con la incorporación de unas modificaciones simples, como son dos tolvas para dos fracciones de RAP y una cinta de incorporación directa al mezclador de dicho RAP,



Planta adaptada para uso de RA

Necesidades normativas y administrativas.

Según el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, el RAP está considerado un residuo, y por tanto las instalaciones que lo procesen o lo utilicen deben ser gestores de residuos.

En Mallorca existe una concesión administrativa con la empresa MAC INSULAR para la gestión del 100% de los residuos de construcción-demolición generados en la isla, lo que incluye el RA.

El código LER para que él se necesita autorización es el código 17.03.02 Mezclas Bituminosas distintas a las del código 17 03 01.

Actualmente hay dos plantas de asfalto, MATIAS ARROM BIBILONI S.L, y ABISA S.A ya tienen la autorización administrativa para la instalación de tratamiento de residuos no peligrosos así como la autorización para la realización de operaciones de tratamiento de Residuo (gestor, valorizador).

Las otras dos plantas de aglomerado que existen en la Mallorca, SON SUAU S.L Y AGLOMSA S.A, están en trámites de obtener las autorizaciones arriba citadas.

Mejoras medioambientales:

El propio consumo de parte del material reciclado en una obra, como material de aportación en un nuevo proyecto, lleva consigo una mejora ambiental fuera de dudas.

Con el uso de RA se consiguen los siguientes objetivos:

- Cumplir con lo exigido en el PEMAR 2016-2022 respecto a la reutilización de residuos de construcción y demolición, que para el año 2020 ha de ser superior al 70%.
- Con la reutilización se eliminan vertederos, así como se minimiza el uso recursos naturales.
- Las mezclas bituminosas que emplean fresado son menos contaminantes que las que no lo llevan al disminuir, en su fabricación la proporción de:
 - Áridos naturales.
 - Betún

Mejoras económicas:

Al emplear el RA en nuevas obras se consiguen dos beneficios económicos añadidos:

- ELIMINACION COSTE DE GESTION 43,35 €/TN (PVP MAC INSULAR)
- REDUCCION MATERIAL VIRGEN
 - CANTERA
 - BETUN ASFALTICO

Este ahorro, genera un ahorro directo en obra, sin perder las propiedades de la mezcla

ESTRATEGIA DEL CONSELL DE MALLORCA

Para tomar una decisión estratégica en el Consell de Mallorca se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- No existe maquinaria para poder llevar a cabo un reciclado ínsito del firme
- Existen plantas con capacidad hoy día de introducir el RA la planta en caliente o semicalientes.
- No hay seguridad de la calidad de RA que pueda poner en riesgo el uso del mismo en rodadura.

Por estas razones se ha decidido proyectar las capas bases con el mayor contenido en RA, e incluso con polvo de neumático y descartar de ante mano el uso de RA en rodadura.

Además, para dar plazo a la adecuación de las plantas que todavía no estén preparadas, se va a introducir el uso, de manera paulatina.

2.2 Empleo de caucho (NFVU)

Antecedentes Normativos

Desde el año 2006, y de conformidad con el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso, aprobado el 5 de octubre de 2001, se prioriza en España el reciclado de este residuo frente a su valorización energética, quedando prohibido su vertido. El mencionado Plan indicaba expresamente que: **"En las obras públicas en que su utilización sea técnica y económicamente viable se dará prioridad a los materiales procedentes del reciclaje de NFU. En estos casos se exigirá la inclusión de este requisito en los correspondientes pliegos de prescripciones técnicas."**

La Dirección General de Carreteras aprobó el 31 de octubre de 2002, la Orden Circular 5 bis/02 sobre las condiciones para la adición de polvo de neumáticos usados en las mezclas bituminosas, por la que se modificaban los artículos 540, 542 y 543 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), en tanto se aprobaba la Orden Ministerial correspondiente. La orden circular se acompañaba de una nota técnica sobre el uso del polvo de caucho procedente de NFU en las mezclas bituminosas. La Orden Ministerial 891/2004, de 1 de marzo, aprobó definitivamente las

modificaciones de los artículos citados del PG-3, incorporando, por tanto, la prioridad de utilización del polvo procedente de neumáticos fuera de uso siempre que sea técnica y económicamente viable.

El 11 de julio de 2007, la Dirección General de Carreteras aprobó la Orden Circular 21/2007 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU), cuyo objeto era establecer las condiciones para que la utilización del producto resultante de la trituración de neumáticos fuera de uso se pudiera considerar técnica y económicamente viable en las obras de pavimentación de la Red de Carreteras del Estado (RCE). Las condiciones que se establecían para ello complementaban las especificadas en los artículos 540, 542 y 543 del PG-3.

A la vista del aumento de la utilización del polvo de caucho NFU el ministerio considero conveniente dar algunas recomendaciones y criterios a seguir en obras de pavimentación de la RCE respecto de la fabricación in situ y almacenamiento en obra de los ligantes con caucho, que quedaron recogidas en la Orden Circular 21bis/2009, aprobada por la Dirección General de Carreteras con fecha 23 de marzo de 2009, sobre betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) y criterios a tener en cuenta para su fabricación in situ y almacenamiento en obra.

El Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015, aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 26 de diciembre de 2008, indicaba en su apartado 8 que: **“Las Administraciones Públicas fomentarán el uso del polvo de caucho procedente del reciclado de NFU como material constituyente de diversos productos, fundamentalmente en las obras públicas y en particular, en las mezclas bituminosas para la construcción de carreteras, siempre que sea técnica y económicamente posible”**, lo cual se recogió en los artículos 540, 542 y 543 en la actualización realizada por la Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, a determinados artículos del PG-3 relativos a materiales básicos, firmes y pavimentos, señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos.

El Plan de Contratación Pública Ecológica de la Administración General del Estado, sus organismos autónomos y las entidades gestoras de la Seguridad Social (2018-2025), aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 7 de diciembre de 2018, considera con carácter prioritario el diseño, la construcción y el mantenimiento de las carreteras, pudiendo, los órganos de contratación, **utilizar como posibles criterios de selección, los criterios de adjudicación, las especificaciones técnicas y las condiciones especiales de ejecución de los contratos que se detallan en el Plan**. Entre los criterios contemplados en el diseño de carreteras se indica lo siguiente: **“Diseño, especificación y gestión de la obra para optimizar la reutilización in situ de los materiales y la tierra excavados (incluida la tierra vegetal), maximizar la reutilización o reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD), de neumáticos y de residuos procedentes de otros procesos industriales y utilizar materiales de construcción con un elevado contenido de material reciclado o reutilizado, incluso los productos secundarios.”**

Por último, el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022, aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de noviembre de 2015, que introduce las

modificaciones necesarias para mejorar y actualizar la información relativa a la producción y gestión de residuos, refleja: (i) la promoción de la utilización de los materiales procedentes de neumáticos al final de su vida útil (NFVU) y (ii) **el fomento de la utilización del polvo de NFVU en la fabricación de mezclas bituminosas para pavimentos de carreteras.** Además, se indica que para tal fin se dispone de diversos instrumentos orientadores de la tecnología aplicable, como son el “Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas”, editado por el CEDEX en 2007 por encargo del MAGRAMA, así como la legislación específica vigente de carreteras elaborada por el Ministerio de Fomento. En concreto, se señala que **se promoverá el establecimiento de porcentajes mínimos de uso de este material en obra pública mediante la introducción de criterios que así lo prevean, por ejemplo, a través de la Contratación Pública Ecológica.**

Antecedentes Técnicos

El asfalto con polvo de neumático empezó a utilizarse en los Estados Unidos en la década de 1960, lo que hace que estemos hablando de una técnica con más de 50 años de uso. Durante estos años, y hasta el siglo XXI, la tecnología fue introduciéndose en algunos países, a pesar de que aún no estaba consolidado el reciclado del neumático, es decir aun no existía materia prima para el proceso.

Aun así en países como Estados Unidos y estados como California, el uso de los asfaltos con polvo de neumático se ha consolidado, e incluso existe una normativa que recoge su uso, aprovechando las ventajas técnicas de los asfaltos con alto contenido en betún y polvo de neumático, HIGHWAY DESIGN MANUAL CHAPTERS, CALTRANS (<https://dot.ca.gov/programs/design/manual-highway-design-manual-hdm>).

Reflective Crack Retardation Equivalencies (Thickness in feet)

HMA ⁽¹⁾	RHMA-G	RHMA-G over RPI
0.15	0.10	X
0.20	0.10	
0.25	0.15	
0.30	0.15	
0.35	<ul style="list-style-type: none"> • 0.15 if crack width <1/8 inch • 0.20 if crack width ≥1/8 inch or underlying material CTB, LCB, or rigid pavement 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A for crack width <1/8 inch • 0.10 if crack width ≥1/8 inch and underlying material untreated • 0.15 if crack width ≥1/8 inch and underlying material CTB, LCB, or rigid pavement
0.45	0.15 over 0.15 HMA	0.20

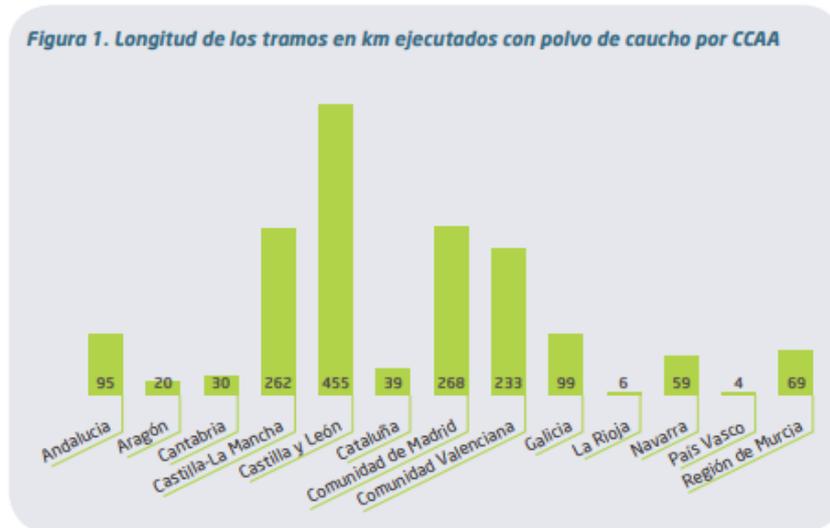
TABLA DE EQUIVALENCIAS DE ESPESOR CALTRANS, CHAPTER 630 FLEXIBLE PAVIMENT
 HMA : Hot mix Asphalt (AC MIX)
 RHMA-G : Ruberized hot mix asphalt (Alta viscosidad con caucho)

NOTE:

(1) See Index 635.2(5)(b) for minimum and maximum HMA thicknesses recommended by the Department for reflective crack retardation on flexible pavements.

En España los asfaltos con polvo de neumático comenzaron su expansión en el año 2007, consecuencia de la aprobación de la OC 21/2007.

De hecho desde entonces se han realizado más de 1.600 km. de carreteras con un resultado técnico excepcional, tal como se puede comprobar en la guía "20 años de mezclas con caucho en las carreteras españolas, SIGNUS (<https://www.signus.es/mezclas-asfalticas-con-polvo-de-neumatico/>)



Pero a pesar de los avances, hasta la fecha no hay ninguna experiencia en uso de asfaltos con polvo de neumático en las Islas Baleares.

Hasta la aparición en los últimos años de la vía semihúmeda, existían dos sistemas de incorporación del polvo de neumático a la carretera.

VIA SECA:

Consiste en añadir el propio polvo de neumático sin digerir al mezclador de la planta de asfalto, como un árido más, en condiciones muy controladas, de esta forma y guardando unos requerimientos técnicos rigurosos, se consigue que el polvo de neumático se integre en la mezcla dotándola de las propiedades de los asfaltos con polvo de neumático.

La técnica tiene pros y contras:

PROS:

- SENCILLEZ, al usar el polvo como un filler de aportación

CONTRAS

- Necesidad de una granulometría de polvo 0,5 mm. Para evitar problemas en la mezcla
- Tiempos de obra y coordinación muy compleja, al necesitar al menos 1 hora de digestión sobre camión.
- Riesgo de fracaso de obra si no se guardan los tiempos, temperatura, calidad de polvo y otras condiciones, ya que la obra puede disgregarse.
- Imposibilidad de mezclas con alta dotación de polvo y betún

Ante estos problemas la vía húmeda no ha prosperado y apenas se ha utilizado para tramos de ensayo en proyectos de innovación y alguna operación puntual.

VIA HUMEDA

Esta técnica consiste en la modificación del betún con el polvo de neumático en una planta de modificación y el posterior uso de este betún modificado en la mezcla asfáltica.

Esta técnica se ha dividido tradicionalmente en dos:

VIA HUMEDA DESDE CENTRAL

El betún es modificado en las centrales de fabricación de betún modificado, y su transporte en cisternas hasta la obra.

En España ahora mismo solo existen 4 centros de fabricación:

- PUERTOLLANO, CIUDAD REAL REPSOL
- ALCALA DE HENARES, MADRID PROAS
- ALICANTE DITECPESA
- SANTIAGO DE COMPOSTELA PROBISA

La tecnología tiene estas ventajas e inconvenientes:

PROS:

- El betún caucho ya está elaborado y solo necesita ser consumido en obra

CONTRAS:

- Permite muy bajos % de polvo de NFU siendo difícil incluso llegar a los solicitados por el CEDEX sin tener problemas de sedimentación.
- Los tiempos de transporte pueden terminar con la calidad del betún al pasar su punto óptimo de uso.



Figura 2. Evolución de propiedades modificadas

- Es necesario tener tanques verticales en obra

VIA HUMEDA INSITU

El betún es modificado en una central de fabricación de betún modificado instalada junto a la planta de asfalto.

Esta técnica evita muchos de los problemas de transporte y pérdida de propiedades de la vía húmeda desde central, pero conlleva unos condicionantes logísticos y de volumen de obra, que hacen que solo sea válida para grandes proyectos.

PROS

- Permite cualquier % de polvo de nfu en la mezcla
- No genera problemas de decantación y pérdida de propiedades.

CONTRAS

- Necesita una maquinaria muy costosa y con gran coste de implantación y retirada
- Alto coste fijo de fabricación en energía y mano de obra
- Solo rentable en grandes proyectos de infraestructuras.

VIA SEMIHUMEDA

En los últimos años han aparecido en el mercado los denominados aditivos pre tratados o pre digeridos de polvo de neumático.

Estos productos industriales, fabricados con polvo de neumático, permiten un sistema de incorporación de este subproducto al asfalto de manera sencilla, con gran calidad y con precio compatible con el coste actual de las mezclas asfálticas.

Los aditivos están compuestos por un alto % de polvo de neumático, que ha sido pre digerido en una factoría industrial.

De este modo una vez en obra se utilizan en seco en la mezcla asfáltica, como si se tratase de un filler de aportación, pero con las ventajas de un verdadero modificante.

En este momento ya hay varias casas comerciales:

- ALEMANIA CTS BITUMEN, **GRM** (<https://www.cts-bitumen.de>)
- INGLATERRA TARMAC, **RUBBER ROAD** (<https://www.tarmac.com>)
- ARGENTINA **FLEXASFALT** (<http://www.flexasfalt.com/>)
- USA LIBERTY TYRE, **SMARTMIX** (<https://libertytire.com/>)
- USA **PALLETS PAVE** (<https://pelletpave.com/>)
- **ESPAÑA** CIRTEC, **RARX** (<https://cirtec.es/>)

PROS

- Aprovechas las ventajas de la vía seca en cuanto a sencillez
- No tienen incertidumbres técnicas
- Permite cualquier cantidad de polvo de Nfu en las mezclas
- No requiere volúmenes de obra

CONTRAS

- Son aditivos industriales con un coste industrial añadido

En los últimos años se está haciendo un gran esfuerzo normativo en homologar el uso de estos aditivos y en países como Alemania ya existen normas que permiten su uso, como

es el caso del estado de Baviera en Alemania, o la Ciudad de Málaga. De hecho el Ministerio de Fomento ya ha redactado un borrador de OC que permite su uso en las carreteras.

Análisis técnico de los asfaltos con polvo de neumático.

Se han realizado numerosos estudios técnicos a nivel mundial que han demostrado las ventajas del asfalto con polvo de neumático, frente a los asfaltos convencionales y su similitud frente a los asfaltos modificados.

UNIVERSIDAD DE GRANADA

Uno de estos estudios es el que ha realizado la Universidad de Granada con SIGNUS y la empresa CIRTEC, al realizar una comparativa prestacional entre diferentes mezclas con polvo de neumático y mezclas normales y modificadas mediante el ensayo desarrollado por la propia universidad, UGR FAT. (ANEXO 1 Y ANEXO 3 (RESUMEN)) y un estudio comparativo de una mezcla SMA fabricada con el aditivo pre digerido RARx y una mezcla SMA modificada con polímeros y fibras (ANEXO 2)

Para el estudio de la resistencia de cada una de las mezclas recogidas en este estudio se utilizó el método de ensayo UGR-FACT (University of Granada – Fatigue Asphalt Cracking Test). Este método de ensayo permite simular esfuerzos mecánicos similares a los provocados en el pavimento por el tráfico y los gradientes térmicos (los cuales son los principales causantes de la aparición de daño por fatiga en estas infraestructuras). Así, utilizando una geometría simple, el dispositivo es capaz de generar desplazamientos horizontales y verticales en la probeta que al combinarlos, reproducen esfuerzos de flexión y cortante (como los debidos al paso del tráfico), así como de tracción (simulando el efecto de los gradientes térmicos).

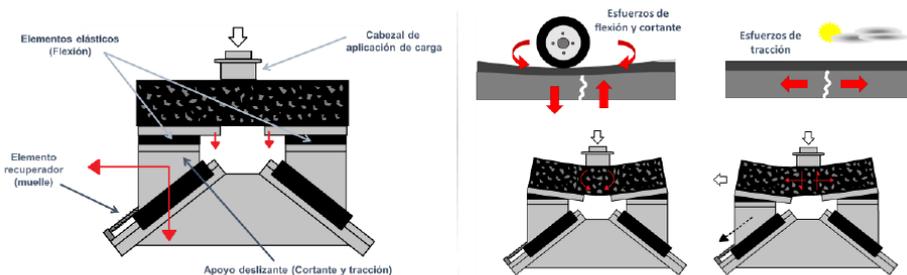


Figura 49. Esquema del dispositivo empleado en el método UGR-FACT.

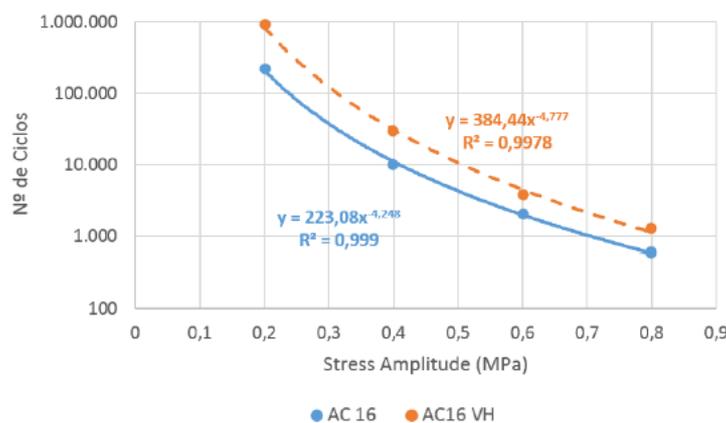
Dado que dichos tipos de esfuerzos poseen diferente frecuencia (las cargas del tráfico tienen una frecuencia muy superior a los ciclos de tensiones térmicas), para la reproducción de las cargas se utiliza una función combinada que integra una rampa principal de carga y descarga (con baja frecuencia y mayor amplitud de carga, como en el caso de los ciclos térmicos) y una carga secundaria en forma de seno-verso (con mayores frecuencias y menor amplitud de carga, como en el caso de las cargas del tráfico).

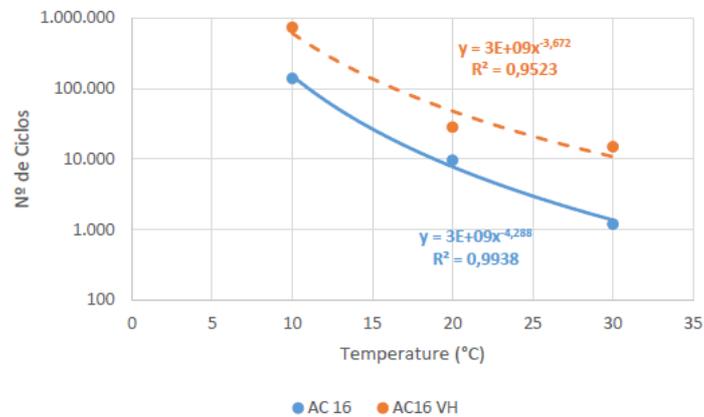
Entre las conclusiones del estudio pueden destacar:

- la adición de polvo de caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil (PNFVU) en la fabricación de mezclas bituminosas contribuye a la mejora de sus propiedades mecánicas, permitiendo obtener una respuesta más efectiva de éstas ante esfuerzos de fatiga y susceptibilidad térmica.
- Las mezclas SMA y BBTM 11A estudiadas (ofrecen una mayor resistencia mecánica que las AC 16 y las BBTM 11B)
- En términos generales, y en base a los resultados obtenidos en este estudio, las mezclas bituminosas fabricadas con PNFVU son materiales capaces de ofrecer elevadas resistencias a la fisuración por fatiga, similares a las de mezclas fabricadas con betunes modificados con polímeros SBS y superiores a las fabricadas con betunes convencionales.

Las mezclas fabricadas con PNFVU tienen un comportamiento inicial más elástico (rígido), que ayuda a que la respuesta estructural sea mejor (menor deformación bajo carga) y la resistencia a fisuración por fatiga sea mayor (disipan menor cantidad de energía por fractura).

- Una mezcla AC 16 fabricada con un betún convencional (B50/70) ofrece una vida de fatiga entre un 55% y un 78% menor (en función del nivel de carga soportado) y entre un 66% y un 94% menor (en función de la temperatura de servicio), que la ofrecida por una mezcla AC 16 fabricada con un betún mejorado con caucho por vía húmeda (BC 50/70). Así, puede afirmarse que independientemente de las condiciones de carga o la temperatura a la que están sometidas, la mezcla AC 16 con betún mejorado con PNFVU estudiada tiene una resistencia a fisuración por fatiga mayor a la ofrecida por la mezcla AC 16 fabricada con un betún convencional B 50/70 sin modificar.

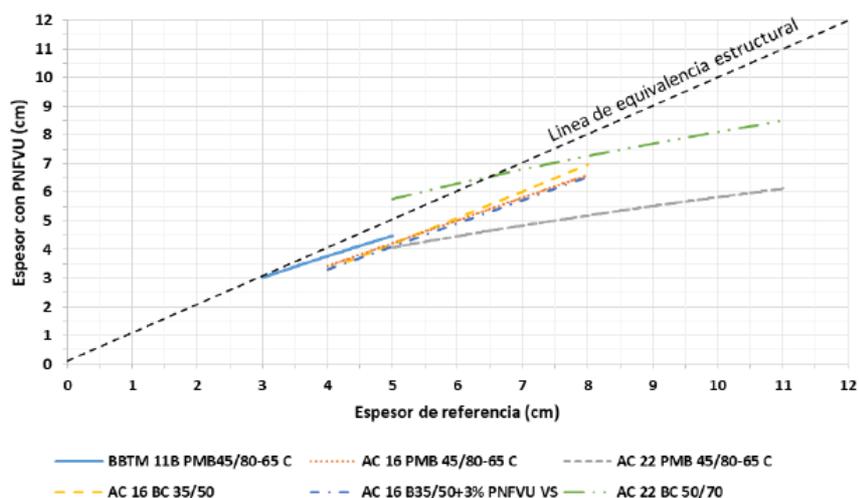




- Las mezclas bituminosas con PNFVU son menos susceptibles a las cargas mecánicas que las mezclas fabricadas con betunes convencionales y con betunes modificados con polímeros. Para una determinada vida de fatiga (número de ciclos de carga hasta fallo), se ha comprobado cómo el uso de PNFVU permitiría reducir el espesor de capa de las mezclas bituminosas fabricadas con betún convencional que conforman los firmes de carretera. Destaca el betún tipo PMB 45/80-65 C que permitiría reducciones de espesor de capa de hasta un 40% (para las capas más gruesas), mientras que en el caso del empleo de 3% de PNFVU por vía seca (alta viscosidad) han llegado a registrarse reducciones de espesor de capa de hasta el 30%, y en los del BC 50/70 y el BC 35/50 los valores máximos calculados rondan el 15-20%.

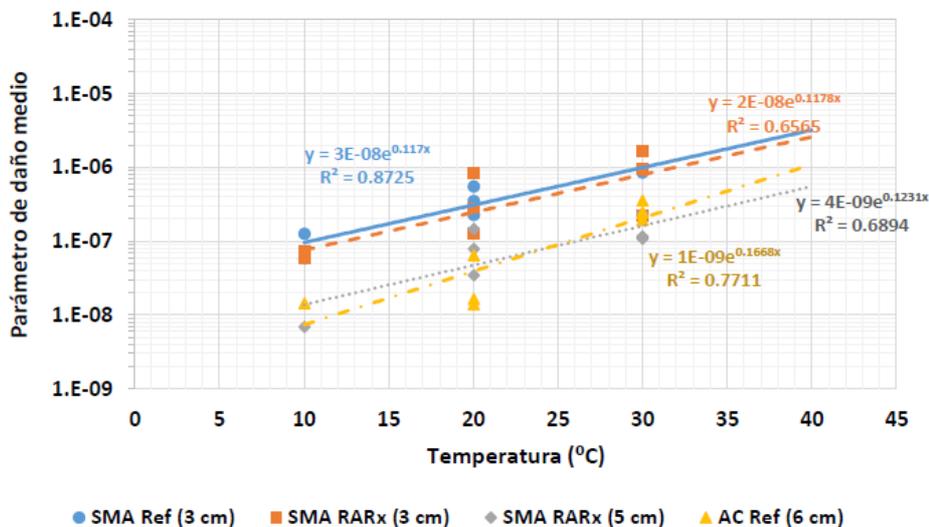
Manteniendo el espesor de referencia y utilizando mezclas con PNFVU, se podrían llegar a incrementos de vida de fatiga de hasta un 300% (para los espesores de capa mayores) con respecto a los obtenidos en capas fabricadas con betunes convencionales.

El uso de BC 50/70 en capa intermedia podría llegar a reducir el espesor de las soluciones originales entre un 2 y un 11 %.



ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS SMA FABRICADAS CON ADITIVOS PRETRATADOS

Mediante el mismo ensayo en la Universidad de Granada se ha puesto de manifiesto que las mezclas SMA fabricadas con el Aditivo pre tratado RARx, tienen un comportamiento similar a las mezclas SMA fabricadas con betunes modificados y fibras de Celulosa (ANEXO 2)



ESTUDIO COMPORTAMIENTO MEZCLAS AC CON ADITIVOS PRETRATADOS DEL CEDEX

Por medio de Valoriza Servicios Medioambientales, se ha realizado en el CEDEX un estudio de comportamiento de una mezcla AC 22 SURF fabricada con un betún BC 50/70 y una mezcla AC 22 SURF fabricada con el aditivo RARx, (ANEXO 4)

Del estudio se desprende que ambas mezclas tienen un comportamiento similar, llegando incluso a superar en comportamiento la mezcla fabricada con el aditivo pre tratado a la mezcla fabricada con BC.

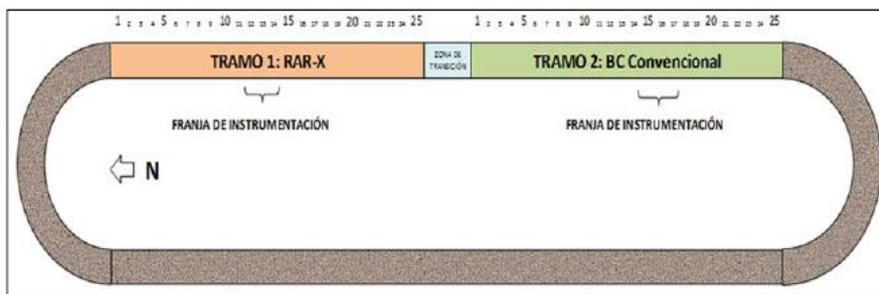
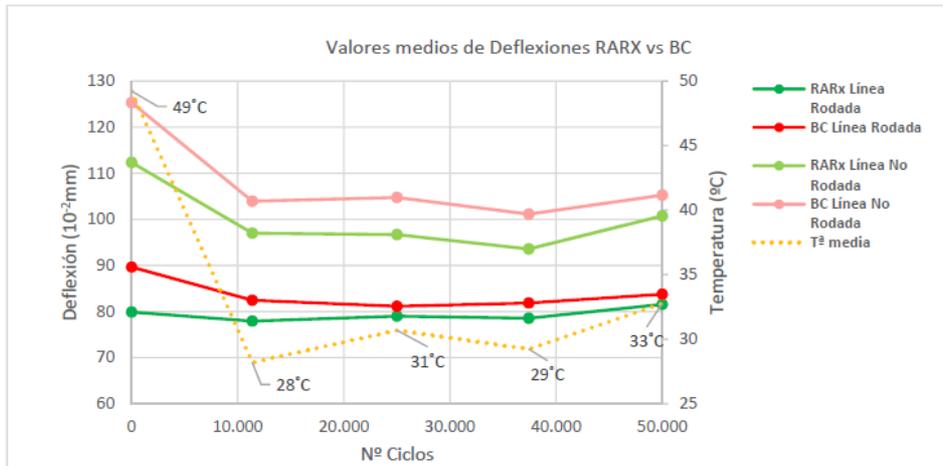


Figura 5.4 Esquema de tramos a ensayar.

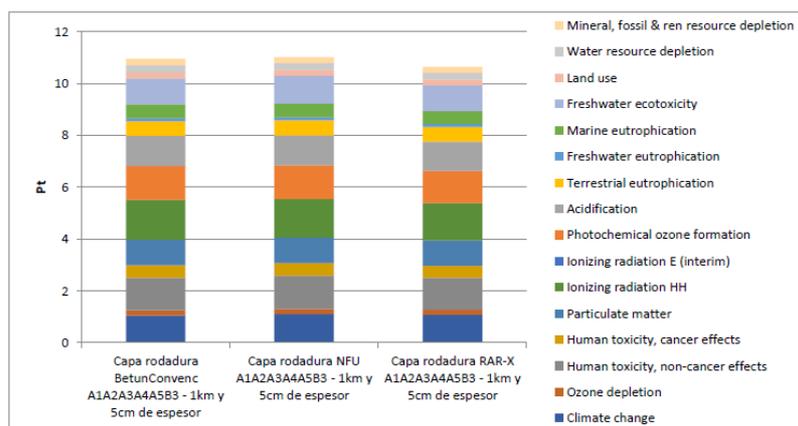


Análisis ambiental de los asfaltos con polvo de neumático.

Con los estudios realizados por la Universidad de Granada, la consultora ABALEO, ha realizado un estudio de huella ambiental de los asfaltos con polvo de neumático respecto a las mezclas convencionales. Dicho estudio se ha realizado mediante la con la metodología ILCD 2011 Midpoint+, definida por la Unión Europea.

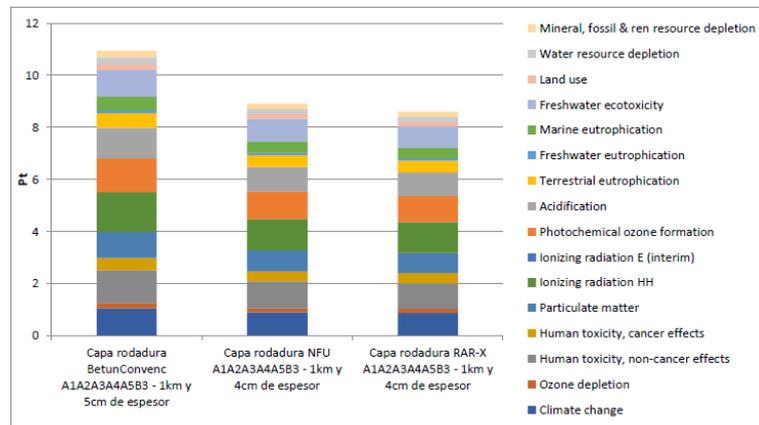
Dichos estudios se han realizado con dos supuestos:

El primer supuesto, ANEXO 5, ha sido el cálculo de la huella ambiental sin tener en cuenta la posible reducción de espesor de capa asfáltica y sin tener en cuenta la mayor durabilidad, por la mayor capacidad técnica de los asfaltos. A pesar de lo anterior, se ha demostrado que el betún caucho genera la misma carga ambiental que el betún normal, y en el caso de las mezclas con cauchos pre tratados, la carga ambiental se disminuye en un 2,8 %.



El segundo supuesto, ANEXO 6, se ha tenido en cuenta la posible optimización del paquete del firme, según los estudios realizados por la Universidad de Granada, (ANEXO 1-2-3).

En este supuesto, la huella ambiental de las mezclas con betún caucho con BC disminuye en un 19% respecto a las soluciones convencionales. Llegando a un 22 % de reducción de huella ambiental en caso de utilizarse aditivos pre digeridos.



Estrategia normativa.

De los datos técnicos analizados se concluye estrategia de firmas para el uso de polvo de neumático.

- Utilización de aditivos pre digeridos o pre tratados como sistemas de incorporación único del polvo de neumático en las mezclas.
 - No genera necesidad de inversión en plantas de asfalto
 - Se adapta a cualquier proyecto
 - Fácil de uso
 - Permite cualquier tipo de mezcla asfáltica
 - Es el sistema con menor impacto ambiental
- Utilización de mezclas SMA en rodadura en sustitución de mezclas BBTM 11 B, fabricadas con aditivos pre digeridos o pre tratados.
- Incorporación de polvo de neumático a través del aditivo pre digerido o pre tratado en mezclas AC de base e intermedia, o SMA de base o intermedia.

2.3 Rebajas de las temperaturas de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas

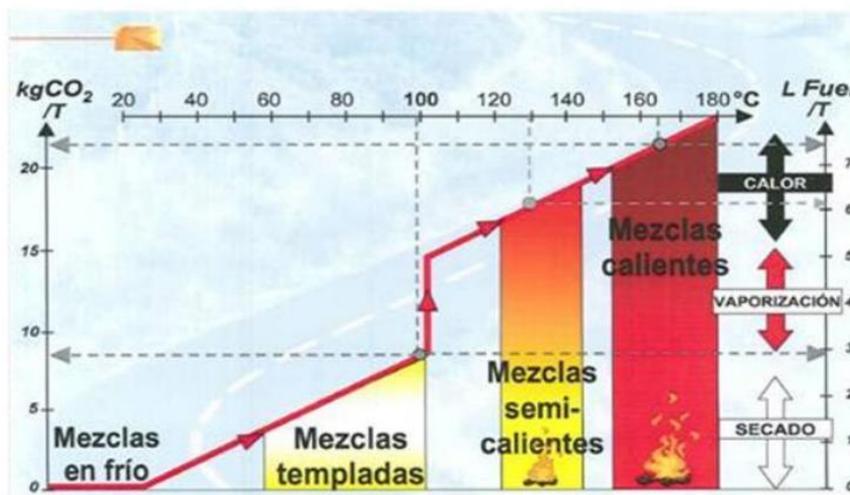
El proceso de fabricación de las mezclas bituminosas exige el calentamiento de sus componentes por dos motivos:

- Conseguir que el betún asfáltico tenga una viscosidad tal que permita su envuelta con los áridos y la manejabilidad de la mezcla bituminosa fabricada.
- Eliminar el agua de los áridos utilizados para la mezcla.

Este proceso de calentamiento implica un elevado consumo energético y una emisión de gases de efecto invernadero claramente perjudiciales para el medio ambiente. El consumo de fuel para producir una tonelada de MBC se sitúa alrededor de los 7 kilos. Cada kilo de fuel medio emite, aproximadamente de 3 a 3,5 kg de CO₂.

Los temas medioambientales, por la emisión de gases CO₂ y Compuestos Orgánicos Volátiles, el coste económico de la energía consumida para el calentamiento de los áridos en la fabricación de las mezclas bituminosas en caliente y los posibles problemas de salud para los trabajadores por la emisión de volátiles del betún asfáltico a la temperatura de fabricación de estas mezclas, han sido preocupaciones históricas en la industria de las técnicas de pavimentación con ligantes asfálticos.

Estas preocupaciones han sido uno de los motores que han impulsado el desarrollo de la Tecnología en Frío con emulsiones bituminosas (tecnología consistente en la dispersión de pequeñas partículas de un ligante hidrocarbonado y, eventualmente, un polímero en una solución de agua y un agente emulsionante) como alternativa de los betunes fluidificados y fluxados (manejables a temperaturas más bajas que el betún puro). Desde hace muchos años se han utilizado las mezclas en frío, fabricadas con emulsión a temperatura ambiente, sin necesidad de calentar los áridos para permitir su envuelta y manejabilidad de la mezcla así fabricada. Hasta ahora, estas mezclas en frío presentan unas características mecánicas, especialmente a corto y medio plazo, sensiblemente peores que las que tienen las mezclas bituminosas en caliente, lo que ha limitado, de manera muy importante, su utilización exclusivamente a carreteras con tráfico medios y bajos y en vías en países en desarrollo como primera pavimentación de estas.



consumos de combustibles y la emisión de gases en función de la temperatura de calentamiento de los áridos

Cualquier procedimiento de fabricación de las mezclas bituminosas que permita reducir la temperatura de fabricación, transporte y puesta en obra, supone una serie de ventajas como son las siguientes:

- Reducción del consumo energético (1 litro de fuel/20°C x tn).
- Menor emisión de gases efecto invernadero. Reducción exponencial.

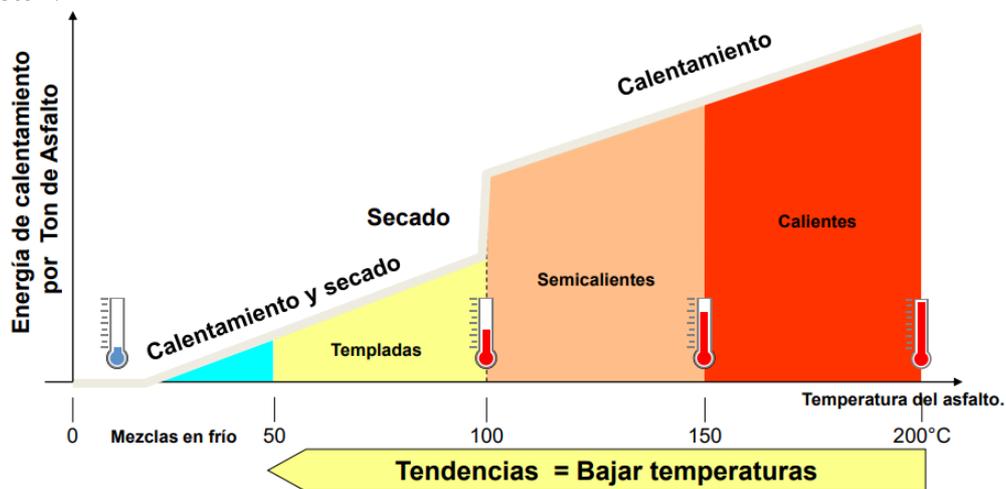
- Menor pérdida de temperatura en las fases de transporte y puesta en obra.
- Menor envejecimiento inicial del ligante por la oxidación inicial del betún por calentamiento (se estima, en las MBC convencionales, que es alrededor del 70% del proceso de oxidación total).
- Mejora en las condiciones de trabajo por menores emisiones de humos y olores en la puesta en obra.
- Existe un menor riesgo de accidente por quemaduras de los trabajadores.

En el vigente PG-3 están prescritas exclusivamente las mezclas bituminosas en caliente (Artículos 542 y 543).

- **ARTICULO 542.** MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE TIPO HORMIGON BITUMINOSO.
- **ARTICULO 543.** MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPAS DE RODADURA. MEZCLAS DRENANTES Y DISCONTINUAS

Según la temperatura de fabricación y puesta en obra podemos establecer otros tres tipos de mezclas bituminosas. Son las siguientes:

- **MEZCLAS EN FRIO** (Articulo 541 del PG-3, actualmente derogado). Se fabrican con emulsión.
- **MEZCLAS TEMPLADAS** (se manejan a temperatura inferior a 100°C). Se fabrican con betún o con emulsión.
- **MEZCLAS SEMICALIENTES** (se manejan a temperaturas entre 100 y 150 °C). Se fabrican con betún.



Mezclas semicalientes

Las mezclas semicalientes se fabrican y ponen en obra entre 100 y 150°C y están basadas en la utilización de betunes asfálticos que, mediante la incorporación de algún tipo de aditivo de distintas naturalezas (disminución de la viscosidad o mejora de la "mojabilidad" del árido), mediante espumado del betún o bien mediante alguna modificación en el proceso de fabricación, permiten mejorar la manejabilidad de la mezcla bituminosa a esas temperaturas, facilitando así su fabricación y puesta en obra en condiciones similares a las de una mezcla bituminosa en caliente convencional.

Actualmente en USA el 30% de las mezclas bituminosas en todo el país son de este tipo. En algunos estados son el 100%.

Los aditivos, son productos comerciales de fácil acceso para el fabricante de mezcla y aunque su coste es elevado, se compensa sobradamente con el ahorro de combustible generado por un menor calentamiento de los áridos y la mezcla.

Mezclas templadas

Se denominan mezclas templadas a aquellas mezclas bituminosas que se fabrican y ponen en obra a temperatura inferior a 100°C y, generalmente, por encima de los 70°C, utilizando como ligante o bien una emulsión bituminosa o bien un procedimiento de espumado de betún, que puede obtenerse mediante un dispositivo industrial instalado en la planta asfáltica o bien mediante alguna modificación en el proceso de fabricación de la mezcla.

En estas mezclas no se pretende secar totalmente el árido, reduciéndose sensiblemente el consumo de combustibles (se evita el calor latente de vaporización al no superar los 100°C).

Mientras el betún se utiliza exclusivamente en las mezclas semicalientes y la emulsión en las mezclas templadas, la espuma de betún, obtenida por un procedimiento industrial o mediante una modificación en el proceso de fabricación de la mezcla, se utiliza indistintamente en ambos tipos de mezclas (variando la temperatura de los áridos).

Cualquier tipo de mezcla bituminosa de las especificadas en los Artículos 542 y 543 del PG-3, así como las mezclas SMA, se pueden fabricar como mezclas semicaliente o como mezclas templadas, obteniéndose mezclas que cumplen los estándares de calidad de las especificaciones de dichos Artículos y Norma. El proceso de diseño, composición, fabricación, puesta en obra y control de calidad puede ser diferente que para las MBC convencionales, pero el resultado final es perfectamente válido como capa de cualquier firme de carretera.

Sistemas para reducir la temperatura de fabricación y puesta en obra de mezclas asfálticas.

Existen diversas técnicas para conseguir la reducción de la temperatura de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas, que podemos agrupar de la manera siguiente:

- Aditivación del betún (reducción de la viscosidad o reducción de la tensión superficial árido-ligante)
- Espumación del betún (proceso industrial).
- Espumación con proceso industrial
- Incorporación de productos especiales en la fase de fabricación de la mezcla.
- Modificación de las técnicas de fabricación de la mezcla.
- Utilización de emulsiones bituminosas.

Aditivación de betún

Una primera línea se basa en utilizar productos tensoactivos que mejoran el “mojado” del árido por el betún, consiguiendo una buena envuelta y una buena manejabilidad de la mezcla bituminosa a menor temperatura. El producto activante puede venir incorporado en el betún desde la refinería o puede incorporarse fácilmente como aditivo en el tanque del betún de la planta antes de la fabricación de la mezcla.

Son productos que fundamentalmente actúan como activantes del betún, sin modificar su viscosidad ni sus características empíricas y reológicas, lo que permite su marcado CE. Se suelen incorporar en cantidades muy pequeñas, entre el 0,2 y el 0,4% en peso de betún, siendo su incidencia en el coste final de la mezcla mínimo, especialmente si se tiene en cuenta la reducción de consumo de combustible: Como ejemplos.

- RT BIO , FHL GROUP, <http://www.fhlgroup.com/prodotti.html>
- TERMO XR, RAVAGO, <https://www.ravagochemicals.com/index.html>

Una segunda línea de trabajo se basa en modificar la curva de viscosidad /temperatura del betún. Se obtiene una viscosidad, a los 120 a 140°C, similar a la que se obtiene, con un betún convencional, a 155-175°C.

Dentro de esta segunda línea de trabajo se utilizan aditivos orgánicos de bajo punto de fusión, que mediante reacciones químicas, modifican la citada curva de viscosidad/temperatura del betún. Hay dos tipos distintos:

- CERAS Suelen ser naturales y están formadas por esteres de ácidos y alcoholes grasos de elevado peso molecular.
- PARAFINAS Las que se usan son sintéticas, de elevado peso molecular, que funden a una temperatura entre 110 y 115°C. (A temperaturas inferiores se cristalizan, aumentando el punto de reblandecimiento y disminuyendo la penetración.).

(UNDESA, http://www.undesa.com/spanish/products/esters/amide_waxes.htm)

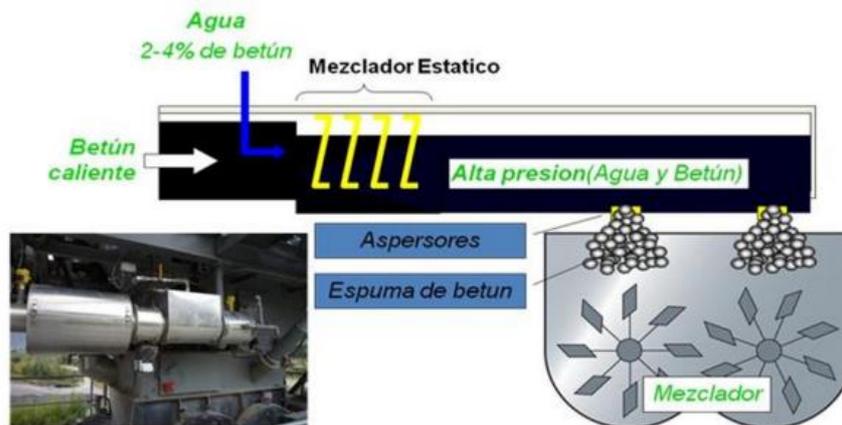
Espumación de la mezcla

Se basa en incorporar, de distintas formas, agua que, en pequeñas cantidades y en determinadas condiciones de temperatura, esto produce la espumación del betún facilitando así el mezclado con el árido y mejorando sensiblemente la manejabilidad de la mezcla incluso a temperaturas claramente inferiores a las de las mezclas bituminosas en caliente convencionales. La formación de la espuma de betún puede alcanzarse de las tres distintas formas siguientes:

- Espumación del betún (proceso industrial).
- Incorporación de productos especiales en la fase de fabricación de la mezcla.
- Modificación de las técnicas de fabricación de la mezcla.

La obtención de la espuma de betún mediante un proceso industrial se consigue con una instalación específica montada en la planta asfáltica.

Este procedimiento de asfalto espumado se logra mediante un proceso en el cual se inyecta una pequeña cantidad de agua fría (entre el 2 el 4% en peso de betún) y aire comprimido a una masa de asfalto caliente (160 a 180°C), dentro de una cámara de expansión.



Cuando las gotas de agua fría entran en contacto con el betún caliente, se produce un intercambio de energía de manera que el agua se calienta y pasa a fase vapor, que se introduce en el betún por la presión generada en la cámara de expansión. Así se forma la ESPUMA DE BETUN.

La modificación de la planta asfáltica es sencilla y de un coste limitado.

También se puede alcanzar la espumación con la introducción, en el proceso de fabricación de la mezcla bituminosa, de un producto especial, generalmente un filler hidrofílico (que retiene agua en su interior).

El más utilizado es la zeolita sintética (aluminosilicato muy poroso) que, en su forma cristalina retiene en su interior hasta un 25% de agua de manera que, al añadirse en pequeñas cantidades, alrededor del 0,3% en peso de árido, a los áridos calientes, un poco antes de añadirse el betún, se libera el agua en forma de vapor que, en contacto con el ligante, produce el espumado del betún, permitiendo así la envuelta y el manejo de la mezcla asfáltica a temperaturas sensiblemente inferiores a las normales para las mezclas en caliente.

Hay algún otro procedimiento, pudiendo destacarse el de la empresa Nynas que utiliza un ligante especialmente diseñado y un filler hidrofílico, de manera que los áridos se manejan incluso a temperaturas algo inferiores a los 100°C.

Estos procedimientos se basan en conseguir el espumado del betún mediante la incorporación de los áridos en unas determinadas condiciones y en una cierta secuencia. Generalmente se utiliza algún tipo de aditivo, variable según el procedimiento, que facilita el espumado.

La mayoría de los procedimientos responden a procesos patentados, diferenciándose en el tipo de aditivo utilizado. Según el procedimiento así es la temperatura de la mezcla bituminosa que se obtiene, en unos casos corresponde a las denominadas mezclas semicalientes, con la temperatura alrededor de los 120°C y en otros casos se llega a temperaturas de la mezcla por debajo de los 100°C, lo que corresponde a las mezclas denominadas templadas.

En general se basan en calentar el árido grueso hasta los 130 a 150°C. El betún se incorpora a temperatura variable entre 140 y 180°C y por último se añade la arena a temperatura ambiente y con un cierto grado de humedad, que en algunos casos incluso exige incorporar algo de agua.

Puesta en obra

Esencialmente las mezclas semicalientes se fabrican y ponen en obra como las mezclas en caliente normales. Los cambios son mínimos y fácilmente realizables.

En el caso de utilizarse algún tipo de aditivo en el betún para modificar sus características (mejorar la tensión superficial en la interfaz árido-ligante o modificar la viscosidad del mismo), la planta deberá disponer de los dispositivos necesarios para incorporarlos de forma homogénea y en la cantidad especificada en cada caso.

En los casos de espumación de betún se dispondrá de los dispositivos necesarios según el procedimiento de fabricación utilizado (industrial o mediante la incorporación de una parte del árido húmedo).

En la puesta en obra se debe prestar especial atención a la compactación, especialmente en los casos que la mezcla tenga agua en su fabricación.

El otro aspecto fundamental para controlar son las temperaturas de puesta en obra y de finalización de la compactación.

Mezclas templadas

El ligante en forma de emulsión bituminosa se utiliza, exclusivamente, en el caso de la fabricación de las mezclas bituminosas templadas.

Estas mezclas reúnen algunas de las ventajas de las mezclas en caliente, en cuanto a su mayor control en la fabricación al utilizarse la misma planta, tener una mayor cohesión inicial al disminuir sensiblemente el tiempo de maduración y curado de la mezcla, presentar un elevado grado de envuelta inicial por la temperatura y la mayor limpieza de los áridos y se logran unas características mecánicas similares a las de las mismas mezclas fabricadas en caliente.

Son mezclas más flexibles y susceptibles de ser almacenadas y se disminuye, de manera importante, el consumo de combustibles y la emisión de gases en el proceso de fabricación de la mezcla.

Estas características (especialmente su flexibilidad) y la versatilidad de este tipo de mezclas, las hace muy recomendables para su utilización en carreteras locales o de muy bajo tránsito pues, permite colocar capas de bajo espesor sin riesgo de rotura por rigidez de la misma, como sucede cuando se utilizan mezclas bituminosas en caliente en capas de pequeño espesor sobre firmes flexibles (habituales en muchas carreteras locales).

Para su fabricación pueden utilizarse las plantas convencionales de mezclas en caliente, pero hay que tener algunas precauciones como son las siguientes:

- Ajustar el quemador del tambor secador para conseguir que la temperatura de los áridos no supere los 100°C.
- Al utilizar los áridos a una temperatura inferior a 100°C, pueden mantener una cierta cantidad de humedad que puede ser recogida por la corriente de aire que forma el ciclón. Se debe prever disponer de un dispositivo que elimine esta humedad para evitar que vaya a parar a los filtros de mangas.

- Disponer de un sistema de pesada e incorporación de la emulsión generalmente independiente del que tiene la planta para el betún, para evitar posibles problemas de formación de grumos que produzcan atascos en las tuberías por la diferente viscosidad de los dos ligantes.

Para su puesta en obra se utilizan los mismos equipos que con las mezclas en caliente convencionales. Por la presencia de agua en la mezcla y según el espesor de la capa, es importante disponer de compactadores potentes y suficientes en número.

Análisis de coste-beneficio

En general, la utilización de aditivos o betunes especiales para la fabricación de las mezclas semicalientes no supone un ahorro económico, pues el menor consumo energético se compensa por el mayor coste de los aditivos utilizados.

En el caso de utilizar aditivos surfactantes o mediante el espumado de betún, el coste es prácticamente igual de la mezcla caliente y de la mezcla semicaliente.

Cuando el aditivo se utiliza en forma de ceras incorporadas al ligante, el coste de la mezcla semicaliente es entre un 4 y un 5% más alto que la mezcla en caliente correspondiente.

Respecto a las mezclas templadas, la utilización de emulsión bituminosa, a igualdad de contenido de ligante final, supone un incremento del coste algo superior al 15% respecto a la misma mezcla en caliente.

Lo que es cierto que cualquiera de estas técnicas, al permitir trabajar con mayor cantidad de RAP, permite un coste final de mezcla sensiblemente inferior a las convencionales.

Mejoras medioambientales:

Lo que es indudable es que el ahorro de combustible derivado de un menor calentamiento de los áridos supone una mejora ambiental directa en los proyectos.

Según datos presentados por Ángel Sampedro, Catedrático especialista ambiental de la Universidad Alfonso X El Sabio; habría un ahorro de hasta un 8% en las emisiones al utilizar mezclas semicalientes.

	M. Caliente	M. Semicaliente		M. Templada Bt	
Subsistemas	kg CO ₂ eq/t mezcla	kg CO ₂ eq/t mezcla	Reducc.	kg CO ₂ eq/t mezcla	Reducc.
1. Estr. y proc. áridos	6,73	6,69	0,5%	6,88	-2,3%
2. Filler	0,00	0,00		0,00	
3. Ligante asfáltico	11,58	12,03	-3,8%	11,58	0,0%
4. Fabricación mezcla	18,13	13,86	23,5%	10,66	41,2%
5. Puesta en obra	1,49	1,49	0,0%	1,49	0,0%
7. Demolición	0,21	0,21	0,0%	0,21	0,0%
8. Transporte	9,89	9,88	0,1%	9,91	-0,2%
Total:	48,02	44,16	8,0%	40,73	15,2%

Datos de estudio del Dr. Ángel Sampedro.

Por otro lado, la reducción de temperaturas conlleva una mejor salubridad de los trabajadores de las obras, al reducir el calor en el área de trabajo y las emisiones potenciales de gases.

Estrategia del Consell

Desde el punto de vista de la administración, tenemos que ser consecuentes con el medio ambiente y la seguridad de los trabajadores, por lo que debemos trabajar para llegar a una reducción de la temperatura en el 100% de las mezclas asfálticas.

En este sentido, se valorará la reducción de temperatura de todas mezclas del paquete de firme, trabajando sobre la base de mezclas semicalientes que sean compatibles con el resto de técnicas del pliego ambiental.

Es decir:

- Mezclas con inclusión de RA en base e intermedia y polvo de neumático a menor temperatura.
- Mezclas SMA con inclusión de polvo de neumático a menor temperatura en rodadura.

3. Administraciones que llevan a cabo estas mezclas bituminosas

Puesto que la normativa de residuos (la ley marco de residuos) obliga al reciclado de residuos, y el PEMAR solicita como objetivo de reciclado del caucho las mezclas bituminosas, la legislación técnica de carreteras (PG-3 y PG-4) **fomentan el empleo del polvo de caucho en las mezclas bituminosas.**

Según lo dispuesto en el apartado 10.4 del Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022, aprobado por Acuerdo de Consejo de Ministros de 6 de noviembre de 2015, se fomentará el uso de polvo de caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil en la fabricación de

mezclas bituminosas para pavimentos de carreteras, promoviendo el establecimiento de porcentajes mínimos de uso.

Como consecuencia de ello, cada vez en mayor proporción las Administraciones están obligando al empleo de caucho en sus mezclas bituminosas. Administraciones de carácter nacional (Ministerio de Fomento), comunidades autónomas y Administraciones locales:

- Ayuntamiento de Málaga: Ha redactado un pliego de recomendaciones de mezclas sostenibles con polvo de neumático y ya es su tercera operación asfalto anual con el 100% de sus asfaltos sostenibles.
- Ayuntamiento de Madrid: Ha redactado y está en fase de aprobación, un pliego para el uso de polvo de neumático en sus rodaduras con mezclas tipo SMA y ya lo está utilizando en sus proyectos. Por otro lado sus operaciones asfaltos ya utilizan asiduamente el RAP y las mezclas a menor temperatura.
- Junta de Castilla y León: Ha mostrado su política de promover e impulsar los asfaltos con polvo de neumático en todos sus proyectos.
 - AENA: La entidad aeroportuaria desde hace años apuesta por la sostenibilidad de las mezclas asfálticas y el uso de polvo de neumático.
 - JUNTA DE ANDALUCIA: Existen ya proyectos reales de uso de mezclas semicalientes y uso de polvo de neumático en conjunto
 - MINISTERIO DE FOMENTO: Existe un borrador de una nueva OC. Que impulsara el consumo de polvo de neumático y obligará a disponer un % mínimo de caucho en sus proyectos.

En cuanto al fresado son los fabricantes de mezclas los más interesados en su empleo, ya que además de ser más competitivos que los que no emplean este residuo, eliminan este residuo de sus plantas. El material fresado se emplea ampliamente en obras en toda España.

Al igual que para el caucho, un problema importante de AENA es la gran producción de fresado en sus obras de regeneración de pavimentos aeroportuarios, como son las pistas y calles de rodaje, es por lo que cada vez más van a exigir la reutilización de material fresado en sus mezclas bituminosas.

4. Objetivos de esta normativa del Consell

En base a todo lo indicado, los objetivos de esta normativa es conseguir:

- **Carreteras y calles más durables:**
 - Las mezclas bituminosas que se han elegido, como es la SMA, es en la actualidad la mezcla bituminosa aceptada como de mayor durabilidad,
- **Reducir la contaminación:**
 - Se han diseñado mezclas bituminosas que incorporen residuos.
 - Se han diseñado mezclas que se fabricarán a menos temperatura.

- **Preservar los recursos naturales**
- El empleo de residuos reservará los áridos de cantera.

5. Nuevas vías de financiación

La normativa que se ha redactado es eminentemente sostenible, con un alto grado de innovación.

En base a ello se abren importantes vías de financiación como son:

- La compra pública verde.
- La compra pública innovadora.
- Etc.

Palma, Noviembre de
2020

Coordinador en Cap de la D.I.
d'Infraestructures

Miguel Ángel Sagrera Clota

La ingeniera de Dirección y Control de
obras

Lara Ataun Bueno