



TECNICAS DE PAVIMENTACION EN CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)



EDITA:

Asociación Técnica de Carreteras

C/ Monte Esquinza, 24

28010 Madrid

PRÓLOGO

En España el total de kilómetros de red viaria, consideradas como carreteras según el anuario estadístico que publica el actual Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible supera los 165.000km, sin contar otro tipo de viales, pavimentados o no que suponen los caminos de dominio público, habitualmente de titularidad y competencia municipal.

Del total de red viaria, el 16% se gestiona por el gobierno central, un 43% por los gobiernos regionales de las Comunidades Autónomas, y un 41% por los gobiernos locales, Diputaciones y Cabildos. La red de alta capacidad supone únicamente un 10%, mientras que las carreteras convencionales suponen un 90% de la red total. Adicionalmente, en términos de tráfico, la carretera convencional soporta el 40% del volumen anual de tráfico en la red. Este tipo de vías resultan esenciales en la vertebración del territorio siendo el soporte para el tráfico puerta a puerta y de última milla.

Dada la singularidad de este tipo de vías, en el caso español, actualmente, en el seno de la Asociación Técnica de la Carretera (ATC), a nivel nacional, el comité técnico C21 se encuentra dedicado a las carreteras de baja intensidad de tráfico. En este contexto se entienden como de Baja Intensidad de Tráfico aquellas carreteras con una intensidad media diaria (IMD) inferior a 2000 vehículos diarios y que a su vez no superan los 200 vehículos pesados por carril diarios. El porcentaje de carreteras que catalogamos como baja intensidad de tráfico en el Comité, en España representa actualmente un porcentaje muy elevado del total de la longitud de la red, al menos 2/3. El comité resulta un espacio idóneo para la transferencia del conocimiento de intercambio de experiencias por el personal técnico, tanto de las administraciones locales, provinciales, autonómicas y estatales como con la academia y las empresas del sector.

Cabe reflexionar sobre la importancia y necesidad de profundizar en el estudio de las particularidades en este tipo de vías, pues de sus singulares características, heterogeneidad, diversidad y condicionantes del entorno en la prestación del servicio, al no partir de un lienzo en blanco, emerge la necesidad de generar recomendaciones propias y explorar las mejores técnicas aplicables a su diseño. Más cuando este tipo de vías de baja intensidad de tráfico tradicionalmente disponen de menores recursos y sufren generalizadamente de insuficiencia de medios, lo que hace aún más necesario si cabe optimizar la eficiencia en su gestión.

El documento que se presenta corresponde a un trabajo generado en el ciclo 2020-2023. Dado el tiempo transcurrido desde su redacción, algunas de las personas que participaron en su redacción han ido variando su situación personal y no pertenecen al comité actual, por lo que me gustaría transmitir y expresar en estas pocas líneas mi agradecimiento y un merecido y sincero reconocimiento a la labor desinteresada y generosa de quienes en el tiempo han ido formando parte del comité técnico. Y muy concretamente de quienes participaron en la redacción y revisión de este documento de gran utilidad, por su calidad, rigurosidad, expertise y tecnificación, tanto desde el comité como en la sombra. La parte correspondiente a las técnicas conocidas tradicionalmente como técnicas en caliente, parte 1 del presente documento, "Soluciones utilizando betún asfáltico",

fue redactada por Jesús Felipe Sanjuan, pieza clave en nuestro comité, y quien manifiesta su agradecimiento al Comité Técnico de Asefma (Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas), www.asefma.es, por su destacada colaboración y activa participación en la revisión. Mientras que la parte correspondiente a las técnicas en frío, parte 1 del presente documento, “Soluciones utilizando emulsión bituminosa”, fue redactada y revisada por participantes del Comité Técnico de ATEB (Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas), www.ateb.es. Por su deseo expreso no procederé a relacionar a todas ellas, correría además el riesgo de dejar fuera a cualquiera de las personas con las que se compartió el documento para revisión y aportaciones.

Sirva el presente sincero y cálido recuerdo para honrar, poner en valor, conmemorar y hacer memoria, particularmente sobre el Presidente y Secretaria salientes, Andrés Costa Hernández, quien impulsó y coordinó este trabajo, y M^a del Mar Colas Victoria, ambos bellísimas personas. Para mí ha sido un honor trabajar y aprender a su lado, y un reto inmenso tomar el testigo. Alma mater, percusor e impulsor persistente e incombustible, a menudo echamos de menos entrañables reuniones cargadas de anécdotas, cariño, cruces de acusaciones, bromas y reprimendas entre el Presidente y algún miembro del comité, también a aquellos compañeros que por diversas circunstancias personales o profesionales tuvieron que abandonarnos, pero que emanaban pasión por este tipo de vías mayormente olvidadas en la normativa histórica y su singular problemática. Al igual que la incandescente Secretaria por su profesionalidad, pero también por su saber hacer como persona.

Alcance del documento. El texto presenta los criterios generales para la definición y caracterización de las carreteras de baja intensidad de tráfico (BIT), así como una clasificación de los tipos de firmes más habituales en este tipo de vías.

El documento se estructura en tres grandes bloques orientados a la definición de las carreteras de baja intensidad de tráfico (BIT) y al análisis de las soluciones de pavimentación más adecuadas para este tipo de vías.

En primer lugar, se establecen los **criterios generales**, que incluyen la definición de las carreteras BIT y la identificación de los tipos de firmes más habituales en ellas. Esta parte sienta las bases conceptuales y técnicas para comprender las particularidades funcionales y estructurales de estas infraestructuras.

A continuación, se desarrolla la **Parte 1**, dedicada a las soluciones basadas en **mezclas bituminosas en caliente con betún asfáltico**. Se exponen los criterios de selección en función del tipo de firme existente, su estado de conservación y las solicitaciones de tráfico. Posteriormente, se describen los principales tipos de mezclas empleadas en carreteras BIT —hormigón bituminoso, BBTM, SMA y AUTL—, detallando sus características, normativa aplicable y usos más habituales. Esta parte se completa con la consideración de mezclas semicalientes y mezclas recicladas, actualmente reutilizadas, como alternativas técnica y ambientalmente sostenibles.

Por último, la **Parte 2** se centra en las soluciones que utilizan **emulsión bituminosa**, siguiendo una estructura análoga: criterios de selección, tipología de técnicas y análisis de

su aplicación en carreteras BIT. Se incluyen las mezclas en frío (tratamientos superficiales, lechadas, mezclas abiertas, grava-emulsión y reciclados en frío) y las técnicas templadas (mezclas templadas y reciclados templados), describiendo para cada una sus características, marco normativo y campos de aplicación.

En conjunto, el documento ofrece una visión sistemática y comparativa de las distintas soluciones de pavimentación bituminosa, orientada a facilitar la elección de la técnica más adecuada para carreteras de baja intensidad de tráfico en función de sus condiciones estructurales, funcionales y de servicio. Complementa a otros documentos elaborados y publicados por el Comité Técnico como las *Recomendaciones para la redacción de pliegos de prescripciones técnicas particulares de firmes y pavimentos bituminosos de carreteras de baja intensidad de tráfico. (2018)*, prescripciones técnicas de materiales que habían dejado de formar parte del PG-3, antes de que se apostara por su nueva inclusión, y sirviendo de referencia en este documento, anterior a la actual ORDEN CIRCULAR OC 1/2024, o a la *Metodología para la evaluación del estado del firme en una carretera de baja intensidad de tráfico a partir de su inspección visual, con propuesta de posibles actuaciones de conservación mediante soluciones técnicas sostenibles*, publicada igualmente en el ciclo anterior.

Ello explica que el documento que fue objeto de diversas revisiones por el equipo redactor y revisor, al tratar sobre una materia viva en constante evolución, no esté exento de ser complementado en un futuro. Ello no le resta, a su vez, su plena utilidad y vigencia para aquellas personas que puedan requerir una orientación práctica en la materia.

El comité sigue trabajando en materias que puedan resultar de interés a quien se enfrente a este tipo de vías y sólo me queda animar a cualquier persona que estime oportuno realizar sugerencias para que iniciemos alguna línea de trabajo concreta que pueda resultar de especial de interés, entre tantos campos recurrentes sin resolver, a ponerse en contacto o a unirse al Comité para compartir enriquecedoras experiencias y un ambiente extraordinario.

Mónica Laura Alonso Plá
Presidenta del Comité técnico de carreteras BIT de la ATC

Relación de miembros del comité en la etapa anterior ciclo 2020-2023 (ATC):

- Mónica Laura Alonso Pla
- Ibon Arechalde Ugarteche
- Ricardo Bardasano González
- Luis Barroso Párraga
- Celia Bautista Alonso
- María Elena Bautista Davila
- Jordi Benet Llovera
- Eduardo Bonet Sánchez
- M^a del Mar Colás Victoria
- Ramón Colom Gorgues
- Andrés Costa Hernández
- Manuel del Jesus Clemente
- Jesús Díaz Minguela
- Jesús Felipe Sanjuán
- Gonzalo Fernández Manceñido
- Ángel García Fuente
- Francisco García Sánchez
- Diego González Jiménez
- Adolfo Güell Cancela
- Carlos Hernández Carrilero
- M^a Elena Hidalgo Pérez
- Pablo Ladrero Caballero
- Luis Ignacio López de Aguilera Salazar
- José Ramón Marcobal Barranco
- Angel Martínez Muñoz
- Antonio Medina García
- Juan Moñino Jiménez
- Jorge Antonio Moreno Moreno
- Alfredo Muñoz Alarcón
- Miguel Núñez Fernández
- Javier Paniego Morán
- José Enrique Pardo Landrove
- M^a del Carmen Picón Cabrera
- Ricardo Ruiz Ramos
- Pablo Sáez Villar
- Angel Luis Saiz Orcajo
- Leopoldo Sánchez Santiago
- Diego Sanz Abella
- Rodigo Sarralde Osúa
- María José Sierra López
- Mariano Terceño González
- Nuria Uguet Canal
- Jordi Vilaseca Ferrarons

ÍNDICE

PARTE 0: CRITERIOS GENERALES

1. INTRODUCCIÓN	03
1.1. CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO (BIT). DEFINICIÓN	03
1.2. TIPOS DE FIRMES EN CARRETERAS BIT. IDENTIFICACIÓN	04

PARTE 1: SOLUCIONES UTILIZANDO BETUN ASFALTICO

1. INTRODUCCIÓN	07
2. M.B.C. PARA CARRETERAS BIT. CRITERIOS DE SELECCIÓN	09
2.1. TIPO DE FIRME EN EL QUE SE INTEGRA	09
2.2. ESTADO DEL FIRME. TIPO DE DETERIORO	10
2.3. SOLICITACIONES	10
3. M.B.C. PARA CARRETERAS BIT. TIPOS	11
3.1. HORMIGÓN BITUMINOSO	12
3.1.1. Descripción. Características	12
3.1.2. Normativa	14
3.1.3. Empleos más habituales en carreteras BIT	16
3.2. MEZCLAS BITUMINOSAS DISCONTINUAS PARA CAPAS DE RODADURA. BBTM	16
3.2.1. Descripción. Características	16
3.2.2. Normativa	17
3.2.3. Empleos más habituales en carreteras BIT	19
3.3. MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO SMA	19
3.3.1. Descripción. Características	19

3.3.2. Normativa	21
3.3.3. Empleos más habituales en carreteras BIT	22
3.4. MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO AUTL PARA CAPAS DE RODADURA	23
3.4.1. Descripción. Características	23
3.4.2. Normativa	24
3.4.3. Empleos más habituales en carreteras BIT	26
4. M.B. SEMICALIENTES EN LAS CARRETERAS BIT	27
5. M.B.C. RECICLADAS EN LAS CARRETERAS BIT	28
<u>PARTE 2: SOLUCIONES UTILIZANDO EMULSION BITUMINOSA</u>	
1. INTRODUCCIÓN	29
2. M.B.CON EMULSION PARA CARRETERAS BIT. CRITERIOS DE SELECCIÓN	30
2.1. TIPO DE FIRME EN EL QUE SE INTEGRA	30
2.2. ESTADO DEL FIRME. TIPO DE DETERIORO	30
2.3. SOLICITACIONES	34
3. M.B.CON EMULSION PARA CARRETERAS BIT. TIPOS	35
3.1. MEZCLAS EN FRIO	35
3.1.1. Tratamientos superficiales mediante riegos con gravillas (TSRG)	35
3.1.2. Lechadas bituminosas	37
3.1.3. Mezclas abiertas en frio	39
3.1.4. Grava emulsión	41
3.1.5. Reciclado en frio de capas bituminosas	43
3.2. Técnicas templadas	46
3.2.1. Mezclas templadas	46
3.2.2. Reciclados templados con emulsión	48

PARTE O

CRITERIOS GENERALES

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO (CARRETERAS BIT). DEFINICIÓN

Una de las primeras cuestiones que se plantea al hablar de Carreteras BIT es conocer cuáles son las principales características de este tipo de vías. Para ello, desde el Comité Técnico de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico de la ATC se realizó en el año 2011 una encuesta a las Administraciones españolas que ostentaban la titularidad de carreteras de este tipo (Diputaciones y Comunidades Autónomas). Se consultó, entre otras cuestiones, por el tráfico de las carreteras que gestionaban, el ancho de las mismas o el tipo de pavimento que tenían.

Tras haber recibido un elevado porcentaje de respuesta (40 % de las entidades consultadas) se observó que una de las características que define a las carreteras de este tipo, es el tráfico que soportan. El 90 % de las carreteras de las entidades que respondieron (que podría ser extrapolable al resto) tenían un tráfico inferior a 2.000 vehículos / día. De las respuestas a la encuesta recibidas, se pueden destacar otros resultados como el hecho de que el 60 % de las carreteras tenía un ancho inferior a 6 m o que el 60 % de los pavimentos son mezclas bituminosas y el 30 % riegos con gravilla.

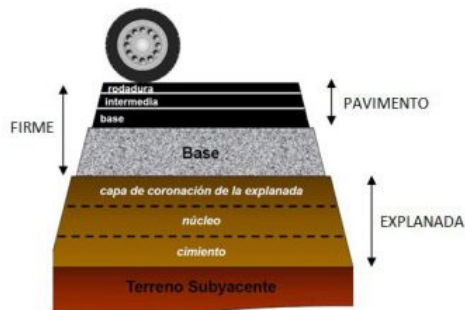
A partir del análisis de las respuestas obtenidas, en el Comité se ha adoptado como criterio para definir una carretera de baja intensidad de tráfico que la IMD sea inferior a 2.000 vehículos/día. Dentro de este grupo de carreteras se pueden encontrar grandes diferencias tanto en el tráfico, como en sus características propias.

Con esta definición se ha identificado y acotado uno de los factores de diseño que más afectan a la definición de las necesidades, que es el tráfico. Este factor se describirá de una forma algo más detallada en capítulos posteriores.

1.2. TIPOS DE FIRMES EN LAS CARRETERAS BIT IDENTIFICACIÓN

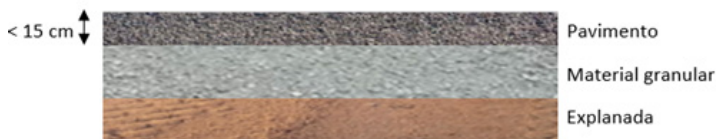
La incapacidad de muchos de los terrenos para soportar de forma permanente el paso de vehículos sin experimentar deformaciones que impidan la circulación, hace necesaria la disposición de un firme sobre ellos. Su función es la de repartir y amortiguar las cargas del tráfico sobre la explanada y protegerla frente a los efectos del clima, para que ésta no se deforme, manteniendo una adecuada regularidad superficial y permitiendo un tránsito cómodo y seguro.

Un firme está, en general, compuesto por un conjunto de capas apoyadas en la explanada. La capa superior, que soporta directamente el paso de las cargas, es el pavimento, cuya misión es la de proporcionar una adecuada superficie para el tránsito de peatones y del tráfico rodado, en su caso. Las otras capas, cuando existen, entre el pavimento y la explanada, tienen como misión amortiguar el efecto que las cargas del tráfico pudieran producir sobre esta y proporcionar un apoyo uniforme y estable al primero.



Los firmes se clasifican, en general en flexibles, semiflexibles, semirrígidos, rígidos y mixtos, quedando fuera de estos grupos determinados tipos de firme que podrían agruparse en la categoría "Otros tipos de firme". A continuación, se describe brevemente cada tipología indicada.

- **Firmes flexibles**, son los constituidos por capas granulares no tratadas y materiales bituminosos con un espesor inferior a 15 cm. Este tipo de firme es el que se encuentra habitualmente en vías con baja intensidad de tráfico.



- **Firmes semiflexibles**, en los que el espesor de los materiales bituminosos sobre capas granulares no tratadas iguala o supera los 15 cm. En este caso, el espesor de mezcla

bituminosa le confiere al pavimento una mayor rigidez que en el caso anterior, soportando mejor las cargas, y aplicándose, habitualmente, a vías con intensidades de tráfico pesado medias y elevadas.



- **Firmes semirrígidos**, son los constituidos por materiales bituminosos en cualquier espesor sobre una o más capas tratadas con conglomerantes hidráulicos, siendo el espesor conjunto de éstas igual o superior a 18 cm y con un comportamiento que garantice una contribución significativa a la resistencia estructural del conjunto del firme.

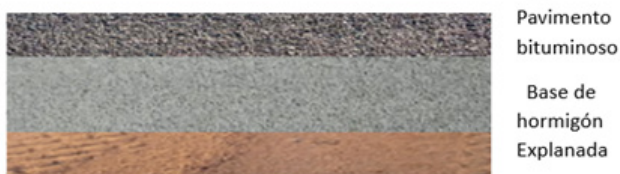


- **Firmes rígidos**, son los constituidos por pavimentos de hormigón, generalmente losas, que habitualmente se colocan sobre materiales tratados con cemento.

Cuando se utiliza este tipo de firme en las carreteras BIT, no se realizan, por sus características, actuaciones de reparación y de conservación.

Existen documentos técnicos sobre pavimentos de hormigón en las vías BIT (IECA) que pueden utilizarse para el diseño y gestión de este tipo de firmes.

- **Firmes mixtos**: Son aquellos firmes compuestos por una base de hormigón con un pavimento asfáltico, formado por una o varias capas de mezcla bituminosa. Este tipo de firme es muy habitual en las vías urbanas, especialmente en las de las grandes ciudades.



TECNICAS DE PAVIMENTACION EN CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

- **Otros tipos de firme:** Existen otros firmes constituidos por adoquines, losas, etc. Este grupo está compuesto por firmes con composición diferente a los anteriores y suele encontrarse en las vías urbanas.

De entre todos estos tipos de firme, en las carreteras BIT no todos son utilizados. Habitualmente, y debido a las características del tráfico que circula por dichas carreteras y por la evolución histórica de las mismas, los tipos de firme más empleados son los flexibles y semiflexibles. Este análisis puede ser corroborado en el documento elaborado en el Comité de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico de la ATC denominado **“Tipos de firmes habituales en las carreteras BIT en España”**.

Aunque en algunos casos se puedan encontrar alguno de los otros tipos de firme, el presente documento toma como referencia que los firmes mayoritariamente empleados en estas carreteras corresponden a los tipos flexibles y semiflexibles. De esta forma queda definido también uno de los factores de diseño más relevante a la hora de seleccionar la mejor solución con técnicas de pavimentación bituminosas, utilizando bien el betún asfáltico o bien la emulsión bituminosa.

PARTE I

SOLUCIONES UTILIZANDO EL BETUN ASFALTICO

1. INTRODUCCION

Como es bien conocido, uno de los materiales empleados predominantemente en la construcción de firmes de carreteras es la mezcla bituminosa en caliente. Además de sus características y propiedades técnicas (módulo de rigidez, flexibilidad, resistencia a deformaciones plásticas, resistencia a la fisuración, resistencia a la acción del agua, resistencia al deslizamiento ...) que le confieren unas prestaciones funcionales (seguridad y comodidad, resistencia mecánica, durabilidad...), las mezclas bituminosas en caliente tienen la posibilidad de ser diseñadas con gran variedad de características de sus componentes, haciendo el producto muy versátil.

En función de las características del lugar donde se vaya a colocar la mezcla, los requisitos que han de tenerse en cuenta son diferentes y, por lo tanto, también las características y propiedades técnicas exigidas al material serán diferentes. Por ejemplo, los requisitos que se le exigirán a una mezcla bituminosa en caliente serán diferentes si se va a colocar sobre un firme rígido con un tráfico pesado elevado, donde necesitará ser resistente a la fisuración por reflexión y también resistente a las deformaciones plásticas, o si se coloca en una carretera de baja intensidad de tráfico sobre un firme muy flexible, donde las características importantes serán diferentes; en este segundo caso la flexibilidad de la mezcla y su adaptación al soporte serán características a considerar en mayor medida que su resistencia a la deformación plástica, por ejemplo.

Para poder adecuar las propiedades técnicas de las mezclas a unos determinados requisitos, las herramientas que se poseen son las siguientes:

- **Dosificación de los componentes de la mezcla** (áridos, ligante y, en su caso, aditivos). Se definirá la granulometría de los áridos, seleccionando un tipo de mezcla u otro, su tamaño máximo, el contenido de ligante y la adición o no de aditivos y su porcentaje en la mezcla. Con estas dosificaciones se obtendrá una mezcla bituminosa

que tendrá unos parámetros volumétricos (densidad, huecos en mezcla, huecos en áridos, huecos rellenos) que finalmente serán los que le conferirán las propiedades técnicas a la mezcla.

- **Características de los áridos.** Se podrá seleccionar el tipo de árido a emplear en función de las necesidades. Se podrán diseñar mezclas con diferentes tipos de árido, por ejemplo, para tráfico pesado en capa de rodadura, donde la resistencia al desgaste y/o la resistencia al pulimento son más importantes que en una mezcla que se va emplear en capa intermedia en una vía con muy poco tráfico pesado, donde estas características son menos críticas.
- **Características del ligante.** Esta es, quizás, una de las herramientas que más puede ayudar a diseñar mezclas específicas para cada tipo de empleo. En la actualidad existe una gran variedad de ligantes bituminosos para emplear en mezclas bituminosas en caliente, los cuales le pueden conferir a la mezcla propiedades adaptadas a los requisitos establecidos en cada caso. Dentro de los ligantes de penetración, se pueden seleccionar diferentes durezas en función de las características a obtener (desde betunes duros B15/25 hasta betunes con penetraciones altas como el B70/100, o incluso mayores). Para obtener propiedades específicas se pueden emplear betunes modificados con polímeros o incluso betunes con polvo de neumático.
- **Incorporación de aditivos.** Esta herramienta permite, con la incorporación de productos adecuados habitualmente en pequeños porcentajes, mejorar algunas de las propiedades de las mezclas bituminosas en caliente. Este procedimiento puede ser muy útil para determinados usos donde el producto tiene que tener unas propiedades mejoradas en alguna de sus características (por ejemplo, resistencia a las deformaciones plásticas o a la acción del agua).

Como se puede deducir de lo comentado anteriormente, las mezclas bituminosas en caliente son unos productos muy versátiles que permiten adecuar sus características a las necesidades de cada aplicación. Así pues, es muy importante colocar en cada caso las mezclas más adecuadas y, si es posible, con las características adaptadas a los requisitos exigidos en cada aplicación, para poder obtener las mayores prestaciones posibles. Y este punto pasa por definir adecuadamente cuales son los requisitos que hay que exigir a las mezclas bituminosas en cada uno de los casos.

Pues bien, existen una serie de factores que se pueden identificar en la mayoría de las aplicaciones, que son los que van a afectar de forma directa a las necesidades que deben cubrir las mezclas bituminosas. Entre los factores que más suelen afectar a los requisitos se encuentran el tráfico que debe soportar la vía, el tipo de firme en el que se va a colocar la mezcla, el tipo de soporte, la posición de la capa en el firme o también los factores climáticos. Todos estos factores, además de una serie de aspectos específicos que pueden existir en determinadas situaciones, van a marcar los requisitos necesarios, y consecuentemente, las propiedades técnicas de las mezclas a las que hay que atender de forma más importante.

Hasta el momento, se ha estado hablando de forma general de las posibles aplicaciones de las mezclas bituminosas en caliente y cómo adecuarlas para cada aplicación. Pero no hay que olvidar que este documento se orienta especialmente para carreteras de baja intensidad de tráfico, por lo que algunos de los factores de diseño ya se consideran dentro de esta definición.

Es, por ello, fundamental identificar el entorno general en el que se van a emplear este tipo de mezclas y, aunque existan factores diferenciales para cada caso particular, poder ofrecer una serie de criterios y apreciaciones que puedan ayudar a la selección de la mejor solución y adaptar el diseño de las mezclas a las necesidades existentes.

Así pues, se va a intentar a continuación enmarcar el uso de las mezclas dentro de las carreteras de baja intensidad de tráfico, teniendo en cuenta que los factores que suelen afectar de forma más general a las propiedades de las mezclas como son el tráfico y el tipo de firme en el que se van a colocar las mezclas bituminosas.

2 MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE PARA CARRETERAS BIT. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Antes de seleccionar el tipo de mezcla bituminosa en caliente a emplear hay que analizar una serie de cuestiones relacionadas con el tipo de trabajo a realizar, y que van a determinar finalmente cuales son los requisitos que se le van a solicitar a la mezcla, y, por lo tanto, sus características técnicas. A estas cuestiones que van a determinar las propiedades de la mezcla a emplear se les ha denominado “Criterios de selección”; entre todos los posibles criterios el documento se centra en los criterios técnicos, dejando para más adelante otros tipos de criterios como los económicos o ambientales.

2.1. TIPO DE FIRME EN EL QUE SE INTEGRA

El tipo de firme en el que se va a integrar la mezcla bituminosa va a determinar gran parte de las características más adecuadas que se van a exigir a la mezcla bituminosa. Por ejemplo, si se integra en un firme semirrígido la mezcla debe tener una buena resistencia a la fisuración por retracción de fisuras, mientras que, si el firme es flexible, se debe primar una mayor flexibilidad y adaptación al soporte.

Tal y como ya se ha comentado anteriormente, la gran mayoría de los firmes existentes en las carreteras BIT en España son flexibles y semiflexibles.

Así, para capas intermedias para estos tipos de firme las principales propiedades a considerar serían la resistencia a fatiga y la adaptabilidad al soporte, debiendo considerarse su resistencia a las deformaciones permanentes para los tráficos más pesados.

Para capas de rodadura se debería pensar en características tales como la resistencia a esfuerzos tangenciales y a la acción del agua, así como sus características superficiales de macro y micro rugosidad. Al igual que para las capas intermedias, se debería tener en cuenta la resistencia a las deformaciones permanentes para los tráficos más pesados.

2.2. ESTADO DEL FIRME. TIPO DE DETERIORO

Entre los diferentes tipos de actuaciones a realizar se pueden encontrar actuaciones de nueva construcción o de conservación de los firmes. En el primer caso, la selección del tipo de mezcla a colocar viene definida habitualmente en el proyecto, con las consideraciones establecidas en las diferentes normativas para construcción de un firme nuevo.

Pero las dificultades para seleccionar la solución más adecuada se incrementan cuando se plantea resolver deterioros de carreteras con tráfico, donde la mezcla bituminosa más adecuada va a depender, entre otras cosas, del estado del firme y del tipo de deterioro.

De esta forma, por ejemplo, se deben emplear mezclas diferentes si el deterioro a resolver es un problema estructural o únicamente superficial; si es un problema de deformaciones plásticas o de reflexión de fisuras, de falta de adherencia entre capas o de desprendimiento de áridos.

2.3. SOLICITACIONES

Otro criterio a considerar para la selección de la mezcla más adecuada es el tipo de solicitaciones que va a tener que soportar la capa.

De entre todas ellas, la principal es el tráfico que, como ya se ha comentado en un apartado anterior, se va a considerar para las vías de baja intensidad de tráfico menor a 2.000 vehículos/día. En este punto queda por definir el volumen de vehículos pesados, que es, principalmente, el que más puede afectar al firme y, por ende, a la mezcla bituminosa. La selección del tipo de mezcla a emplear y sus materiales constituyentes debe realizarse en función del volumen de tráfico pesado, considerando diferentes características del producto final.

Por ejemplo, para tráficos pesados elevados debería tenerse en cuenta la resistencia a la deformación permanente de las capas intermedias y de rodadura, mientras que, si el volumen de tráfico pesado es bajo o prácticamente inexistente, se debería atender más a características tales como la flexibilidad de la mezcla o su resistencia a los esfuerzos tangenciales.

También son importantes los factores climáticos, ya que pueden influir de forma directa en las prestaciones de las mezclas. Es por ello que, por ejemplo, para la selección del tipo de ligante, no sólo se considera el tráfico, sino también la zona climática en la que se encuentra la actuación. También afectan dichos factores al envejecimiento de las mezclas y a su durabilidad, siendo importante tener en cuenta cuales son las condiciones climáticas (gradientes

de temperatura anuales, gradientes día/noche, temperaturas máximas y mínimas, heladas, precipitaciones en forma de agua y nieve) para seleccionar los componentes y el diseño de mezcla más adecuado.

Finalmente, no se debe olvidar que existen algunos condicionantes que obligan a considerar otros requisitos que no se han tenido en cuenta en los apartados anteriores y que pueden influir negativamente en las prestaciones finales. Cuestiones tales como vertidos de combustible habituales, elevadas pendientes o giros pronunciados, por ejemplo, deben ser tenidos en cuenta en el momento de seleccionar la mezcla más adecuada con los componentes más apropiados.

3. MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE EN LAS CARRETERAS BIT. TIPOS

En el año 2008 entró en vigor el marcado CE de las mezclas bituminosas en caliente. En la nueva normativa se definieron 7 familias de mezclas bituminosas (en este momento ya son 8) que se empleaban en Europa, así como también nuevas normas de ensayo y de control del proceso de fabricación. Las familias de mezclas que se han definido hasta el momento son las siguientes:

- UNE-EN 13108-1: Hormigón asfáltico.
- UNE-EN 13108-2: Mezclas bituminosas para capas delgadas.
- UNE-EN 13108-3: Mezclas bituminosas tipo SA.
- UNE-EN 13108-4: Mezclas bituminosas tipo HRA.
- UNE-EN 13108-5: Mezclas bituminosas tipo SMA.
- UNE-EN 13108-6: Másticos bituminosos.
- UNE-EN 13108-7: Mezclas bituminosas drenantes.
- UNE-EN 13108-9: Mezclas bituminosas tipo AUTL.

No todas las familias de mezclas bituminosas se emplean en España; incluso algunas de las que se emplean en España y están normalizadas son poco habituales en las carreteras BIT. A continuación, se va a hacer una breve descripción de cada una de las familias de mezclas que más habitualmente se emplean en las Carreteras BIT o aquellas que se han considerado que pueden tener interés por sus características para resolver problemas concretos. Dentro de cada una de las mezclas se hará referencia a cómo puede afectar la selección de los componentes de la mezcla, así como su diseño, a las propiedades de las mismas y que diferencias

deben ser consideradas con respecto al diseño de mezclas para carreteras con una intensidad de tráfico mayor, considerando también el tipo de firme.

3.1. HORMIGÓN ASFÁLTICO

3.1.1. Descripción. Características

La mezcla bituminosa tipo hormigón asfáltico es la combinación de un betún asfáltico, áridos con una granulometría continua, polvo mineral y, en algunos casos aditivos, de forma que todas las partículas de árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante, formando finalmente una estructura compacta.

Dentro de esta familia se encuentran las mezclas que más habitualmente se han utilizado y se utilizan en España en carreteras. Aquí se encuentran incluidas las antiguas mezclas densas (D), semidensas (S) y Gruesas (G), así como también las mezclas de Alto Módulo (MAM).

En la actualidad la denominación de este tipo de mezclas es el siguiente:

Tipo de mezcla	Tamaño máximo	Capa de empleo	Tipo de ligante	Tipo mezcla procedencia (opcional)
AC	D	BASE/BIN/SURF	B	D/S/G
AC	16	SURF	35/50	S

Como se puede ver en la Tabla 1, la denominación de las mezclas desde la aplicación del marcado CE se compone de 4 apartados obligatorios y un quinto que se aplica en España.

El primer apartado es el tipo de mezcla (AC Asphalt concrete / hormigón bituminoso), el segundo es el tamaño máximo del árido, el tercero hace referencia a la capa a la que va dirigida la mezcla (base, intermedia o rodadura) y el cuarto apartado nos indica el tipo de ligante a emplear. El último apartado se emplea en España para indicar si la mezcla proviene de las antiguas D, S o G.

Las características de esta familia de mezclas están directamente relacionadas con su composición. Como ya se ha comentado anteriormente, su granulometría es continua, por lo que los huecos en los áridos no son muy elevados, limitando la posibilidad de incorporar altos porcentajes de ligante a la mezcla. Dicha limitación viene provocada por el hecho de que debe existir un mínimo de huecos en mezcla no rellenados con mástico (entre el 4% y el 12% en función del tipo de mezcla diseñada) para asegurar el contacto entre los áridos y evitar posibles deformaciones permanentes.

Entre sus propiedades cabe destacar su módulo de rigidez, que puede aportar capacidad portante al firme, así como también, y debido al bajo contenido en huecos, pueden aportar impermeabilidad al firme.

Tanto el tipo como el contenido de ligante que se pueda incorporar a la mezcla van a ser determinantes en las características finales del producto. Pueden diseñarse mezclas más o menos flexibles, que puedan adaptarse a los posibles movimientos de las capas inferiores y tener mayor resistencia a la fisuración, pero más tendencia a las deformaciones permanentes, o también se pueden obtener productos más rígidos, con mayor capacidad portante, pero con menor resistencia a la fisuración.

Una cuestión que no debe olvidarse es que un incremento de betún mejora una serie de propiedades, pero hace empeorar otras. Lo mismo ocurre con el tipo de ligante empleado. Los betunes blandos aportan mayor flexibilidad a la mezcla, pero disminuyen su resistencia a las deformaciones plásticas.

Como visión general se muestra la posible evolución de algunas propiedades en función del tipo y contenido de ligante, considerando el resto de variables del diseño fijas.

Tabla 2: Influencia del contenido y tipo de ligante en las características de la mezcla

Características que mejoran	Contenido y tipo de ligante	Características que empeoran / disminuyen
Flexibilidad / adaptabilidad al soporte Resistencia a la fisuración por fatiga Resistencia a fisuración por reflexión Resistencia a la acción del agua (por incremento de porcentaje)	Incremento porcentaje de betún y/o betunes más blandos	Módulo de rigidez Resistencia deformaciones plásticas
Módulo de rigidez Resistencia deformaciones plásticas	Disminución porcentaje de betún y/o betunes más duros	Flexibilidad / adaptabilidad al soporte Resistencia a la fisuración por fatiga Resistencia a fisuración por reflexión Resistencia a la acción del agua (por disminución de porcentaje)

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN
CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

3.1.2. Normativa

Para esta familia de mezclas bituminosas el marco europeo está definido, tal y como se ha comentado anteriormente, en la UNE-EN 13108-1. La otra referencia normativa es el PG-3, donde se especifican las características de las mezclas AC.

En las tablas 3 y 4 se pueden ver cuáles son las especificaciones existentes en el artículo 542 del PG-3 tanto para los husos granulométricos de las mezclas como los tipos de ligante a emplear en función del tipo de tráfico y de la zona térmica estival.

TABLA 542.8 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA (*)	ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)										
	45	32	22	16	8	4	2	0,500	0,250	0,063	
DENSА	AC16 D			100	90-100	64-79	44-59	31-46	16-27	11-20	4-8
	AC22 D		100	90-100	73-88	55-70		31-46	16-27	11-20	4-8
SEMIDENSА	AC16 S			100	90-100	60-75	35-50	24-38	11-21	7-15	3-7
	AC22 S		100	90-100	70-88	50-66		24-38	11-21	7-15	3-7
	AC32 S	100	90-100		68-82	48-63		24-38	11-21	7-15	3-7
GRUESА	AC22 G		100	90-100	65-86	40-60		18-32	7-18	4-12	2-5
	AC32 G	100	90-100		58-76	35-54		18-32	7-18	4-12	2-5

Tabla 3:
Husos granulométricos

(*) A efectos de esta tabla, para designar el tipo de mezcla, se incluye sólo la parte de la nomenclatura que se refiere expresamente al huso granulométrico (se omite por tanto la indicación de la capa del firme y del tipo de betún).

- Para la formulación de mezclas bituminosas en caliente de alto módulo (MAM) se empleará el huso AC22S con las siguientes modificaciones, respecto a dicho huso granulométrico: tamiz 0,250 mm: 8-15%; y tamiz 0,063 mm: 5-8%.

TABLA 542.1.a - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR EN CAPA DE RODADURA Y SIGUIENTE (*) (Artículos 211 y 212 de este Pliego, y reglamentación específica vigente DGC)

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2 y T31	T32 y ARCENES	T4
CÁLIDA	35/50		35/50	35/50		
	BC35/50		BC35/50	50/70	50/70	
	PMB 25/55-65		PMB 25/55-65	BC35/50	BC50/70	
	PMB 45/80-65		PMB 45/80-60	BC50/70		
			PMB 45/80-65	PMB 45/80-60		
MEDIA	35/50		35/50			50/70
	BC35/50		50/70	50/70		70/100
	PMB 45/80-60		BC35/50	BC50/70		BC50/70
	PMB 45/80-65		BC50/70	PMB 45/80-60	50/70	
		PMB 45/80-60		70/100		
				BC50/70		
TEMPLADA	50/70		50/70			
	BC50/70		70/100			
	PMB 45/80-60		BC50/70			
	PMB 45/80-65		PMB 45/80-60			

Tabla 4:
Tipo de ligante

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 de este Pliego. En ese caso, a la denominación del betún se añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso.

Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 de este Pliego.

Como es bien conocido, estas especificaciones están pensadas para un determinado tipo de carreteras (las que gestiona la Dirección General de Carreteras del MITMA); para las carreteras BIT pueden ser aplicables estas especificaciones, aunque sería interesante realizar algunos comentarios y recomendaciones:

- En relación con los husos granulométricos, se puede observar que el tamaño máximo menor admitido es el de 16 mm. Pues bien, debido a las condiciones existentes en muchas de las carreteras BIT, puede ser interesante emplear mezclas con tamaños máximos menores; mezclas como las AC11 o incluso las AC8 pueden ser adecuadas para emplear en carreteras BIT (Tabla 3). Estos tamaños máximos menores pueden hacer más versátiles a las mezclas, facilitando su colocación en capas donde pueden existir variaciones de espesor, o cuando dicho espesor es pequeño (alrededor de 4 cm). En estos casos, con espesores de capa pequeños y variables pueden ser adecuadas este tipo de mezclas, donde se pueden evitar segregaciones y superficies resultantes heterogéneas durante el extendido.
- En cuanto a la selección del tipo de ligante a emplear, los criterios a emplear son comunes, y son el tipo de tráfico existente y en qué tipo de firme se va a colocar la mezcla bituminosa. Como se puede ver en la Tabla 4, son muchos y muy variados los ligantes entre los que se puede elegir, siendo los betunes más blandos aceptados en las carreteras con menor tráfico pesado. Pues bien, se plantean a continuación algunas recomendaciones que pueden ayudar a seleccionar el tipo de ligante:
 - o Uno de los principales factores a tener en cuenta a la hora de seleccionar el tipo de ligante es el tráfico pesado existente en la carretera. Habitualmente en las carreteras BIT el tráfico pesado no suele ser muy elevado y, por lo tanto, la resistencia a las deformaciones plásticas no es una característica fundamental de las mezclas bituminosas empleadas. Así, será posible, y en ocasiones recomendable, emplear los ligantes más blandos de los recomendados en la Tabla 4.
 - o Otro de los factores a considerar es la rigidez del firme existente y la del firme que finalmente quedará en uso. Si el firme sobre el que se va a colocar la nueva mezcla es muy flexible, será conveniente aplicar mezclas también flexibles, empleando ligantes blandos (B70/100), mientras que si en la carretera ya existe un firme con mayor rigidez (firmes semiflexibles) podrían emplearse tanto ligantes blandos (B70/100) como ligantes algo más duros (B50/70).

Tabla 5: Ejemplos de husos granulométricos para mezclas AC8 y AC11

Tipo de mezcla	Abertura de los tamices (mm)							
	16	11.2	8	4	2	0.5	0.25	0.063
AC 8	100	100	90-100	50-70	25-45	16-26	10-20	4-10
AC 11	100	90-100	70-90	50-70	25-45	16-26	10-20	4-10

3.1.3. Empleos más habituales

La familia de mezclas AC (Hormigones asfálticos) se puede considerar como la mezcla más habitualmente empleada en las carreteras BIT. Este tipo de mezclas se puede colocar tanto en capas intermedias como en capas de rodadura, seleccionando adecuadamente el tamaño máximo del árido y su granulometría.

Debido a las características de las carreteras BIT (flexibilidad del firme, baja intensidad de tráfico pesado, carreteras con trazados sinuosos, pequeños espesores de capas asfálticas...) las mezclas que más se adecúan entre las existentes en esta familia, son las mezclas tipo S o tipo D, con tamaños máximos de árido no superiores a los 16mm, siendo menos apropiadas las mezclas tipo G, por ser menos flexibles y tener un mayor contenido de huecos.

Por su versatilidad en el diseño y por sus características técnicas, sus usos son muy variados. Entre ellos se pueden destacar:

- Incremento de la capacidad portante del firme para asegurar la adecuación del mismo a posibles incrementos de tráfico o incluso en zonas con firmes deteriorados.
- Asegurar la impermeabilidad del firme y la afección del agua sobre el mismo. Pueden diseñarse mezclas con poco contenido de huecos que aseguren esta característica.
- Regularizaciones de carreteras, adaptando la mezcla a los espesores necesarios.
- Renovación de las características superficiales de carreteras.
- Reparaciones de zonas deterioradas de la carretera mediante bacheos o soluciones generalizadas.

Las mezclas tipo AC pueden ser empleadas como solución a muchos de los problemas y deterioros que aparecen en las carreteras BIT, teniendo la precaución de diseñar las mezclas más adecuadas para cada caso.

3.2. MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPAS DELGADAS. BBTM

3.2.1. Descripción. Características

Las mezclas bituminosas para capas delgadas son aquellas cuyos áridos presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamaños inferiores del árido grueso, que se utilizan para capas de rodadura en espesores reducidos de dos a tres centímetros (2 a 3 cm), y cuyo tamaño máximo del árido no suele superar los once milímetros (11 mm).

Estas mezclas se caracterizan por su granulometría discontinua, permitiendo así el contacto árido-árido, y proporcionando una textura superficial no rellena.

En esta familia, como en la anterior, también encontramos varios subgrupos. En la norma europea se consideran 4 (A, B, C y D) mientras que en el PG-3 sólo las A y B. Estas dos últimas son las más habituales en España. Las principales diferencias entre ellas son que las mezclas tipo A son productos con menor contenido de huecos, los cuales se rellenan con mástico. Las mezclas B tienen un menor contenido de árido fino, generando una superficie de la mezcla extendida con una textura superficial negativa más elevada.

Tanto un grupo como otro se emplean únicamente en capas de rodadura. Pueden ser empleadas en prácticamente cualquier tipo de carretera, aunque no son recomendables en carreteras con trazados sinuosos, donde los esfuerzos tangenciales sobre las mezclas pueden ser elevados, o en lugares donde la vialidad invernal pueda ser complicada por nevadas y heladas.

También es importante tener en cuenta el estado del firme, ya que, si las variaciones de espesor de los trabajos a realizar son muy altas, la mezcla no puede asumirlas y puede ser necesaria una capa previa de regularización.

Otra cuestión a considerar es la necesidad de asegurar la adherencia de la capa al soporte. Si este factor es importante en todas las mezclas, más aún en capas que se emplean con espesores pequeños, donde una falta de adherencia puede provocar problemas importantes rápidamente.

Se considera que son mezclas que no aportan gran capacidad portante al firme, y su principal característica es que permiten realizar actuaciones de mejora de las características superficiales con pequeños espesores.

En la actualidad la denominación de este tipo de mezclas es la siguiente:

Tipo de mezcla	Tamaño máximo	Clase o subfamilia	Tipo de ligante
BBTM	D	A/B/C/D	B
BBTM	11	B	35/50

3.2.2. Normativa

También para esta familia de mezclas bituminosas el marco europeo está definido. En este caso en la UNE-EN 13108-2. La otra referencia normativa, como en el caso de las mezclas AC es el PG-3, donde se especifican las características de las mezclas BBTM.

En las tablas 7 y 8 se pueden ver cuáles son las especificaciones existentes en el artículo 543 del PG-3 tanto para los husos granulométricos de las mezclas como los tipos de ligante a emplear en función del tipo de tráfico.

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN
CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

TABLA 543.8 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA (**)	ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)								
	22	16	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,063
BBTM 8B (*)			100	90-100	42-62	17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 11B (*)		100	90-100	60-80		17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 8A (*)			100	90-100	50-70	28-38	25-35	12-22	7-9
BBTM 11A (*)		100	90-100	62-82		28-38	25-35	12-22	7-9

Tabla 7:
Husos granulométricos

(*) La fracción del árido que pasa por el tamiz 4 mm y es retenida por el tamiz 2 mm (norma UNE-EN 933-2), será inferior al ocho por ciento (8%).

TABLA 543.1 - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR (*)

(Artículos 211 y 212 de este Pliego, y reglamentación específica vigente DGC)

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 y T0	T1	T2 (**) y T31	T32 y ARCENES	T4
DISCONTINUA	PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-80 50/70 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70	

Tabla 8:
Tipo de ligante

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 de este Pliego. En ese caso, a la denominación del betún se le añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso.

Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 de este Pliego.

(**) Para tráfico T2 se emplearán betunes modificados en autovías o cuando la IMD sea superior a 5 000 vehículos por día y carril.

En relación con las especificaciones anteriores, se pueden aportar algunas recomendaciones que pueden facilitar el empleo de estas mezclas para las carreteras BIT, tal y como se realizaba en el apartado anterior para las mezclas tipo AC.

- Tal y como se puede observar en la tabla 7, en el PG-3 se consideran 4 husos granulométricos; dos para las mezclas tipo A y dos para las tipo B, con tamaños máximos de árido 8 y 11mm. Estas mezclas son adecuadas para su uso en carreteras BIT, con las consideraciones anteriormente realizadas. Destacar únicamente que en los últimos tiempos se están empleando mezclas con tamaños máximos de áridos más pequeños (BBTM 5), que están dando muy buenos resultados, especialmente en la mejora del rozamiento (Tabla 9).
- En cuanto al tipo de ligante a emplear, tal y como se puede observar en la Tabla 8, para los tráficos más ligeros pueden colocarse betunes blandos (50/70 y 70/100), lo que le conferirá a la mezcla una alta flexibilidad. En estos casos es importante tener en consideración tanto la temperatura de fabricación, como los contenidos de ligante y

finos de la mezcla, ya que podrían producirse escurrimientos del betún (por su menor viscosidad) si la mezcla no está adecuadamente dosificada. Este hecho puede producirse con mayor probabilidad en las mezclas Tipo BBTM-B, ya que tienen menos finos.

Tabla 9: Ejemplo de huso granulométrico para mezclas BBTM 5 A

Tipo de mezcla	Abertura de los tamices (mm)							
	8	5.6	4	2	0.5	0.063	0.25	0.063
BBTM 5 A	100	100-90	38-28	35-25	22-12	9-7	10-20	4-10

3.2.3. Empleos más habituales

Esta familia de mezclas está diseñada para ser empleada como capa de rodadura exclusivamente.

Su principal ventaja, tal y como ya se ha comentado anteriormente, es la mejora de las características superficiales del firme, especialmente las relacionadas con el rozamiento.

Las mezclas Tipo A son más adecuadas para zonas con mayores esfuerzos tangenciales, donde pueda existir mayor necesidad de impermeabilización del firme y también donde los firmes sean más flexibles, ya que su composición (mayor contenido de finos y mayor contenido de ligante) las hacen más adecuadas para este tipo de situaciones, y por lo tanto para las carreteras BIT.

En aquellos casos donde la cuestión a resolver sea estructural, la solución debe pasar primero por resolver esta cuestión para, posteriormente, poder aplicar una capa de mezcla BBTM a toda la superficie de la carretera.

3.3. MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO SMA.

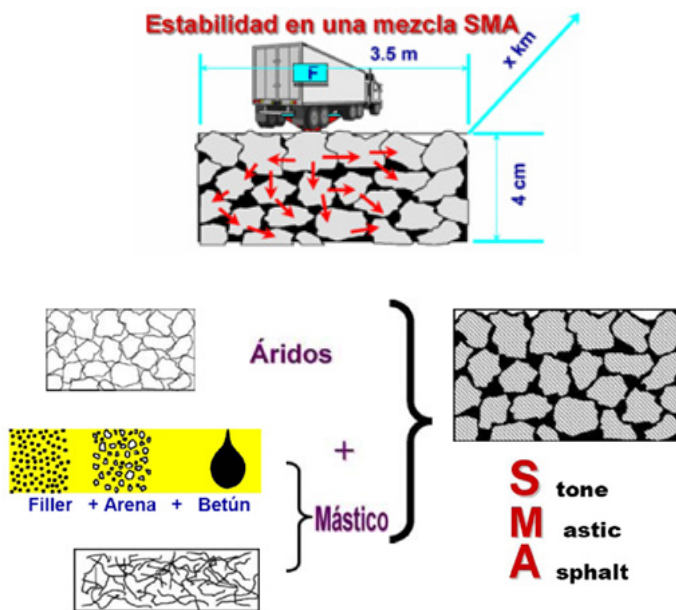
3.3.1. Descripción. Características

Esta familia de mezclas se caracteriza por una granulometría de áridos discontinua, con un elevado contenido de huecos en áridos. Estos huecos son rellenados en un alto porcentaje por el mástico, el cual está formado por un alto contenido de ligante (superior al 5.6% en capas intermedias y al 5,8% en capas de rodadura) y un contenido de polvo mineral también elevado (alrededor del 8-9%). Debido a este alto contenido de ligante, y para evitar su posible escurrimiento, se emplean aditivos en la mezcla para su estabilización, destacando las fibras de celulosa como uno de los más utilizados.

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

Esta familia se crea al final de los años 60 en Alemania, con el objetivo de resolver problemas de deformaciones plásticas. Por ello los principios para su diseño son los siguientes:

- Se busca un esqueleto mineral autoportante, de áridos gruesos procedentes de machaqueo, de alta calidad, lo que le da una elevada estabilidad a la mezcla.
- Contenido bajo de huecos (alrededor del 3% o 4%) en la mezcla, lo que la hace prácticamente impermeable.
- Un mástico rico en ligante, con porcentajes muy elevados.
- Una elevada estabilidad del mástico, que previene la disgregación de las partículas gruesas gracias a la adición de productos estabilizantes (principalmente las fibras de celulosa).



Las dosificaciones iniciales se realizaron sin adición de estabilizante, generando problemas de escurrimiento del betún, por lo que la solución fue la incorporación a la mezcla de las fibras de celulosa.

Las principales características de este tipo de mezclas, que son consecuencia del diseño de las mismas, son su durabilidad, flexibilidad y resistencia a los diferentes tipos de fisuración, la resistencia a las deformaciones permanentes, así como también la posibilidad de reducir el ruido de rodadura.

En relación con la durabilidad es interesante destacar que los criterios de dosificación y materiales empleados (alta dosificación de ligante + estabilizadores, granulometría discontinua con estructura interna árido-árido), le confieren gran resistencia a la fisuración por fatiga, así como también a la fisuración por reflexión de fisuras. Esta durabilidad también se incrementa por la gruesa película de ligante existente sobre el árido, lo que hace que los factores externos, como la acción del agua, el envejecimiento del ligante o los cambios de temperaturas, afecten en menor medida a sus características mecánicas.

Debido al esqueleto mineral de la mezcla, su resistencia a las deformaciones plásticas es alta, aunque esta característica no es fundamental, habitualmente, en las carreteras BIT.

También esta familia de mezclas ha sido durante muchos años, y es también en la actualidad, empleada como capa que reduce el ruido de rodadura, siendo muy apreciada esta característica en vías urbanas y travesías.

3.3.2. Normativa

Para la familia de mezclas SMA existe una norma europea, la UNE-EN 13108-5, que especifica las características y propiedades de este tipo de mezcla. Recientemente ha sido aprobado el artículo 544 del PG3, que está dedicado en exclusiva a esta familia de mezclas. La falta de normativa española para las mezclas SMA hasta fechas muy recientes (2019) ha sido, quizás, una de las dificultades que ha existido para poder emplear estas mezclas habitualmente, aunque su empleo es cada vez más común en España debido a sus propiedades.

En las tablas 10 y 11 se pueden observar las especificaciones existentes en el artículo 544 del PG-3 para las mezclas tipo SMA.

TABLA 544.8 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA (*)	ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)							
	22	16	11,2	8	4	2	0,5	0,063
SMA 8	—	—	100	90-100	30-45	25-35	12-22	7-9
SMA 11	—	100	90-100	55-80	22-33	20-30	12-20	6-10
SMA 16	100	90-100	55-80	35-55	17-35	15-25	10-18	6-10

(*) A efectos de esta tabla, para designar el tipo de mezcla, se incluye solo la parte de la nomenclatura que se refiere expresamente al huso granulométrico (se omite por tanto la indicación de la capa de firme y del tipo de ligante).

Tabla 10:
Husos granulométricos
mezclas SMA

Como se puede ver en la Tabla 10, los tamaños máximos admitidos para este tipo de mezclas en la normativa española varían desde los 8mm hasta los 16mm; en la norma europea, se aceptan mezclas con tamaños máximos desde los 4mm hasta los 22mm. Esta cuestión le aporta una gran versatilidad, ya que, en función del tamaño máximo elegido el espesor de capa va a poder ser diferente, pudiendo emplear la mezcla para muy variadas aplicaciones.

Si se orienta este tipo de mezcla para su empleo en carreteras BIT, hay que adoptar los mismos criterios que se han identificado para los tipos de mezclas anteriores.

TABLA 544.1 - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR (*)
(Artículos 211 y 212 del PG-3, y reglamentación específica vigente de la DGC)

Tabla 11:
Tipo de ligante

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 y T0	T1	T2 (**) y T31	T32 y ARGENES	T4
RODADURA	PMB 45/80-75 PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-60 35/50 50/70 BC 35/50 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70	
INTERMEDIA	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60 35/50 50/70 BC35/50 BC50/70	PMB 45/80-60 35/50 50/70 BC35/50 BC50/70	35/50 50/70 BC50/70	50/70 BC50/70	—

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 del PG-3. En ese caso, a la denominación del betún se le añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el principal agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos al final de su vida útil.

En aplicaciones específicas en las que se requiera una resistencia muy alta a la fisuración por reflexión de grietas de capas inferiores del firme se podrán emplear betunes modificados de alta viscosidad con caucho.

Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 del PG-3.

(**) Para tráfico T2 se emplearán betunes modificados en autovías o cuando la IMD sea superior a 5 000 vehículos por día y carril.

Teniendo en cuenta que, por su diseño, éstas son mezclas muy flexibles, con gran durabilidad, con textura superficial adecuada y que se pueden diseñar para diferentes espesores, se pueden considerar mezclas apropiadas para emplear en este tipo de carreteras. Si, además del diseño volumétrico, se adapta el tipo de ligante a las condiciones de la carretera, se pueden obtener soluciones muy adecuadas para la problemática que suele encontrarse en las carreteras BIT.

3.3.3. Empleos más habituales

Los posibles usos de las mezclas bituminosas tipo SMA son muchos y muy variados. Su uso más habitual es como capa de rodadura, aunque pueden emplearse también como capa intermedia. El espesor estará en función del tamaño máximo de árido seleccionado, pero puede variar desde 1 cm hasta 8 cm o incluso más.

A continuación, se van a citar algunas aplicaciones:

- Como capa de rodadura, donde sea necesaria una impermeabilización del firme obteniendo una textura superficial adecuada.
- Refuerzo de zonas fisuradas y agrietadas.
- Como capa intermedia para evitar la reflexión de fisuras.

- Mejora de las características superficiales del firme, tanto en regularidad superficial como en resistencia al deslizamiento.
- Como capa sono-reductora en zonas urbanas o en lugares con especial sensibilidad al ruido de rodadura.

Las citadas anteriormente son algunas de las posibles aplicaciones de este tipo de mezclas. A pesar de su mayor coste inicial (debido a su elevado contenido de ligante) estas soluciones pueden ser económicamente viables, por la mayor durabilidad de las mezclas, también en las carreteras BIT.

3.4. MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO AUTL

3.4.1. Descripción. Características

Las mezclas ultradelgadas (Asphalt for UltraThin Layer) son un tipo de mezcla bituminosa extendida como capa de rodadura en espesores muy reducidos (entre 10 y 20 mm), formada por una curva granulométrica generalmente discontinua, que proporciona contacto directo árido-árido, confiriéndole a la mezcla una textura abierta.

Este tipo de mezcla tiene como función específica su empleo en capa de rodadura para la mejora de las características superficiales del firme, especialmente el rozamiento, aunque también puede mejorar mínimamente la regularidad superficial y, debido a su pequeño tamaño máximo de árido, reduce el ruido de rodadura generado por el tráfico.

A pesar de su reducido espesor, el mástico formado por el betún y el filler confiere a la mezcla cohesión suficiente para evitar problemas de disgregación y soportar los esfuerzos a los que puede ser sometida por el tráfico. Además, una vez extendida, la mezcla presenta una imagen visual muy homogénea, con buena macrotextura superficial.

Pero, seguramente, su característica más importante es la de alcanzar altos valores de CRT (Coeficiente de Rozamiento Transversal). Esta característica, sumada a la disminución del coste obtenido por m², generada por el pequeño espesor de capa, hace a estas mezclas especialmente interesantes para ser utilizadas en operaciones de conservación, sobre todo en carreteras que presentan problemas de deslizamiento.

En los últimos años se está produciendo un incremento del empleo de este tipo de mezclas en todo tipo de carreteras, tanto las carreteras BIT como autovías y autopistas, siempre orientado su uso a la mejora del rozamiento de la superficie y teniendo en cuenta que no aporta ninguna ventaja estructural.

Los condicionantes más importantes para poder colocarlas están relacionados principalmente con la superficie de apoyo. En función del estado de la capa inferior puede ser necesaria una primera actuación de regularización del firme existente para poder colocar posteriormente la capa de AUTL.

En carreteras con firmes en buen estado, con una regularidad superficial adecuada, y con una capacidad estructural correcta, pueden ser una muy buena solución (y también económica, por su pequeño espesor) para resolver problemas de firmes deslizantes.

Para poder obtener los mejores resultados de la aplicación de este tipo de mezclas hay que tener en cuenta algunos factores, entre los que destacan los siguientes:

- **Regularidad de la superficie de apoyo.** Debido al pequeño espesor de la mezcla y al tamaño máximo de árido, la capa no puede absorber grandes diferencias de espesor.
- **Temperatura de la superficie de apoyo.** El espesor de la capa es pequeño y en el momento en el que entre en contacto con la superficie de apoyo, se enfriará rápidamente. Más rápido cuanto menor sea la temperatura del firme existente. Hay que tenerlo en cuenta para dotar al equipo de los medios de compactación adecuados.
- **Condiciones climatológicas.** Debido al pequeño espesor, uno de los factores que hay que tener en cuenta son las condiciones climatológicas, en especial el viento.
- **Riego de adherencia.** Aunque este tema es importante en cualquier capa que se extienda, en este tipo de mezclas se convierte en crítico, ya que una falta de adherencia hará fracasar prácticamente de inmediato la técnica.

3.4.2. Normativa

Al igual que para las familias de mezclas anteriormente citadas, para las mezclas AUTL también existe una norma europea, la UNE-EN 13108-9, más reciente que el resto de normas de la familia 13108, que especifica las características y propiedades de este tipo de mezcla.

En España recientemente el MITMA ha aprobado la Orden Circular 3/2022 incorporando el Artículo 545 al vigente pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3): "Mezclas bituminosas tipo AUTL para capas de rodadura".

En la Tabla 12 se indican los husos granulométricos establecidos en el citado Artículo 545 del PG-3.

TABLA 545.8 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA	ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)							
	16	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,063
AUTL 5 ⁽²⁾			100	90-100	35-55	15-25	8-14	5-9
AUTL 8 ^(1,2)		100	90-100	40-65	25 - 40	15-30	10-18	5-9
AUTL 11 ^(1,2,3)	100	90-100	65-85	50-76	33-55	20-35	10-23	5-11

- (1) La fracción del árido que pasa por el tamiz 4 mm y es retenida por el tamiz 2 mm (norma UNE-EN 933-2), será inferior al diez por ciento (10 %).
- (2) A efectos de esta tabla, para designar el tipo de mezcla, se incluye sólo la parte de la nomenclatura que se refiere expresamente al huso granulométrico (se omite por tanto el tipo de ligante)
- (3) La mezcla bituminosa tipo AUTL 11 se podrá emplear únicamente en las categorías de tráfico pesado T2 a T4.

Tabla12:
Husos granulométricos
mezclas AUTL

En la norma se admiten 3 tipos distintos de mezclas AUTL: la AUTL 5 y la AUTL 8 que se pueden utilizar con cualquier categoría de tráfico pesado y la AUTL 11 que solo se puede utilizar para las categorías de tráfico pesado T2 a T4.

El empleo de estos tamaños máximos tan reducidos, obliga a tener unos áridos muy bien clasificados, para poder obtener la discontinuidad necesaria y, consecuentemente, las características superficiales que permitan alcanzar los resultados de rozamiento esperados.

En la fabricación de este tipo de mezclas se debe disponer de materiales constituyentes de elevada calidad que permitan lograr una prolongada vida útil manteniendo sus propiedades. Por este motivo, se hace necesario el empleo de áridos limpios, bien clasificados, con la dureza y resistencias adecuadas, pero a la vez con una buena cubicidad. Los tipos de ligante a emplear vienen definidos en la Tabla 13.

TABLA 545.1 - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR (*)

(Artículos 211 y 212 del PG-3, y normativa específica vigente de la DGC)

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 y T0	T1	T2	T31, T32 y ARCENES	T4
AUTL	PMB 45/80-75	PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-60 50/70 70/100 BC50/70	

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 del PG-3. En ese caso, a la denominación del betún se le añadirá una letra C mayúscula para así indicar que el principal agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos al final de su vida útil.

Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 del PG-3.

Tabla13:
Tipos de ligantes
mezclas AUTL

Para las categorías de tráfico más pesados se exigen ligantes hidrocarbonados muy exigentes. Para las carretas BIT la exigencia es sensiblemente menor buscando obtener mezclas flexibles y que, además, pueden soportar bien los esfuerzos tangenciales. Así, en función del tipo de problemática a resolver, se podrá ir a betunes blandos (B50/70 y B70/100) y a betunes mejo-

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN
CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

rados con caucho (BC 50/70) o también a betunes modificados con polímeros (PMB45/80-60) si estuviese justificado por el tipo de requisitos y características a alcanzar.

Al tratarse de capas muy delgadas donde la adherencia entre capas es parte esencial en el proceso, la OC 3/2022 subraya el “especial cuidado en el extendido del riego de adherencia” y señala que “previamente, la superficie habrá sido objeto de barrido y soplado y/o aspirado”.

El Artículo 545 citado establece 3 posibles tipos de mezclas AUTL cuya composición y dotación aparecen en la Tabla 14.

- TABLA 545.9 - TIPO, COMPOSICIÓN Y DOTACIÓN DE LA MEZCLA

CARACTERÍSTICA	AUTL		
	5	8	11
Dotación media ⁽¹⁾ de mezcla (kg/m ²)	20-30	25-40	30-40
Dotación mínima ⁽²⁾ de ligante (% en masa sobre el total de la mezcla)	5,60	5,20	5,00
Ligante residual en riego de adherencia (kg/m ²)	Firme nuevo	>0,40	
	Firme antiguo	>0,50	

Tabla14:
Tipo, composición y
dotación de las
mezclas AUTL

⁽¹⁾ Estos valores son orientativos y su objeto es poder controlar de forma indirecta la densidad alcanzada en capas de espesor igual o inferior a 2 cm.

⁽²⁾ Incluidas las tolerancias especificadas en el epígrafe 545.9.3.1. Si son necesarias, se tendrán en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos.

3.4.3. Empleos más habituales

Durante los últimos años se están realizando actuaciones con estas mezclas para intentar resolver problemas de deslizamiento en diferentes carreteras de la red viaria española y europea. Esta es, seguramente, la aplicación más habitual y más específica de las mezclas ultradelgadas.

Se están colocando en cualquier tipo de carreteras con diferentes tipos de tráfico (desde T4 hasta T1, incluso en autopistas y autovías) con buenos resultados.

Este tipo de mezclas también es muy adecuado cuando se quiere dar una vertiente estética al pavimento, o para diferenciar usos de determinadas zonas (carriles bici, carriles bus...). En estos casos se pueden fabricar mezclas ultradelgadas coloreadas que aportan la posibilidad de extenderlas en pequeño espesor haciendo más económica su colocación.

Las mezclas ultradelgadas también pueden ser aplicadas en zonas con poco gálibo, donde su pequeño espesor puede ser muy importante.

Y, finalmente, y debido a una de las características que se produce por su pequeño tamaño máximo de árido (la reducción de la generación del ruido de rodadura), pueden ser empleadas en zonas urbanas y en vías donde la reducción del ruido pueda ser importante.

4. MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES EN LAS CARRETERAS B.I.T.

Una de las tecnologías de fabricación que se ha desarrollado de forma importante en los últimos años es la que permite fabricar las mezclas semicalientes, que se pueden definir como aquellas mezclas bituminosas que se fabrican, extienden y compactan a unos 40°C menos que las mezclas bituminosas en caliente.

Existen diferentes técnicas para poder alcanzar prácticamente las mismas prestaciones con estas mezclas fabricadas a menor temperatura que con las mezclas en caliente fabricadas habitualmente. Entre las técnicas empleadas se podrían destacar:

- Adición al ligante de productos químicos (habitualmente ceras) que le cambian la reología, haciéndolo más fluido a temperaturas superiores a los 100°C, pero convirtiendo el ligante en más viscoso cuando se desciende por debajo de esta temperatura.
- Adición de tensoactivos al ligante, que incrementan la mojabilidad del betún sobre el árido, favoreciendo la envuelta y permitiendo compactar a menores temperaturas.
- Adición de agua al betún para conseguir su espumación, incrementando su superficie específica y facilitando tanto la envuelta como la compactación. Esta adición de agua se realiza en pequeños porcentajes y de forma controlada. Se puede realizar a través de la incorporación al mezclador de arena húmeda, de materiales que al contacto con el ligante y árido calientes liberan agua espumando el betún, como la zeolita, o también se puede espumar el ligante mediante la adición de pequeñas cantidades de agua al mismo mediante la incorporación a la instalación de un equipo específico para ello.

Prácticamente se pueden fabricar todos los tipos de mezcla antes comentados como mezclas semicalientes, siendo especialmente interesante esta técnica para las mezclas AC y SMA ya que tiene ventajas tanto ambientales (menor consumo de energía, menores emisiones a la atmósfera) como de seguridad de los operarios.

Desde el punto de vista técnico se debe considerar que al fabricar a menor temperatura el ligante se envejece menos en dicho proceso, dando valores de resistencia a la deformación permanente algo más altos que las mezclas fabricadas con el mismo tipo de ligante con la tecnología de caliente. Pero este hecho no debería ser preocupante, especialmente en las carreteras BIT, ya que el tráfico pesado suele ser bajo. Por contrapartida, la mezcla será algo más flexible, propiedad muy adecuada para estas carreteras.

También en el proceso de puesta en obra estas mezclas semicalientes pueden aportar mejoras, ya que, por sus especiales características, suelen tener un mayor tiempo de trabajabilidad, permitiendo realizar trabajos a mayores distancias o con condiciones climatológicas adversas.

5. MEZCLAS BITUMINOSAS REUTILIZADAS EMPLEO EN CARRETERAS BIT

La incorporación de mezcla bituminosa envejecida procedente de actuaciones de fresado en el proceso de fabricación de mezclas bituminosas en caliente es una tecnología bien conocida, normalizada y que se ha venido empleando con éxito desde hace tiempo en España.

Esta tecnología permite obtener mezclas con material reutilizado con las mismas características que mezclas con materiales vírgenes, siempre y cuando se realicen los estudios y diseños adecuados.

Ahora bien, cuando esta técnica se emplea en carreteras BIT, se deben tener en cuenta algunas cuestiones:

- Porcentaje de asfalto recuperado en la mezcla final. En este caso hay que tener en cuenta que cuanto mayor es el porcentaje de asfalto recuperado en la mezcla, más betún envejecido se incorpora y por ello mayor rigidez a la mezcla. Esto debe ser compensado por la aportación de ligante nuevo más blando del habitual para obtener una mezcla con la flexibilidad adecuada. En carreteras BIT, en muchos casos las mezclas más adecuadas deberían ser mezclas flexibles. Si son excesivamente rígidas, en firmes flexibles y semiflexibles, pueden aparecer fisuras y grietas de forma rápida. Es por ello que se puede considerar que hasta un 15% de asfalto recuperado en mezcla es adecuado siempre, mientras que cuando los porcentajes superan este valor sería interesante realizar estudios específicos para adecuar las características del ligante nuevo.
- El procedimiento más habitual de fabricación de mezclas reutilizadas en España es la incorporación del asfalto recuperado al mezclador, sin calentamiento y secado previo del mismo. Para obtener la temperatura final de fabricación, se incrementa la temperatura de los áridos vírgenes para compensar la del asfalto recuperado. Pero en determinadas circunstancias, cuando el asfalto recuperado tiene humedad alta o cuando se emplean altos porcentajes, el material necesita de un tiempo de homogeneización de temperatura y también mayor energía para la evaporación del agua del asfalto recuperado. En estos casos, puede ocurrir que debido a la evaporación del agua y del proceso de homogeneización, la temperatura de la mezcla caiga rápidamente, reduciendo el tiempo de trabajabilidad de la mezcla en obra.
- Las mezclas reutilizadas podrían emplearse en capas de rodadura siempre y cuando las especificaciones del Coeficiente de Pulimento Acelerado del árido para la capa de rodadura las cumpliera el árido existente en el asfalto recuperado. Es posible que, debido a que en carreteras BIT las exigencias de CPA para el árido son inferiores, este caso sea habitual y pueda ser empleado el asfalto recuperado en capas de rodadura con mayor asiduidad.

Por los motivos anteriores, hay que tomar precauciones extraordinarias cuando se emplean mezclas recicladas en carreteras BIT, especialmente cuando las distancias a la planta de fabricación son importantes o cuando es necesario aplicar mezclas muy flexibles.

PARTE II

SOLUCIONES UTILIZANDO EMULSION BITUMINOSA

1. INTRODUCCION

El empleo de mezclas bituminosas con emulsión bituminosa destaca por su amplia versatilidad pudiendo ser aplicadas en diferentes capas de un firme tanto en construcción como en conservación y rehabilitación.

Estos tipos de mezclas bituminosas nos aportan grandes ventajas para la carretera, entre otras garantizan mezclas flexibles, con buen comportamiento a fatiga, que se adaptan perfectamente a firmes y explanadas de limitada capacidad portante.

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

- La posibilidad de emplear materiales locales en la fabricación de las mezclas bituminosas.
- La posibilidad de trabajar a temperatura ambiente, como es el caso de las mezclas en frío, o a temperaturas por debajo de los 100 °C, como es el caso de las mezclas templadas. En ambos casos, minimizando la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que pudieran tener incidencia en el cambio climático. Igualmente, al trabajar en este rango de temperatura, se mejoran las condiciones de seguridad y salud para los trabajadores.
- La posibilidad de reutilizar y reciclar mezclas bituminosas envejecidas extraídas de carreteras deterioradas.

2. MEZCLAS BITUMINOSAS CON EMULSIÓN PARA VÍAS BIT. CRITERIOS DE SELECCIÓN

El empleo de mezclas bituminosas con emulsión bituminosa destaca por su amplia versatilidad pudiendo ser aplicadas en diferentes capas de un firme tanto en construcción como en conservación y rehabilitación.

Estos tipos de mezclas bituminosas nos aportan grandes ventajas para la carretera, entre otras garantizan mezclas flexibles, con buen comportamiento a fatiga, que se adaptan perfectamente a firmes y explanadas de limitada capacidad portante.

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

- La posibilidad de emplear materiales locales en la fabricación de las mezclas bituminosas.
- La posibilidad de trabajar a temperatura ambiente, como es el caso de las mezclas en frío, o a temperaturas por debajo de los 100 °C, como es el caso de las mezclas templadas. En ambos casos, minimizando la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que pudieran tener incidencia en el cambio climático. Igualmente, al trabajar en este rango de temperatura, se mejoran las condiciones de seguridad y salud para los trabajadores.
- La posibilidad de reutilizar y reciclar mezclas bituminosas envejecidas extraídas de carreteras deterioradas.

2.1. TIPO DE FIRME EN EL QUE SE INTEGRAN

Un firme está formado, con carácter general, por un conjunto de capas dispuestas sobre una explanada. La capa o conjunto de capas que soportan la acción del tráfico se denomina pavimento, cuya misión, de este sistema multicapa, es trabajar solidariamente para que el reparto progresivo de las cargas del tráfico pesado lleguen lo más disipadas posible a la explanada. Igualmente, este firme debe proporcionar una adecuada superficie al tráfico en rodadura.



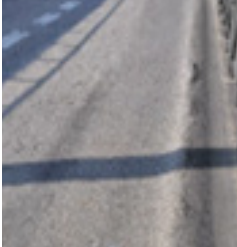
El tipo de firme en el que se integran las mezclas bituminosas con emulsión, son firmes flexibles, semiflexibles, semirrígidos y mixtos.

2.2. ESTADO DEL FIRME. TIPO DE DETERIORO




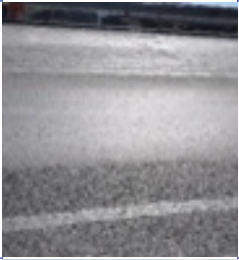
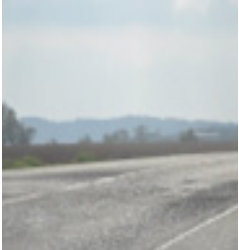
Para la elaboración de este apartado se ha tomado como referencia lo contemplado en la Metodología para la evaluación del estado del firme en una carretera de baja intensidad de

tráfico a partir de su inspección visual. Propuesta de posibles actuaciones de conservación del firme mediante soluciones técnicas sostenibles. Documento desarrollado en el GT-3 del Comité Técnico de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico (BIT).






En el documento se han seleccionado los deterioros más comunes en este tipo de carreteras, con pavimentos de mezcla bituminosa en rodadura, siendo los siguientes:

Patología	Definición	Foto orientativa	Solución con emulsión
Grietas estructurales	Aparición en la superficie del firme de una serie de grietas interconectadas en forma de malla. A esta malla también se la conoce como piel de cocodrilo.		<ol style="list-style-type: none"> 1.- Reciclado con emulsión + Rodadura (MBF/ MBT/ TSRG/Microf o LB). 2.- Microf-8 o LB si no son grietas generalizadas. 3.- TSRG Las soluciones 2 y 3 se pueden utilizar en niveles iniciales de estas grietas (sin deformaciones).
Grietas reflejadas	Son aquellas que progresan a través del pavimento bituminoso, como continuación de una fisura preexistente en la capa de apoyo.		Tratamiento bicapa con microaglomerado (Microf-5+Microf8/ LB-4+LB-8) o TSRG.
Grietas generalizadas sin deformación	Suelen ser generalmente longitudinales y rectilíneas, apareciendo en la capa de rodadura propagándose hacia abajo, situándose en las rodadas del tráfico pesado.		Reciclado con emulsión + Rodadura (MBF/ MBT/ TSRG/Microf o LB).
Roderas	Son deformaciones plásticas en la capa de rodadura, formando depresiones longitudinales en el firme		Fresado y reposición con MBF o MBT.



**TECNICAS DE PAVIMENTACION EN
CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)**

Patología	Definición	Foto orientativa	Solución con emulsión
Hundimientos	Son diferencias de nivel localizadas en la rasante de la carretera o capa de rodadura.		Depende de las causas:1.- Fresado y reposición con MBF o MBT2.- Regularización con GE+ Rodadura (MBF/MBT/TSRG/ Microf o LB). 3.- RE+Rodadura (MBF/ MBT/TSRG/Microf o LB).
Blandones	Son debidos a pérdidas de la capacidad portante del firme por fallo en las capas inferiores. Se manifiestan por un asiento localizado en la capa de rodadura.		Según dimensiones, saneo con retirada de materiales contaminados de la base del firme: 1.-GE+ Rodadura (MBF/ MBT/TSRG/Microf o LB) 2.-Reciclado con emulsión + Rodadura. (MBF/MBT/ TSRG/Microf o LB)
Ondulaciones	Son deformaciones de perfil longitudinal, en forma de ondas transversales.		1.- Reciclado con emulsión + Rodadura (MBF/ MBT/ TSRG/Microf o LB). 2.- Regularización con MBF o MBT+ Rodadura (MBF/ MBT/TSRG/Microf o LB).
Pavimentos deslizantes	Son debidos a la pérdida de la resistencia al deslizamiento de la capa de rodadura.		Microaglomerado en Frío tipo Microf-8 o LB-8. TSRG.
Descarnaduras	Son debidas a la pérdida de los áridos en la mezcla bituminosa de la capa de rodadura, y que se detectan visualmente.		Microaglomerados en Frío tipo bicapa (Microf-5+Microf 8 o LB4+LB-8).

**TECNICAS DE PAVIMENTACION EN
CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)**

Patología	Definición	Foto orientativa	Solución con emulsión
Peladuras	Son debidas a la pérdida de la capa de rodadura que se produce generalmente en zonas localizadas. Se produce en capas de rodadura muy delgadas.		<ol style="list-style-type: none"> 1.- Microaglomerados en Frío tipo bicapa (Microf-5+Microf 8 o LB-4+LB-8 => Husos variables según profundidad de la peladura). 2.-Microaglomerado en frío o lechadas monocapa 3.- TSRG.
Exudaciones de ligante	Afloraciones en superficie del betún asfáltico o mástico bituminoso en la capa de rodadura, creando una película superficial deslizante, de aspecto brillante y sin textura.		<ol style="list-style-type: none"> 1.- TSRG preengravillado. 2.- Microf/LB con mucha gravilla.
Baches	Cavidades localizadas de cierta profundidad producidas en el firme de la carretera.		<ol style="list-style-type: none"> 1.- Saneo y MBF en las zonas bacheadas y como capa de rodadura un micro o TSRG (en función del tipo de tráfico). 2.- TSRG.
Surgencias de agua y finos	Afloramientos en la superficie de la carretera de agua y finos, generalmente de mala calidad, procedente de las capas inferiores.		<ol style="list-style-type: none"> 1.- Saneo y MBF en las zonas bacheadas y como capa de rodadura un micro o TSRG (en función del tipo de tráfico). 2.- TSRG.
Vertidos superficiales	Vertidos de determinados productos que afectan a la integridad y características de firme		Fresado para eliminar el vertido y reposición de mezcla en frío y capa de rodadura que puede ser lechada, TSRG o MBF.

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN
CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

Patología	Definición	Foto orientativa	Solución con emulsión
Arcén en mal estado	Debido a su mal estado es impracticable, insuficiente o inexistente en alguna zona o toda la carretera, no permitiendo circular ni estacionar, en los casos que esté permitido.		<ol style="list-style-type: none"> 1. – MBF. 2.- Recrecimiento del arcén con el empleo de una grava emulsión o MBF o MBT.
Escalones	Deformaciones puntuales y verticales, hacia arriba o hacia abajo, de la vía que provocan desplazamientos puntuales y verticales del vehículo.		<ol style="list-style-type: none"> 1.- Cuña con MBF/MBT. 2.- Si es una patología concreta fresar y reponer con MBF y a continuación capa de rodadura uniforme en toda la calzada (MBF/MBT/TSRG/ Microf o LB).

LEYENDA: **MBF**= Mezcla Bituminosa en Frío, **MBT**= Mezcla Bituminosa Templada, **TSRG**= Tratamiento Superficial de Riego con Gravilla, **Microf**= Microaglomerado en Frío, **LB**= Lechada Bituminosa, **GE**= Grava-emulsión, **RE**= Reciclado con emulsión.

2.3. SOLICITACIONES

Como ya se ha citado anteriormente, las mezclas bituminosas con emulsión soportan directamente las cargas del tráfico pesado, para que estas lleguen lo más disipadas posibles a la explanada (solicitaciones estructurales), proporcionando unas condiciones adecuadas en cuanto a seguridad vial y confort, cuando se emplean en capas rodadura (solicitaciones funcionales o superficiales).

Los aspectos estructurales se pueden caracterizar evaluando sus propiedades mecánicas, mediante la determinación de la resistencia del material, la determinación de las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

Los aspectos funcionales o superficiales del firme están principalmente asociados con la textura y la regularidad superficial del pavimento.

3. TIPOS DE TÉCNICAS

3.1. EN FRÍO

La fabricación y puesta en obra de estas mezclas bituminosas se realiza a temperatura ambiente, reduciendo así los consumos de energía y por consiguiente obteniendo un ahorro energético y reducción de la generación de emisiones atmosféricas. Este tipo de mezclas bituminosas son 100% reutilizables, para la fabricación de nuevas mezclas.

El ámbito de este documento, limita su empleo a firmes con categorías de tráfico pesado T31 o inferior o intensidad media diaria (IMD) inferior a 2.000 veh/día.

3.1.1. Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla (TSRG)

3.1.1.1. *Descripción. Características*

Se define como tratamiento superficial mediante riego con gravilla al tratamiento superficial consistente en la ejecución de una o varias aplicaciones de emulsión bituminosa, sobre una superficie, complementada por una o varias extensiones de un árido de granulometría uniforme.

El éxito de la aplicación de esta técnica reside fundamentalmente, además de en el empleo de maquinaria adecuada correctamente verificada y de personal especializado, en la elección de los materiales constituyentes. Una buena limpieza superficial del árido y una buena angulosidad favorecerán la adhesividad árido-ligante. Un bajo índice de lajas será decisivo en la dosificación del árido, minimizando el riesgo de sobredosificaciones del mismo. La elección de una emulsión modificada o no, dependerá de las características de la vía, sobre todo de los esfuerzos tangenciales que vaya a soportar y de los gradientes térmicos. En función de las extensiones de emulsión y árido se pueden establecer diferentes tipos de riegos:

- Riego con gravilla monocapa, formado por una aplicación de emulsión y una posterior extensión de árido.
- Riego con gravilla monocapa preengravillado, formado por una extensión de árido seguida de una aplicación de emulsión y una segunda extensión de árido.
- Riego con gravilla bicapa, formado por dos aplicaciones sucesivas de emulsión y de árido.
- Riego con gravilla bicapa preengravillado, formado por una primera extensión de árido seguida de dos aplicaciones sucesivas de emulsión y de árido.
- Riego con gravilla tricapa, formado por tres aplicaciones sucesivas de emulsión y de árido.

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

En todos los casos, tras cada extensión de árido, será necesario el apisonado con compactador neumático.

Los tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla proporcionan:

- Seguridad: proporcionan buena macrotextura, regulable en función del tamaño de los áridos empleados.
- Impermeabilidad: proporcionan protección del firme tratado.
- Versatilidad: en función del soporte se puede seleccionar un tipo de tratamiento u otro.
- Rapidez de ejecución.

Y tienen las siguientes limitaciones:

- Capacidad portante. Por su propia concepción, los TSRG no tienen capacidad portante significativa.
- Sensibilidad a la climatología, especialmente en los primeros meses tras la ejecución.
- Sonoridad: al proporcionar una elevada macrotextura, son tratamientos muy sonoros, lo que puede ser positivo o negativo.

3.1.1.2. Normativa

Los tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla estuvieron recogidos en el artículo 533 del Pliego de Prescripciones técnicas Generales PG-3/87, aunque fue derogado en la actualización del PG-3 de 2004 ya que no se consideran de interés en las carreteras de la Red del Estado. Sin embargo, sí existen normativas autonómicas que recogen su empleo, como el documento RECOMENDACIONES DE PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE FIRMES Y PAVIMENTOS de la Junta de Castilla y León del año 2004 o la norma para el dimensionamiento de firmes de la red de Carreteras del País Vasco, del año 2012.

Existe un pliego relativo a tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla recogido en el documento RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE PLIEGOS DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS DE CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO, elaborado por el Comité Técnico de Baja Intensidad de Tráfico de la ATC que se publicó en 2018.

Los tratamientos superficiales disponen de una norma armonizada (UNE EN 12271) que describe las especificaciones y los requisitos para el marcado CE, pero que excluye de su obligatoriedad a los tratamientos diseñados por el cliente. Aun así, resulta muy recomendable la obtención del marcado CE conforme a la citada norma.

3.1.1.3. Empleos más habituales en BIT

Se emplean como capa de rodadura en firmes flexibles de carreteras de baja intensidad de tráfico sobre bases compuestas por materiales granulares, bituminosos tipo grava-emulsión o tratados con cemento. Asimismo, se emplean en tratamientos de rehabilitación y mejora de las características superficiales (impermeabilización, textura superficial y resistencia al deslizamiento), en aplicaciones de pequeño espesor. La elección de un tipo de tratamiento u otro se realizará teniendo en cuenta el estado del soporte:

- Los tratamientos monocapa, para su aplicación, requieren un soporte en muy buenas condiciones en lo relativo a homogeneidad y regularidad, por lo que se recomiendan en estrategias de conservación preventiva muy bien planificadas. Se desaconseja su empleo sobre soportes heterogéneos, ricos en ligante o exudados, en trazados sinuosos y/o con fuertes pendientes y sobre bases granulares.
- El riego monocapa doble engravillado está especialmente indicado sobre soportes duros, sin embargo, estos TSRG son de los más críticos en lo que se refiere a su ejecución.
- Los tratamientos monocapa preengravillados están especialmente indicados sobre soportes heterogéneos y/o con exceso de ligante.
- Los tratamientos bicapa se consideran el tipo de tratamiento de referencia porque se adaptan a la mayoría de las situaciones, es poco crítico en su ejecución, y ofrece una relación coste/calidad/durabilidad muy ajustada. Se recomiendan sobre superficies tratadas con ligantes bituminosos o con conglomerantes hidráulicos en un estado de conservación aceptable y, sobre zahorras que permitan la aplicación de un riego de imprimación previo al TSRG.
- El tratamiento bicapa preengravillado se aplica preferentemente en los firmes más deformados o con exudaciones de ligante y sobre soportes granulares muy cerrados difíciles de imprimir.
- Los riegos tricapa se aplican sobre materiales granulares gruesos y abiertos (tipo macadam).

3.1.2. **Lechadas bituminosas**

3.1.2.1. Descripción. Características

Se definen como lechadas bituminosas aquellas mezclas bituminosas con consistencia adecuada para su puesta en obra directa e inmediata, y que se fabrican a temperatura ambiente mediante la combinación de una emulsión bituminosa, áridos, agua y, eventualmente, polvo mineral de aportación y aditivos.

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

Se emplean en tratamientos de mejora de las características superficiales (impermeabilización, textura superficial y resistencia al deslizamiento), en aplicaciones de muy pequeño espesor, habitualmente no superior a un centímetro y medio (< 1,5 cm), y pudiéndose aplicar en una o dos capas. Su aplicación sobre superficies irregulares, bacheadas y/o descarnadas, requiere necesariamente la aplicación en dos capas y, en los casos más graves, de una regularización previa.

En algunas aplicaciones específicas, puede ser recomendable el apisonado de la lechada, siempre con un compactador neumático.

3.1.2.2. *Normativa*

Las lechadas bituminosas, están contempladas en el artículo 540 del Pliego de Prescripciones técnicas Generales (PG-3), pero en la revisión del año 2011, pasaron a denominarse microaglomerados en frío. Adicionalmente, existe un pliego relativo a lechadas bituminosas recogido en el documento RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE PLIEGOS DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS DE CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO, elaborado por el Comité Técnico de Baja Intensidad de Tráfico de la ATC que se publicó en 2018. En este documento, se recomiendan husos granulométricos diferentes a los que aparecen en PG-3 ya que se han adaptado a carreteras de baja intensidad de tráfico. En él aparecen, a diferencia con el PG-3, los husos granulométricos LB-4 y LB-6, que se corresponden con los antiguos husos LB-4 y LB-3 que aparecían en el artículo 540 del PG-3 que fue derogado en el año 2011. En este pliego para carreteras BIT se ha descartado el empleo de mezclas de tipo Microf-11 (o LB-1 según el artículo 540 del PG-3 anterior a 2011) por no considerarse adecuadas para este tipo de vías.

Al igual que los tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla, las lechadas bituminosas disponen de una norma armonizada (UNE EN 12273) que describe las especificaciones y los requisitos para el Mercado CE. Aunque según esta norma se excluyen de la obligatoriedad del marcado a las lechadas bituminosas diseñadas por el cliente, resulta muy recomendable la obtención del marcado CE conforme a la mencionada norma.

3.1.2.3. *Empleos más habituales en carreteras BIT*

En carreteras de baja intensidad de tráfico, se emplean como capa de rodadura sobre bases formadas por capas granulares, mezclas bituminosas como reciclados in situ con emulsión, grava-emulsión o mezclas abiertas en frío. En estos casos, se valorará si se aplica un tratamiento bicapa o monocapa. Cuando se realizan tratamientos bicapa, se recomienda el empleo de una lechada de tipo LB-4 para impermeabilizar el soporte y sobre ésta, una extensión de LB-8 o LB-6 para dar textura y resistencia al deslizamiento del pavimento. También se emplean en estrategias de conservación como mejora de la impermeabilización y de las características superficiales del firme. Sus aplicaciones más habituales son:

- Mejora de la macrotextura y coeficiente de rozamiento transversal de la vía: Cuando la vía por diferentes motivos presenta problemas de deslizamiento, se puede corregir esta falta de adherencia mediante el empleo de granulometrías de tipo LB-8 o LB-6.
- Impermeabilización del soporte: Cuando se busca sellar pequeñas fisuras y grietas incipientes, o se busca proteger una mezcla relativamente abierta de la acción del agua en capas inferiores (por ejemplo, sobre un reciclado in situ con emulsión). Se emplean granulometrías de tipo LB-4 o LB-6. Se desaconseja el empleo de granulometrías de tipo LB-4 en capa de rodadura ya que son muy finas y pueden no tener la textura suficiente para asegurar una correcta macrotextura y seguridad vial.
- Consolidación de una capa de rodadura de un firme descarnado: En algunos casos, cuando una mezcla con alto contenido de huecos se descarna, se puede emplear un tratamiento bicapa para consolidar el firme. La primera capa será una lechada bituminosa fina, de tipo LB-4, que actuará sellando la superficie descarnada, evitando la proyección de los áridos que todavía quedan en el firme y, a continuación, se asegura una correcta adherencia neumático pavimento mediante la aplicación de una lechada bituminosa más gruesa, de tipo LB-8 o LB-6.

3.1.3. Mezclas abiertas en frío

3.1.3.1. Descripción. Características

Las mezclas bituminosas abiertas en frío son aquellas que están constituidas por la combinación de áridos gruesos (> 2mm) con una emulsión bituminosa y ocasionalmente aditivos, y se caracterizan por su contenido elevado en huecos y cuyo proceso de fabricación no requiere, salvo situaciones excepcionales, calentar previamente los componentes. Una de sus principales ventajas es que pueden ser almacenadas, y su extendido y compactación se lleva a cabo a temperatura ambiente.

Son mezclas que apenas presentan contenido en finos (contenido inferior al 5%), trabajan por rozamiento interno del esqueleto mineral y tienen una película gruesa de ligante recubriendo los áridos. De ahí su propiedad flexible y su buen comportamiento a la fatiga, y por lo tanto adaptables a las deformaciones de las bases.

Estas mezclas se utilizan como capas de rodadura e intermedia, en espesores entre 2 y 8 cm. En el caso de las capas de rodadura, su alto porcentaje de huecos confieren una elevada macrotextura lo que se traduce en carreteras muy seguras por su alta resistencia al deslizamiento y con un alto grado de confort por su baja sonoridad.

La puesta en obra es similar a las mezclas bituminosas templadas y calientes, con la excepción de que estas se ejecutan a temperatura ambiente, y puede aplicarse una técnica de enarenado o sistema de sellado previo o conjunta a la compactación con compactador neumático.

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

De esta forma se incrementa la impermeabilidad de la capa, se cierra la superficie y se evita el pegado de las ruedas del compactador. Debido a la presencia de los fluidificantes presentes en la emulsión que favorecen la trabajabilidad de la mezcla, necesitan un periodo de curado tras su puesta en obra. No obstante, la apertura al tráfico se pueda realizar inmediatamente después de terminar la compactación, aunque durante las primeras horas se procurará que el tráfico circule a baja velocidad y sin realizar maniobras bruscas sobre la mezcla.

Con respecto a otras técnicas y desde un punto de vista técnico y ambiental, las mezclas abiertas en frío son una solución muy adecuada para las carreteras de baja intensidad de tráfico. Gracias a los espesores bajos en los que se puede emplear, es una técnica muy bien valorada para actuaciones de rehabilitación además de presentar características muy flexibles y con módulos dinámicos bajos ofreciendo una solución a las fisuras.

3.1.3.2. *Normativa*

En la actualidad, esta técnica no está contemplada en el PG-3, aunque cabe destacar que hasta el 2004 existía el artículo 541 que recogía las prescripciones técnicas de la mezcla bituminosa en frío que a día de hoy está derogado. Sin embargo, existen normativas autonómicas como los Pliegos Generales de Castilla-León, Andalucía o País Vasco que regulan su utilización para ciertos tráfico.

Así mismo asociaciones sectoriales han desarrollado documentos de ayuda para el uso de este tipo de tecnología, así se recoge en el Pliego sobre mezclas bituminosas abiertas en frío del documento RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE PLIEGOS DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS DE CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO, elaborado por el Comité Técnico de Baja Intensidad de Tráfico de la ATC que se publicó en 2018.

A nivel europeo, no existe una norma armonizada que defina las especificaciones de esta mezcla y por consiguiente no disponen de Mercado CE.

Se establecen diferentes tipos mezclas abiertas en frío en función del huso en el que se halle comprendida la curva granulométrica de los áridos que las constituyen. El tipo de emulsión bituminosa dependerá del tráfico y posición de la capa de la mezcla, y la proporción en masa de ligante residual estará comprendida entre 3,3 y 4,0% para capas intermedias, y entre 4,0 y 4,8% para las capas de rodadura.

3.1.3.3. *Empleos más habituales en carreteras BIT*

Se trata de un material muy versátil, que permite la realización de rodaduras de gran calidad en carreteras, con tráfico ligero T3 y T4, o bien para realizar operaciones de saneo ordinario, pequeñas reparaciones y bacheos.

Las principales aplicaciones de estas mezclas son las siguientes:

- Capas de rodadura de espesor bajo. Es una aplicación que sustituye con ventaja a otras como los tratamientos superficiales de riego y a las mezclas en caliente clásicas. Proporcionan capas de rodadura muy cómodas y agradables. Técnicamente compiten con ventaja con las mezclas bituminosas en caliente de pequeño espesor ya que al ser menos rígidas que éstas no presentan los típicos problemas de fatiga. La alta flexibilidad de estas mezclas las hace adecuadas cuando existen altas deflexiones del pavimento y asientos lentos. Además, su empleo sobre pavimentos con mala regularidad superficial, las hace ventajosas frente a otros tratamientos como los tratamientos superficiales de riego. Por último, no hay que olvidar su gran drenabilidad, consecuencia de su alto contenido en huecos. Este alto contenido en huecos hace que estas mezclas constituyan una capa de rodadura menos ruidosa que las convencionales en la que el conductor tiene una gran sensación de seguridad.
- Como capa intermedia en firmes de nueva construcción o en rehabilitación. Sobre ellas puede extenderse un microaglomerado en frío, un tratamiento superficial mediante riegos con gravilla o una mezcla bituminosa en caliente.
- Técnica de conservación sobre soportes flexibles y/o deformables. Sustituye con ventaja a las mezclas bituminosas en caliente ya que es mucho más deformable. Además, es una técnica de mayor calidad que las lechadas bituminosas o los riegos con engravillado.
- Bacheo. Se realiza con medios muy elementales a partir de acopios existentes en las cercanías de las plantas de fabricación de estas mezclas. Si se realiza con las suficientes precauciones los resultados son inmejorables.

3.1.4. Grava-emulsión

3.1.4.1. Descripción. Características

La grava-emulsión es un tipo de mezcla bituminosa en frío que está constituida por áridos de granulometría continua, agua de preenvuelta y una emulsión bituminosa de rotura lenta con alto contenido de emulgente libre en su fase acuosa. Los componentes serían los mismos que los de una mezcla densa en frío, pero la grava-emulsión presenta unas características específicas que la diferencian de aquella. En la grava-emulsión el ligante envuelve preferentemente a los elementos finos, dando lugar a un mortero que cohesiona los áridos más gruesos, que no tienen que estar completamente envueltos. Por tanto, en la grava-emulsión coexisten dos fases, la primera constituida por el mortero de árido fino y emulsión que imparte cohesión y permite la adaptación a las deformaciones lentas del soporte sin fisurarse; y la segunda, constituida por el árido grueso "lacado" con emulsión, que proporciona un elevado rozamiento interno para resistir los efectos de la acción del tráfico. La elección del carácter aniónico o catiónico de la emulsión dependerá de la naturaleza del árido a emplear.

Otra diferencia con las mezclas densas sería el menor contenido de ligante de la grava-emulsión, que permite su manipulación después de rota la emulsión, al actuar el agua como lubricante de las partículas minerales.

La compactación energética tiene una gran importancia en estas mezclas, porque lamina los glóbulos de betún dando cohesión al mortero, y establece el contacto entre las partículas gruesas asegurando el rozamiento interno; además ayuda a eliminar el agua favoreciendo el proceso de maduración posterior. De este modo, la grava emulsión, una vez compactada y curada, tiene una elevada resistencia a compresión y a deformación bajo cargas lentas, debido a su esqueleto mineral continuo con alto rozamiento interno. Así mismo, tiene una buena resistencia a tracción y flexión debido a la presencia del mortero bituminoso, que proporciona además una gran impermeabilidad.

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

- Almacenabilidad durante periodos prolongados, lo que permite independizar la fabricación, el transporte y la puesta en obra.
- Resistencia mecánica progresiva, a medida que se elimina el agua en el proceso de maduración.
- Elevada resistencia a las deformaciones plásticas por el rozamiento interno de los áridos gruesos, acompañado de la correcta selección de la emulsión a emplear.
- Flexibilidad para adaptarse plásticamente a soportes deformables, por las características del mortero.
- Capacidad de autorreparación, lo que garantiza la impermeabilidad y la buena resistencia a la fatiga.
- Posibilidad de empleo de áridos locales y de material procedente de pavimentos envejecidos, si se obtienen mezclas con suficientes características mecánicas.

3.1.4.2. Normativa

En España la grava-emulsión estuvo recogida en el artículo 514 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG-3/75, si bien este artículo fue derogado de la normativa vigente del Ministerio de Fomento que, actualmente, sólo considera la utilización del suelocemento y de la gravacemento. Actualmente, no se consideran de interés en las carreteras de la Red del Estado y por ello, tampoco están recogidas en el PG-3. No obstante, sí hay normativas autonómicas que recogen su empleo, aunque, en general, se restringe al aprovechamiento de capas granulares procedentes de antiguos firmes para su uso en firmes provisionales, o a la construcción de capas de base de firmes con baja intensidad de tráfico.

Así se recoge en el Pliego sobre grava-emulsión del documento RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE PLIEGOS DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS DE CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO, elaborado por el Comité Técnico de Baja Intensidad de Tráfico de la ATC que se publicó en 2018.

Se establecen diferentes tipos de mezclas grava-emulsión en función del huso en el que se halle comprendida la curva granulométrica de los áridos que las constituyen. El tipo de emulsión bituminosa y la proporción en masa de ligante residual y, en su caso, la de polvo mineral de aportación irán referidas a la masa del árido seco, siendo la dotación mínima de ligante residual del 2,5% en masa sobre el total del árido combinado seco.

3.1.4.3. *Empleos más habituales en BIT*

La grava-emulsión es una mezcla muy versátil en base a sus características. Tiene una gran capacidad para evitar la reflexión de fisuras, es autorreparable, se acomoda a los movimientos del soporte, etc., lo que la hace ideal para:

- Capas de base y/o subbase de firmes flexibles en nueva construcción, por su relativo alto módulo y posibilidad de adaptarse a las deformaciones del firme.
- Capas intermedias en firmes semirrígidos. Por su flexibilidad, la grava-emulsión se ha empleado con resultados muy satisfactorios, en espesores de unos 8 cm, como capa antirremonte de fisuras entre la grava cemento y la capa de rodadura.
- Capas de base en refuerzo de firmes flexibles, ya que tiene rigidez suficiente para absorber tensiones, así como flexibilidad y capacidad de autorreparación.
- Reparaciones, regularizaciones y ensanches. Por su almacenabilidad, facilidad de aplicación, flexibilidad y buena adherencia a otros materiales, es quizás el material mejor adaptado a estas aplicaciones.

3.1.5. **Reciclado en frío de capas bituminosas**

3.1.5.1. *Descripción. Características*

Cabe distinguir dos tipos de reciclados en frío con emulsión (RFE) por la forma de puesta en obra: en planta o in situ. Esencialmente este apartado se refiere a los reciclados in situ que presentan algunas peculiaridades respecto a la puesta en obra ya que, el caso de los reciclados en planta, es similar a la de las mezclas densas en frío.

El reciclado en frío in situ con emulsión es una técnica de rehabilitación que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de los firmes que ya han estado en servicio durante un cierto periodo de tiempo, y que se encuentran básicamente deteriorados, habiendo perdi-

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

do en gran parte sus propiedades iniciales, tanto de tipo estructural como de tipo funcional. Esta técnica se fundamenta en la adición de una cierta cantidad de emulsión bituminosa al firme que está siendo fresado, de tal forma que se obtenga, tras el proceso constructivo, una mezcla bituminosa en frío homogénea y con unas propiedades de comportamiento, como capa de base o intermedia, similares a las de una mezcla densa en frío.

Se denomina, por tanto, reciclado in situ con emulsión a la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de un firme existente, mezclado con la emulsión bituminosa seleccionada, agua y, eventualmente aditivos. Todo el proceso de ejecución de esta unidad de obra se realiza a temperatura ambiente y sobre la misma superficie a tratar.

La técnica del RFE permite la obtención de un material de mejores características mecánicas que el existente, es decir, que el material a tratar es “revalorizable”.

Los aspectos más significativos del RFE son los siguientes:

- Se minimizan las necesidades de ligantes y áridos nuevos al reutilizar los existentes en el firme. A la vez, se elimina gran parte del transporte necesario en las operaciones de refuerzo convencionales, con lo que se minimizan los daños ocasionados por el tráfico de obra sobre la propia vía y la red adyacente.
- Reduce el recrecimiento, casi siempre innecesario, de los arcenes y minimiza el efecto sobre el gálibo, bordillos, etc., con lo que se obtienen economías adicionales en el proyecto.
- En general, el RFE permite mejorar el perfil y la regularidad del firme existente. Esto es particularmente interesante en las vías secundarias cuyas condiciones geométricas suelen ser mejorables y requieren importantes capas de regularización.
- Desde el punto de vista operativo, el RFE, especialmente el realizado in situ, limita las interferencias con el tráfico y permite una apertura prácticamente inmediata a la circulación, con lo que se minimizan las molestias a los usuarios.
- Desde el punto de vista económico, el RFE permite, en general, obtener un ahorro significativo frente a otras técnicas convencionales.
- Finalmente, la técnica del RFE limita el impacto ambiental asociado a otras técnicas convencionales de pavimentación, ya que minimiza el consumo energético al eliminar la necesidad de calentar el material a tratar y evitar gran parte del transporte, en particular cuando es in situ.

Sin embargo, el RFE presenta también, como cualquier otra técnica, algunas limitaciones:

- No todos los materiales son susceptibles de ser reciclados de forma efectiva y económica. Cualquier operación de RFE requiere un estudio previo de las secciones y de los materiales que puede ser largo y costoso.
- El RFE no permite solucionar problemas en los firmes asociados a mala calidad de la explanada o de capas profundas. Tampoco es fácil solucionar problemas de deformaciones plásticas y, cuando es posible, suele ser necesario el empleo adicional de árido para corregir la formulación de la mezcla existente.
- El RFE requiere un período de “maduración”, al igual que la grava-emulsión, durante el cual, la mezcla va adquiriendo sus características finales. Ello hace que en algunas ocasiones existan prevenciones para el empleo de esta técnica, dada la inconveniencia de actuar inmediatamente después del reciclado.

Además, como característica común a todos los tipos de RFE hay que señalar que la profundidad de tratamiento está limitada por la capacidad de compactar las capas recicladas. No es posible actuar con eficacia más allá de los 12 cm, especialmente si el soporte de la capa reciclada es un material granular o una mezcla muy fisurada. Para mayores espesores no es extraño encontrarse con situaciones de subcompactación en el fondo de la capa y, como consecuencia problemas de falta de cohesión. Es este un factor a tener muy en cuenta ya que la capacidad mecánica de los RFE depende de forma muy directa del nivel de compactación alcanzado en obra.

3.1.5.2. *Normativa*

Las técnicas de reciclado de firmes envejecidos que se realizan en frío in situ con emulsión están desarrolladas en el artículo 20 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4), actualizado mediante la Orden Circular 40/2017, que actualmente se encuentra en periodo de revisión. Este artículo, enfocado a las carreteras de la Red del Estado, sólo es de aplicación cuando, al menos, el 90% del material a reutilizar es bituminoso. En las carreteras BIT este caso no es habitual, ya solemos encontrar firmes con un espesor considerable de material granular y muy escaso espesor de material bituminoso. Por ello, en el documento RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE PLIEGOS DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS DE CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO, elaborado por el Comité Técnico de Baja Intensidad de Tráfico de la ATC que se publicó en 2018, se ha considerado un Pliego sobre Reciclados in situ con emulsión.

3.1.5.3. *Empleos más habituales en carreteras BIT*

La OC 40/2017 dice que, por consideraciones ambientales y de valorización de los materiales envejecidos por el uso en los firmes y pavimentos, en el análisis de soluciones en actuaciones de rehabilitación de un firme cuya superficie de aplicación sea superior a 70.000 m², y para cualquier categoría de tráfico pesado, será preceptivo tener en cuenta y priorizar las técnicas de reciclado. No obstante, las técnicas de reciclado in situ en frío con emulsión no podrán utilizarse en ningún caso en carreteras con categorías de tráfico pesado T00 y T0, con la excepción de los arceles. En carreteras con categoría de tráfico T1 se pueden emplear mezclas bituminosas recicladas in situ con emulsión en capas de reposición de calzada, cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en un espesor total mínimo de 8 cm, incluida la capa de rodadura correspondiente. Este espesor se reduce a 5 cm para carreteras T2 y, en categorías de tráfico T3 y T4, bastaría disponer encima una rodadura que podría ser un microaglomerado en frío, siendo este último el caso de las carreteras BIT, donde se podrán emplear reciclados en frío con emulsión fabricados tanto in situ como en central, para la construcción de capas de base e intermedias. Sobre ellas, una vez superado el periodo de maduración, que dependerá de las condiciones climatológicas en obra, se procederá a la extensión de una rodadura compuesta por una mezcla en caliente o semicaliente tipo D o S (art. 542 del PG-3) o un microaglomerado en frío (art. 540 del PG-3)

3.2. TÉCNICAS EN TEMPLADO

Las mezclas templadas constituyen en la actualidad el mejor compromiso entre las mezclas en caliente y en frío, tanto a nivel prestacional como medioambiental, posicionándolas como una alternativa eficaz en la pavimentación de firmes de carreteras. Estas mezclas combinan las propiedades de las mezclas en frío y caliente de tal forma que son flexibles, pero también presentan buen comportamiento a la rigidez y son una buena solución para carreteras de baja intensidad de tráfico al mismo tiempo que presentan una menor huella ambiental.

El ámbito de este documento, limita su empleo a firmes con categorías de tráfico pesado T31 o inferior o intensidad media diaria (IMD) inferior a 2.000 veh/día.

Por sus características mecánicas este tipo de mezclas son de aplicación en todas aquellas carreteras que soportan categorías de tráfico tipo T2 o inferiores. Esta técnica permite la reutilización de materiales procedentes de mezclas bituminosas envejecidas.

3.2.1. Mezclas templadas

3.2.1.1. *Descripción. Características*

Las Mezclas Bituminosas Templadas con Emulsión, se definen como la combinación homogénea de áridos (incluido el polvo mineral), emulsión bituminosa como ligante y eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas de los áridos quedan recubiertas por una película

homogénea de ligante, cuyo proceso de fabricación requiere calentar previamente los componentes. La temperatura final de la mezcla a la salida del mezclador, se limita entorno a los 100 °C, mientras que la puesta en obra de esta mezcla se lleva a cabo por encima de los 70 °C.

Dentro de esta técnica, se pueden clasificar dos tipos de mezclas templadas en función de la granulometría del esqueleto mineral. Aquellas que presenten una granulometría continua de los áridos, se denominan como mezclas templadas cerradas y las granulometrías correspondientes son equivalentes a las del tipo Hormigón Bituminoso AC. En el caso de las mezclas que presenten una granulometría discontinua o abierta, se denominan como mezclas templadas discontinuas o drenantes siendo sus granulometrías respectivas equivalentes a las de tipo BBTM y PA.

Las cualidades más reseñables de estas mezclas se pueden destacar las siguientes:

- Reducción de emisiones durante el proceso de fabricación.
- Reducción de consumo de combustibles. Se reduce el calentamiento de los áridos y emulsión que se traduce en un menor consumo de recursos energéticos.
- Reducción de la exposición de los operarios a condiciones de alta temperatura. La reducción de temperatura en el extendido reduce el riesgo por quemaduras, mejorando la seguridad y salud de los trabajadores.
- Menor pérdida de temperatura durante la fase de transporte, lo que permite la posibilidad de realizar trayectos más largos o con tiempos más prolongados, presentando a su llegada a obra la manejabilidad necesaria para su puesta en obra.
- Mayor tiempo para la compactación, al producirse una menor pérdida de temperatura de estas mezclas.
- Optimización de recursos. Se trata de una mezcla bituminosa 100% reutilizable y que puede admitir altas tasas de material procedente de mezclas bituminosas envejecidas.
- Son más durables por el menor envejecimiento del ligante que supone el fabricar la mezcla a menor temperatura, aumentando la durabilidad y la vida útil del firme asfáltico.

3.2.1.2. Normativa

A nivel nacional no existe normativa que contemple el empleo de la técnica descrita, pero su carácter innovador y, sobre todo, la aportación medioambiental que suponen las mezclas bituminosas templadas, precisa de unas prescripciones técnicas que sirvan de estímulo técnico para su empleo, tanto en capas intermedias como en rodadura. En este sentido, varios estamentos desarrollaron documentos técnicos para promover esta técnica. La Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía, publicó en el año 2012 el documento "RECOMENDA-

CIONES PARA LA REDACCIÓN DE PLIEGOS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL USO DE MEZCLAS BITUMINOSAS A BAJAS TEMPERATURAS”, o como por ejemplo la Diputación Foral de Gipuzkoa que recoge en sus pliegos particulares de obras las mezclas templadas, como paso previo a que la Mesa de firmes del País Vasco lo incorpore a su Pliego. Así mismo, el Comité Técnico de Baja Intensidad de Tráfico de la ATC, publico en 2018 “RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE PLIEGOS DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS DE CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO”.

Este tipo de mezcla no dispone de marcado CE por falta de una norma armonizada. No obstante, los pliegos específicos exigen un control exhaustivo de los constituyentes y de la producción, inspecciones en fábrica y obra, así como un estudio de la mezcla y su fórmula de trabajo de cara a garantizar la calidad del producto.

3.2.1.3. *Empleos más habituales en carreteras BIT*

Las mezclas bituminosas templadas con emulsión constituyen una alternativa a tener en cuenta tanto en obras de nueva construcción como en rehabilitación estructural del firme, empleando las técnicas de eliminación parcial de una parte del firme existente y reposición posterior o bien, mediante el recrecimiento del firme existente mediante la extensión de mezclas bituminosas, e incluso la combinación de los dos tipos de actuación anteriores, para las categorías de tráfico pesado tipo T2 a T4.

Estas mezclas se pueden disponer tanto en capas intermedias como de rodadura, empleando tanto áridos procedentes de cantera, como los resultantes del proceso de valorización de los áridos siderúrgicos, así como de los materiales procedentes de mezclas bituminosas envejecidas en proporciones hasta el 15%, ofreciendo un abanico de posibilidades de gran interés para la rehabilitación sostenible de los firmes de este tipo de carreteras.

3.2.2. **Reciclados Templados con emulsión**

3.2.2.1. *Descripción. Características*

Se define reciclado templado con emulsión, la combinación homogénea de áridos (incluido el polvo mineral), material procedente de mezclas bituminosas envejecidas en diferentes porcentajes, emulsión bituminosa como ligante y eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas de los áridos quedan recubiertas por una película homogénea de ligante cuyo proceso de fabricación requiere calentar previamente los distintos componentes, limitándose la temperatura final de la mezcla a la salida del mezclador próxima a los 100 °C y la temperatura de puesta en obra superior a los 70 °C.

Con esta técnica de reciclado templado en central, se pueden diseñar todo tipo de mezclas (de granulometría continua, discontinua y porosas) y reutilizar material procedente de pavimentos envejecidos en diferentes porcentajes, pudiéndose alcanzar tasas de hasta el 100 %.

Según la tasa de material procedente de pavimentos envejecidos que se reutilice en la mezcla templada reciclada, ésta se clasifica de la siguiente forma:

Tipo 1 cuando el contenido de material procedente de pavimentos envejecidos es superior al 15% e inferior o igual al 30 %.

Tipo 2 cuando el contenido de material procedente de pavimentos envejecidos es superior al 30% e inferior o igual al 60 %.

Tipo 3 cuando el contenido de material procedente de pavimentos envejecidos es superior al 60% hasta el 100%.

La tasa a reutilizar de material procedente de pavimentos envejecidos va a depender de varios aspectos a tener en cuenta, principalmente de los siguientes:

1. Las características del material procedente de pavimentos envejecidos, que dependerá del proceso de extracción utilizado y de su posterior tratamiento.
2. La humedad del material procedente de pavimentos envejecidos, que dependerá de la tecnología utilizada para su reutilización.
3. La tecnología de reutilización disponible en el centro de producción.

En cuanto a las características de los reciclados templados, van a depender de la proporción de material procedente de pavimentos envejecidos, del proceso de fabricación, y del tipo de mezcla y emulsión a emplear. Su aplicación vendrá condicionada necesariamente por los valores de módulo, flexibilidad, deformabilidad y resistencia a fatiga. Tras su diseño y caracterización, podrá definirse su empleo en las diferentes capas del firme y categoría de tráfico.

Los reciclados templados con emulsión son mezclas sostenibles por las mismas razones que las mezclas templadas con emulsión, pero además presentan el valor añadido de que son mezclas circulares, ya que permiten hacer un uso eficiente de los recursos por el empleo del material procedente de pavimentos envejecidos lo que las posiciona muy favorablemente en la evaluación de su impacto ambiental.

3.2.2.2. Normativa

A día de hoy, existen algunas recomendaciones para este tipo de reciclados templados con emulsión. De momento, no están contemplados ni en el PG-3 ni en el PG-4, pero si existen algunas recomendaciones que han publicado asociaciones y algunas administraciones públicas provinciales:

La Junta de Andalucía dispone de unas recomendaciones de pliegos de especificaciones técnicas para el uso de mezclas bituminosas a bajas temperaturas desde el año 2012. Este pliego

TECNICAS DE PAVIMENTACION EN CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO (BIT)

contempla en su artículo 1 las mezclas templadas con emulsión, donde permite la incorporación de material procedente de pavimentos envejecidos en tasas de hasta el 10 %.

El Gobierno Vasco, ha redactado un pliego de especificaciones para mezclas templadas con emulsión con y sin material procedente de pavimentos envejecidos que está pendiente de su publicación.

El comité de carreteras de vías de baja intensidad de tráfico de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), ha publicado en noviembre del 2018 unas "RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE PLIEGOS DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS DE CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO" donde hay un artículo específico de reciclados templados.

A nivel europeo, no existe de momento publicada ninguna norma armonizada que regule este tipo de mezclas recicladas con emulsión. Existe un proyecto de norma prEN 13108-31 titulada hormigón asfáltico con emulsión bituminosa que regulará este tipo de mezclas.

3.2.2.3. Empleos más habituales en carreteras BIT

En cuanto a la aplicación de estas mezclas, en los pliegos o recomendaciones publicadas se consideran que son de aplicación en carreteras de baja intensidad de tráfico, e incluso en categorías de tráfico T2. Se pueden utilizar tanto en obras de rehabilitación de firmes como en obras de construcción nueva.

En el pliego de recomendaciones desarrollado en la ATC, se contempla el empleo de mezclas recicladas con emulsión en cualquier capa (base, intermedia y rodadura) para categorías de tráfico pesado T31 o inferior o que su intensidad media diaria sea inferior a 2.000 vehículos/día.

En el futuro pliego del Gobierno Vasco sobre reciclados templados con emulsión se prevé las siguientes limitaciones de uso, basadas en la experiencia:

En capas de rodadura hasta un 15 % para tráficos T2B e inferiores. Para capas de intermedias y bases, se permite su utilización hasta un 30 % en tráfico T2B y hasta el 80% para tráficos T3 e inferiores.



ASOCIACION TÉCNICA DE CARRETERAS

C/ Monte Esquinza, 24, 4º dcha, Madrid 28010
Tel. (0034) 91 308 23 18 – Fax (0034) 91 308 23 19

www.atc.piarc.com

