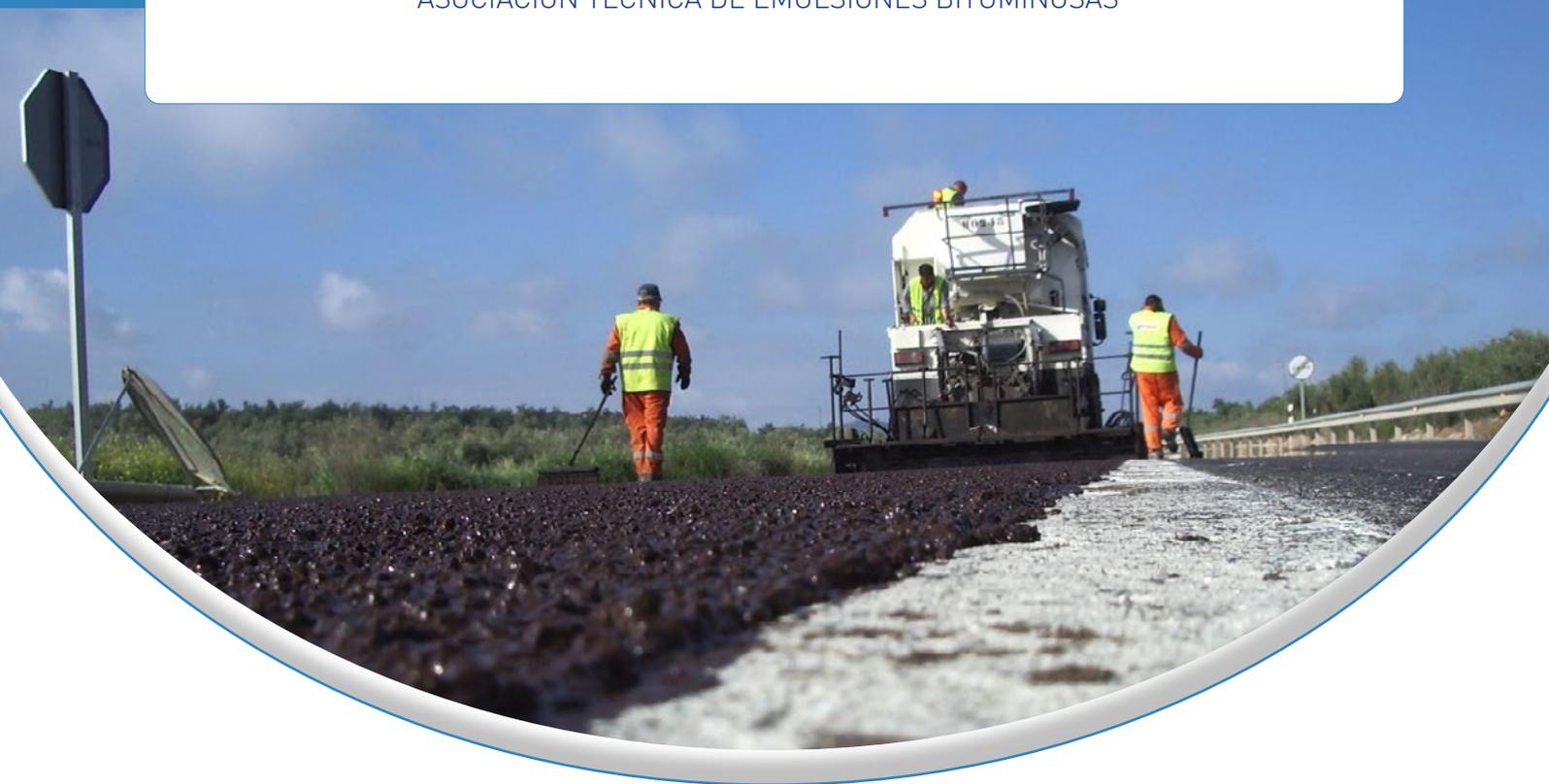


MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS



ATEB

www.ateb.es

1ª Edición octubre de 2022

Diseño y realización: Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas

Reservados todos los derechos

La Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas no autoriza la reproducción parcial ni total de este documento, sin el permiso previo y por escrito de la misma.

AUTORES

Alfonso Pérez. Coordinador del GT-7 ATEB Microaglomerados en frío. (Eurovia Management España)

Sabas Corraliza. (Ecoasfalt)

Cristina Delgado. (Ecoasfalt)

Javier Mancebo

Rafael Moreno

Núria Querol. (Sorigué)

José Luis Pradas. (Repsol)

COMITÉ TÉCNICO

Nuria Uguet. Directora del Comité Técnico y Coordinadora del GT-6 (Nuevos campos de aplicación). (Eurovia Management España)

María del Mar Colas. Presidenta de ATEB y coordinadora del GT-1 (Normativa). (Cepsa Comercial Petróleo)

Daniel Andaluz. Director-Gerente, Coordinador del GT-2 (TRACC), GT-9 (BPEC) y GT-10 (Mezclas bituminosas con emulsión para carreteras BIT)

Marisol Barral. Coordinadora del GT-3 (Mezclas Templadas) (Campezo)

Raúl Terán. Coordinador del GT-4 (Seguridad, salud y medioambiente) (Kao Corporation)

Nuria Querol. Coordinadora del GT-5 y GT-8 (Documentación y Reciclado en frío) (Sorigué)

Alfonso Pérez. Coordinador del GT-7 (Microaglomerados en frío) (Eurovia Management España)

AGRADECIMIENTOS

El grupo de trabajo y el comité técnico agradece enormemente a **Lucia Miranda** y a **José Antonio Soto** por su aportación técnica y colaboración en la readaptación del documento.

1. REVISIÓN DE LA MONOGRAFÍA. ANTECEDENTES

2. INTRODUCCIÓN

2.1 ESCENARIO EN EL QUE SE DESENVUELVE

2.2 TECNOLOGÍA EN LA QUE SE FUNDAMENTA

2.3 ASPECTOS A TENER EN CUENTA AL PROYECTAR Y APLICAR LOS MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN

3.1 EL INICIO DE LAS LECHADAS BITUMINOSAS.
MORTEROS ANIÓNICOS, 1930

3.2 1960, APARECEN LAS EMULSIONES CATÓNICAS.
SE DESARROLLA EL CONTROL DE LA ROTURA EN LAS LECHADAS
BITUMINOSAS

3.3 1970, UN IMPORTANTE PASÓ PARA LA TÉCNICA.
SURGEN LOS MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

3.4 PRIMERA NORMATIVA EN ESPAÑA

3.5 2008, TIEMPOS DE DIFICULTAD PARA LA TÉCNICA.
UNA OPORTUNIDAD PARA LA INNOVACIÓN

3.6 2014. ARMONIZACIÓN EUROPEA DE LOS MICROAGLOMERADOS EN
FRÍO. SE REVISIA EL ARTÍCULO 540 DEL PG-3

3.7 EXPECTATIVAS PARA ESTE TIPO DE TRATAMIENTOS. UNA TÉCNICA
EN CONSTANTE DESARROLLO

4. UTILIDAD Y EMPLEOS

4.1 FILOSOFÍA Y PROPIEDADES

4.2 SOLUCIONES PARA PROTEGER FIRMES Y REGENERAR LOS PAVIMENTOS

4.2.1 Soluciones preventivas

4.2.2 Soluciones curativas

4.3 TRATAMIENTOS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VÍA

4.3.1 En vías preferentes

4.3.2 En vías de secundarias

4.4 APLICACIONES SOBRE DISTINTOS TIPOS DE PAVIMENTOS

4.4.1 Sobre mezclas tipo densas y semidensas

4.4.2 En aglomerados abiertos y drenantes

4.4.3 Empleo en otro tipo de pavimentos

4.4.4 Aplicaciones para economizar en las capas de los firmes

4.5 TRATAMIENTOS ESPECÍFICOS

4.5.1 Utilización en aeropuertos

4.5.2 Sobre tableros de puentes

4.5.3 Aplicaciones en túneles

4.5.4 Empleo en zonas urbanas

4.5.5 Empleo estético: para colorear pavimentos

4.6 TIPOLOGÍA EN FUNCIÓN DEL TRATAMIENTO

4.6.1 Tratamiento monocapa

4.6.2 Tratamientos Bicapa

4.6.3 Otras posibles combinaciones

5. PARTICULARIDADES DE LOS MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

6. DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS

6.1 COMPOSICIÓN: MATERIALES CONSTITUYENTES

- 6.1.1 Áridos
- 6.1.2 Emulsión bituminosa
- 6.1.3 Aditivo regulador de rotura
- 6.1.4 Agua de preenvuelta
- 6.1.5 Polvo mineral de aportación
- 6.1.6 Fibras

7. FORMULACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS

7.1 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

- 7.1.1 Dosificación de los materiales constituyentes
- 7.1.2 Encaje de la granulometría del árido en el huso escogido
- 7.1.3 Determinación del contenido óptimo de ligante
- 7.1.4 Evaluación de la cantidad apropiada de agua para la preenvuelta
- 7.1.5 Valorar las posibilidades de emplear polvo mineral de aportación

7.2 AJUSTE DEL ADITIVO Y CALIDAD DE LA ROTURA

- 7.2.1 Optimización de la cantidad necesaria de aditivo para regular la rotura
- 7.2.2 Forma evaluar la rotura de la lechada
- 7.2.3 Modo de expulsión del agua

7.3 PRUEBAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS EN LABORATORIO

7.3.1 Determinación de la cohesión de la mezcla

7.3.2 Determinación del desgaste. Pérdida por Abrasión

7.4 VALIDACIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

8. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

8.1 PLANIFICACIÓN DE LA OBRA

8.2 LA BASE DE OPERACIONES (EL ACOPIO)

8.2.1 Características y funciones más importantes

8.2.1.1 Su emplazamiento

8.2.1.2 Mantenimiento funcional de la zona de operaciones

8.2.1.3 Preservación del medio ambiente del entorno

8.3 LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

8.3.1 Externos

8.3.2 Internos en la obra

8.4 EQUIPOS DE PRODUCCIÓN Y EXTENDIDO

8.4.1 La máquina de fabricación

8.4.2 Cajón repartidor. Extensión de la mezcla

8.4.3 Herramientas auxiliares

8.5 LIMPIEZA Y ADECUACIÓN DEL SOPORTE

8.5.1 Maquinaria y herramientas para preparar la superficie de contacto

8.6 FABRICACIÓN

- 8.6.1 Dosificación de la mezcla
- 8.6.2 Ajuste en obra de la Formula de Trabajo

8.7 APLICACIÓN Y EXTENDIDO

- 8.7.1 Precauciones a tener en cuenta en las operaciones de extendido
- 8.7.2 Compactación de los Microaglomerados en Frío

9. SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN DE LA OBRA Y REGULACIÓN DEL TRÁFICO

9.1 SEÑALIZACIÓN Y BALIZAMIENTO

9.2 REGULACIÓN Y CONTROL DEL TRÁFICO

10. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN OBRA

11. NORMATIVA QUE REGULA LOS MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

11.1 NORMATIVA Y RECOMENDACIONES DE ÁMBITO NACIONAL

- 11.1.1 Red de Carreteras del Estado (RCE)
- 11.1.2 Red de carreteras de CCAA, Diputaciones y Administraciones Locales

11.2 NORMATIVA EUROPEA

11.2.1 Normativa de Mercado CE

12. DEFECTOS EN LAS MEZCLAS Y SUS POSIBLES CAUSAS

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. REVISIÓN DE LA MONOGRAFÍA. ANTECEDENTES.

Desde su origen en el año 2002, **ATEB** entre sus principales objetivos cuenta con una tarea que considera primordial, difundir el conocimiento sobre las diferentes técnicas en las que se emplean emulsiones bituminosas. De ahí que, en su momento, se publicaran una serie de monografías que han ayudado a la transmisión del conocimiento sobre las emulsiones bituminosas y sus aplicaciones. Una de estas monografías lleva el título “Lechadas Bituminosas y Microaglomerados en Frío”.

Tras la publicación de esa primera monografía, se han producido diversas modificaciones especialmente referidas a la normativa que regula estos tratamientos. Se han elaborado y publicado normas de especificaciones de ámbito europeo, que han afectado a los Microaglomerados en Frío como productos de la construcción, así como para los ligantes que en ellos se emplean –emulsiones bituminosas catiónicas- (**UNE-EN 12273 y UNE-EN 13808, respectivamente**).

Consecuentemente con este proceso normativo generado por la Unión Europea, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (en adelante **MITMA**) ha actualizado sus artículos 213 y 216 (que pasan a ser en la actualidad el 214), y ha procedido también a una modificación sustancial del artículo 540 del Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3), mediante la Orden FOM/2523/2014 de 12 de diciembre, publicada en el BOE el 3 de enero de 2015.

A estos cambios normativos, se une un contexto económico y medioambiental en el que las cuestiones relativas a sostenibilidad y eficiencia están adquiriendo en la actualidad un importante protagonismo. Desde la aparición de la primera monografía de ATEB sobre Lechadas Bituminosas y Microaglomerados en Frío, hasta la publicación de esta segunda, se han desarrollado nuevos procedimientos de trabajo, se dispone de maquinaria más moderna y eficiente, emulsiones mejor adaptadas a las nuevas solicitudes, y se ha incrementado notablemente el conocimiento sobre esta técnica de pavimentación.

La adaptación a la Normativa Europea por parte del **MITMA**, ha consistido básicamente en recoger sus exigencias en la revisión del artículo 540 del PG-3, que ha implicado cambios en la nomenclatura de los productos, en las normas de los métodos para los ensayos, y por primera vez también se incorporan prestaciones de uso.

Entre los cambios más importantes, cabe destacar:

La no utilización de emulsiones aniónicas en la red de carreteras del Estado.

El cumplimiento de las exigencias establecidas por el mercado CE, tanto para los áridos como para las emulsiones catiónicas que se empleen en la fabricación de las Lechadas Bituminosas.

Los requisitos exigidos a los materiales constituyentes tras la revisión del artículo 540 del PG-3, son ahora más rigurosos con respecto a la calidad de los áridos y de las emulsiones, con el propósito de prolongar la durabilidad de las superficies de rodadura, mejorando a su vez la seguridad de los pavimentos.

Se reducen también el número de husos, de cuatro existentes en el anterior artículo 540, a tres que contempla ahora tras su revisión. Igualmente se ha procedido al cambio de nomenclatura de este tipo de revestimientos, pasando de llamarse Lechadas Bituminosas en la anterior normativa, a denominarse Microaglomerados en Frío en la actualidad.

Por último, se admite la posibilidad de emplear compactadores neumáticos para acelerar los procesos de curado, y toma de cohesión de los Microaglomerados en Frío.

Conceptualmente se entenderá como Lechada Bituminosa a la mezcla en el momento en que todavía conserva una consistencia semifluida, pasando a ser Microaglomerado en Frío cuando adquiera su consistencia final en la carretera. En lo sucesivo, este documento se referirá al producto resultante como Microaglomerado en frío, si bien sigue estando en vigor la denominación de lechadas bituminosas en determinadas recomendaciones técnicas

Por todos los cambios que en los últimos años se han producido en esta técnica, **ATEB** ha considerado una necesidad actualizar su Monografía sobre Lechadas Bituminosas y Microaglomerados en Frío, a fin de disponer de una herramienta actual de consulta para los profesionales que se dedican a esta técnica, o para quienes muestren interés por las Lechadas Bituminosas y los Microaglomerados en Frío.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. ESCENARIO EN EL QUE SE DESENVUELVE

Para un país moderno, el mantenimiento y conservación de sus infraestructuras es un asunto de la mayor importancia, ya que la calidad de vida de sus habitantes en buena medida depende de ello. Una de las infraestructuras más relevantes con las que cuenta nuestro país es su red viaria, constituyendo su mantenimiento y financiación una prioridad para todas las administraciones públicas. Es precisamente en el ámbito de la conservación de carreteras donde se aplican las Lechadas Bituminosas y los Microaglomerados en Frío.

Con su empleo se cubren dos importantes funciones para la preservación de los pavimentos, impermeabilizar la superficie de los firmes y rehabilitar las capas de rodadura. Ambas competencias combinadas, proporcionan a las carreteras un revestimiento bituminoso impermeable y antideslizante que contribuye a mantener las características prestacionales de los pavimentos, favoreciéndose su seguridad, confort y durabilidad .

Estos revestimientos, poseen también una elevada capacidad de sellado de fisuras y pequeñas oquedades presentes en la superficie de los firmes, además de impermeabilizarlos. Estas competencias son debidas, por un lado, a la riqueza de ligante que contienen estas mezclas, y por otro, al método de aplicación por medio de la lechada. Esta, por poseer una consistencia fluida, permite recubrir con facilidad toda la superficie de la calzada y colmatar por gravedad las hendiduras que presente.

Por las propiedades expuestas estos tratamientos, se pueden mostrar muy eficientes en las estrategias de conservación de las carreteras.

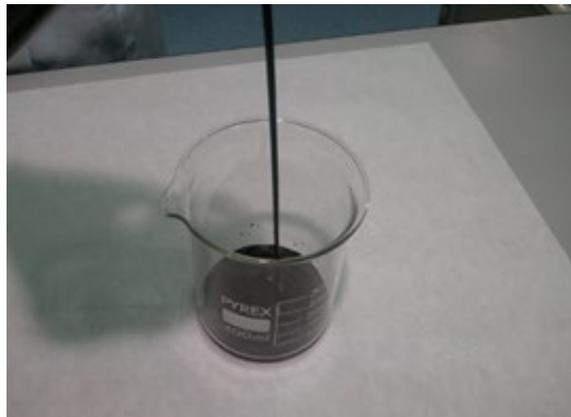
Estas mezclas son consideradas como técnicas ecosostenibles y perfectamente compatibles con los modelos de economía circular por diferentes motivos: limitado consumo energético y de materiales por unidad de superficie, escasas emisiones de gases de efecto invernadero en la fabricación y puesta en obra, así como por su contribución positiva a prolongar la vida útil de los firmes y su reciclabilidad.

2.2. TECNOLOGÍA EN LA QUE SE FUNDAMENTA

La técnica de los Microaglomerados en Frío, se sustenta en la tecnología de las emulsiones bituminosas.

El desarrollo de éstas, además de posibilitar la fabricación y puesta en obra de los Microaglomerados en Frío, ha dado origen a otras técnicas de pavimentación que normalmente se ejecutan a temperatura ambiente. Entre ellas se encuentran los Tratamientos Superficiales mediante riegos con Gravilla, la Grava Emulsión las Mezclas en Frío, o algunos tipos de reciclado y los Riegos Auxiliares.

El progreso experimentado por las emulsiones, posible gracias a la evolución de la ciencia en materia de coloides, ha permitido también que pequeñas partículas de betún puedan dispersarse en un medio acuoso de forma estable (ver **fotografía 1**). A través de este producto, se consigue conglomerar a temperatura ambiente, una composición de áridos con un ligante bituminoso, dando origen entre otras mezclas a los Microaglomerados en Frío.



Fotografía 1: Emulsión bituminosa

Si se desea una información más detallada se puede recurrir a la Monografía sobre Emulsiones Bituminosas.

2.3. ASPECTOS A TENER EN CUENTA AL PROYECTAR Y APLICAR LOS MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

Dentro del conjunto de técnicas que emplean emulsiones bituminosas, unas de las más demandadas en la actualidad son los Microaglomerados en Frío, técnica muy versátil para las labores de conservación superficial y preventiva de las carreteras. Sin embargo, su diseño, formulación, fabricación y puesta

en obra son en general tareas complejas, que requieren de conocimientos técnicos y de habilidades profesionales competentes, para que se puedan formular y aplicar de forma adecuada.

Son muchos los parámetros que se deben tener en cuenta en los procesos de puesta en obra de este tipo de tratamientos, funciones que requieren de un control riguroso, para su buen comportamiento en obra. Para ello es muy importante verificar las características de los materiales constituyentes, así como la dosificación de los mismos y los posibles aditivos, fibras y polímeros que, en cada caso concreto, se empleen para su fabricación.

Por otro lado, los procesos de diseño y formulación deben adaptarse todo lo posible a las condiciones concretas que cada obra demande, escogiendo adecuadamente el tipo de mezclas a aplicar, así como, los componentes más idóneos para su formulación que deben dosificarse de forma adecuada, a fin de que el Microaglomerado en Frío pueda ofrecer resultados satisfactorios.

La fabricación y puesta en obra de estas mezclas requieren también de un personal experimentado que sepa cuándo y cómo debe actuar sobre las dosificaciones fijadas en la fórmula de trabajo en cuanto a % de agua y aditivo, según observe el aspecto de la mezcla en la rampa de salida ya que su producción se realiza in situ y esa característica las hace más vulnerables.

Por ello durante las operaciones de fabricación y extendido de los Microaglomerados en Frío, aspectos como el trazado de la vía, composición y grado de deterioro que padece su pavimento, tráfico que soporta, condiciones medioambientales que le rodean, o las circunstancias meteorológicas que en cada momento se den, junto con la maquinaria disponible, son factores que pueden tener una gran influencia en la producción y aplicación.

Los factores comentados, así como los controles de calidad que se les deben hacer tanto a los materiales constituyentes como a las mezclas producidas in situ, son de vital importancia para un desarrollo con éxito de la obra.

También son importantes, las medidas de seguridad y prevención de los riesgos laborales, las actuaciones para proteger el medioambiente afectado por la obra, así como el seguimiento que se ha de hacer de los resultados que proporcionan los tratamientos durante su vida útil. Estos son algunos de los aspectos que se deben tener controlados, para asegurar que la ejecución de las obras en las que se emplea esta técnica de pavimentación en frío se pueda desarrollar con éxito.

3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN

3.1. EL INICIO DE LAS LECHADAS BITUMINOSAS. MORTEROS ANIÓNICOS(1930)

Esta técnica se inicia en Europa en los años 30 del siglo XX. Sus orígenes se remontan a la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas de granulometría muy fina que permitían, gracias a la utilización de emulsiones súper estables la incorporación de cantidades importantes de polvo mineral. Así se producían morteros bituminosos muy homogéneos y estables, tal y como se puede apreciar en la fotografía 2, presentando una consistencia apropiada para su aplicación sobre los pavimentos.



Fotografía 2: Aplicación manual de una lechada bituminosa

Su empleo entonces se limitaba a la impermeabilización y sellado de superficies de rodadura envejecidas, a través de la aplicación de mezclas en las que el tamaño máximo del árido no superaba los 6 mm, y su dotación máxima estaba próxima a los 6 kg/m². Este tipo de Lechadas Bituminosas se fabricaban con emulsiones aniónicas, que presentaban una gran capacidad de envuelta, y a su vez le proporcionaba a la mezcla una consistencia manejable que favorecía su extendido.

Sin embargo, este tipo de mezcla presentaba un importante inconveniente para su puesta en servicio, ya que su curado y toma de cohesión dependían básicamente de las condiciones climatológicas, y por ello su empleo estaba supeditado a que dichas condiciones fueran favorables para que la lechada pudiera secar, tras lo cual la mezcla adquiriría finalmente sus funciones prestacionales, proceso que se demoraba mucho cuando las circunstancias del clima eran adversas.

3.2. 1960, DESARROLLO DE LAS EMULSIONES CATIÓNICAS

A partir de la década de los 60 del siglo XX, esta técnica experimenta un significativo desarrollo, tras el cual surgen las primeras emulsiones catiónicas, que presentan como principal y fundamental característica el control del proceso de rotura de la emulsión en condiciones impensables con las aniónicas. Gracias a esta importante evolución, los tiempos de curado de las Lechadas Bituminosas se acortan, la toma de cohesión de la mezcla se acelera y con ello el tiempo de apertura al tráfico se reduce sustancialmente (ver fotografía 3).

Por estos motivos, las lechadas catiónicas van paulatinamente sustituyendo a las aniónicas en los tratamientos dedicados a la conservación preventiva de los pavimentos asfálticos, llegando a la situación actual, donde prácticamente ya solo se emplean emulsiones catiónicas para la producción de los Microaglomerados en Frío.



Fotografía 3: Detalle del curado de un microaglomerado en frío

3.3. 1970, UN IMPORTANTE PASO PARA LA TÉCNICA. SURGEN LOS MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

Con el desarrollo de las emulsiones catiónicas, y otros avances que en paralelo se iban produciendo en esta técnica, como la aparición de nuevos aditivos, maquinaria más sofisticada, o profesionales mejor preparados en esta especialidad, comienza a generalizarse en el diseño de las Lechadas Bituminosas el empleo de composiciones granulométricas más gruesas. Consecuentemente con estos avances y especialmente por el desarrollo de las emulsiones modificadas que hicieron posible utilizar áridos de mayor tamaño.

A partir de aquí, aumentan las exigencias de calidad demandada a los materiales constituyentes, así como los comportamientos mecánicos que deben ofrecer este tipo de mezclas. Igualmente, la maquinaria para la producción y puesta en obra, experimenta un notable desarrollo, mejorando los sistemas de dosificación, mezclado y extendido, consiguiendo con ello la aplicación de revestimientos de mayor espesor y resistencia, al tiempo que la regularidad de las mezclas extendidas mejoraba. Todo ello permitía nuevas posibilidades de empleo para esta técnica que, poco a poco, se iba abriendo paso como una alternativa eficiente para regenerar las capas de rodadura de las carreteras.

La aparición de las nuevas mezclas con granulometrías más gruesas, permitió a su vez el desarrollo de nuevos tratamientos para la conservación superficial de los firmes: los tratamientos bicapa, consistentes en aplicar una con tamaños de árido no superiores a los 8 mm, y sobre ésta, otra más gruesa con áridos que estarían comprendidos entre los 8 y 12 mm. De esta manera, combinando ambas mezclas, se conseguía impermeabilizar y sellar el firme, así como proporcionar textura al pavimento, resultando por ello tratamientos muy atractivos e interesantes para la conservación funcional de las carreteras (ver fotografía 4). Esta característica se la proporcionaban, por un lado, la macrotextura que la composición granulométrica de la mezcla propiciaba, y por el otro, la microtextura inherente a la naturaleza de los áridos empleados, que habitualmente para este tipo de aplicaciones suelen ser duros y resistentes al pulimento.



Fotografía 4: Aspecto final de un microaglomerado en frío

Con este tipo de tratamientos se mejoraba sustancialmente el coeficiente de rozamiento entre neumático y pavimento, ofreciendo así a los vehículos, ante condiciones climatológicas adversas o en vías con trazados peligrosos, una mayor resistencia al deslizamiento.

Se convirtieron así, en uno de los tratamientos superficiales que proporcionaban la mayor textura con el menor espesor de capa de todos los conocidos hasta entonces. Sin embargo, y pese a que estas nuevas mezclas incorporaban tamaños de áridos mucho más gruesos que inicialmente, el modo de aplicación seguía siendo en forma de Lechada Bituminosa.

El importante avance que supuso la posibilidad de emplear una amplia gama de áridos, tanto de diferentes naturalezas como de tamaños, contribuyó decisivamente a que esta técnica se hiciera más atractiva, asequible y rentable para los gestores de la conservación de las carreteras. Ahora era más fácil poder encontrar canteras más próximas a las obras, reduciéndose con ello la repercusión que, sobre el coste de las lechadas, suponían las largas distancias de transporte que en muchas ocasiones había desde la cantera a la obra.

Todo lo expuesto hasta ahora hizo que esta técnica comenzase a ser muy atractiva para las administraciones públicas, pues ante la posibilidad de aplicar un revestimiento que conjugase estas dos funciones: impermeabilizar y sellar por un lado y, proporcionar seguridad al usuario de las carreteras, por el otro, comienzan a considerarlas como una herramienta muy eficiente para la conservación del patrimonio viario.

3.4. PRIMERA NORMATIVA EN ESPAÑA

Las administraciones públicas, principalmente el entonces Ministerio de Fomento, comienza un proceso que le llevará a establecer una normativa específica para este tipo de tratamientos. Se confeccionan a partir de aquí husos granulométricos propios, en los que se contempla el empleo combinado de arenas y gravillas, y no solamente la utilización de áridos finos para la fabricación de morteros bituminosos.

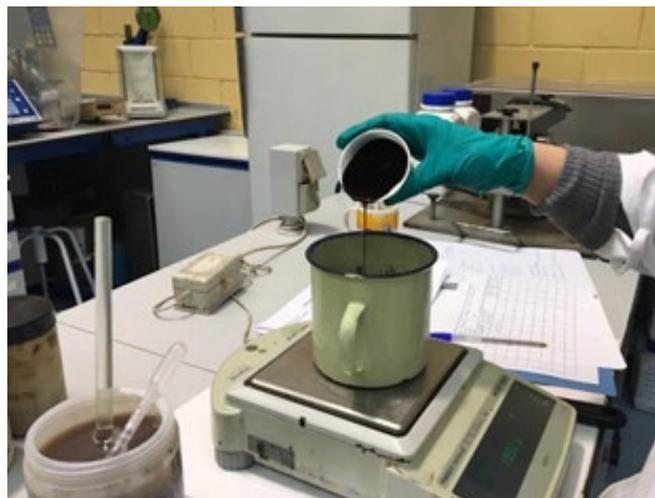
Por otro lado, se definen también las características que los materiales constituyentes de las **Lechadas Bituminosas** deben poseer, así como los criterios mecánicos y funcionales que este tipo de mezclas tienen que cumplir, para que puedan emplearse en la Red de Carreteras dependientes del Estado, como tratamientos de conservación de firmes y regeneración de pavimentos.

La normativa que regulaba estos tratamientos ve la luz por primera vez en el año 1976, y aparece contemplada en el artículo 540 del Pliego General de Prescripciones Técnicas Generales del Ministerio de fomento, en el PG-3, dando origen a las conocidas como Lechadas Bituminosas (LB). Esta contemplaba inicialmente 5 husos, que más tarde en la revisión realizada en el año 1987 se

reducirían a 4, incorporándose a su vez a la normativa, nuevos criterios de aplicación, composición, dotaciones y características que deben tener las Lechadas Bituminosas, en función a la intensidad del tráfico de la vía a la que eran destinadas.

3.5. 2008, TIEMPOS DE DIFICULTAD DE LA TÉCNICA. UNA OPORTUNIDAD PARA LA INNOVACIÓN

El importante desarrollo que han experimentado a lo largo de su historia las Lechadas Bituminosas, no ha estado exento de dificultades. En los primeros años del nuevo siglo, la técnica estuvo atrapada en un estado de incertidumbre, a consecuencia de algunos problemas relacionados con proyectos inadecuados y aplicaciones deficientes, lo que dio lugar a ciertas dudas de su comportamiento en algunas circunstancias.



Fotografía 5: Dosificación y diseño en laboratorio

Se detectaron problemas por un curado lento de las lechadas y cohesiones deficientes que dieron lugar a muchos desprendimientos de gravillas y aperturas al tráfico excesivamente lentas. Lógicamente estos problemas no se habrían producido con una buena fórmula de trabajo (ver **fotografía 5**) y un extendido adecuado; adicionalmente, en ese marco se emplearon algunos betunes asfálticos que, fabricados a partir de crudos diferentes a los habituales, supusieron algunos comportamientos menos satisfactorios en las lechadas y que los aditivos empleados entonces no funcionaron adecuadamente, pero este hecho, si bien se ha producido en el pasado, está solucionado y en la actualidad se puede afirmar que la técnica goza de muy buena salud.

Lo que sí es cierto es que como cualquier técnica que permanece viva, se tuvieron que realizar adaptaciones en los ligantes y aditivos. El empleo de ligantes con mejores propiedades reológicas, ha favorecido aspectos tan importantes como la elevada cohesión inicial de la mezcla y la rapidez en la apertura del tráfico.

Los avances que tras este periodo se produjeron en la técnica, permitieron responder adecuadamente a las solicitudes del tráfico más exigente, siempre que las condiciones de aplicación fueran las adecuadas.

3.6 2014, ARMONIZACIÓN EUROPEA DE LOS MICROAGLOMERADOS EN FRÍO. SE REVISAR EL ARTÍCULO 540 DEL PG-3

En esta nueva revisión se produce un cambio trascendental, ya que hasta entonces las modificaciones a la norma consistían fundamentalmente en pequeñas variaciones, principalmente relacionadas con las características que debían poseer los materiales constituyentes. Sin embargo, en la última revisión que se hace sobre la norma, se acomete en ella un cambio sustancial ya que se modifica tanto su nomenclatura como sus husos granulométricos, procediéndose a una adaptación de la legislación española a la normativa europea. Esta adecuación consiste en esencia, en la obligatoriedad que los Microaglomerados en Frío tienen para cumplir los requisitos del mercado CE.

Se cambian la nomenclatura y los husos de las Lechadas Bituminosas, dando origen a los actuales Microaglomerados en Frío denominados **MICROF**. Éstos ahora cuentan sólo con 3 husos granulométricos, MICROF 5, 8 y 11 donde el tamaño máximo del árido expresado en mm, se relaciona con el número que aparece en su denominación, así la MICROF - 5 se correspondería con la granulometría más fina, mientras que la 8 quedaría como huso intermedio y la 11 sería el más grueso.

Así, en España se ha actualizado el artículo 540 del PG-3 que regula las propiedades que deben poseer este tipo de mezclas, incorporando mayores exigencias a los requisitos técnicos de los materiales constituyentes, en especial, a las características mecánicas de los áridos. Igualmente se demandan mayores prestaciones funcionales, al comportamiento que deben ofrecer estos tratamientos superficiales, adaptando sus características a las condiciones requeridas por la reglamentación europea en materia de mercado CE para los Microaglomerados en Frío, norma UNE- EN 12273 que incorporan, para este tipo de mezclas, un nuevo concepto: certificar el comportamiento funcional que muestran los revestimientos producidos mediante esta técnica de pavimentación en frío (ver **fotografía 6**).



*Fotografía 6: Estado final
microaglomerado en frío en Autovía*

Esta nueva prescripción es de obligado cumplimiento para las carreteras dependientes del MITMA, sin embargo, la reglamentación concerniente a las Lechadas Bituminosas aún mantiene su vigencia en vías administradas por las Comunidades Autónomas, Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells, Municipios o clientes privados, coexistiendo por tanto en el ámbito nacional ambas normativas.

Posteriormente, se redactan por asociaciones técnicas una serie de recomendaciones para la elaboración de pliegos como la que desde la ATC se hace para el empleo de Lechadas Bituminosas en carreteras de baja intensidad de tráfico (BIT).

3.7. EXPECTATIVAS PARA ESTE TIPO DE TRATAMIENTOS. UNA TÉCNICA EN CONSTANTE DESARROLLO

La tendencia actual, indica un incremento paulatino de las aplicaciones con Microaglomerados en Frío, destinadas a revestimientos para carreteras que se emplean en todo tipo de vías, y son solicitadas por todas las administraciones. Previsiblemente en las próximas décadas, esta técnica tendrá una mayor progresión que la experimentada hasta ahora, debido principalmente a tres factores. El primero de ellos, por su comportamiento eco-sostenible, el segundo por su eficiencia protegiendo pavimentos asfálticos, lo que contribuye a una mayor durabilidad, y el tercero por su capacidad para incrementar la seguridad vial de las capas de rodadura. Por estas razones, cabe suponer que a esta técnica de pavimentación le queda por delante un futuro muy prometedor.

Adicionalmente, la incorporación de fibras de diversa naturaleza a los Microaglomerados en Frío, ha contribuido a reforzar la cohesión y tenacidad de los revestimientos. Los filamentos de estas se entrelazan constituyendo un tejido interno dentro de la mezcla que mejora la resistencia del Microaglomerado en Frío, permitiendo además incrementar los contenidos de ligante, debido a que las fibras aumentan la superficie específica del esqueleto mineral, permitiendo por ello cantidades

de betún más elevadas. Así las mezclas se hacen más impermeables, flexibles, elásticas y duraderas, retardándose los procesos de propagación de las fisuras y de esta forma se consigue alargar la vida útil del paquete de firme.

Otra opción que ofrece esta técnica es la posibilidad de emplear áridos artificiales como la bauxita calcinada, escorias procedentes de subproductos de acería o materiales reciclados provenientes de derribos o de residuos urbanos, componentes que en general ofrecen buenas características mecánicas presentando una elevada resistencia a la fragmentación o pulimento. Su utilización puede emplearse en tratamientos específicos como curvas, pendientes acusadas etc. en los que se necesite aumentar la adherencia entre los neumáticos de los vehículos y el pavimento.

En paralelo a los nuevos desarrollos en el diseño y la formulación de estas mezclas, han evolucionado también los sistemas para su producción y extendido, al integrarse a este proceso maquinaria cada vez más sofisticada y precisa. La incorporación de sistemas informáticos y digitalización de los procesos de fabricación y aplicación de las lechadas, está permitiendo que la puesta en obra se realice cada vez con mayor rigor y eficiencia.

4. UTILIDAD Y EMPLEOS

Al tratarse de una técnica muy versátil, sus funciones pueden ser múltiples y sus aplicaciones muy variadas, pudiéndose emplear tanto en tratamientos de tipo curativo o paliativo, como en actuaciones de carácter preventivo.

Aunque en el PG-3, solo se haga alusión a las características de mejora de la textura superficial y resistencia al deslizamiento que presentan los Microaglomerados en Frío, son también conocidas otras propiedades que tienen este tipo de mezclas, como la capacidad de protección que les ofrecen a los firmes mediante el sellado de fisuras y la impermeabilización del pavimento.

4.1. FILOSOFÍA Y CARACTERÍSTICAS

Al conjunto de esta técnica, la normativa española la define actualmente como: “aquellas mezclas bituminosas fabricadas a temperatura ambiente con emulsión bituminosa, áridos, agua y, eventualmente, polvo mineral de aportación y aditivos, con consistencia adecuada para su puesta en obra inmediata y que se emplea en tratamientos superficiales de mejora de las características superficiales (textura superficial y resistencia al deslizamiento) en aplicaciones de muy pequeño espesor, habitualmente no superior a un centímetro y medio (1,5 cm), en una o dos capas.”

Esta técnica de pavimentación, posee elementos característicos que la distinguen claramente de otros procedimientos de asfaltado, ya que su puesta en obra es exclusiva de esta técnica. Los Microaglomerados en Frío son las únicas mezclas que se aplican a través de una lechada bituminosa fabricada y extendida a temperatura ambiente.

Otra de las características singulares que presentan los Microaglomerados en frío, es el proceso de rotura que se produce en la emulsión cuando se mezcla con los áridos, pudiéndose ajustar “in situ” gracias a la adición de aditivos que regulan este proceso. En general, factores como la temperatura ambiente, aireación, humedad, estado del soporte e incluso pequeñas variaciones en la composición de los áridos, pueden requerir que el operador deba corregir sobre la marcha las dosificaciones.

Los **Microaglomerados en Frío**, no aportan al firme mejoras estructurales, es decir, que no tienen capacidad para regenerar la capacidad portante de las carreteras, pero sí pueden retardar su degradación. En calzadas en las que las mezclas asfálticas estén envejecidas, los Microaglomerados

en Frío pueden retrasar la evolución de los deterioros o minimizar su magnitud, restituyendo a su vez algunas de las capacidades funcionales que presentan los pavimentos como el coeficiente de rozamiento transversal (CRT).

Los Microaglomerados en Frío pueden tener otro tipo de aplicaciones, no sólo de gran utilidad para las estrategias de conservación de las carreteras, sino también para otro tipo de vías como las aeroportuarias y otras aplicaciones de las que se dará cuenta en esta monografía.

4.2. SOLUCIONES PARA CONSERVAR FIRMES Y REGENERAR PAVIMENTOS

4.2.1. Soluciones preventivas

Mediante estas actuaciones se pretende en lo posible, proteger los firmes de algunos de los agentes externos que pueden deteriorarlos, principalmente de las condiciones climáticas a las que están expuestos. A través de los revestimientos constituidos por Microaglomerados en Frío, se pueden minimizar estos efectos alargando su vida útil. Por tanto, es una buena medida emplearlos para mejorar la eficiencia de los modelos de conservación y esto debería ser tenido en cuenta en los proyectos. Esta aplicación de efecto preventivo permitiría en el medio y largo plazo, que los trabajos de conservación resulten más económicos.

Así mismo proporcionan protección a todo el paquete del firme, incluidas las capas granulares, ya que dificulta, por impermeabilización y sellado de la superficie (**fotografía 7**), que el agua acceda hasta ellas, evitando que sus efectos deterioren la cohesión y resistencia de la base, que tiene consecuencias muy negativas para la capacidad portante del firme.



Fotografía 7: Detalle del microaglomerado en frío.

4.2.2. Soluciones curativas.

Una de sus posibles aplicaciones va enfocada a actuaciones curativas, pues se aplica sobre el pavimento de las calzadas con la intención de regenerar algunas de las características funcionales que han perdido. Elementos como la seguridad vial y la impermeabilidad de la carretera, se pueden mejorar mediante estas

aplicaciones, que tienen la capacidad de sellar y colmatar fisuras, pequeñas grietas u oquedades que se encuentren sobre el pavimento, mejorando también su textura y con ello la seguridad de la vía.

Los Microaglomerados en Frío son las mezclas más demandadas para dar respuesta a estas necesidades pues tienen la capacidad de corregir algunos de los deterioros que se producen en las superficies de rodadura, como la fisuración, el descarnamiento, o la pérdida de textura. En este campo de conservación curativa de los pavimentos, son una solución adecuada.

Otro tipo de deterioro que presentan las capas de rodadura, está relacionado con el pulimento de sus áridos, provocando en el pavimento una pérdida de microtextura, que supone una carencia importante en las prestaciones de seguridad que deben ofrecer las calzadas, ya que en esta situación se reduce sustancialmente el coeficiente de rozamiento entre los neumáticos y la superficie de contacto, favoreciendo las posibilidades de deslizamiento de los vehículos.

Importante también, la mejora del aspecto estético que proporcionan a las carreteras, uniformando su color y textura, y favoreciendo la visibilidad de las señales horizontales pintadas sobre el pavimento.

4.3. TRATAMIENTOS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VÍA.

Se han expuesto los principales tratamientos que se realizan con Microaglomerados en Frío, y las funciones prestacionales que se pueden satisfacerse con su empleo. A continuación, nos referiremos a las aplicaciones más demandadas para cada tipo de vía.

En principio, por ser una técnica muy versátil se puede aplicar en cualquier tipo de carretera, bien como tratamiento preventivo o curativo, como ya se ha comentado.

Indicaremos a continuación algunas de las aplicaciones más comunes que se realizan con Microaglomerados en Frío según el tipo de vía.

4.3.1. En vías preferentes.

Entre estas vías preferentes destacan las autopistas, autovías, y carreteras de la red estatal, (ver **fotografía 8**), donde se emplean principalmente para:

Incrementar el coeficiente de rozamiento, cuando el CRT se ha deteriorado y la capa de rodadura se torna deslizante.

Consolidar superficialmente la capa de rodadura, cuando en éstas se produzcan desprendimientos de árido

Para **mejorar el CRT** de las capas porosas deterioradas,



Fotografía 8: Detalle del microaglomerado en frío.

4.3.2. En vías secundarias

En las vías secundarias, provinciales o comarcales, los Microaglomerados en Frío también pueden emplearse para los mismos fines que en los casos descritos para las vías preferentes, así como para consolidar y rejuvenecer pavimentos que se encuentren en una situación de cierta fatiga y deterioro.

Las carreteras de este segmento, que son en su conjunto las vías que más tráfico soportan, presentan características muy heterogéneas en composición y otro tipo de condiciones, como el trazado, o el entorno en el que se encuentran. Por ello las características del tratamiento se deben adaptar a las condiciones de cada vía en particular, a fin de dotar a sus pavimentos de las prestaciones funcionales adecuadas en relación al tipo de carretera de que se trate.

Las que se encuentran en zonas de montaña, generalmente presentan un trazado muy sinuoso con pendientes acusadas, por lo que requerirán superficies de rodadura antideslizantes, para que



Fotografía 9: Protección del firme mediante microagglomerado en frío.

los neumáticos de los vehículos se adhieran bien al pavimento y no se produzcan salidas de la carretera. Para ello, los **Microaglomerados en Frío** son una buena alternativa, pues son revestimientos rugosos que mejoran la seguridad vial.

En carreteras muy expuestas a fuertes radiaciones solares, proteger sus firmes con un manto bituminoso como el que proporciona los Microaglomerados en Frío, como podemos ver en la **fotografía 9**, retardarían su envejecimiento y mantendrían por más tiempo en un buen estado de uso las condiciones de servicio del pavimento.

Por otro lado, para aquellas que se encuentren en zonas húmedas o lluviosas, precisaran de superficies lo más impermeables posible, para que el agua no penetre hacia las capas granulares, evitando así posibles deterioros estructurales en el firme.

4.4. APLICACIONES SOBRE DISTINTOS TIPOS DE PAVIMENTOS

La composición de los pavimentos en ocasiones requiere de tratamientos específicos, adaptados al tipo de deterioro que sufren, que suele estar relacionadas con su estructura y naturaleza.

4.4.1. Sobre mezclas densas o semidensas

Los pavimentos contruidos con mezclas del **tipo AC (S o D)**, suelen precisar principalmente de tratamientos para sellar fisuras y algunas pequeñas grietas.

Otra de las aplicaciones más comunes, consiste en restituir la rugosidad de los pavimentos cuando estos, por diferentes causas, por pulimento de los áridos, pérdida de textura u otras causas se convierten en zonas de la carretera deslizantes y peligrosas. En estos casos, los tratamientos se suelen realizar habitualmente en dos capas, una de granulometría fina abajo y otra más gruesa sobre ésta como superficie de rodadura (ver **fotografía 10**).



Fotografía 10: Extensión de microaglomerado en frío.

El motivo principal por el que se actúa de esta manera, tiene que ver con la dificultad para adherir sobre un soporte deslizante un microaglomerado grueso, ya que al encontrarse satinada la superficie, éste, se deslizaría sobre el soporte arrastrando la mezcla, sin dejar sobre el pavimento la dotación requerida.

Con este tratamiento en dos capas, se consigue sujetar el conjunto del revestimiento a la superficie de la calzada, a través principalmente de la lechada fina, que es la primera que se aplica y que encuentra menos dificultades para fijarse al soporte, debido principalmente a su consistencia fluida, con la que se facilita su adherencia al pavimento. Esta primera aplicación le proporcionará una superficie rugosa al segundo tratamiento, sobre la que resultará fácil fijar adecuadamente la dotación del revestimiento destinado a superficie de rodadura.

En este tipo de pavimentos, en muchas ocasiones, se han sellado las grietas que afloran a la superficie, y en muchos casos posteriormente se ha aplicado un Microaglomerados en Frío en toda la traza. En estos casos los tratamientos bicapa se muestran también muy eficientes, pues con ellos se reducen mucho las posibilidades de reflejo en superficie del sellado de las grietas. También se impide que haya pérdida de textura y disminuya el CRT en las zonas tratadas.

4.4.2. Sobre mezclas abiertas y drenantes.

En los pavimentos fabricados con mezclas abiertas y drenantes, este tipo de aplicaciones con Microaglomerados en Frío se utilizan principalmente para consolidar las superficies de rodadura, cuando éstas, por pérdida de áridos, se descarnan dando origen a la aparición de oquedades y superficies irregulares. Estos deterioros suelen estar motivados generalmente por el envejecimiento de la capa asfáltica, o por problemas surgidos durante su construcción. En estos casos se puede regenerar el pavimento mediante la utilización de dos capas de Microaglomerado en Frío, retardando el proceso de degradación de la calzada y mejorando sus prestaciones de seguridad vial y confort.

En el caso de las mezclas drenantes y algunas mezclas abiertas en frío, con el paso del tiempo sus huecos se suelen colmar provocando situaciones en las que el pavimento se torna deslizante y peligroso en época de lluvia. En muchos de estos casos, ante la dificultad de restituir su porosidad se puede recurrir al empleo de Microaglomerados en Frío, que le proporcionaran al pavimento una superficie rugosa y segura, como podemos apreciar en la **fotografía 11**.



Fotografía 11: Detalle macrotextura de un microaglomerado en frío.

4.4.3. Empleo sobre otros tipos de pavimentos.

En otros tipos de firmes como los hidráulicos, constituidos por hormigón o suelos cemento, también para los compuestos por grava emulsión, capas granulares compactadas, o en las mezclas recicladas in situ con emulsión, los revestimientos a base de o Microaglomerados en Frío presentan también características beneficiosas para este tipo de pavimentos. Así su formulación, fabricación o extendido pueden requerir algunas variaciones en función del tipo de pavimento que se vaya a tratar, diferencias que se justifican en la necesidad de ajustar las propiedades de la mezcla a las condiciones objetivas de cada soporte.

Con ello la aplicación del revestimiento tendrá más posibilidades de ofrecer buenos resultados.

Los tratamientos sobre pavimentos de hormigón, se suelen hacer también en dos aplicaciones. La primera se realiza con un microaglomerado en frío de granulometría fina, rico en ligante y de consistencia fluida, para que pueda impregnar e impermeabilizar bien la superficie de la calzada.

Hay que tener en cuenta que los pavimentos de hormigón son higroscópicos, y por ello la primera aplicación se debe extender rica en fluidos, y con un tiempo de rotura de la emulsión más largo de lo habitual, para que antes de que se produzca esta, la lechada se adhiera íntimamente al soporte y el mástico bituminoso que contiene pueda penetrar fácilmente por las fisuras del pavimento.

Por otro lado, esta primera aplicación también servirá, como en el caso de los pavimentos satinados, para fijar firmemente al soporte la nueva superficie de rodadura. En algunos casos, se puede sustituir el microaglomerado en frío fino por un riego de emulsión adaptada a dicho fin.

La aplicación de la segunda capa, que actuará como superficie de rodadura, no conlleva diferencias sustanciales con otros tratamientos de la misma índole.

En el caso de aplicaciones sobre bases granulares y reciclados in situ con emulsión, también se aplican los tratamientos bicapa; se recomienda una primera capa de microaglomerado fino para que impermeabilice correctamente la capa existente y una segunda capa, de granulometría más gruesa que de textura al firme.

4.4.4. Aplicaciones para economizar en las capas de rodadura de los firmes

En determinadas ocasiones, los Microaglomerados en Frío pueden contribuir también a abaratar el precio de las capas de rodadura de nueva construcción, fabricadas con mezclas en caliente. Pueden posibilitar que estas mezclas se fabriquen con áridos de menor coste, como los de naturaleza caliza, recubriéndolas posteriormente con un Microaglomerado en Frío, fabricado con áridos duros y elevada macrotextura. Este revestimiento le proporcionará a la superficie de la carretera altos valores de CRT, solución que puede utilizarse incluso en categoría de tráfico T0.

4.5. APLICACIONES ESPECÍFICAS

Los microaglomerados en frío se pueden aplicar también en pistas aeroportuarias, en calzadas de puentes y túneles, en caminos y senderos compuestos por zahorra compactada, o en calles y travesías urbanas, entre otros escenarios posibles.

En función del tipo de soporte sobre el que se realice el tratamiento, las mezclas se pueden destinar a la protección de los firmes y a la regeneración superficial de sus pavimentos. No obstante, en

determinadas ocasiones, se aplican para obtener ventajas adicionales, como evitar procesos de fresado o reducir así el volumen y peso de las capas de rodadura allí donde las circunstancias de la vía lo precisen.

4.5.1. Utilización en aeropuertos

En las infraestructuras aeroportuarias se utilizan principalmente para mejorar el coeficiente de rozamiento de las pistas, incrementado la seguridad de los despegues y aterrizajes de las aeronaves. Esta técnica de pavimentación en frío sobre las pistas de los aeropuertos, conlleva procesos de preparación del pavimento muy meticulosos y exhaustivos, pues hay que garantizar que la adherencia del revestimiento al soporte sea absoluta. Habitualmente los trabajos consisten en eliminar del pavimento el caucho que, en las zonas en las que se produce el impacto de los neumáticos al aterrizar, se encuentra fuertemente adherido al pavimento, empleando para ello si fuera necesario, procesos de micro fresado, granallado o hidrodesebaste, o cualquier otro procedimiento que garanticen la adecuada fijación del Microaglomerado en Frío al soporte.

Otro aspecto importante que debe tenerse en cuenta, en las aplicaciones que se realizan con Microaglomerados en Frío sobre las pistas de los aeropuertos, es garantizar que no se produzca desprendimiento alguno de áridos tras su puesta en servicio. El motivo por el que se debe asegurar esta condición es para evitar daños en los aviones, ya que, si se introdujera alguna partícula de árido en las turbinas o en otros dispositivos sensibles de las aeronaves, podrían causarles importantes averías.

Para conseguir estos objetivos se han empleado emulsiones bituminosas modificadas de altas prestaciones que presentan elevada cohesión. Complementariamente a esta medida, suele ser necesario el empleo de compactadores de neumáticos, ya que con ellos se acelera la toma de cohesión y curado de la lechada, y fijan fuertemente los áridos al pavimento. Tras realizar esta operación de apisonado de la mezcla y, una vez alcanzado el curado de estas, se deben barrer y aspirar minuciosamente todas las partículas de árido que hayan quedado sueltas, a fin de garantizar una apertura segura al tráfico.

El tipo de Microaglomerados en Frío más demandados para aeropuertos, suelen ser mezclas finas, del tipo MICROF-4, MICROF-5 y MICROF-6 (véase apartado 6.1.1). En muchas ocasiones se emplean en tratamientos bicapas, principalmente cuando se pretende alcanzar varios propósitos como,

impermeabilizar la pista para mejorar su protección, e incrementar su textura para favorecer la seguridad. Generalmente se emplea un tratamiento compuesto por una MICROF 4 como primera aplicación, y sobre esta, una MICROF 6 o una MICROF-5.

Existe un pliego específico pendiente de publicación para el empleo de este tipo de revestimientos en las zonas aeroportuarias, elaborado en el año 2020 que contiene recomendaciones actualizadas de uso, fabricación y extendido de este tipo de revestimientos bituminosos (ver **fotografía 12**).



Foto 12: Extensión de microaglomerado en frío en pista de aeropuerto.

4.5.2. Sobre tableros de puentes

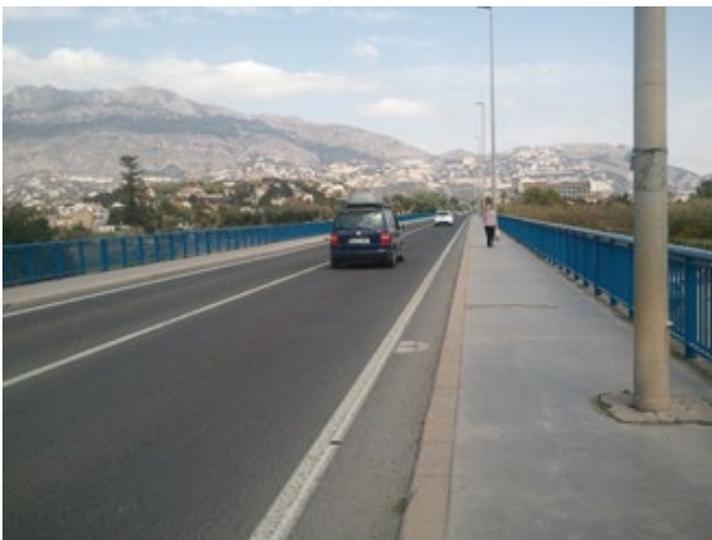


Foto 13: Microaglomerado en frío sobre pavimento de un puente.

En estas estructuras, se emplean principalmente para impermeabilizar el tablero y aportar una buena rugosidad a su pavimento. Estos revestimientos, tienen importantes ventajas con respecto a otros tipos de mezclas, como son proporcionar espesores reducidos.

El incremento de peso que proporciona el Microaglomerado en Frío sobre el tablero del puente es escaso.

Otra ventaja que aportan estos revestimientos sobre este tipo de estructuras, (ver **fotografía 13**), es que, con ellos se puede evitar las

operaciones de fresado de capas deterioradas, evitando costosas y complejas actuaciones para rehabilitar los pavimentos de los puentes.

4.5.3. Aplicaciones en túneles

Aquí su empleo tiene el objetivo principal de incrementar la rugosidad de la capa de rodadura ya que, en las vías afectadas por pasos subterráneos, la seguridad del pavimento debe ser máxima y por ello, son a los tramos de carretera a los que se exige mayores valores de CRT. Estos revestimientos, aparte de incrementar la rugosidad del pavimento aportan otra importante ventaja con respecto a otro tipo de mezclas en túneles, al no disminuir el gálibo del túnel (ver **fotografía 14**).

Utilizando estos revestimientos, se pueden evitar muchas de las operaciones de fresado y reposición de las mezclas deterioradas, que en estas condiciones se tornan costosas, complejas e insalubres para los operarios.



Fotografía 14: Extensión Microaglomerado en frío en túnel.

4.5.4. Empleo en zonas urbanas

Aparte de los beneficios que en general, estos revestimientos aportan a las carreteras, en los viales de las poblaciones también se pueden emplear para mejorar su aspecto estético. Con ellos

fácilmente, es posible unificar y regularizar la apariencia visual de un conjunto de calles, tapando manchas y viejas marcas viales que se encuentran en la calzada. Sobre el nuevo pavimento las señales horizontales destacarán con mayor nitidez, ya que se pintarán sobre una superficie oscura que los Microaglomerados en Frío proporcionan a las calzadas.

También en estos casos, llevan asociada la ventaja apreciable de no necesitar operaciones de fresado para la pavimentación de calles. Mediante estos revestimientos se puede rehabilitar adecuadamente los pavimentos urbanos, como podemos ver en la **fotografía 15**, toda vez que se minimizan las molestias a la ciudadanía y se reducen los tiempos de ejecución.



Fotografía 15: Extensión Microaglomerado en frío en travesía.

4.5.5. Empleo estético: para colorear pavimentos

Partiendo de la base de que los microaglomerados en frío se fabrican con emulsiones bituminosas, las posibilidades de obtener pavimentos coloreados son muy limitadas. Dicho esto, existe la posibilidad de obtener este tipo de pavimentos mediante el empleo de microaglomerados en frío obtenidos a partir de emulsiones de ligantes sintéticos o resinas acrílicas, con las que pueden conseguirse una gran variedad de tonalidades, ya sea por medio de emulsiones coloreadas previamente, o bien añadiendo el pigmento en el proceso de fabricación de la mezcla.

Esta variante de la técnica es muy útil para distinguir unas vías de otras en función de la actividad a la que se destinen. Así, mediante el empleo de emulsiones de ligante sintético o resinas, se pueden

pavimentar vías verdes, mimetizándolas con el entorno, o si se quiere por el contrario destacarlas, para que llamen la atención y resulten atractivas. Igualmente se puede aplicar en senderos para viandantes, carriles bici, calzadas para autobuses, en arcenes, isletas, o aparcamientos entre otras superficies tratables con este tipo de revestimientos coloreados.



*Fotografía 16: Detalle
Microaglomerado en frío en
color.*

Las emulsiones más empleadas para los tratamientos de color, suelen ser las fabricadas con resinas sintéticas, pues son fácilmente pigmentables, debido a que presentan un color claro, y requieren pequeñas cantidades de pigmento para lograr el color deseado (ver **fotografía 16**). Son además sistemas muy estables, que presentan una gran capacidad de envuelta y se puede ajustar sin dificultad la consistencia de la mezcla facilitándose su aplicación.

Un aspecto que requiere especial atención en este tipo de mezclas, es el ajuste adecuado de la consistencia o fluidez de la lechada, regulable a través de la dosificación del agua. Si esta no se acomoda correctamente a las condiciones del pavimento, pueden surgir variaciones de textura en el Microaglomerado, y también en algunas ocasiones, en zonas concretas de la traza en las que pueda haber irregularidades o pendientes acusadas, es posible que en la tonalidad del color se produzcan diferencias con respecto a otras zonas del pavimento.

Sin embargo, también presentan algunos inconvenientes que requieren prestarles atención. Uno de ellos es la criticidad del proceso de curado, pues este, en presencia de altas temperaturas puede causar fisuración en el revestimiento, y con clima frío necesitan mucho tiempo para su puesta en servicio. Ahora bien, una vez que la lechada se ha secado, adquiere prestaciones funcionales excelentes, presentando muy buena cohesión y elevada resistencia a la abrasión.

4.6. TIPOLOGÍA EN FUNCIÓN DEL TRATAMIENTO

Se pueden realizar aplicaciones monocapa o bicapa. La selección de uno u otro tipo dependerá del deterioro que se pretenda corregir con ellos y del objetivo del tratamiento.

4.6.1. Tratamiento monocapa

Para este tipo de tratamientos se podrían utilizar los husos de tipo LB6, LB8, Microf-8 y Microf- (ver **fotografía 17**). No obstante, se debería estudiar la idoneidad de uso de Microaglomerados en Frío tipo MICROF-11 sobre mezclas cerradas por el riesgo de desprendimientos de áridos gruesos y su elevada sonoridad.



Foto 17: Detalle de la macrotextura de un Microaglomerado en frío.

4.6.2 Tratamientos Bicapa

Se pueden realizar diversas combinaciones, como las aplicaciones bicapa en las que habitualmente abajo se aplican granulometrías finas, y arriba otras más gruesas.

La selección de los tratamientos dependerá de las condiciones que presente el pavimento y del objetivo funcional que se persiga obtener.

Estos tratamientos son más recomendables que los constituidos por una sola aplicación, ya que con la primera se podrá sellar el pavimento impermeabilizando la calzada, y con la segunda, se le dotará de una eficiente superficie de rodadura.

También este método favorece la uniformidad de la superficie de rodadura y la homogeneidad del revestimiento, ya que la primera aplicación en alguna medida también sirve para regularizar el

soporte, sobre el que se extenderá la capa de rodadura. Esta última se debe construir con husos gruesos como una MICROF-8 u 11 (ver **fotografía 18**).



Fotografía 18: Detalle de la macrotextura de un Microaglomerado en frío grueso.

4.6.3. Otras posibles combinaciones

Si se quieren corregir pequeñas deformaciones del pavimento, se podría emplear el huso de tamaño más grueso de los Microaglomerados en Frío como el MICROF-11. Estas mezclas son, de entre todas las de esta técnica, las que mayor espesor de capa proporcionan. Sobre esta aplicación posteriormente podría extenderse una MICROF-6 o MICROF-8, para conformar con alguna de estas mezclas la capa de rodadura de la vía.

La combinación de ambos revestimientos daría origen a un tratamiento que mejoraría algunas prestaciones funcionales de la carretera como la seguridad y la durabilidad del firme.

La aplicación de tratamientos bicapa son siempre más eficientes y duraderos, y posiblemente también, más rentables en el medio y largo plazo para las estrategias de conservación de carreteras.

Actualmente están apareciendo otros tipos de aplicaciones de esta técnica, y también nuevos

requerimientos de las mezclas, como la elasticidad, para resistir mejor el remonte de fisuras, tanto de las ascendentes originadas en la base del firme, como de las que se producen en la superficie por el envejecimiento de la mezcla asfáltica. Este tipo de mezclas, para su fabricación utilizan emulsiones modificadas con polímeros.

Igualmente, la incorporación a los Microaglomerados en Frío de determinados tipos de fibras mejora algunas de las características como la flexibilidad y tenacidad, acrecentándose también la durabilidad de los tratamientos que se realizan con estos componentes ya que suelen requerir mayores contenidos de ligante. Además, el empleo de fibras en estos tratamientos facilita el uso de granulometrías discontinuas.

5. PARTICULARIDADES DE LOS MICROAGLOMERADOS EN FRÍO



Fotografía 19: Extensión de Microaglomerado en frío.

Al tratarse de mezclas que permiten ajustar su formulación a determinadas necesidades de funcionalidad y comportamiento, los Microaglomerados en Frío pueden adaptarse a las condiciones particulares que presenten las obras (ver **fotografía 19**). Por ello es muy útil, obtener la máxima información posible, sobre las características y circunstancias concretas de los tramos de carretera sobre los que va a intervenir, para adaptar en la medida de lo posible la formulación de las mezclas a las condiciones objetivas de la obra a las necesidades de reparación del pavimento.

En este sentido, se puede mejorar o incrementar según las necesidades la adhesividad entre el ligante y los áridos, la cohesión y flexibilidad de las mezclas, su resistencia frente a la abrasión. Igualmente pueden proporcionar diferentes niveles de resistencia a la fricción, o distintos valores de textura y rugosidad. Por otro lado, según el tipo de tratamiento, las mezclas pueden aplicarse también con diferentes grados de fluidez y consistencia.

En el caso de las mezclas formuladas con emulsiones catiónicas, la cohesión se alcanza gracias a la polaridad contraria que presenta el material pétreo, frente a los glóbulos de betún contenidos en la emulsión. Así se facilita la adherencia del ligante a los áridos y posibilita que estos se aglomeren y adquiera cohesión la mezcla.

La formulación y diseño de estas mezclas no siguen patrones habituales para la obtención del porcentaje óptimo de ligante. La estabilidad y la deformación son en este caso sustituidas por los valores de cohesión y de pérdida por abrasión, ensayos que, para estas mezclas, son necesarios para determinar la dosificación óptima de ligante en las fórmulas de trabajo.

Durante el proceso de extendido de la mezcla debemos tener en cuenta que el tiempo de rotura es variable, se acelera o retrasa en función de variables como la temperatura o la humedad, influyendo tanto la que haya en el ambiente, como en el soporte, o en los componentes de la lechada. Pueden

influir también otras condiciones, como pequeños cambios en las características de los materiales constituyentes, por ejemplo, en el porcentaje de finos de los áridos, equivalente de arena, o también, como consecuencia del índice de rotura que presenten las emulsiones, entre otros factores. Afortunadamente, las consecuencias de estas pequeñas variaciones, se pueden controlar regulando la cantidad de aditivo y agua.

El operador que fabrica la lechada, puede tener en todo momento bajo su control, tanto el tiempo de fluidez como la consistencia de la mezcla, que debe adecuarlos para posibilitar que esta se pueda extender correctamente. Para ello, debe actuar sobre el agua y el aditivo, ajustándolos a las necesidades de aplicación que la obra vaya demandando, situación que suele complicarse cuando las condiciones atmosféricas son adversas, requiriendo esta circunstancia por parte del maquinista la máxima atención. Con ello se garantizará que la puesta en obra de la lechada, no genere problemas ni con la cohesión inicial de la mezcla ni con su proceso de curado.

La evolución del curado depende en gran medida de las condiciones atmosféricas. Si son frías o húmedas pueden retardar la ruptura y por tanto la evaporación del agua de la lechada, y, por el contrario, si las temperaturas son elevadas y el ambiente seco se acelera el proceso de rotura y secado. Sin embargo, no todo depende de las condiciones atmosféricas, pues una rotura clara y franca de la lechada también facilita el proceso de curado y acelera la toma de cohesión de la mezcla.

Si la rotura que se produce es de calidad, todos los glóbulos de betún que aporta la emulsión se adhieren rápidamente a la superficie de los áridos, y con ello se facilita que el agua salga limpia del interior de la mezcla. Esta condición se produce, cuando no hay un exceso de tensoactivo en la lechada, es decir, que el aditivo que regula la rotura está bien ajustado.

Con ello se favorecen algunas reacciones químicas que permiten que la atracción polar entre el betún y los áridos mejore, pues hacen que aumente la intensidad con la que se produce esta atracción polar.

También actúa sobre alguna propiedad física, como la capacidad para reducir la tensión superficial entre el material pétreo y el ligante, facilitando con ello la adhesión entre ambos elementos.

Estos factores mejoran la calidad de la mezcla acelerando su cohesión, ya que contribuyen a que el agua se libere de la lechada, y de esta manera pueda curar de forma más rápida. Una vez evaporada el agua y seca la mezcla, se obtiene un Microaglomerado en Frío con una elevada cohesión y una fuerte adherencia al soporte.

6. DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS



Fotografía 20: Extensión de Microaglomerado en frío.

Tras comentar algunas de las características más singulares de estas mezclas, a continuación, nos referiremos a su diseño y a los materiales que las constituyen.

Antes del inicio de la obra, es necesario realizar el diseño del tratamiento que se desea ejecutar, a fin de que se pueda ajustar la mezcla todo lo posible a los requerimientos que presente el pavimento (ver **fotografía 20**). El diseño se relaciona con la búsqueda de la solución más adecuada a las necesidades de conservación que presenten las superficies de rodadura, teniendo en cuenta aspectos como la funcionalidad, eficiencia, operatividad o vida útil del tratamiento.

Durante el proceso de diseño se estudiarán al menos las siguientes propiedades:

El estado del firme y tipo de deterioro del pavimento.

Las condiciones del entorno de la obra.

El trazado y geometría de la calzada.

Tipo de tráfico.

Condiciones climatológicas.

Evidentemente, los aspectos mencionados no son una información imprescindible para confeccionar la fórmula de trabajo, pero estos conocimientos pueden contribuir decisivamente a que se pueda adaptar el diseño de la mezcla, a algunas de las características particulares que presentan las obras.

Tras el conocimiento de las características más importantes que cada obra en particular presente, requiere también de un estudio sobre cuál debe ser la aplicación más conveniente, valorando para ello:

Tratamiento más adecuado (monocapa o bicapa).

Tipo de Microaglomerado en Frío más conveniente a aplicar.

Características que debe tener la mezcla para su aplicación.

Comportamiento mecánico y funcional que se les exige tras su puesta en servicio.

Atendiendo a lo recogido en el artículo 540 del PG-3, los Microaglomerados en Frío con respecto a la composición, número de capas, dotación, y categoría de tráfico, deberán cumplir lo establecido en la siguiente tabla:

Tabla 1 – Composición, dotación y campo de aplicación para Microaglomerados en Frío

(Basada en la tabla 540.8 del artículo 540 del PG-3)

CARACTERÍSTICA	TIPO DE MICROAGLOMERADO EN FRÍO		
	MICROF 11	MICROF 8	MICROF 5
DOTACIÓN MEDIA(Kg/m²) (excluida el agua total)	12 - 15	9 - 12	7 - 9
BETÚN RESIDUAL (*) (% en masa de árido)	5,0 - 7,0	6,0 - 8,0	6,5 - 9,0
CAPA EN LA QUE SE APLICA	SUPERIOR O ÚNICA		INFERIOR
CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T0 y T1	T0 a T4	Como capa inferior para cualquier tipo de tráfico. Como capa única en arcenes para T3 y T4

Respecto a las Lechadas Bituminosas recogidas en las recomendaciones para la redacción de PPTP de firmes y pavimentos bituminosos de carreteras BIT, su composición, número de capas, dotación, y categoría de tráfico, deberán cumplir lo establecido en la siguiente tabla:

Tabla 2 – Composición, dotación y campo de aplicación para Lechadas Bituminosas

(Basada en la tabla 7 del pliego de Lechadas Bituminosas de las Recomendaciones para la redacción de PPTP de firmes y pavimentos bituminosos de carreteras BIT)

CARACTERÍSTICA	TIPO DE LECHADA BITUMINOSA		
	LB 8	LB6	LB4
Dotación media (kg/m²). (Excluida el agua total)	10-14	8-11	5-10
Betún residual (*) (% en masa de árido)	6,5-8,5	7-9,5	7,5-11
Capa en la que se aplica Superior o única Inferior	Superior o única	Cualquiera	Inferior
Campo de aplicación por categoría de tráfico pesado	Cualquiera		Inferior en cualquier tráfico, y arcenes

(*) Incluidas las tolerancias especificadas en el epígrafe 9.3. Si son necesarias, se tendrán en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos.

Una vez definido el tratamiento más adecuado, el siguiente paso consiste en seleccionar los materiales que puedan proporcionar al Microaglomerado en Frío las propiedades más idóneas, con las que dotar a los pavimentos de las carreteras de un eficiente revestimiento asfáltico. A continuación, comentaremos algunas de las características más importantes, de los componentes habituales con los que se fabrican estas mezclas.

6.1 COMPOSICIÓN. MATERIALES CONSTITUYENTES

Todos los componentes que participan en la lechada, en mayor o menor medida son responsables del comportamiento del Microaglomerado en Frío, aunque cada componente tenga implicaciones diferenciadas y singulares. Seguidamente se citan los materiales constituyentes que pueden estar presentes en la mezcla y se comentan algunos de los aspectos más importantes a tener en cuenta:

- Áridos
- Emulsión bituminosa
- Agua
- Aditivos reguladores de rotura
- Polvo mineral de aportación
- Fibras
- Otros componentes

Los aspectos principales que se deben estudiar en la fórmula de trabajo, en relación a los materiales indicados, se contemplan en el siguiente orden:

Porcentajes en que han de mezclarse las fracciones de los áridos, para obtener una granulometría que se ajuste al huso granulométrico convenido.

Determinar la cantidad de emulsión, sobre la masa total de áridos, verificando que el contenido de ligante residual en la mezcla es el adecuado.

Estudio del aditivo más conveniente a utilizar y porcentaje del mismo en la lechada.

Evaluación del contenido óptimo de agua que garantice el mezclado íntimo de los componentes, y asegure la fluidez adecuada para poderlos extender.

Estudio de la necesidad de mejorar algunas características de las mezclas, mediante la incorporación de polvo minerales industriales, o algunas variedades de fibras.

La elección y proporciones en las que se deben mezclar los materiales constituyentes se debe realizar de manera que se pueda obtener un producto que cumpla con los criterios de comportamiento y funcionalidad que se le exige a este tipo de revestimientos.

En el caso de los áridos y de la emulsión bituminosa, principales componentes de los Microaglomerados en Frío, así como si hubiera necesidad de emplear polvo mineral de aportación, son productos que deben cumplir con las exigencias recogidas en los pliegos de condiciones, y deben contar también, con el marcado CE según las normas armonizadas UNE-EN 13043, UNE-EN 13808 y UNE-197-1, respectivamente, en los casos en que proceda.

6.1.1 Áridos



Fotografía 21: Acopio de árido

Éstos pueden ser naturales, procedentes del machaqueo de rocas de diferente naturaleza, o artificiales obtenidos industrialmente. Se clasifican en fracciones granulométricas homogéneas y diferenciadas entre sí, en acopios como se muestra en la **fotografía 21**.

Los áridos conforman el esqueleto mineral, siendo los responsables principales del comportamiento mecánico de la mezcla constituyendo a su vez el componente mayoritario.

Para que la mezcla presente buenas características mecánicas, sus áridos deben cumplir las exigencias normativas descritas para estas familias de mezclas bituminosas.

Así en ellas, se establecen una serie de condiciones y valores para las diferentes propiedades de los materiales pétreos, tales como la forma, dureza, o actividad de los finos, entre otras características que se recogen en la **tabla 3**, para Microaglomerados en Frío (del PG-3) y **tabla 4**, para Lechadas Bituminosas (Según propuesta de la ATC).

Tabla 3 - Especificaciones de los áridos para Microaglomerados en Frío

(Basada en la sección 540.2.3. del artículo 540 del PG-3)

PROPIEDAD	NORMA UNE-EN	VALORES						
CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		T0	T1	T2	T31	T32 y arcenes	T4	
ÁRIDOS COMBINADOS ANTES DE AÑADIR EL POLVO MINERAL DE APORTACIÓN								
EQUIVALENTE DE ARENA	933-8	SE _(0/4) > 60						
EQUIVALENTE DE ARENA Y AZUL DE METILENO	933-8	SE _(0/4) > 50						
	933-9	MBF _(0/0,0125) < 10 g/kg						
GRUESOS (D ≥ 2 MM)								
PARTÍCULAS TRITURADAS, %	933-5	100	≥ 90	≥ 70				
PARTÍCULAS TOTALMENTE REDONDEADAS, %		0	≤ 1	≤ 10				
ÍNDICE DE LAJAS (FI), %	933-3	≤ 20	≤ 25					
LOS ÁNGELES (LA), %; PRIMERA CAPA	1097-2	≤ 20	≤ 25					
LA, %; SEGUNDA CAPA O CAPA ÚNICA	1097-2	≤ 15	≤ 20	≤ 25				
COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO (PSV*), %	1097-8	≥ 56	≥ 50**	≥ 44				
FINOS (0,063 MM ≤ D ≤ 2 MM)								
LA, % (D ≥ 2 MM)	1097-2	< 25						
PSV*, % (D ≥ 2 MM)	1097-8	≥ 50**			≥ 44			
POLVO MINERAL (D ≤ 0,063 MM)								
DENSIDAD	1097-3	0,5-0,8 g/cm ³						

*Vías de servicio no agrícolas de autovías o autopistas.

En el apartado 540.9.2.2. Del artículo 540 del PG-3 se establecen los controles de calidad a los que se someterán los áridos durante el desarrollo de la obra.

La familia de los **Microaglomerados en Frío**, dispone de varios husos, que se clasifican por el tamaño nominal de la fracción de áridos más gruesa que compone su granulometría.

La granulometría del árido obtenido por combinación de las distintas fracciones, incluido el polvo mineral, se realizará según la norma **UNE-EN 933-1** y deberá estar comprendida dentro de alguno de los husos fijados en las tablas 5, 6 o 7, que recogen por un lado la normativa del artículo 540, y por otro lado una propuesta de husos realizada por junto con las recomendaciones de la ATC para baja intensidad de tráfico.

Tabla 4 - Recomendaciones de los áridos para Lechadas Bituminosas

(Basada en la sección 2.3 del pliego de Lechadas Bituminosas de las Recomendaciones para la Redacción de Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares de Firmes y Pavimentos Bituminosos de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico)

PROPIEDAD	NORMA UNE-EN	VALORES			
CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		T31	T32	T41	T42, sellado y arcenes
ÁRIDOS COMBINADOS ANTES DE AÑADIR EL POLVO MINERAL DE APORTACIÓN					
EQUIVALENTE DE ARENA	933-8	$SE_{(4)} > 60$		$SE_{(4)} > 55$	
EQUIVALENTE DE ARENA Y AZUL DE METILENO	933-8	$SE_{(4)} > 50$			
	933-9	$MB_{F(0/0,0125)} < 10 \text{ g/kg}$			
GRUESOS (D ≥ 2 MM)					
PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS TORAL Y PARCIALMENTE TRITURADAS, % CAPA SUPERIOR O ÚNICA	933-5	$C_{100/0}$		$C_{90/1}$	
PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS TORAL Y PARCIALMENTE TRITURADAS, % CAPA INFERIOR		$C_{90/1}$			

GRUESOS (D ≥ 2 MM)			
ÍNDICE DE LAJAS (FI), % CAPA SUPERIOR O ÚNICA	933-3	FI ₂₀	FI ₂₅
ÍNDICE DE LAJAS (FI), % CAPA INFERIOR		FI ₂₅	
LOS ÁNGELES (LA), %; CAPA SUPERIOR O ÚNICA	1097-2	LA ₂₅	
LOS ÁNGELES (LA), %; CAPA INFERIOR		LA ₂₅	LA ₃₀
COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO (PSV*), % CAPA SUPERIOR O ÚNICA	1097-8	PSV ₅₀	PSV ₄₄
LIMPIEZA (CONTENIDO DE IMPUREZAS), %	933-1	f _{0.5}	
FINOS (0,063 MM ≤ D ≤ 2 MM)			
LA, % (D ≥ 2 MM) CAPA SUPERIOR O ÚNICA	1097-2	LA ₂₅	
LA, % (D ≥ 2 MM) CAPA INFERIOR		LA ₂₅	LA ₃₀
COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO (PSV*), % CAPA SUPERIOR O ÚNICA	1097-8	PSV ₅₀	PSV ₄₄
POLVO MINERAL (D ≤ 0,063 MM)			
DENSIDAD	1097-3	0,5-0,8 g/cm ³	

Tabla 5 - Husos granulométricos. Cernido acumulado (porcentaje en masa).

Basada en la tabla 540.7 del artículo 540 del PG-3

TIPO	MICROF 11		MICROF 8		MICRO F 5	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
LUZ (UNE-EN 933-2)						
16	100					
11,2	90	100	100			
8	77	92	90	100	100	
5,6	64	83	74	92	90	100
4	55	74	60	84	78	93
2	35	55	40	64	60	80
1	25	41	25	45	44	64
0,5	15	30	15	31	30	48
0,25	9	20	10	22	19	33
0,063	3	7	5	9	8	14

Tabla 6 - Husos granulométricos, propuesta ATEB. Cernido acumulado (porcentaje en masa)

Basada en la norma UNE EN 12273

TIPO	MICROF 6		TIPO	MICROF 4	
LUZ (UNE-EN 933-2)	MÍN.	MÍN.	LUZ (UNE-EN 933-2)	MÍN.	MÁX.
12,5	100		11,2		
8	90	100	8		
6,3	75	90	5,6	100	
4	55	75	4	90	100
2	40	60	2	74	92
1	25	45	1	53	74
0,5	15	30	0,5	35	56
0,25	6	12	0,25	20	40
0,063	5	9	0,063	10	18

Tabla 7 - Husos granulométricos. Cernido acumulado (porcentaje en masa).

Basada en el pliego de Lechadas Bituminosas de las Recomendaciones para la Redacción de Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares de Firmes y Pavimentos Bituminosos de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico

TIPO	LB 8		LB 6		LB 4	
LUZ (UNE-EN 933-2)	MÍN.	MÍN.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
11,2	100					
8	90	100	100			
5,6	75	90	90	100	100	
4	60	84	75	90	90	100
2	40	64	55	75	77	92
1	25	45	40	60	53	74
0,5	15	31	25	45	35	56
0,25	10	22	15	30	20	40
0,063	5	9	6	12	10	18

Se distinguen tres categorías de tamaño para el material pétreo: árido grueso, árido fino y polvo mineral. Ninguna de estas tres fracciones podrá presentar ningún tipo de sustancias extrañas que puedan afectar a la durabilidad del material, así como alterar el funcionamiento del Microaglomerado en Frío.

6.1.1.1 Árido grueso

Se considera árido grueso al material retenido a partir del tamiz 2 mm y los tamaños superiores a este, según se define en la norma UNE-EN 933-2. En los Microaglomerados en Frío el árido grueso es el principal responsable tanto de la textura como de la resistencia al pulimento.

En los Microaglomerados en Frío para capa única o segunda capa y para vías de tráfico pesado T0, este árido no podrá proceder de la trituración de gravas naturales, ni de naturaleza caliza. En las categorías de tráfico desde T1 hasta T31 los áridos gruesos sí podrán proceder de la trituración de gravas naturales, a condición de que el tamaño previo a la trituración sea seis veces superior al tamaño máximo a obtener.

Es preferible que el árido grueso sea de una sola naturaleza. En todo caso, cada árido deberá cumplir individualmente los requisitos establecidos, que se recogen en la tabla 3 del apartado anterior.

El **Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares**, o en su defecto la Dirección de las Obras, podrá fijar criterios específicos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes solubles de los áridos de cualquier tipo, naturales, artificiales o reciclados, que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se empleará la UNE-EN 1744-3.

Para los Microaglomerados en Frío como capas de rodadura sometidas a heladas y frecuentes tratamientos de vialidad invernal, si el valor de la absorción según la norma UNE-EN 1097-6 es superior al 1 %, el valor del ensayo de sulfato de magnesio según la norma UNE-EN 1367-2 deberá ser inferior al 15 %.

6.1.1.2 Árido fino

Se define el árido fino como la fracción cernida por el tamiz 2 mm y es retenida en el tamiz 0,063 mm

como se recoge en la norma UNE-EN 933-2. Sus características tienen una gran importancia en la calidad del mortero bituminoso, y este a su vez, la tiene en la conglomeración de los áridos gruesos y en su anclaje a la mezcla.

El material que se triture para obtener el árido fino deberá cumplir las condiciones exigidas al árido grueso en lo relativo a Coeficiente de Desgaste de Los Ángeles y Coeficiente de Pulimento Acelerado.

En general, el árido fino provendrá de la trituración de piedra de cantera o grava natural, salvo para tráfico T3 y T4, en los que se podrá usar arena natural no triturada, siempre en proporción inferior al 10 % de la masa del árido total y sin superar el porcentaje de árido fino triturado.

Para categorías de tráfico pesado T42 y arcenes, se podrá emplear en parte arena natural no triturada, siempre que su proporción en la mezcla sea inferior al diez por ciento (< 10%) de la masa total del árido combinado y sin que supere, en ningún caso, el porcentaje de árido fino triturado.

Se podrá usar árido fino de naturaleza diferente a la del árido grueso, con el fin de mejorar alguna característica, pero en todo caso procederá de un árido que cumpla con lo establecido en la **tabla 3 y 4** respectivamente. En este caso se empleará una fracción 0/2 del árido fino que no retenga más de un 10 % por el tamiz 2 mm.

6.1.1.3 Polvo mineral

Se define el polvo mineral como la fracción del árido total que es cernida por el tamiz 0,063 mm de la norma UNE-EN 933-2.

Aunque la mayor parte procederá de los áridos empleados, puede complementarse con un producto mineral, cuya misión sea acelerar el proceso de rotura de la emulsión bituminosa y la cohesión de la mezcla.

El polvo mineral del árido como el de aportación industrial, tienen una gran influencia en la calidad del mástico bituminoso, a través del cual se producen los principales fenómenos que generan la cohesión de la mezcla.

La proporción del polvo mineral de aportación estará definida en la fórmula de trabajo, y su densidad aparente (UNE-EN 1097-3, Anejo A), de acuerdo con los valores recogidos en la tabla 3 y 4. Tanto el polvo mineral natural del árido como el de aportación

6.1.2 Emulsión bituminosa



Fotografía 22: Emulsión bituminosa.

Las emulsiones que se emplean para fabricar estas mezclas bituminosas, como se muestra en la **fotografía 22**, pueden ser catiónicas o aniónicas.

En ambos casos deben ser de rotura lenta, si bien las catiónicas que se utilizan en esta técnica son de rotura controlada, pues tienen que disponer de tiempo suficiente para envolver toda la superficie que el árido presente y a su vez, aportar cohesión al Microaglomerado en Frío.

La nomenclatura europea para las emulsiones bituminosas catiónicas de rotura lenta, son la C60B4 MIC, C60B5 MIC, C65B4 MIC, C60BP4 MIC, C60BP5 MIC y C65BP4 MIC para las modificadas, y para las emulsiones aniónicas su nomenclatura nacional es, la A60BL y A60BPL.

Los diferentes tipos de emulsiones a emplear en estos tratamientos se recogen en la **tabla 8**.

Como puede verse en ella, el empleo de emulsiones modificadas está generalizado en las categorías de tráfico pesado más altas, quedando limitado el posible uso de las convencionales tan sólo a los tráficos más ligeros.

Tabla 8 - Tipos de emulsiones bituminosas

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DEL TRÁFICO PESADO	
	T0, T1 Y T2	T3, T4 Y ARCENES
Cálida	C65BP4 MIC C60BP4* MIC	C65BP4 MIC C60BP4* MIC o A60BPL
Media		C65B4 MIC C60B4* MIC o A60BL
Templada		

(*) Cuando la temperatura ambiente sea elevada o cuando por las condiciones específicas de la obra así se determine durante el estado de la fórmula de trabajo, se podrán emplear emulsiones equivalentes de clase 5, conforme a la norma UNE EN 13108 y el artículo 214 del PG-3.

Las emulsiones bituminosas catiónicas que se vayan a emplear y el ligante residual, cumplirán lo establecido en las **tablas 9, 10, 11 y 12**.

**Tabla 9 - Características recomendadas para las emulsiones originales
C60B4 MIC, C60B5 MIC y C65B4 MIC**

REQUISITOS	C60BP4 MIC	C60BP5 MIC	C65B4 MIC
Índice de ruptura (fíller Foshammer)	110-195 (Clase 4)	> 170 (Clase 5)	110-195 (Clase 4)
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	15-70 (Clase 3) ^b	15-70 (Clase 3) ^b	15-70 (Clase 3) ^b
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua) o Ligante Residual después de destilación ^c	58 – 62 (Clase 6) ≥58 (Clase 6)	58 – 62 (Clase 6) ≥58 (Clase 6)	63 – 67 (Clase 7) ≥63 (Clase 7)
Residuo de tamizado – tamiz 0,5 mm	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10 (Clase 3)	≤ 10 (Clase 3)	≤ 10 (Clase 3)

^a Se elige el empleo de una de estas dos emulsiones en función de la reactividad del árido y de las condiciones de la ejecución. Con temperaturas altas y/o áridos muy reactivos se recomienda el empleo de la C60B5 MIC por su mayor estabilidad.

^b Se pueden emplear emulsiones de Clase 4 para el Tiempo de fluencia (40-130 s a 40 °C con orificio de 2 mm), especialmente en los casos en los áridos presenten humedad elevada.

^c El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

En la siguiente tabla, la **tabla 10**, descubriremos las características recomendadas para los ligantes residuales de la C60B4 MIC, C60B5 MIC y C65B4 MIC junto con sus correspondientes anexos desarrollados en el contenido.

Tabla 10 - Características recomendadas para los ligantes residuales de la C60B4 MIC, C60B5 MIC y C65B4 MIC

REQUISITOS	PARA EL LIGANTE RESIDUAL POR DESTILACIÓN	PARA EL LIGANTE RECUPERADO	PARA EL LIGANTE ESTABILIZADO
Penetración a 25 °C	≤ 100	≤ 100 ^a	≤ 100
Punto de reblandecimiento	≥ 43	≥ 43 ^a	≥ 43

^a Se admite ≤ 220 en Penetración, en cuyo caso será ≥ 35 en Punto de reblandecimiento para emulsiones empleadas en zona térmica estival media o templada y tráfico ligero (T4).

Emulsiones catiónicas modificadas C60BP4 MIC, C60BP5 MIC y C65BP4 MIC con las clases que se indican en las siguientes tablas (véase también el anexo C.12.2).

Tabla 11 - Clases prestacionales seleccionadas para las emulsiones originales C60BP4 MIC, C60BP5 MIC y C65BP4 MIC

REQUISITOS	CLASES ^a		
	C60BP4 MIC	C60BP5 MIC	C65BP4 MIC
Índice de ruptura (polvo mineral Forshammer)	110-195 (Clase 4)	> 170 (Clase 5)	110-195 (Clase 4)
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	15-70 (Clase 3) ^b	15-70 (Clase 3) ^b	15-70 (Clase 3) ^b
Adhesividad con el árido de referencia	≥ 90 (Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)	≥ 90 (Clase 3)
Contenido en ligante (por contenido en agua) o Ligante Residual después de destilación ^c	58 – 62 (Clase 6) ≥58 (Clase 6)	58 – 62 (Clase 6) ≥58 (Clase 6)	63 – 67 (Clase 7) ≥63 (Clase 7)
Residuo de tamizado – tamiz 0,5 mm	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)	≤ 0,1 (Clase 2)
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días)	≤ 10 (Clase 3)	≤ 10 (Clase 3)	≤ 10 (Clase 3)

^a Se elige el empleo de una de estas dos emulsiones en función de la reactividad del árido y de las condiciones de la ejecución. Con temperaturas altas y/o áridos muy reactivos se recomienda el empleo de la C60BP5 MIC por su mayor estabilidad.

^b Se pueden emplear emulsiones de Clase 4 para el Tiempo de fluencia (40-130 s), especialmente en los casos en los áridos presenten humedad elevada.

^c El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

Tabla 12 - Clases prestacionales seleccionadas para los ligantes residuales de la C60BP4 MIC, C60BP5 MIC y C65BP4 MIC

REQUISITOS	Clases seleccionadas según tabla 4 (Ligante residual por destilación)	Clases seleccionadas según tabla 4 (ligante recuperado)	Clases seleccionadas según tabla 4 (ligante estabilizado)
Penetración a 25°C	≤ 100 (Clase 3)	≤ 100 (Clase 3) ^a	≤ 100 (Clase 3)
Punto de reblandecimiento	≥ 0,5 (Clase 4)	≥ 50 (Clase 4) ^a	≥ 50 (Clase 4)
Energía de cohesión por el ensayo del péndulo ó Energía de cohesión por fuerza ductilidad	≥ 0,5 (Clase 6)	≥ 0,5 (Clase 6)	≥ 0,5 (Clase 6)
	≥ 0,5 a 5°C (Clase 5)	≥ 0,5 a 5°C (Clase 5)	≥ 0,5 a 5°C (Clase 5)
Recuperación elástica a 25 °C	DV (Clase 1)	DV (Clase 1)	DV (Clase 1)

^a Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más blandos (Penetración Clase 4 ≤ 150 y Punto de Reblandecimiento Clase 6 ≥ 43), para tráfico ligero y/o zona térmica templada.

Las emulsiones bituminosas aniónicas a emplear y su ligante residual, cumplirán lo establecido en las siguientes **tablas 13 y 14**:

Tabla 13 - Especificaciones para las emulsiones A60BL y A60BPL

REQUISITOS	Clases	
	A60BL	A60BPL
Estabilidad por mezcla con cemento	< 2-	< 2
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C	15-70	15-70
Contenido en ligante (por contenido en agua) o Ligante Residual después de destilación a	58-62 ≥ 60	58-62 ≥ 60
Residuo de tamizado – tamiz 0,5 mm	≤ 0,1	≤ 0,1

Tabla 14 - Especificaciones para el ligante residual de las emulsiones A60BL y A60BPL

REQUISITOS	(Ligante residual por destilación)	
	A60BL	A60BPL
Penetración a 25 °C	≤ 100	≤ 100
Punto de reblandecimiento	≥ 50	≥ 50
Penetración a 25°C	-	100
Punto de reblandecimiento	-	≥ 50
Energía de cohesión por el ensayo del péndulo o por fuerza ductilidad a 5°C	-	0,5
Recuperación elástica a 25 °C	-	DV (Clase 1)

6.1.3 Aditivo regulador de rotura



Fotografía 23: Dosificación de aditivo en laboratorio.

Su función principal consiste en regular la velocidad de rotura de la emulsión bituminosa, a partir del momento en el que esta entra en contacto con los áridos, como se puede apreciar en la **fotografía 23**. Algunos aditivos además de regular el tiempo de fluidez de la lechada, permiten también acelerar la toma de cohesión incrementando su consistencia.

Dosificando la cantidad de aditivo en la mezcla, se regula el tiempo de rotura de la emulsión en la lechada, que se debe ajustar de forma que el tiempo de fluidez se alargue lo suficiente, para permitir la mezcla íntima de todos los componentes de la lechada, y la manejabilidad adecuada para poderla extender. Su dosificación varía, en función del tipo de huso granulométrico que se vaya a emplear, de la naturaleza de los áridos escogidos, estabilidad que presente la emulsión, o de las condiciones climáticas.

Estas condiciones, en la medida de lo posible, se deben estudiar en la fórmula de trabajo para definir con precisión, tanto el tipo de aditivo como la dosificación a emplear. Hay que tener en cuenta que la concentración de aditivo se determina en laboratorio, en condiciones de humedad y temperatura controladas, sin embargo, en obra estas condiciones pueden variar enormemente, ocasionando desviaciones en la dosificación del aditivo con respecto a la fórmula de trabajo.

Solo cuando estén ajustados en obra los materiales constituyentes, y tras comprobar que tanto el tiempo de rotura de la lechada como su consistencia, son las apropiadas para poderla aplicar, se podrá comenzar entonces la fabricación y el extendido de la mezcla

Un mal ajuste de este componente, podría originar por defecto, una envuelta deficiente de los áridos con el ligante y un extendido de la mezcla segregado e irregular. Por exceso, las consecuencias también podrían tener efectos graves, como provocar procesos lentos en la toma de cohesión de la lechada, o retardar el tiempo de apertura al tráfico, así como favorecer las exudaciones y deteriorar el aspecto estético del pavimento.

6.1.4 Agua de preenvuelta



Fotografía 24: Dosificación del agua de preenvuelta en laboratorio.

Es el elemento que permite que los áridos se mezclen con la emulsión, y responsable, junto con el aditivo, de la consistencia y manejabilidad de la lechada. Además, prepara la superficie del árido (ver **fotografía 24**), para que la emulsión la pueda mojar, favoreciendo también la adherencia del ligante. El agua junto con la emulsión son los dos componentes que más influyen en la viscosidad de la mezcla, pero es a través de la dosificación de agua como se regula la consistencia adecuada para poderla extender.

La cantidad de agua necesaria en la mezcla, depende principalmente de factores como la humedad del árido y la superficie específica que su polvo mineral presente, el estado del pavimento, su temperatura y la del ambiente, así como otras condiciones de tipo atmosférico.

Si hay un exceso de agua, la mezcla será demasiado fluida, y la emulsión escurrirá por los costados de la extensión. Además,

con una baja viscosidad de la mezcla, que se produce por la abundancia de agua en la lechada, se pueden originar procesos de segregación en el extendido, generando una distribución heterogénea de los áridos y una deficiente conglomeración de los mismos, dando lugar a un Microaglomerado en Frío irregular.

Las mezclas escasas de agua presentan otro tipo de problemas igualmente graves, como una deficiente adhesión del Microaglomerado en Frío al soporte, favoreciéndose con ello el desprendimiento prematuro de sus áridos, consecuencia que se produce por una deficiente impregnación de la superficie a tratar, con los fluidos bituminosos de la lechada, que son los que garantizan la adhesividad entre esta y la calzada. También la falta de agua perjudica al tiempo de fluidez de la lechada, pues puede provocar que la emulsión rompa prematuramente dificultado la envuelta y mezclado de los áridos.

En la fórmula de trabajo la proporción de agua que se establece para la lechada, es el porcentaje aportado a la mezcla conforme a las condiciones existentes en el laboratorio.

Por ello también es importante realizar en obra un ajuste de este componente, tanto para el inicio de la extensión como a lo largo de su recorrido, debiéndose regular el agua en todo momento, para ajustar la consistencia de la lechada a las condiciones objetivas de aplicación.

En el caso de las características del agua que se debe emplear para la fabricación se debe cumplir las prescripciones recogidas en la actual instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

Esta norma establece, que el agua que se utilice para amasar el hormigón, así como la empleada para su curado en obra, no debe contener ninguna sustancia en cantidad suficiente como para poder alterar las propiedades del hormigón.

En general, se podrá utilizar todas las aguas que la experiencia haya sancionado como aceptables en la práctica. Cuando no se posean antecedentes sobre el empleo de determinadas aguas, o en caso de duda, deberán analizarse cumpliendo las siguientes especificaciones:

pH: ≥ 5 (UNE 7234:71)

Sustancias disueltas: 15 gramos por litro (15.000 P.P.M) (UNE 7130:58). Especial atención merece la presencia de sulfatos y cloruros.

6.1.5 Polvo mineral de aportación



Fotografía 25: Dosificación del filler de aportación en el equipo de fabricación y extendido.

Estos materiales de procedencia industrial, se adicionan a la mezcla para mejorar algunas propiedades y procesos, como acelerar la rotura de la emulsión cuando los áridos empleados son poco reactivos, o para elevar la cohesión de la mezcla, en los casos en los que el polvo mineral natural, por sí mismo, no se la puede proporcionar.

En general, con la mayoría de áridos, no es necesario incorporar este tipo de productos, sin embargo en otros producen mejoras muy significativas, pudiéndose emplear como reguladores de rotura en algunas ocasiones específicas, como la ya comentada escasa reactividad de los áridos o también en el caso de emplear emulsiones superestabilizadas.

Generalmente el polvo mineral de aportación que se utiliza es el cemento (ver [fotografía 25](#)), que habitualmente actúa modificando el pH del medio, y/o, por el aumento que se produce con su incorporación, en la superficie específica del material pétreo.

Con ello se favorece una rotura más franca de la emulsión bituminosa, que conlleva la expulsión limpia y rápida del agua, acelerando la toma de cohesión y la apertura al tráfico del Microaglomerado. Además del cemento, se pueden utilizar también otros tipos de materiales con propósitos semejantes como la cal, cenizas volantes, o polvo mineral calizo.

Hay que tener en cuenta, que los incrementos en el porcentaje de polvo mineral, provocan una disminución en el tiempo de fluidez, por lo que en muchas ocasiones puede ser necesario aumentar la cantidad de aditivo.

6.1.6 Fibras

Estos materiales, generalmente sintéticos de diferente composición y tamaño tienen por función favorecer la elasticidad, flexibilidad y tenacidad del Microaglomerado en Frío, para que este pueda

mostrarse más resistente al fenómeno de la fisuración. Con la adición de fibras se incrementa, de forma sustancial, la superficie específica de los materiales sólidos que se encuentran en la lechada, lo que permitirá aumentar el contenido de ligante en la mezcla sin que se produzcan escurrimientos de ligante ni exudaciones tras la puesta en servicio del Microaglomerado en Frío. Incrementando el porcentaje de betún la mezcla puede tener un comportamiento más flexible, elástico y longevo.

Otra mejora que aportan las fibras al Microaglomerado en Frío, es dotar de una malla formada por sus filamentos, que al entrelazarse, constituyen una especie de armadura articulada, que mejora la cohesión de la mezcla y con ello su resistencia a fisuración y durabilidad, tal y como se observa en la **fotografía 26**.

En caso en que se aporte fibra, se debe estudiar con precisión el contenido óptimo de ligante que se debe aportar ya que, como se ha comentado, las fibras incrementan de manera importante la superficie específica de los componentes del Microaglomerado en Frío. En caso contrario, se corre el riesgo de que se produzcan problemas de cohesión.



Fotografía 26: Detalle de la distribución de las fibras en la mezcla.

7. FORMULACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS

7.1 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

La obtención de la fórmula de trabajo, se realiza y verifica en laboratorios especializados, con equipamiento específico como se muestra en la **fotografía 27**. Ello requiere de una metodología y sistemática específica, así como de un personal técnico experimentado en este tipo de mezclas bituminosas.



Fotografía 27: Formulación y diseño en laboratorio.

La información sobre las características de los materiales constituyentes es fundamental, ya que tendrán una influencia decisiva en el comportamiento de los Microaglomerados en Frío. Se deben tener en cuenta los siguientes factores:

Granulometría de las diferentes fracciones de los áridos.

Requisitos exigibles al material pétreo.

Tipo de emulsión y sus características físico – químicas.

Estudio del aditivo más adecuado.

Conveniencia o no de utilizar polvo mineral de aportación.

Valoración de otros productos que puedan mejorar las propiedades.

En el siguiente apartado se describe, cual es la forma habitual de confeccionar las fórmulas de trabajo y como se dosifican en el laboratorio, a fin de obtener con ello unos resultados representativos en la obra.

7.1.1 Dosificación de los materiales constituyentes

Este proceso consiste en determinar las cantidades óptimas, en las que deben participar cada uno de los componentes del Microaglomerado en Frío, teniendo en cuenta las características que presenten los materiales constituyentes.

Esta operación es la más importante en la elaboración de la Fórmula de Trabajo, ya que hay que seleccionar los materiales y ajustar su dosificación para conseguir una buena envuelta de la emulsión con los áridos y aditivos y que las características del microaglomerado en frío cumplan los requisitos establecidos .

Además, hay que garantizar que la adhesividad entre ambos componentes sea la adecuada, para proporcionar a la mezcla una elevada cohesión y una fuerte resistencia a la abrasión.

Todos los ingredientes de la lechada se dosifican sobre la masa de áridos.

A continuación, se exponen, algunos procedimientos para valorar y dosificar los componentes habituales.

7.1.2 Encaje de la granulometría del árido en el huso escogido

Una vez caracterizadas y comprobada la idoneidad de todas las fracciones del árido, el siguiente paso es estudiar una combinación que encaje correctamente en el huso especificado para el proyecto de la obra.

Para ello, lo primero es conocer las granulometrías que presentan los diferentes cortes del árido, con los que realizar las composiciones necesarias, hasta establecer la proporción adecuada de cada uno de ellos.

Hay que tener en cuenta, a la hora de establecer las proporciones de arenas y gravillas, que en la obra no se tiene la posibilidad de pesar, por lo que los porcentajes de cada componente deben ser fácilmente convertibles a número de cazos de la pala cargadora.

7.1.3 Determinación del contenido óptimo de ligante

La cantidad de emulsión bituminosa a aportar será la necesaria para garantizar la cubrición de todo el material y dependerá del ligante residual que aporta la emulsión.

Uno de los procedimientos más empleados para establecer el porcentaje óptimo de ligante de forma teórica, es el método Duriez, con el que es posible calcular la cantidad apropiada en función de la superficie específica que presenten los áridos.

A través de este método, se realiza el cálculo del área superficial que poseen los áridos, basándose en la granulometría y la contribución concreta que cada fracción aporta a dicha superficie específica. Este valor se relaciona a su vez con una constante denominada módulo de riqueza, obteniéndose el porcentaje apropiado de ligante por medio de la ecuación desarrollada por Duriez.

$$\text{Contenido de ligante} = \sqrt[5]{S.E} \times K \times \frac{2,65}{pd}$$

Siendo:

S.E. = Superficie específica método Duriez.

K = Factor.

pd = Densidad de partículas de la curva granulométrica.

Con este método se establece la cantidad de ligante teóricamente adecuada. Sin embargo, el porcentaje definitivo de ligante se establecerá en función de los resultados que se obtengan en el ensayo de resistencia a la Abrasión, ya que a través de este, se determinará finalmente cuál es el porcentaje de ligante que proporciona a la mezcla el mejor comportamiento.

Adicionalmente habrá que tener en cuenta las condiciones climatológicas en las que se ejecutará la técnica, ya que, en épocas frías, el cálculo de ligante que puede resultar insuficiente provocando desprendimiento de material, mientras que, por el contrario, en épocas cálidas podría ser excesivo provocando exudaciones en el Microaglomerado en Frío.

También, las condiciones de dosificación pueden variar dependiendo del tipo de tratamiento a aplicar, o por el estado en el que se encuentre el pavimento. Así pavimentos muy envejecidos, fisurados o descarnados, pueden requerir lechadas con mayor concentración de ligante, mientras que en superficies cerradas, los contenidos deberían ser menores.

7.1.4 Evaluación de la cantidad apropiada de agua para la preenvuelta

Para determinar la cantidad de agua necesaria para la preenvuelta, de forma que se obtenga una mezcla con una manejabilidad adecuada para su extendido, existe un ensayo denominado Consistencia con el Cono a través del cual se evalúa la fluencia (UNE EN 12273-3).

El ensayo se desarrolla añadiendo una cantidad de fluidos determinada (emulsión bituminosa y agua), sobre una proporción fija de materiales sólidos, como puede ser el árido y eventualmente también si se emplearan, polvo mineral de aportación o fibras, y valorar la consistencia de la mezcla a través de su fluencia. Como ya se ha comentado, mediante la formación de un cono, se evalúa el aumento de diámetro que experimenta la lechada, a los 10 s de haber sido extendida la mezcla sobre un papel graduado (ver esquema del equipo en la **figura 1**). A partir de este momento, y para ajustar el contenido de fluidos en función del diámetro obtenido, puede suceder:

- . **que el diámetro sea superior a 20 mm.** En este caso habrá que disminuir el contenido de líquidos, para evitar segregaciones y escurrimientos.

- . **que el diámetro sea inferior a 5 mm.** En este caso habrá que añadir fluidos para evitar que la lechada sea muy viscosa y de difícil extensión.

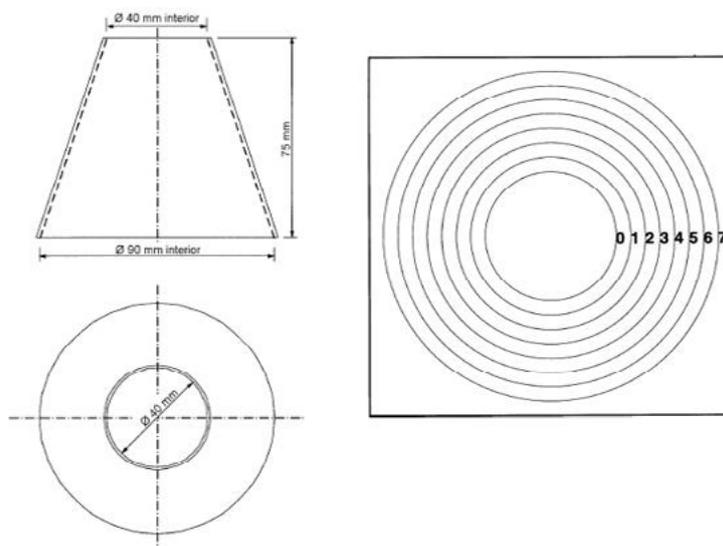


Figura 1: Imágenes y dimensiones del equipo de ensayo.

Sin embargo, este ensayo en el caso de las lechadas fabricadas con emulsiones catiónicas no resulta útil, ya que estas al romper en un corto periodo de tiempo, la capacidad de fluencia que presenta la lechada es limitada y resulta difícil de evaluar.

Este método es más apropiado para las lechadas que se fabrican con emulsiones aniónicas, ya que al no romper químicamente sino por evaporación de agua, presentan mayores posibilidades de fluir.

En el caso de las lechadas fabricadas con emulsiones catiónicas, por las razones expuestas anteriormente, el agua de preenvuelta se determina de forma visual, contemplando el aspecto que presenta la mezcla una vez que se han envuelto todos sus componentes, y observando con detalle la consistencia y manejabilidad que adquiere. Esta valoración la realizan los analistas de laboratorio que estudian las fórmulas de trabajo, basando fundamentalmente su criterio, en la experiencia adquirida en los procesos de dosificación de las mezclas.

7.1.5 Valorar las posibilidades de emplear polvo mineral de aportación

Este producto, generalmente de elaboración industrial, como el cemento, la cal, o polvo calizo seleccionado, se emplea en la formulación de los Microaglomerados en Frío, entre otras aplicaciones posibles para aumentar la reactividad de los áridos incrementando su superficie específica. Se suele recurrir al empleo de este tipo de productos que, por lo general, mejoran la calidad del mástico bituminoso y con ello, también la del Microaglomerado en Frío, cuando los materiales constituyentes empleados aportan escasa o insuficiente cohesión a la mezcla.

Este fenómeno, que puede aparecer con el empleo de áridos poco reactivos como pueden ser los áridos silíceos, puede ser corregido con el empleo de polvo mineral de aportación, evitando que parte de los glóbulos de betún presentes en la emulsión queden libres, sin que sean absorbidos por el material pétreo y sin quedar adheridos a las partículas de sus áridos.

Este fenómeno, de producirse, se puede detectar también en el ensayo de tiempo de fluidez, ya que, si el agua que expulsa la lechada, una vez alcanzada la rotura de la emulsión, es de color marrón, podría indicar que arrastra consigo betún y, muy probablemente, los valores de cohesión de la mezcla sean deficientes.

En estos casos la incorporación de pequeñas cantidades de polvo mineral de aportación, generalmente en proporciones por debajo del 1%, suelen corregir este problema, permitiendo así que el agua expulsada de la lechada salga limpia, síntoma inequívoco de que todo el betún aportado a la mezcla ha quedado adherido al material pétreo.

El polvo mineral de aportación, en circunstancias concretas, se emplea también como elemento ruptor, para acelerar el proceso de coalescencia de la emulsión en la lechada, en mezclas que, por diferentes circunstancias, ya sea por su formulación, características de los materiales constituyentes, o condiciones atmosféricas, hacen que el proceso de rotura se retarde.

En estos supuestos, además de incrementar la reactividad del material pétreo con el polvo mineral de aportación, en muchos casos, y dependiendo del tipo de producto utilizado, cementos, cales, o polvo calizo, se puede producir una variación considerable en el pH de la lechada, cambiando incluso el signo de su polaridad. Con ello se provoca que la emulsión en la mezcla experimente una rotura franca, dando paso a la toma de cohesión y proceso de curado de la lechada.

7.2 AJUSTE DEL ADITIVO Y CALIDAD DE LA ROTURA

Ambos conceptos están relacionados entre sí, ya que para que se produzca una buena rotura, dando origen a una mezcla con elevada cohesión y resistencia, debe de haber un buen ajuste del aditivo.

7.2.1 Optimización de la cantidad necesaria de aditivo para regular la rotura

Este es uno de los procesos más delicados en la formulación, ya que la calidad del Microaglomerado en Frío en gran medida depende de la dosificación que se haga del aditivo. Su ajuste afecta a varios de los procesos más importantes que se producen en las lechadas, como son:

Rotura de la emulsión en la lechada, fenómeno que condiciona el periodo de trabajabilidad de la mezcla.

Toma de cohesión de la mezcla.

Adhesividad árido-ligante.

Tiempo de curado de la mezcla.

Como el ajuste del aditivo con el que se regula la rotura de la emulsión incide en tantos factores en la formulación, se debe estudiar bien su influencia. Evaluar la idoneidad del aditivo escogido, y valorar los efectos de las proporciones utilizadas en el comportamiento de la mezcla, es una de las operaciones que requiere de la mayor atención, pues de ello va a depender la eficiencia de la fórmula de trabajo.

Para ello se dispone de un procedimiento no recogido en la normativa que evalúa el aditivo a emplear, así como la cantidad más apropiada de éste que se debe aportar a la mezcla, para conseguir que las características de la Lechada, así como el comportamiento funcional del Microaglomerado en Frío sean óptimos.

El procedimiento consiste en realizar mezclas en las que se prueban diferentes tipos/dosificaciones de aditivo para seleccionar el óptimo que permita a la emulsión romper en el tiempo deseado y a su vez proporciona al Microaglomerado en Frío una cohesión elevada en un plazo corto de tiempo.

A este procedimiento se le conoce como Tiempo de Fluidez, que consiste básicamente en determinar el tiempo de rotura de la emulsión en la mezcla, desde que comienza la envuelta de los materiales constituyentes hasta que la lechada pierde su condición de masa fluida, dando paso a una consistencia sólida o semisólida. La duración de este proceso se regula por medio de los aditivos, ajustando la fluidez de la lechada al tiempo que la maquinaria empleada en la fabricación necesita para mezclar los materiales constituyentes, envolverlos y finalmente extender la lechada sobre el pavimento.

Este proceso habitualmente suele durar unos 30-60 s, aunque el ajuste del tiempo de fluidez, puede variar según el criterio de los diferentes fabricantes y aplicadores.

Debido a la extraordinaria importancia que tiene que la emulsión rompa inmediatamente después de que se haya extendido la lechada, tanto para que la mezcla pueda adquirir rápidamente una adecuada cohesión, como para que el proceso de curado evolucione sin demora, es conveniente ajustar el aditivo para regular la velocidad de rotura en obra, consiguiendo que esta se produzca en el plazo de tiempo convenido. Un tiempo de rotura bien ajustado, generalmente favorece que la apertura al tráfico se pueda realizar en un corto plazo de tiempo. Esto es posible, debido a que la adhesividad entre el árido y el ligante en estas condiciones favorece la toma de cohesión de la mezcla, mejorando su resistencia a los esfuerzos mecánicos y las condiciones atmosféricas.

Para conseguir un tiempo de fluidez adecuado, además del aditivo, se tantean diferentes porcentajes de agua. Para determinar su proporción óptima, el estudio se realiza sobre una cantidad fija de árido y otros componentes, si los llevará, más el porcentaje correspondiente de emulsión.

La metodología de ensayo consiste, en mezclar en un cazo los materiales constituyentes y, por medio de una espátula, homogeneizar lentamente la lechada, realizando movimientos uniformes hasta que la emulsión bituminosa rompa, y con la mezcla resultante se pueda formar un cono consistente. Al periodo de duración de este proceso se le denomina tiempo de fluidez (ver **fotografías 28 y 29**).



Fotografías 28 y 29.- Mezclado de los materiales y formación del cono.

En los tanteos que se realizan para ajustar el tiempo de fluidez de las mezclas, se pueden encontrar algunas de estas situaciones:

a) Que el tiempo de fluidez sea elevado, por lo que en el siguiente tanteo se debe disminuir la cantidad de aditivo. En ocasiones es posible, que aun reduciendo al máximo su dotación, el sistema se mantenga estable, sin producirse la rotura. En estos casos puede que se estén utilizando materiales poco reactivos, como áridos con una escasa superficie específica. En estas circunstancias, hay que recurrir a productos que mejoren esta característica, como adicionar un polvo mineral de aportación, que incrementará la reactividad del árido o recurrir a emulsiones de rotura algo más rápida.

b) Que el tiempo de fluidez sea corto, no permitiendo mezclar los materiales, o que el tiempo de envuelta sea insuficiente para que se pueda extender la lechada. En este caso, habrá que aumentar la dosificación de aditivo, para hacer el sistema más estable y alargar el tiempo de fluidez.

Con algunos materiales, principalmente con áridos muy reactivos, aunque los porcentajes de aditivo sean muy elevados, no se consigue obtener un tiempo de rotura adecuado, y además, empleando cantidades tan elevadas de tensoactivo, se perjudicará la calidad de la mezcla. En estos casos, lo aconsejable es reformular la emulsión por otra más estable.

7.2.2 Forma de evaluar la rotura de la lechada

Una vez ajustado en el laboratorio el tiempo de fluidez, se observa y describe la forma en la que la mezcla pierde la fluidez y rompe. En este proceso se puede dar diferentes tipos de comportamiento, dependiendo de las características concretas que presenten los materiales constituyentes con los que se elabore la mezcla.

Así se pueden producir roturas lentas, es decir, que la mezcla va perdiendo progresivamente la fluidez hasta que finalmente rompe, o, por el contrario, que este proceso sea rápido, observando una rotura franca, que da paso a una toma de cohesión adecuada en un corto espacio de tiempo.

7.2.3 Modo de expulsión del agua

Tras la rotura, se produce la expulsión del agua de la lechada. Si este proceso se produce rápidamente, la lechada adquirirá una cohesión elevada y el periodo de curado será corto, mientras que, si se demora mucho, por encima de los 10 minutos, podría indicar que el tiempo necesario para abrir el Microaglomerado en Frío al tráfico será largo, ya que la evaporación del agua se demorará mucho, sobre todo si las condiciones atmosféricas son adversas, con bajas temperaturas, elevada humedad, etc.

Otra de las variables que se producen en el proceso de rotura, es el aspecto que presenta el agua expulsada. Si es clara y limpia o por el contrario turbia y sucia. En este último caso, puede deberse al arrastre ligante, aditivo o polvo mineral (ver **fotografía 30**). Si el agua sale limpia suele ser un síntoma de una buena rotura, en la que el aditivo está bien dosificado y el ligante ha quedado completamente adherido al árido.



Fotografía 30. Detalle del agua expulsada

Por el contrario, si el agua aparece sucia es un indicador de que se requiere optimizar la formulación de la lechada.

En estos casos lo más apropiado para corregir este problema, es añadir un polvo mineral de aportación, habitualmente cemento, con el que aumentar la reactividad del árido, y con ello mejorar tanto la calidad de la rotura como la cohesión de la mezcla.

Todos los datos relativos al proceso de rotura, se deben recoger en el informe de la Fórmula de Trabajo.

El procedimiento de determinación del tiempo de fluidez no aplica a las emulsiones bituminosas aniónicas, ya que estas no rompen de forma controlada, manteniendo manejable la mezcla que se fabrica con ellas durante el periodo de tiempo necesario para la evaporación del agua, momento en el que se produce la toma de cohesión de la mezcla.

7.3. PRUEBAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS EN EL LABORATORIO

Una vez dosificados los componentes, se debe testar el funcionamiento de la mezcla obtenida, comprobando que su comportamiento cumple con los parámetros establecidos en la normativa vigente. Si los resultados de los ensayos no se ajustan a las exigencias requeridas para este tipo de productos, se debe entonces proceder a reformular, realizando los cambios necesarios en la composición de la mezcla.

De las pruebas que se realizan para evaluar el comportamiento de la mezcla, está el ensayo de cohesión, relacionado con el tiempo necesario para la apertura al tráfico y el ensayo de resistencia al desgaste, que evaluará la durabilidad de la mezcla.

7.3.1 Determinación de la cohesión de la mezcla

El ensayo de cohesión evalúa cómo va endureciendo la mezcla en el tiempo. El ensayo se realiza a tiempos crecientes hasta obtener un valor que nos indique que dicha mezcla puede someterse a la acción del tráfico sin sufrir daños considerables.

Para determinar la cohesión, se realiza un ensayo mediante un equipo denominado cohesiómetro, ver **fotografía 31**, a través del cual se mide la resistencia que ofrece una probeta de microaglomerado, al esfuerzo que ejerce un par de torsión a diferentes tiempos de curado. Para la realización de este ensayo se aplica el método de ensayo descrito en la norma **UNE EN 12273-4**.

El resultado de la cohesión de la mezcla a diferentes tiempos nos permite obtener una curva de toma

de cohesión y de este modo saber si el valor requerido de 2 N.m se alcanza a un tiempo menor a 30 ó 60 minutos, según las especificaciones que apliquen a ese Microaglomerado en Frío, en función de necesidades específicas que demande, según la categoría de tráfico.



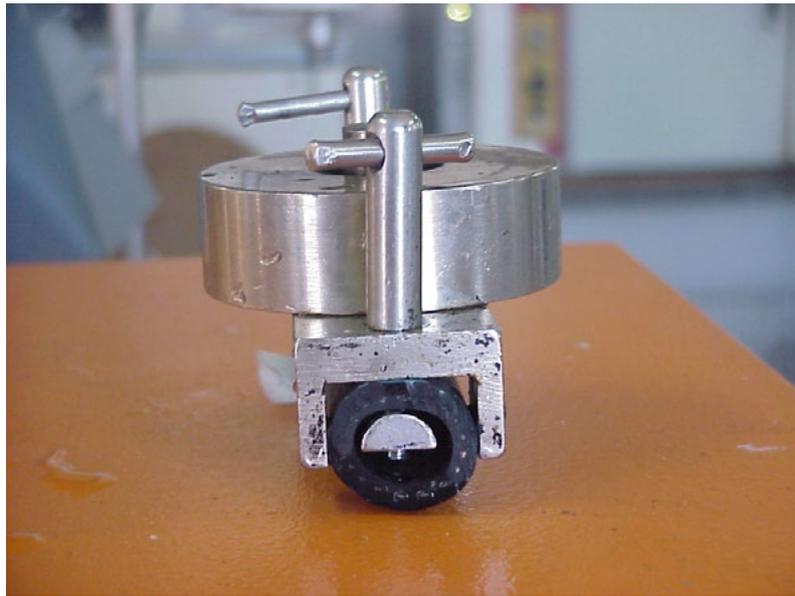
Fotografía 31.- Determinación de la cohesión de una lechada mediante el cohesiómetro.

7.3.2 Determinación de la resistencia al desgaste. Pérdida por abrasión

El ensayo de abrasión por vía húmeda, valora la resistencia del Microaglomerado en Frío ya curado al desgaste que puede sufrir por la acción del tráfico.

La cuantificación del desgaste, se efectúa midiendo la pérdida por abrasión que se produce, siguiendo lo establecido en la norma UNE EN 12274-5.

Para la realización del ensayo, se fabrican series de probetas con distintos contenidos de ligante que se someten al proceso de abrasión, aplicando un movimiento planetario (ver **fotografía 32**), con una carga definida y una duración del ensayo de 5 minutos, sumergidas en un baño de agua a una temperatura constante de 25 °C. La pérdida en masa de la probeta por efecto del desgaste, define la resistencia a la abrasión de la mezcla ensayada, midiéndose en gramos de pérdida por metro cuadrado (ver **fotografía 33**).



Fotografía 32.- Detalle del rodillo y goma de abrasión.

Con dicho procedimiento se fija el contenido mínimo de ligante en la fórmula de trabajo. Sin embargo, en la normativa actual no hay un procedimiento que permita establecer cuál debería ser la cantidad máxima, pese a tener importantes repercusiones en el comportamiento de las mezclas.



Fotografía 33.- Detalle de un equipo de ensayo de abrasión.

Evidentemente cuanto mayor sea la dotación de ligante, menores serán los desprendimientos de áridos, pero en una fórmula de trabajo, no solo debe preocupar el desgaste del Microaglomerado en Frío, sino que también se debe tener en cuenta, los perjuicios que puede causar un exceso de ligante en la mezcla. Por ello hay que formular la mezcla de manera que el valor de abrasión sea el mínimo posible, pero evitando a su vez, que por exceso de ligante, se produzcan exudaciones.

Como hemos mencionado, en la normativa actual que rige en la Unión Europea, no se dispone de un ensayo que permita valorar en este tipo de mezclas, la repercusión que tiene el exceso de ligante, prueba que sí se realiza en otros países, principalmente en el continente americano, a través de un ensayo similar al de rueda de carga, en el que esta se desliza sobre una probeta de Microaglomerado en Frío de forma rectangular, evaluando la tendencia a la deformación permanente de la mezcla.

7.4 VALIDACIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

Los parámetros evaluables difieren del tipo de emulsión empleada para la fabricación de la lechada. En mezclas que han sido elaboradas con emulsiones aniónicas, se evalúa principalmente la consistencia en la que son trabajables. Para las fabricadas con catiónicas, la cohesión es el factor determinante, pues estima y mide la evolución que sufre el proceso de endurecimiento de la mezcla.

Tras realizar estas pruebas con las que se valora el comportamiento de las mezclas, mediante los ensayos comentados de consistencia, cohesión y abrasión, se puede dar por concluida la Fórmula de Trabajo, siempre que los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, cumplan con las exigencias normativas dispuestas para estas mezclas.

Concluida la fórmula de Trabajo en el laboratorio, y aprobada la misma por la Dirección de Obra, se debe realizar un tramo de prueba para ajustar la fabricación y el extendido de la mezcla, acomodándola a las condiciones concretas de la obra. Tras estas pruebas, si los resultados han sido satisfactorios, se puede comenzar la puesta en obra de la lechada.

Las condiciones de comportamiento exigidas a este tipo de mezclas, se establecen en relación a las solicitudes del tráfico, y se recogen, en función de las siguientes categorías que se exponen en la tabla 15, para Microaglomerados en Frío (PG-3). y 16, para Lechadas Bituminosas (Recomendaciones de la ATC).

Tabla 15 - Requisitos técnicos de los Microaglomerados en Frío en función de la categoría de tráfico

ENSAYO	NORMA UNE-EN	UNIDAD	UNIDAD			
			T0 Y T1	T2	T3 Y ARCENES	T4*
CONSISTENCIA	12274-3	mm	0-20			
DESGASTE: PÉRDIDA A LA ABRASIÓN POR VÍA HÚMEDA	12274-5	g/m ²	≤ 350	≤ 450	≤ 550	≤ 650
COHESIÓN: TIEMPO PARA ALCANZAR UN PAR DE TORSIÓN DE 2 N•M	12274-4	minutos	≤ 30		≤ 60	

* También en arcenes, o cuando el Microaglomerado en Frío tenga la finalidad exclusiva de sellar un pavimento.

Tabla 16 – Criterios de dosificación de las Lechadas Bituminosas

CARACTERÍSTICA	NORMA UNE-EN	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
		T31, T32 Y T41	T42, sellado y arcenes
CONSISTENCIA (MM)	12274-3	0 – 20*	
DESGASTE (G/M ²) PÉRDIDA A LA ABRASIÓN POR VÍA	12274-5	≤550	≤650
COHESIÓN (MINUTOS) TIEMPO PARA ALCANZAR UN PAR DE TORSIÓN DE 2 N • M	12274-4	≤ 60	

(*) El límite superior será de 30 mm en el caso de empleo en sellado

8. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Se refieren al conjunto de tareas que tienen por objeto la obtención de un bien material. En el caso que nos afecta, se trata de organizar las tareas necesarias para poder producir y extender el Microaglomerados en Frío.

Por el cometido que tiene esta actividad, se la puede considerar también como un bien de interés público, ya que contribuye a mantener el patrimonio viario y, lo que es más importante, a mejorar la seguridad de nuestras carreteras.

8.1 PLANIFICACIÓN DE LA OBRA

Probablemente, el aspecto que más influencia tenga en el resultado de una obra sea la capacidad de planificar sus diferentes fases, lo que permitirá que se anticipen muchas de las necesidades y tareas durante el proceso constructivo. Esta capacidad, se puede convertir en un elemento central en el desarrollo eficiente de las obras, y con ello permitir que tengan una buena rentabilidad, tanto en el plano económico como social.

Para la planificación de tareas es muy importante, conocer las condiciones y circunstancias concretas del tramo de carretera sobre el que se va a intervenir y las formas más idóneas de aplicarlo. Para ello hay que anticipar todo tipo de medios, desde los mecánicos a los profesionales o técnicos, con los que la obra podrá evolucionar satisfactoriamente. Los medios logísticos van a afectar a las tareas de planificación para el abastecimiento de recursos de modo que la obra se puede ejecutar correctamente y con la máxima rentabilidad

Otro de los factores también importantes en la organización de la obra, es coordinar debidamente todos los esfuerzos que en ella se realizan, haciendo que los trabajos se aborden y desarrollen en equipo, optimizando la eficacia y rentabilidad a la labor que se esté desarrollando.

Desde este apartado de la Monografía, se pretende contribuir al buen hacer en los procesos constructivos. Para ello, expondremos las funciones más importantes en el desarrollo de las obras, así como algunos de los medios y recursos que serán necesarios para realizarlas.

8.2 LA BASE DE OPERACIONES. EL ACOPIO

Se trata del enclave estratégico más importante para la gestión de la obra, y por ello se debe poner el máximo interés en localizar un buen emplazamiento, como se muestra en la fotografía. Así también, su conservación funcional durante todo el tiempo que dure la obra, es una premisa importante para acrecentar la capacidad productiva de los equipos. Una vez acabados los trabajos, el espacio que se ha utilizado como acopio, deberá quedar en las mismas condiciones en las que se encontró o, si fuera posible mejorarlas, pues constituye un ejemplo de buenas prácticas ambientales.



Fotografía 34. - Acopio de árido en obra.

8.2.1 Características y funciones más importantes

Se podría afirmar, que la mayor parte de las tareas importantes que se realizan en la obra se acometen desde el acopio. Estas plataformas se utilizan entre otras funciones, para almacenar ordenadamente los materiales constituyentes de la lechada: áridos, emulsión, agua, aditivo, y otros componentes eventuales como polvo mineral de aportación, fibras, etc.

También es el espacio en el que se homogenizan, mezclan y ordenan los áridos que se van a emplear para fabricar la lechada, suministrados por las canteras en diferentes fracciones según las necesidades de la obra. Así mismo en estas plataformas, se acomete también la importante tarea de avituallar las máquinas, suministrando todos los materiales necesarios para producir la mezcla, operación en la que se debe procurar la carga simultánea de todos los componentes, a fin de reducir tiempos y poder elevar con ello la productividad.

En la base logística también se realizan las operaciones diarias de limpieza y mantenimiento de la maquinaria, así como de las herramientas y utensilios empleados en la ejecución de la obra. Igualmente se utiliza para guardar y dar refugio a estos instrumentos al final de la jornada, y ocasionalmente también se reparan pequeñas averías, que se producen en los equipos mecánicos que se emplean en la obra.

Algunas de las operaciones para ajustar la mezcla y calibrar todos sus componentes con arreglo a la fórmula de trabajo, antes de aplicarla sobre el pavimento, se realizarán igualmente en la zona de acopios, a ser posible en la parte más limpia de éste. Allí se puede realizar una primera puesta a punto de la Lechada, con los materiales concretos que se van a emplear en la obra, fabricando en el acopio una cierta cantidad de mezcla, se puede ajustar por ejemplo su fluidez o el tiempo de rotura, y observar la evolución en el proceso de curado.

También la plataforma logística de la obra constituye el punto de encuentro y de reunión del personal del equipo, donde se distribuyen las tareas a realizar durante la jornada que se inicia, así como valorar las medidas de seguridad a adoptar, o comentar las incidencias producidas en el trabajo desarrollado el día anterior.

8.2.1.1 Su emplazamiento

La proximidad de la base logística al epicentro de la obra, puede hacer que el rendimiento de la obra sea bueno o no, ya que cuanto más distancia haya desde el acopio a la obra, menor será la productividad y mayores los consumos energéticos.

Así mismo, la superficie será lo más regular posible, limpia y exenta de obstáculos, y con un acceso seguro. Esto nos permitirá una disposición organizada de todos los productos que se empleen en la fabricación de la mezcla.

Es muy importante la capacidad de maniobra en los enclaves donde se asienten los acopios, ya que a lo largo de la jornada laboral, serán muchas las tareas que se desarrollarán, por ello se deben escoger lugares en los que haya buena visibilidad, evitando que los accesos se sitúen en curvas o cambios de rasante.

Para evitar en gran medida, que las máquinas se carguen con áridos contaminados, es aconsejable crear una solera en los espacios donde se manipulan. Consiste en extender una capa de arena de

unos pocos centímetros de espesor, del mismo material que se esté empleando en la obra, para disminuir la posibilidad de contaminar el árido con elementos indeseados de la explanada. Esta medida dificultará, que la pala cargadora con el cazo, pueda rebañar el suelo natural del acopio.

Para cargar los áridos adecuadamente, en muchas ocasiones es necesario construir un muelle en el acopio, si la altura del brazo de la pala cargadora, no es suficiente para llegar bien a la tolva de la máquina. Esta instalación consiste en crear una plataforma elevada sobre la superficie del terreno, en alguna zona del acopio, a fin de posibilitar que la pala acceda fácilmente a la tolva de áridos.

8.2.1.2 Mantenimiento funcional de la zona de acopios

La conservación funcional de los acopios es una tarea primordial para en el desarrollo de la obra y deben mantenerse en todo momento en un buen estado de orden y limpieza .

Se debe procurar, que los montones de árido no sean muy elevados, para así, minimizar la segregación de los tamaños más gruesos de cada fracción. Otra forma de evitar las segregaciones, que además mejorará el proceso de envuelta de la mezcla, es mantener los áridos húmedos en el acopio.

8.2.1.3 Preservación del entorno

Las plataformas de operaciones de las obras se instalan en enclaves muy diversos. En ocasiones, se tienen que ubicar en parajes que tienen un alto valor medioambiental, otras veces en explanadas de áreas de servicio o de descanso, e incluso, esporádicamente, en zonas urbanas. Por todo ello, es fundamental respetar criterios de buenas prácticas medioambientales y responsabilidad por parte de sus gestores.

Teniendo en cuenta esta necesidad, y para evitar que los suelos de los acopios se contaminen con productos que luego son difíciles de eliminar, es conveniente anticipar algunas medidas que pueden contribuir a protegerlos. En determinadas zonas, principalmente en aquellas en las que se producen las operaciones de avituallamiento y limpieza de las máquinas, es posible que se produzca vertidos, ya que en el día son muchas las veces que se repite esta operación.

Estos vertidos pueden ser de emulsión, aditivos, aceites hidráulicos o gasóleo.

Para impedir la contaminación de los suelos, hay que anticiparse, preparando por ejemplo camas de

arena que absorban los vertidos, y posteriormente retirarlas para darles una adecuada gestión. De igual manera, se debería proceder en el lugar donde a diario se limpian los filtros de las máquinas donde quedan residuos de betún que pueden caer al suelo, posibilidad que hay que evitar recogiendo en algún recipiente para posteriormente gestionarlos adecuadamente. También se debe evitar el empleo de procedimientos de limpieza que, por combustión, puedan generar la emisión de gases contaminantes.

Así mismo, se debe evitar la deposición de residuos en las inmediaciones del acopio y terminada la obra, se debe recoger y limpiar, para dejarlo como se encontró inicialmente, y si fuera posible, en mejor estado.

8.3 LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

8.3.1 Externos

Principalmente son aquellos que suministran las materias primas a la obra, los áridos, por ejemplo, que se transportan en bañeras, la emulsión bituminosa o el agua abastecidos por cisternas. Los aditivos, y también otro tipo de materiales que ocasionalmente son necesarios en la obra, como cemento u otros tipos de polvo mineral, fibras, o algunas herramientas, suelen transportarse en furgonetas o camiones con caja (ver **fotografía 35**).



Fotografía 35.- Medios de transporte de los materiales constituyentes.

El abastecimiento a la obra debe estar bien coordinado para evitar que, por falta de suministro de alguno de los materiales constituyentes, se tuviera que interrumpir el proceso constructivo.

Para evitar esta eventualidad y poder ajustar bien los pedidos, debe llevarse un control del consumo diario de cada uno de los materiales, y, de la capacidad de almacenamiento que dispone la instalación. Los áridos son los que mayor volumen ocupan, y por eso es importante que se lleve un buen control del suministro, impidiendo que por exceso bloqueen el acopio y disminuya su funcionalidad.

También en muchas ocasiones, será necesario contar con alguna cabeza tractora para el desplazamiento de las cisternas nodrizas, góndolas para el transporte de la pala cargadora, o algún tipo de maquinaria como barredoras, compactadores de neumáticos u otros equipos auxiliares.

8.3.2 Internos en la obra



Respecto a los medios de transporte que le son propios a la obra, se encuentran los que efectúan el traslado del personal, mueven herramientas, señales y utensilios. También pueden remolcar barredoras, o puntualmente funcionar como coche escoba para regular el tráfico, o controlar su paso sobre el tratamiento en los primeros minutos de su puesta en servicio. Para estas tareas los furgones son vehículos muy adecuados, pues son capaces de cumplir bien con estos cometidos, como el mostrado en la **fotografía 36**.

Hay otras funciones en la obra, que pueden requerir vehículos más específicos, como un pequeño camión con caja, preferiblemente también con grúa, pues con este equipo se podrán retirar los residuos que se generan en el tajo, y desplazar la rastra de extendido al final de cada jornada. Ambas tareas son prácticamente indispensables cuando se trabaja en autopistas o autovías.

Fotografía 36.- Vehículos de obra para el transporte de trabajadores.

8.4 EQUIPOS DE PRODUCCIÓN Y EXTENDIDO

El equipo necesario con el que realizar esta técnica de pavimentación, consta principalmente de una máquina capaz de fabricar in situ la mezcla, y de un cajón repartidor o rastra que la extiende sobre la calzada. Además de estos dos elementos imprescindibles, son también necesarios otros como una pala cargadora, con la que suministrar a la máquina de árido, herramientas para atender las labores del extendido, así como otras a utilizar en la limpieza y recogida de los residuos que se generan.

Un equipo de obra, bien dotado de herramientas específicas es más eficiente a la hora de desarrollar la ejecución de la obra. Contar en el equipo también con piezas de recambio, de las más necesarias o de las que antes se deterioran, como paletas para la rastra, gomas, llaves para válvulas, mangueras, etc., puede contribuir decisivamente a mejorar los rendimientos de la obra.

8.4.1 La máquina de fabricación

Se trata de un equipo capaz de almacenar, dosificar y mezclar los materiales constituyentes necesarios para elaborar la mezcla. Generalmente estas máquinas van montadas sobre el chasis de un camión, o tiradas por una cabeza tractora, convirtiéndose en la práctica en vehículos autopropulsados.

Estas máquinas cuentan con sistemas muy precisos, para dosificar y controlar de forma fiable las proporciones adecuadas de cada uno de los materiales.

El árido, se dosifica en la máquina a través de una cinta transportadora, que permite regular su velocidad, trasladándolo desde el silo de almacenamiento hasta el mezclador. Para regular su caudal dispone de una trampilla variable en altura, situada a la salida de la tolva de los áridos. Con estos dos dispositivos, la velocidad de la cinta y la altura de la trampilla, se puede dosificar el flujo de árido que debe entrar al mezclador de la máquina.

En el caso del cemento u otros polvos minerales que en ocasiones se aportan a la mezcla, estos se incorporan desde un silo de almacenamiento situado encima del tramo final de la cinta transportadora, desde donde caen sobre el árido a la entrada del mezclador. Por medio de un husillo, dotado también de un sistema que permite variar su velocidad, se regula la proporción de polvo mineral que, de forma continua debe verter sobre el flujo de árido. De esta forma ambos materiales pétreos, entran juntos a la cámara de mezclado, donde serán envueltos con los componentes líquidos de la mezcla.

Los componentes líquidos, como la emulsión bituminosa, el agua y el aditivo, se almacenan cada uno de ellos en depósitos independientes con los que cuenta la máquina, desde donde se distribuyen

hacia la cámara de mezclado. Su dosificación, generalmente, se realiza por medio de bombas para impulsar fluidos, aunque algunos modelos de máquinas pueden incorporar sistemas neumáticos para esta misma función. En ambos casos, el flujo se mide y controla a través de caudalímetros volumétricos, expresando la cantidad de cada uno de estos componentes en litros por minuto. Así, resulta fácil poder conocer, en tiempo real, la proporción exacta que sobre el árido se está aportando de cada uno de los elementos líquidos, cantidades que se expresan en forma de porcentaje, que es como aparecen declaradas en las fórmulas de trabajo.

Algunas máquinas también disponen de dosificadores para fibras. Dado su pequeño tamaño y la tendencia natural que tienen a apelmazarse, es preciso recurrir a equipos que puedan distribuirlos uniformemente en la mezcla, por lo que los últimos años la maquinaria ha experimentado un avance significativo en lo referente a sistemas mecánicos, hidráulicos o neumáticos por la digitalización de sus procesos.

Gracias a ello, la maquinaria actual permite la automatización e integración de las funciones de fabricación de la mezcla.

Los ordenadores que llevan instalados actualmente estos equipos, facilitan el control sobre la fórmula de trabajo y proporcionan los datos de la dosificación de cada uno de los componentes en tiempo real, permitiendo acceder también a las cifras globales de consumo, que de cada material se ha producido al final de la jornada.



Fotografía 37.- Equipo para la fabricación y extensión de Microaglomerados en frío.

Existen diferentes tipos de modelos y fabricantes de máquinas para la producción de Microaglomerados en Frío. Algunas presentan una elevada capacidad de carga, proporcionando altos rendimientos, mientras que otras, por el contrario, presentan

menor productividad. Otras máquinas permiten una alimentación en continuo. Estos equipos están diseñados específicamente, para trabajos que requieren elevados rendimientos.

Hay una gran diversidad de modelos de máquinas, como el de la **fotografía 37**, pudiendo incorporar

algunas de ellas mecanismos como el ya comentado dosificador de fibras, u otros sistemas como rampas de riego. Estas últimas, son muy eficaces en verano para humectar el pavimento, con lo que se bajará su temperatura facilitando la aplicación de la mezcla, y mejorando la adherencia de la lechada al soporte.

8.4.2 Cajón repartidor. Extensión de la mezcla



Fotografía 38.- Cajón repartidor para la extensión de microaglomerado en frío.

La extensión de la mezcla se la realiza con un instrumento mecánico, diseñado específicamente para aplicar mezclas de consistencia fluida de forma que puedan extenderse de forma homogénea y en las dotaciones adecuadas.

Las rastras cuentan con sistemas que permiten variar sus dimensiones, pues poseen un cajón repartidor en el que es posible regular su tamaño (ver **fotografía 38**). A través de instrumentos mecánicos, se pueden abrir hasta alcanzar 3,80 m o algo más en algunos modelos, o cerrar a 2,50 m, que suele ser su tamaño mínimo, aunque excepcionalmente y para algunos trabajos especiales, se pueden adaptar haciéndolas aún más estrechas. Gracias a los sistemas que regulan las dimensiones del cajón repartidor, se puede acomodar la rastra a la superficie de la carretera, ajustándose a las diferentes medidas que presentan sus carriles. De esta forma se minimizan las juntas longitudinales, pues generalmente el ancho máximo de las rastras, pueden abarcar completamente la superficie de los carriles de mayor tamaño, así como la de los arcenes, si se reduce al mínimo las dimensiones del cajón repartidor.

Algunos modelos de rastras también incorporan mecanismos telescópicos, que son accionados por sistemas hidráulicos, con los que es posible sobre la marcha, abrir o cerrar el cajón repartidor, opción muy útil para determinado tipo de obras, como las que se realizan en calles en tramos urbanos. Sin embargo, estos sistemas son delicados, y están muy expuestos a ensuciarse favoreciendo sus averías.

Para homogeneizar y desplazar la mezcla, las rastras disponen de dos ejes montados en paralelo, que discurren de un extremo al otro del cajón repartidor. Los dos ejes llevan paletas incorporadas dispuestas helicoidalmente a modo de sinfines, que son movidos por medio de un sistema hidráulico conectado a la máquina de fabricación. Cada uno de ellos gira de forma independiente, pudiéndolo hacer a su vez en ambos sentidos, sistema que permite distribuir la mezcla y mantener la masa homogénea, con lo que se garantiza que su extensión sobre la calzada pueda ser regular y uniforme.

Los sinfines también son regulables en altura, lo que permite ajustar su posición con respecto al suelo. Así es posible situar las paletas lo más próximas a la superficie de la calzada, facilitando con ello la incorporación de los fluidos y las fracciones más finas del árido al conjunto de la mezcla, ya que estos tienen tendencia a sedimentar pudiendo segregarse los materiales más gruesos. No obstante, esta regulación debe ser la óptima para evitar que las paletas del sinfín puedan tocar la superficie de la carretera produciendo ondulaciones en el extendido, por pequeños saltos de la rastra.

Las rastras se complementan con bandas de goma, que se instalan en las zonas inferiores del cajón repartidor, a modo de faldones que están en contacto con la superficie de la calzada, y cierran completamente el cuerpo de la rastra para evitar que se produzcan derrames de fluidos. Sin embargo, la banda instalada en la parte trasera, conocida como goma maestra debe permitir la salida del

material. Esta puede ser de diferente grosor y dureza, la cual se selecciona en base a la dotación y huso granulométrico a aplicar. Cuanto más ancho sea el perfil de la goma maestra y más dura su consistencia menor será la dotación que deje sobre la carretera.



Fotografía 39. - Colocación de la goma maestra en el cajón repartidor.

Algunos modelos de rastras, en vez de goma maestra (ver [fotografía 39](#)) incorporan una pletina metálica para regular el espesor de la dotación, pero también, a unos centímetros detrás de la pletina, desde un extremo al otro de la rastra disponen de una banda de goma, cuya función consiste en colocar

adecuadamente las partículas gruesas del árido sobre el pavimento, para aumentar así la superficie de contacto entre éstas y el soporte.

Además de la goma maestra o, en su defecto, la pletina metálica, las rastras para regular la dotación del material a extender cuentan con otro mecanismo, que posibilita que pueda ajustarse la altura de ambos elementos, goma o pletina sobre la rasante de la carretera. Así, cuanto mayor sea la distancia entre estos elementos y la superficie del soporte, más elevada será la dotación que se obtenga, mientras que, por el contrario, cuánto más pequeña sea la separación menor será el espesor del tratamiento.

Los mecanismos para la regulación de los espesores actúan sobre tres elementos, que se denominan patines, que a su vez sirven para que la rastra se desplace perpendicularmente a la superficie de la calzada. Estos, situados uno a cada extremo del cajón repartidor y otro en el centro, van provistos a su vez de un husillo que conecta los mecanismos, y que permite elevar o descender el cuerpo de la rastra respecto de la superficie de la calzada, manteniéndose los patines en contacto permanente con el soporte, sobre los cuales avanza el cajón repartidor.

La altura de la regla respecto de la calzada, que en este tipo de mecanismos de extendido es una goma la que cumple esta función, o como hemos comentado más arriba una pletina metálica que incorporan algunos modelos, pueden descender o elevarse en tres zonas distintas de su recorrido, de forma independiente cada una de ellas. Gracias al dispositivo instalado en cada uno de los patines de la rastra, se puede regular a través de ellos la distancia de la regla respecto de la superficie en los tres puntos mencionados.

Esto permite ajustar cada uno de ellos, a las condiciones cambiantes que en ocasiones presenta el firme, pues es habitual encontrarse en algunos tramos de carretera con significativas variaciones de planimetría, afectando a zonas concretas de la calzada, como pueden ser ligeros bombeos desde el eje hacia los laterales, pequeñas roderas que se localizan en las zonas de tránsito, u otras irregularidades que pueden presentar las calzadas.

El ajuste se puede realizar sobre la marcha, acomodando la rastra a las circunstancias específicas que vaya presentando la superficie, a fin de mantener regular la rasante del pavimento.

Cada fabricante cuenta con sus propios prototipos de rastras y modelos adaptados a las características de sus máquinas, aunque el concepto funcional es el mismo en todos los casos.

8.4.3 Herramientas auxiliares

Es posible que durante la aplicación de la mezcla, se produzcan defectos superficiales que deterioren su aspecto estético y comprometan también el comportamiento funcional del revestimiento. Uno muy característico en los Microaglomerados en Frío es la aparición de surcos longitudinales que son generados, habitualmente, por el arrastre de áridos gruesos al quedar atrapados bajo la goma maestra y ser arrastrados durante algún tiempo. El problema se soluciona con la acción rápida del personal responsable de la salida de la mezcla utilizando barras metálicas terminadas en forma de espátulas, o sencillamente presionando con el mango de los cepillos, de los que van provistos el personal del equipo, hasta que se suelte la piedra.

A su vez, los cepillos pueden emplearse para minimizar los efectos que los surcos vayan dejando u otros defectos superficiales, pasándolos suavemente antes de que endurezca la mezcla, paliando así los defectos estéticos y las consecuencias funcionales que se puedan producir en el revestimiento.

Otra de sus funciones consiste en esparcir y extender de forma homogénea las paladas de mezcla, que, en determinadas ocasiones, como consecuencia de alguna falta de material en algún punto de la calzada, se tiene que cubrir sobre la marcha.

Los cepillos más idóneos, para realizar este tipo de trabajos sobre el revestimiento antes de endurecer son los elaborados con cerdas de origen vegetal como el brezo, ya que son más blandas y maleables que las constituidas por plásticos, y por ello sus cepilladas dejan menos huella dejando mejores acabados.

Lógicamente los cepillos también se utilizan en todas las actividades relacionadas con la limpieza del soporte, y en especial resultan muy útiles para acondicionar las juntas transversales que se originan entre el final y comienzo de cada aplicación.

También es habitual el empleo de espátulas largas para deshacer sobre la marcha grumos de mezcla rota, que se pudieran generar en el interior del cajón repartidor y se acumulan en sus laterales, principalmente para eliminar residuos de los vertederos de la máquina o para disgregar los montones residuales que quedan después de cada aplicación.

Otras herramientas, de las más solicitadas y útiles, son las palas de mano, ya que con éstas se retiran las acumulaciones de mezcla rota, que se producen por diferentes motivos durante la ejecución de las obras (ver [fotografía 40](#)).



Fotografía 40.- Material auxiliar.

8.5 LIMPIEZA Y ADECUACIÓN DEL SOPORTE

Para preparar convenientemente el soporte sobre el que se va a aplicar el revestimiento, es necesario antes realizar una limpieza exhaustiva del pavimento, a fin de eliminar la suciedad que pueda contener (ver **fotografía 41**). Es muy importante realizar con esmero esta tarea, ya que, de no hacerse así, la adherencia a la calzada del Microaglomerado en Frío puede quedar comprometida, siendo precaria en las zonas en las que no se haya adecentado bien la superficie. La falta de limpieza en la calzada, puede contribuir a que posteriormente se produzcan peladuras en puntos concretos de la traza.

Destacamos que estas operaciones son muy necesarias, si se pretende que estos revestimientos tengan un buen comportamiento funcional, ya que este depende en gran medida del nivel de adherencia que consiga tener sobre la calzada. Por otro lado, si la fijación de la mezcla al pavimento es fuerte, la durabilidad del revestimiento será mayor, y su comportamiento será más eficiente.

Es habitual que, en carreteras que discurren por zonas agrícolas, sobre todo en las temporadas en las que hay mayor actividad de tránsito de tractores, estos contaminen la calzada con restos de barro que portan en sus ruedas, tras los trabajos realizados en el campo. Generalmente, esta incidencia es mayor cuando las tierras se encuentran húmedas, pues en estas condiciones portan grandes cantidades de arcilla que se quedan fuertemente fijadas al pavimento. Si no se eliminan por completo los terrones de barro adheridos a la calzada, se pondrá en serio riesgo la adherencia del revestimiento al soporte en todas las zonas que hayan contenido arcillas.

Es posible incluso, que en puntos de la calzada que tienen adheridos pegotes de barro, recién extendida la lechada no se observe ningún problema de adherencia entre el revestimiento y la calzada, si bien, en condiciones de elevada humedad, es muy probable que el Microaglomerado extendido se termine desprendiendo del soporte, apareciendo peladuras en el pavimento.

Otro tipo de actuaciones que principalmente demandan las vías secundarias y la red comarcal y que suelen realizarse con respecto a la limpieza de los pavimentos, es el saneamiento de las zonas laterales, conocidas como mordientes, que suelen ser el punto más débil y deteriorado de la calzada y en el que se encuentran generalmente los mayores acúmulos de suciedad.

Aplicar adecuadamente el revestimiento sobre los extremos laterales de las carreteras es muy importante, ya que es en esas zonas principalmente donde se producen las mayores pérdidas de pavimento en las calzadas.

Una buena impermeabilización de estas zonas laterales de las vías dificultará y protegerá al firme de la acción perjudicial que el agua ejerce sobre él.



Fotografía 41.- Detalle de la limpieza del soporte.

En muchos casos, son necesarias actuaciones de reperfilado de los mordientes cuando presentan bordes irregulares que se deben sanear preferentemente con mezclas bituminosas. También estas zonas, suelen ser las que requieren de mayor limpieza, pues es muy probable encontrarse con materia orgánica, gravillas sueltas e incluso vegetación.

Otro aspecto a comentar en relación a la limpieza del soporte, es la necesidad de eliminar las hojas que pueda haber sobre la calzada, que, en los tramos de carretera situados en zonas en las que hay presencia abundante de árboles, es frecuente en otoño. Es muy importante retirarlas para evitar que en el pavimento posteriormente aparezcan calvas.

8.5.1 Maquinaria y herramientas para la limpieza del soporte

Para realizar las operaciones de limpieza y acondicionamiento del soporte, existe maquinaria y herramientas muy eficientes y especializadas.

Así, pueden encontrarse diferentes tipos de barredoras, equipos para el lanzamiento de agua a presión, sopladoras de aire, o diversos utensilios de mano, como cepillos o espátulas de distintos tamaños y formas que pueden adaptarse a las necesidades del trabajo, como los equipos que se pueden apreciar en la **fotografía 41**.

Haciendo uso de estos medios, se puede fácilmente eliminar restos de barro u arcillas, tierras vegetales, gravillas sueltas, materia orgánica, o vegetación, materiales que suele encontrarse principalmente en los márgenes de las carreteras de la red secundaria.



Fotografía 42.- Detalle de la limpieza del soporte.

8.6 FABRICACIÓN DE LA LECHADA

Este proceso, requiere de la gestión organizada de todos los aspectos que intervienen en su producción. Para que la fabricación de la lechada resulte satisfactoria, es preciso, entre otras cosas, controlar la calidad de los materiales, revisar el estado de la maquinaria, y disponer de profesionales especializados en esta técnica. Fabricar la lechada “in situ” ajustándola a la fórmula de trabajo y adaptándola a las condiciones concretas de la obra, es posiblemente la operación más compleja y decisiva que se realiza para la pavimentación con Microaglomerados en frío.

8.6.1 Dosificación de la mezcla

Esta se debe realizar siguiendo los parámetros establecidos en la fórmula de trabajo, en la que se indican los materiales constituyentes de la mezcla. Para ello, se ajustarán los sistemas de dosificación de la máquina, un ejemplo se muestra en la **fotografía 43**, al objeto de regular adecuadamente los caudales de los distintos componentes que intervienen en la lechada.



Fotografía 43.- Detalle de la dosificación en el equipo de fabricación y extendido.

Una vez calibrados los equipos que regularán la composición de la mezcla, se realizará una pequeña fabricación en el acopio para observar el aspecto que ha adquirido la mezcla, y poder comprobar si han funcionado correctamente los sistemas de dosificación de la máquina, y si la lechada producida se ajusta a las propiedades demandadas.

Tras realizar estas operaciones, el siguiente paso es ejecutar un tramo de prueba, en el que se ajustará la consistencia de la mezcla a fin de facilitar su extendido, se regulará el tiempo de rotura de la emulsión para favorecer el curado y la cohesión del revestimiento, así como también se valorará la homogeneidad del extendido y la textura obtenida en la prueba.

8.6.2 Ajuste en obra de la Fórmula de Trabajo

Las proporciones reflejadas en la fórmula de trabajo, son las que de forma obligatoria se deben aplicar en la obra, salvo que, por circunstancias ocasionales de temperatura, humedad o características cambiantes del pavimento se tenga que modificar algunas de las proporciones de aditivo y/o agua, que en la fórmula de trabajo se establecen como valores orientativos.

Sin embargo, no se deben modificar nunca, salvo estudio previo para ello, las proporciones de emulsión bituminosa y de la mezcla de áridos. Por el contrario, la cantidad de agua a aportar si puede variarse, en función de las condiciones atmosféricas o de las características del pavimento, como su porosidad, rugosidad o satinación. Ante algunas de las condiciones cambiantes que pueden darse en las obras, es necesario ajustar las proporciones de agua o aditivo con las que obtener en cada caso concreto, una mezcla de consistencia adecuada para poderla extender fácilmente, y un proceso de rotura de la emulsión que favorezca el endurecimiento y curado de la lechada (ver **fotografía 44**).

Los aditivos responsables de regular el proceso de rotura de la emulsión en las lechadas, se emplean fundamentalmente para controlar el periodo de fluidez de la mezcla.

Variando el porcentaje de aditivo, se puede regular el tiempo de rotura, medida que en muchos casos será necesaria cuando se produzcan variaciones en la temperatura ambiente o en los componentes de la lechada. También cuando se produzcan cambios de humedad en el árido o alteraciones en la estabilidad de la emulsión, e incluso modificaciones en las características del pavimento.



Fotografía 44.- Detalle de la toma de cohesión de la mezcla en obra.

8.7 APLICACIÓN Y EXTENDIDO

En las operaciones de extendido, para que la aplicación de la mezcla sea regular y homogénea, es preciso que el caudal de lechada que vierta el mezclador sobre el cajón repartidor sea constante, uniforme, y en cantidad suficiente para que la lechada cubra en todo momento durante la aplicación y de forma completa el ancho que la rastra abarque.

Así, la salida del material debe mantenerse constante y asegurar que la mezcla cubre la rastra desde un extremo al otro de su recorrido, siendo necesario también que la lechada ocupe como mínimo un tercio del volumen total del cajón repartidor. De esta forma se evitará que se puedan producir faltas de material sobre la calzada, dejando zonas del pavimento sin cubrir. Esta incidencia es más frecuente en los extremos de la rastra, principalmente cuando la aplicación se realiza sobre curvas que presentan pronunciados peraltes.



Fotografía 45.- Detalle de la extensión de microaglomerado en frío.

Sin embargo, no es conveniente colmar de lechada el cajón repartidor, pues una acumulación excesiva de material podría provocar que esta se saliese de forma incontrolada por los laterales de la rastra. Esta situación en la que se produce una sobre carga de mezcla en la rastra, podría provocar que parte de la lechada permanezca dentro del cajón repartidor más tiempo del debido, motivo por el que podría producirse la rotura parcial de la mezcla dentro de la rastra, lo que comprometería seriamente que el extendido se pueda realizar de forma regular y uniforme, como se puede observar en la **fotografía 45**.

Para regular adecuadamente la cantidad de material sobre el cajón repartidor, es necesario ajustar el nivel de producción que debe proporcionar la máquina, adaptando su caudal a las dimensiones de la rastra y a la velocidad de avance del equipo de extendido.

Ajustando el flujo de mezcla en función de estos parámetros, podrá mantenerse constante la aceleración del camión acomodándose al paso ligero de las personas, con lo que se facilitará a los operarios atender adecuadamente los trabajos de asistencia al extendido.

8.7.1 Precauciones a tener en cuenta en las operaciones de extendido

Un aspecto que requiere de la máxima atención es la aceleración que debe llevar la máquina. En determinadas ocasiones, como consecuencia de variaciones que se pueden producir en el pavimento de la carretera o en su trazado y, dado que el caudal de lechada es constante durante toda la operación de extendido, solo es posible intervenir sobre la velocidad del camión para mantener estable el nivel de llenado de la rastra.

El operario que fabrica y extiende la lechada debe estar pendiente de las características del pavimento y del trazado de la carretera, ya que deberá ajustar la velocidad de extendido de la máquina. En ocasiones, a lo largo de un tramo de la obra se producen cambios significativos en la composición y estado de la carretera, que presentarán necesidades diferentes de dotación, según sea la naturaleza del pavimento y el grado de deterioro que presente.

Estas circunstancias, que en determinadas ocasiones se pueden producir a lo largo de un tramo de obra, podrían provocar que la lechada rebose por el cajón repartidor, o, por el contrario que se vacíe rápidamente.

Otro aspecto importante en lo que se refiere a la ejecución del extendido, tiene que ver con la finalización de cada máquina pues, a su término, queda siempre una pequeña cantidad de mezcla sin extender que retiene el cajón repartidor, dejando, cuando la rastra se levanta del suelo, un montón más o menos voluminoso y heterogéneo sobre la calzada, que se deberá retirar de la carretera tratando los residuos adecuadamente.

Con el fin de dejar unas juntas bien ejecutadas, tras retirar el montón y limpiar la superficie, se debe efectuar un corte rectilíneo bien definido al final de cada aplicación, regularizando con ello el perfil transversal del revestimiento recién extendido, lugar en el que se situará la junta que unirá ambos paños, el recientemente extendido con el próximo a aplicar.

Otra de las operaciones que requiere especial esmero, es la ejecución de sus juntas transversales. Por su repercusión en la seguridad de la vía, confort y también por motivos estéticos, dichas juntas deben ser lo más imperceptibles posible, no presentando resaltos, delaminación, brillos o satinación, así como cambios en la textura o el color, debiendo exhibir un aspecto regular y homogéneo similar al que muestre el conjunto del revestimiento.

La manera de ejecutar correctamente una junta transversal consiste en montar la rastra sobre una banda de plástico, como se muestra en la **fotografía 46**, colocando dicha banda a ras de la parte

final del último paño extendido, asegurarse de que esté perfectamente estirada para evitar que se produzcan arrugas y que, con el movimiento de los sinfines que se encuentran próximos al suelo, puedan enganchar el plástico, rompiéndolo y dificultando la arrancada del extendido.



Fotografía 46.- Detalle de la colocación de la banda de plástico.

La superficie que se debe cubrir con el plástico ha de tener como mínimo las dimensiones de la rastra y preferiblemente algo mayores para que el cajón repartidor quepa holgadamente sobre él. Su colocación partirá unos centímetros por detrás del lugar donde finalizó el último paño de forma que, al arrancar, el material caerá sobre la superficie de plástico, y no se debe iniciar su marcha, hasta que en el cajón repartidor haya suficiente mezcla para cubrir toda la superficie a tratar. La rastra irá sobre el plástico unos 10 o 15 cm, hasta que al final de éste, enlace con el corte previsto.

Sobrepasada la banda de plástico por el equipo de extendido, se retira con esmero hacia el margen de la carretera, procurando que el material en él depositado, no se derrame sobre la calzada. Con la utilización de este procedimiento puede haber más posibilidades de conseguir juntas prácticamente imperceptibles, como podemos apreciar en la **fotografía 47**.

Para minimizar los efectos que puedan tener las mezclas al inicio de la fabricación y hasta que la maquinaria alcanza un régimen estable de producción, es recomendable desechar el primer flujo de mezcla. Adicionalmente puede ser útil para reducir los fluidos, que suelen ir con exceso en las arrancadas, extender unas paladas de arena sobre la banda de plástico para que los absorba. Así, serán mayores las oportunidades que pueda haber para que el extendido de la lechada desde sus inicios sea regular y la mezcla homogénea.

Fotografía 47.- Detalle de la junta transversal en la extensión de microaglomerado en frío.



8.7.2 Compactación de los Microaglomerados en Frío

Es habitual el empleo de compactadores de neumáticos con los que se finaliza en algunos casos el proceso de construcción de Microaglomerados en Frío. Se utilizan para apisonar algunos tipos de mezclas, habitualmente las más gruesas, MICROF - 8 u 11. Para ello, el equipo de compactación que habitualmente se emplea es un compactador tipo neumático, como el que se aprecia en la **fotografía 48**, que para esta aplicación, no deberá llevar los faldones térmicos por tratarse de una técnica en frío y así, permitirá visualizar con mayor facilidad el estado de suciedad que puedan presentar las ruedas, por si fuera necesario detenerse a limpiarlas. Esta circunstancia es probable ya que no se pueden humectar mientras trabajan para no añadir más agua al revestimiento, pues lo que se pretende con el apisonado es expulsar el agua y acomodar los áridos.

El objetivo principal que tiene el apisonado del revestimiento, es reducir el tiempo de curado de la mezcla, y aumentar su cohesión inicial, reduciéndose el tiempo de apertura al tráfico. Uno de los aspectos más importante y decisivos que se deben tener en cuenta, es la elección adecuada del momento en el que se debe dar entrada al compactador. Si no se realiza en el momento adecuado, puede causar perjuicios sobre el revestimiento dificultando el anclaje al soporte de las partículas más gruesas de árido y su adherencia al mortero bituminoso.

El apisonado debe realizarse cuando la mezcla aún conserva la mayor parte de su humedad, después su efectividad sería escasa. Se debe apisonar el revestimiento cuando la emulsión haya roto completamente, y la mezcla alcance una cohesión suficiente para que se pueda pisar.

Las circunstancias climatológicas, también afectan a las condiciones de apisonado de la mezcla, y es por ello, que se las debe tener muy en cuenta a la hora de realizar esta operación. Por ejemplo, en verano debido a las altas temperaturas, la lámina superficial de la lechada puede adherirse parcialmente a las ruedas del compactador. Por otro lado, en invierno, como el proceso de rotura se produce más lentamente no debe realizarse el apisonamiento de la mezcla, sin asegurarse previamente, que la emulsión de la lechada está completamente rota.

Una vez terminadas las operaciones de apisonado y, tras comprobar que la lechada está completamente curada, el Microaglomerados en Frío puede abrirse al tráfico. Inicialmente pudieran producirse desprendimientos de árido, especialmente en zonas de la carretera donde los esfuerzos tangenciales son más severos, como los que se dan en curvas o en cruces, incrementándose su peligrosidad.

Por la inseguridad que provocan las gravillas sueltas sobre la calzada, es conveniente retirarlas lo

antes posible. Estas actuaciones se deben realizar con equipos de barrido mecánicos, a fin de que el revestimiento pueda ofrecer una rodadura segura al usuario.



Fotografía 48.- Detalle de la compactación de un microaglomerado en frío.

9. SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN DE LA OBRA Y ORDENACIÓN DEL TRÁFICO

Un aspecto que cobra una trascendental importancia en las obras de carreteras, es su correcta señalización, así como regular el tráfico de forma apropiada a la nueva situación de la vía, para garantizar la seguridad de los usuarios de la carretera y de los operarios.

Los requerimientos de señalización y balizamiento que se deben aplicar en las obras de carretera, están regulados por la normativa 8.3 - IC de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

No obstante, en los siguientes apartados se recogen recomendaciones que hace ATEB sobre este tema, basadas en la experiencia acumulada por las empresas aplicadoras de esta técnica.

9.1 SEÑALIZACIÓN Y BALIZAMIENTO

Los principios básicos de una buena señalización, es informar al usuario de la existencia de las obras. Con ello se pretende mejorar la seguridad de la vía afectada por los trabajos, y disminuir todo lo posible el nivel de deterioro que pueda sufrir la circulación del tráfico. Para cumplir este principio, las balizas deben situarse de forma que se distingan claramente (ver [fotografía 49](#)), y colocarlas de manera estable para evitar que se caigan y se oculte la información que contienen, al tiempo que pueden afectar a la circulación.

Las señales tienen por objeto, informar principalmente sobre los cortes de carril, limitaciones de velocidad, prohibición de adelantamiento, o situaciones de peligro, como la presencia de escalones laterales, resaltos, o gravillas sueltas entre otras circunstancias de riesgo.

El conjunto de balizas, deben mantener una uniformidad, tanto en tamaño, formas o colores, según establezca en cada caso la instrucción 8.3 IC sobre señalización de obras. La información que ofrecen las señales, debe estar justificada, y seguir la marcha de la obra desplazando las balizas conforme esta progrese, tanto en la extensión como en el tiempo de ejecución. Las señales propias de la vía que entren en contradicción con las de la obra se deberán anular, tapándolas provisionalmente.

El tipo de señalización para las obras de Lechadas Bituminosas y Microaglomerado en Frío, no se diferencia sustancialmente de las que se utilizan en otras obras que se realizan en carreteras. No hay

información específica que indique que se trata de este tipo de obra. Como en toda obra de carretera, las señales anuncian la existencia de trabajos en la vía, la reducción progresiva de velocidad a la que se debe circular, y la prohibición de adelantar que aparece previa a las indicaciones y balizas que indican el comienzo del corte de carril, a partir del cual comienza el tramo en el que se están ejecutando los trabajos.

La señal más característica en este tipo de obras, es la que advierte de la posible existencia de gravillas sueltas en la calzada. Dicha señal suele ir acompañada de otra en la que se indica la distancia mínima que debe haber entre los vehículos que transitan en el mismo sentido, estableciéndose una separación de 100 m entre ellos, para evitar que se produzcan impactos de partículas sobre el que circula por detrás.



Fotografía 49.- Detalle de la señalización.

9.2 ORDENACIÓN Y CONTROL DEL TRÁFICO

Con respecto a la organización del tráfico, hay que garantizar en todo momento la máxima seguridad para los vehículos que transitan por el tramo de obra. En el caso de carreteras de un solo carril por sentido, el ordenamiento del tráfico debe ofrecer las máximas garantías, y procurar los medios más adecuados con los que permitir una regulación fiable del tránsito por la obra. Son los operarios de tráfico, conocidos popularmente como banderas, los que regulan el paso alterno de los vehículos. Cada uno de estos operarios se sitúa en un extremo del tramo en obras, comunicándose a través de emisoras de radio frecuencia, o telefonía móvil, por medio de las cuales organizan la circulación de tráfico por un solo carril, dando paso alterno a los vehículos en ambos sentidos. Cada vez es más

frecuente la utilización de semáforos, instalados uno en cada extremo del tramo en obras, vigilando permanentemente que los semáforos funcionen correctamente, prestando especial interés al nivel de carga de las baterías.

También para este cometido se puede utilizar un coche escoba, vehículo que va siempre al final de la caravana, y al llegar al final del tramo, da paso a los vehículos que allí se encuentran detenidos, volviendo a situarse nuevamente al final de la comitiva.

A "Los banderas", se les llama así, porque en ocasiones van dotados de un banderín, generalmente de color rojo, con el que detienen o dan paso al tráfico, aunque para esta función, actualmente se emplea una señal de mano, que por un costado tiene inscrita la leyenda STOP con la que detener la marcha de los vehículos, y por el otro, una flecha de sentido obligatorio con la que darles paso.

En estas operaciones, los "banderas" deben estar muy pendientes, para asegurarse que en sentido contrario no circula a lo largo del tramo ningún coche, cuando vayan a dar paso a los vehículos retenidos. También merece atención los últimos vehículos que se acercan a la caravana detenida, para evitar posibles alcances por despiste o exceso de velocidad. También es importante que estos operarios estén siempre visibles y se distingan bien, haciendo señales evidentes y ostensibles para

advertir de su presencia y de la caravana de vehículos. Se debe mantener la vigilancia sobre los coches que se aproximan al corte, hasta que se asegure que se ha detenido.



Los operarios que regulan el tráfico se deben situar preferiblemente en zonas en las que haya buena visibilidad, evitando colocarse en curvas, cambios de rasante, o en otros lugares donde su presencia desde lejos no destaque. Deberán ir correctamente uniformados, con prendas de colores llamativos y reflectantes para aumentar su visibilidad (ver [fotografía 50](#)).

Fotografía 50. - Detalle de la señalización.

En carreteras de un solo carril por sentido en la que haya cruces o intersecciones, hay que tomar medidas concretas para impedir que algunos vehículos puedan acceder al tramo de obra sin control, incorporándose sin previo aviso desde alguna carretera o camino adyacente a la vía en reparación. En estos casos para incrementar la seguridad del tráfico, evitando posibles colisiones, que de producirse en estas circunstancias podrían ser frontales, es necesario, o bien cortar el acceso desde esas pistas al tramo de obra, o situar operarios en dichos cruces para controlar ordenadamente la circulación de los vehículos.

En las carreteras de alta intensidad de tráfico donde, por lo general se circula a velocidades altas, conviene contar con “pre-banderas”, operarios que se sitúan algunos metros atrás de donde se encuentra el operario de tráfico, advirtiendo con un banderín rojo a los conductores, la situación de peligro que supone, la existencia de una caravana de vehículos. Se debe anunciar previamente por medio de una señal específica, la posibilidad de retenciones, al objeto de prevenir a los conductores de esa situación.

En los trabajos que se desarrollan en autopistas o autovías, es conveniente por motivos de seguridad, contar con un operario que metros atrás del equipo de extendido, advierta igualmente con un banderín, la situación de peligro, medida que contribuye a reducir la velocidad del tráfico al paso por la zona de obra.

El carril de la calzada en la que se esté aplicando la mezcla, estará delimitado y protegido por medio de conos bien visibles, correctamente colocados sobre el eje de la carretera cuando se trata de una vía que tiene un solo carril por sentido, o en la línea de división de los carriles si se trata de autopistas o autovías. Así se delimita la vía afectada por los trabajos, de la disponible para que circulen los vehículos, aumentando con ello la seguridad tanto para los operarios de la obra como a los usuarios de la carretera.

Igualmente, en autopistas y autovías, el corte de carril, se debe realizar de forma que permita a los vehículos situarse fácilmente en el margen correcto. Ello requiere que este bien indicado, señalizándose correctamente por medio de balizas, conos, o sistemas luminosos de advertencia que incrementen la seguridad, tanto de los usuarios de la carretera como de los operarios.

En carreteras con más de un carril por sentido, el corte de calzada no está controlado por los operarios de tráfico, ya que, en estas vías no es preciso mantener una circulación alterna, pues se puede circular por el carril adyacente al de la obra. Por esta situación, requiere las condiciones de balizamiento más exigentes, dado que además son vías generalmente con tráfico intenso y se circula a mayor velocidad.

En este tipo de vías, la señalización habitual va acompañada de paneles que indican la reducción de carriles, que en este tipo de obras generalmente solo afectan al corte de un carril. Informar con suficiente antelación de esta circunstancia, es imprescindible para incrementar la seguridad de los usuarios de la carretera y de los operarios que trabajan en la vía. Igualmente, la reducción efectiva de la velocidad de los vehículos que circulan por el tramo en obras, principalmente los de gran volumen, por el riesgo que implican y los perjuicios que pueden causar, como tumbar conos o señales, requiere que los usuarios ajusten la conducción a las condiciones requeridas para transitar por el tramo de obras. Un sistema que puede resultar útil para reducir la velocidad de los vehículos, es informar al conductor al inicio del tramo en obras, de la velocidad a la que pasa su vehículo a través de monitores luminosos.

Una situación especial en señalización, que requiere condiciones especiales son las que se realizan por la noche, por el mayor riesgo que supone para los usuarios de la carretera y para quienes trabajan en ella. La reducción de la visibilidad incrementa el tiempo de reacción de los conductores y disminuye considerablemente la seguridad de los operarios que se encuentran en la obra, por ello es imprescindible que tanto las zonas de trabajo como su señalización se visualicen con nitidez. En estas condiciones, el inicio del tramo se tiene que visualizar de forma clara, para que los conductores interpreten adecuadamente la información. Una cascada destellante de luces, instaladas sobre los primeros conos del corte, contribuye extraordinariamente a guiar a los usuarios de la vía a circular adecuadamente por el tramo en obras.

Las señales, paneles informativos y conos, deben ser reflectantes. Así mismo, la indumentaria de los trabajadores, la maquinaria y los vehículos de la obra deben incorporar también elementos luminiscentes. En particular, los cortes de carril deben estar correctamente indicados, utilizando para ello paneles luminosos secuenciales, que suelen ir instalados habitualmente en los vehículos destinados al mantenimiento ordinario de las carreteras, informando y señalizando claramente el carril por el que se debe circular. En las autopistas o autovías es frecuente también, indicar con señales luminosas el carril que se encuentra cortado, empleando dispositivos móviles o bien paneles fijos que se visualicen perfectamente.

10. PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS LABORALES EN LA OBRA

Lo más importante en una obra, es que se realice sin que se produzca ningún accidente, que pueda tener consecuencias para la integridad de las personas. Para ello, se deben tomar medidas en materia de seguridad laboral y preservación de la salud, aplicando la normativa vigente e implementando cuantas medidas se estimen oportunas para mejorar la prevención.

Una política eficaz para prevenir los riesgos consiste en tener siempre presente las situaciones potenciales de peligro, y protegerse frente a ellas tomando medidas para incrementar la seguridad,



Fotografía 51. - Detalle de los EPIs de los trabajadores.

así como informar y advertir sobre las situaciones de riesgo que se pueden dar, en cada una de las actividades profesionales que se realicen en la obra. La adopción de medidas de seguridad colectivas para todos los operarios del equipo, así como la fiabilidad de la maquinaria de los vehículos de la obra, y las medidas de protección personales (EPIs) como la indumentaria, calzado, u otros complementos como cascos, gorras, gafas o guantes entre otros, protegerán en gran medida de posibles accidentes a los trabajadores (ver **fotografía 51**).

De todas las funciones que se puedan desarrollar para protegerse frente a los accidentes o enfermedades laborales, la educación de los operarios en materia de prevención de riesgos laborales será posiblemente, la más eficiente de cuantas medidas se puedan tomar. Así una formación adecuada con respecto a los riesgos específicos que comporta cada puesto de trabajo, y de los equipos de protección individual (EPIs) que requieren, como también la realización de cursos de primeros auxilios, son fundamentales para reducir la siniestralidad laboral y sus consecuencias.

Se deben dedicar al inicio de la jornada laboral unos minutos para tratar sobre los riesgos potenciales que, en particular, podrían presentarse relacionados con las tareas que se vayan a desarrollar durante el día, resultando una herramienta sumamente eficaz para disminuir los riesgos de la actividad profesional.

Añadir que, para prevenir los riesgos laborales, la concienciación permanente por parte del personal inmerso en la obra es determinante, ya que ninguna medida que se adopte funcionará si personalmente cada trabajador no adquiere un compromiso con la seguridad en el trabajo.

La actitud particular de cada operario con respecto a la prevención de los riesgos no solo afecta a su integridad física, sino que también influye decisivamente en la seguridad y protección del resto de los trabajadores que comparten las actividades diarias de la obra. Por ello, la conducta y compromiso personal que cada operario adopte con respecto a la prevención de los riesgos en el trabajo, es determinante para garantizar tanto su seguridad individual como la de sus compañeros.

11. NORMATIVA QUE REGULA LOS MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

Estas mezclas se rigen por normativas generadas en el ámbito de la Unión Europea, por reglamentación de carácter nacional dependiente de la Administración General del Estado, y también por recomendaciones o normativas elaboradas por las diferentes comunidades autónomas.

11.1 NORMATIVA Y RECOMENDACIONES DE ÁMBITO NACIONAL

11.1.1 Red de Carreteras del Estado (RCE)

Estos tratamientos se encuentran recogidos en el pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3) siendo el artículo 540 de dicho pliego el que regula el empleo de los Microaglomerados en Frío, normativa dependiente del MITMA, y por tanto, sus prescripciones técnicas son de obligado cumplimiento para las mezclas que se apliquen en las carreteras de la red estatal (RCE).

El artículo 540 del PG-3 destaca la realización de las siguientes operaciones para llevar a cabo la ejecución de este tipo de tratamientos:

Estudio del Microaglomerado en Frío y obtención de la fórmula de trabajo.

Preparación del pavimento existente.

Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula establecida.

Extensión y, en su caso, compactación del Microaglomerado en Frío.

Respecto al estudio del Microaglomerado en Frío y obtención de la fórmula de trabajo, se deben estudiar las propiedades de los materiales constituyentes que se han expuesto previamente en el apartado 6.1.

El artículo 540 establece que los Microaglomerados en Frío obligatoriamente deben contar con el Marcado CE y la información correspondiente que le debe acompañar, conforme a lo recogido en la norma UNE-EN 12273.

Con respecto a su nomenclatura queda definida de la siguiente manera:

MICROF	D	SUP/INF	LIGANTE
---------------	----------	----------------	----------------

Donde:

MICROF: denominación de un Microaglomerado en Frío.

D: tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un noventa y un cien por ciento (90% y 100%) del total del árido.

Sup/inf: indicación del empleo en capa única o capa superior (sup) o en capa inferior (inf).

Ligante: designación de la emulsión a utilizar.

La granulometría del material pétreo según norma (UNE-EN 933-1) obtenido combinando las distintas fracciones del árido, deberá estar comprendido según sea el tipo de Microaglomerado en Frío, dentro de alguno de los husos fijados en la tabla 5 o 6 del apartado 6.1.1.

Con respecto a la composición, número de capas, dotación, y categoría de tráfico, deberán cumplir lo establecido en las tablas 1 y 2 del apartado 6.

11.1.2 Red de carreteras de CCAA, Diputaciones y Administraciones Locales

En carreteras de baja intensidad de tráfico, como algunas dependientes de CC.AA y de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells, se emplean lechadas bituminosas 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.

La granulometría resultante de la combinación de las diferentes fracciones de árido (UNE-EN 933-1) deberá estar comprendida en alguno de los husos para lechadas bituminosas que aparecen en la tabla 7 del apartado 6.1.1. También, respecto a la dotación media aplicada, contenido de ligante, posición de la capa y categoría de tráfico pesado donde se puede emplear, deberá cumplir lo establecido en la tabla 2 del apartado 6.

11.2 NORMATIVA EUROPEA

Desde enero de 2011, los Microaglomerados en Frío deben contar con el marcado CE y la correspondiente información que lo acompaña, conforme a lo establecido en la norma UNE-EN 12273. Esta norma contiene los requisitos prestacionales y procedimientos de control para la aplicación, como producto para el tratamiento superficial de carreteras y otras áreas de tráfico como arcenes y carriles para bicicletas. La norma establece que el producto puede constar de una o varias capas.

El propósito de esta norma de ámbito europeo es, además de verificar que el fabricante está realizando el Control de Producción en Fábrica (CPF) siguiendo fielmente lo establecido en la normativa de producto, evalúa también, el comportamiento que ha tenido el Microaglomerado en frío, tras un periodo aproximado de un año desde su puesta en servicio. Dicha evaluación, es una característica singular que presenta esta norma de aplicación exclusiva para los productos bituminosos fabricados in situ.

Se trata pues, de un método para evaluar y cuantificar los deterioros producidos en los tratamientos realizados a base de Microaglomerados en Frío, tras un periodo de exposición al tráfico y a las inclemencias climatológicas que soportan los pavimentos. Dicha evaluación permite valorar el comportamiento mecánico y funcional que han tenido las mezclas aplicadas, tras ser sometidas a los esfuerzos reales que deben soportar las capas de rodadura.

Aunque la citada normativa europea, lleva por título “Lechadas bituminosas”, aplica a los Microaglomerados en frío ya que se trata del producto final y no de la forma en que se aplica. Según esta norma, se excluyen de la obligatoriedad del marcado CE:

Los **diseñados** por el cliente.

Los **aplicados** en túneles en lo relativo a la reacción frente al fuego.

Los **aplicados** en aeropuertos.

Reparaciones menores (menos de 500 m²).

No obstante, resulta muy recomendable la obtención del marcado CE conforme a la mencionada norma.

11.2.1 NORMATIVA DE MARCADO CE

A continuación, se recogen los aspectos fundamentales que afectan al marcado CE según lo recogido en la norma EN 12273, en la “Guía para la preparación de la documentación a elaborar por el fabricante para el marcado CE y la documentación a emitir por los organismos notificados” recogida el Reglamento Europeo de Productos de la Construcción N° 305/2011 y en la Monografía de marcado CE de lechadas bituminosas de ASEFMA.

La sistemática para la implantación del marcado CE se realiza a través de un sistema de conformidad 2+ que distribuye las tareas a realizar de la siguiente manera:

Tareas responsabilidad del fabricante:

Control de Producción en Fábrica (CPF).

Definición del Ensayo de Instalación de Aprobación de Tipo o ensayo inicial de tipo (TAIT).

Ensayos adicionales de muestras tomadas durante la fabricación de la mezcla.

Elaboración de la declaración de prestaciones y etiquetas.

Tareas por parte de un Organismo Notificado

Evaluación de la conformidad en base a:

Inspección de los equipos de producción y del CPF.

Vigilancia, evaluación y supervisión continuas del CPF.

El objetivo del marcado CE para los Microaglomerados en Frío es el mismo al de las Mezclas Bituminosas en Caliente, pero existe una diferencia fundamental: Los Microaglomerados en Frío (así como los tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla) son productos que se fabrican y aplican in situ, por lo que para obtener su marcado CE, se debe realizar un Ensayo de Instalación, Aprobación de Tipo (TAIT) que se evaluará transcurridos 11- 13 meses desde su aplicación.

A continuación, se recogen los aspectos fundamentales que afectan al marcado CE de las Lechadas Bituminosas.

11.2.1.1 Control de Producción en Fábrica (CPF o FCP en inglés)

El fabricante debe establecer, documentar y mantener un sistema de Control de Producción en Fábrica que garantice que el Microaglomerado en Frío comercializado es conforme a las características prestacionales declaradas.

El CPF debe reflejar procedimientos y actuaciones para llevar a cabo el control de materias primas, de los procesos de fabricación (maquinaria incluida) y del propio producto fabricado. Para controlar todo el proceso, el CPF debe cumplir los requisitos establecidos en la ISO 9001. En el CPF se debe documentar:

Responsabilidad y autoridad: Se tiene que definir las personas que tengan autoridad para ajustar el diseño a las condiciones de la obra, y para asegurar que la lechada cumple los requisitos de la norma EN 12273.

Proceso de diseño de la lechada: Debe hacer referencia a las normas empleadas, que, en este caso serán las normas EN 12274-4, EN 12274-5 y en 12274-7.

Control de proceso: El fabricante debe documentar el método a emplear en cada emplazamiento (o grupo de emplazamientos) para asegurar el control del proceso de fabricación y extensión. Para ello, en función de la tipología de obra y de la documentación aplicable al proyecto (contrato), puede ser necesario registrar:

Limpieza del sustrato.

Medidas previas a la aplicación en función de las condiciones meteorológicas.

Identificación y Conformidad de los materiales constituyentes. Para ello, se deben realizar las inspecciones /ensayos reflejados en las tablas: B.2, B.3, B.4 y B.5 del anexo B de la norma EN 12273, y con las frecuencias que en dichas tablas se establecen.

Funcionamiento de los equipos de aplicación. Se deben calibrar siguiendo las inspecciones / ensayos reflejados en la tabla B.1, del anexo B de la norma.

Durante el proceso de fabricación y aplicación de la lechada, también se deben realizar los controles /ensayos que se reflejan en la tabla B.6, igualmente del anexo B, y, en ambos casos las frecuencias del control, serán las que establezcan sus tablas.

Acreditación formativa del personal implicado en la obra.

Un sistema normalizado para realizar los cambios que soliciten los organismos competentes.

Acreditar el estado en el que se encuentra la superficie de la carretera antes de aplicar la lechada, así como cualquier variación que se haya producido en la misma, con respecto al proyecto.

Esto es fundamental, ya que, algunos defectos que pueden existir en la superficie previa a la extensión de la lechada, pueden reflejarse posteriormente en el revestimiento, y repercutir negativamente en sus prestaciones.

Procedimiento y tiempos, en los que notificar al cliente cualquier incidencia que se produzca en la obra.:

Planificación de las tareas.

Actividades necesarias para mantener el producto hasta que sea entregado al cliente:

Control del equipo y de los dispositivos de auscultación y medición, para asegurar que funcionan dentro de las tolerancias establecidas.

Auscultación y medición del producto. Para ello, deben realizarse las inspecciones / ensayos reflejados en la tabla B.7 del anexo B de la norma, y en las frecuencias que en dicha tabla se establecen.

Productos no conformes. El fabricante debe contar, con procedimientos que especifiquen lo que se hace con los productos no conformes.

Acciones correctivas: El fabricante igualmente debe disponer de acciones correctivas para eliminar la causa de la no conformidad.

11.2.1.2 Ensayo de Instalación de Aprobación de Tipo (TAIT)

Se trata de una sección definida de la carretera, en la que se ha extendido un Microaglomerado en frío, que, a su vez, se corresponde con un tramo representativo de todo el tratamiento aplicado.

En el proceso de fabricación, se debe seguir lo establecido el CPF, valorando midiendo los deterioros más significativos que se hayan podido producir en el tratamiento transcurrido un año. A través de este método, se evalúan las prestaciones que ha ofrecido el Microaglomerado en Frío, así como el comportamiento mecánico y funcional que ha tenido.

Se debe realizar un TAIT, por cada familia de productos que se quiera comercializar.

El TAIT, debe tener una longitud mínima de 200 m, y abarcar toda la calzada en carreteras que solo tengan un carril por sentido, o, la anchura completa de uno de ellos si la vía dispone de varios.

Los requisitos técnicos solicitados tras el tiempo establecido según norma, así como las diferentes categorías, se encuentran descritos en la tabla 17 adjunta (Tabla 1 de la norma EN 12273):

Tabla 17 – Categoría de prestaciones

CARACTERÍSTICAS DE LA LECHADA BITUMINOSA REQUERIDAS POR MANDATO			CATEGORÍA					
REQUISITO TÉCNICO	REFERENCIA	UNIDADES	0	1	2	3	4	5
EVALUACIÓN VISUAL DE DEFECTOS								
P1- EXUDACIÓN, INCRUSTACIÓN CASI TOTAL Y RODADAS	EN 12274-8	%	PND	≤ 8	≤ 2	≤ 0,5	≤ 0,2	
P2- DELAMINACIÓN, PÉRDIDA DE ÁRIDOS, DESGASTE, SEPARACIÓN EN LA UNIÓN DE CARRILES VIA-RIOS, SURCOS O DESPEGUE DE LA CAPA DE RODADURA	EN 12274-8	%	PND	≤ 8	≤ 2	≤ 0,5	≤ 0,2	
P3- ONDULACIONES, RESALTOS Y ARRUGAS	EN 12274-8	%	PND	≤ 8	≤ 2	≤ 0,5	≤ 0,2	

P4- GRUPOS DE DEFECTOS PEQUEÑOS Y REPETITIVOS EN NO MÁS DE (N) RECTÁNGULOS	EN 12274-8	%	PND	≤ 20	≤ 5	≤ 1	≤ 0,2	
L - RANURAS LONGITUDINALES	EN 12274-8	M	PND					
CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES								
MACROTEXTURA	EN 13036-1	MM	PND	≥ 0,2	≥ 0,4	≥ 0,6	≥ 0,8	≥ 1,0
GENERACIÓN DE RUIDO MACROTEXTURA	EN 13036-1	MM	Valor máximo declarado					
MATERIALES CONSTITUYENTES								
COHESIÓN DEL LIGANTE- EMULSIÓN BITUMINOSA	EN 13808		Se declara de las clases dadas en la norma EN 13808					
ÁRIDOS- COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO	EN 13043		Se declara de las categorías dadas en la norma EN 13043					
ÁRIDOS- RESISTENCIA AL DESGASTE POR COEFICIENTE MICRO-DEVAL	EN 13043		Se declara de las categorías dadas en la norma EN 13043					
ÁRIDOS- RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN CON NEUMÁTICOS CLAVETEADOS	EN 13043		Se declara de las categorías dadas en la norma EN 13043					
TIPO DE LECHADA BITUMINOSA			Debe declarar el tamaño máximo de árido y el tipo de ligante (de cada capa)					
OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CONSTITUYENTES								
Ligantes- se pueden elegir otras características de los ligantes de las dadas en la norma EN 13808								
Áridos- se pueden elegir otras características de los áridos de las dadas en la norma EN 13043								

Adicionalmente a estos requisitos, el registro del TAIT debe incluir:

Fabricante (nombre, dirección, teléfono, etc.).

Fecha del TAIT.

Emplazamiento del TAIT (Carretera, pK inicial y final).

Uso previsto.

Método de diseño.

Oficina de diseño (cuando no sea la del fabricante).

Resultados de ensayo de los materiales empleados.

Nombre del representante del fabricante responsable del TAIT.

Cuando los requisitos relativos a una característica determinada no aplican en uno de los países miembros, los fabricantes que quieran comercializar su producto en ese estado podrán si lo desean no declarar esa prestación, incluyendo la opción Prestación no Determinada (NPD en inglés). Sin embargo, esta opción no es aplicable cuando exista un umbral límite para esa característica en dicho estado.

Los resultados obtenidos, y registrados, serán posteriormente presentados y evaluados por un Organismo Notificado para su conformidad.

Como la norma EN 12273 habla de familia de productos, pero no establece cuáles son, **ATEB** propone las siguientes familias de productos:

- Tratamiento **monocapa** de tipo MICROF-5
- Tratamiento **monocapa** de tipo MICROF-8
- Tratamiento **monocapa** de tipo MICROF-11
- Tratamiento **monocapa** de tipo MICROF-6
- Tratamiento **bicapa** de tipo MICROF-5 + MICROF-8
- Tratamiento **bicapa** de tipo MICROF-5 + MICROF-11
- Tratamiento **bicapa** de tipo MICROF-4 + MICROF-6
- Tratamiento **bicapa** de tipo MICROF-4 + MICROF-8

En el caso de emplearse granulometrías de tamaño máximo nominal inferior a 4 mm, éstas no deben aplicarse en tratamiento monocapa ya que pueden aparecer problemas de resistencia al deslizamiento. Por otro lado, este tipo de granulometrías más finas, son altamente recomendables (siempre que se empleen como capa inferior en tratamientos bicapa) cuando lo que se busca es sellar e impermeabilizar el pavimento existente.

En función de las categorías recogidas en la tabla 17 para las diferentes familias existentes de Microaglomerados en Frío, se debe seleccionar de estas, la más apropiada a las condiciones de la vía en la que se va a intervenir, y conforme a las prestaciones que se quieran obtener con el tratamiento. Un TAIT de un microaglomerado para autopista, puede ser válido también para una carretera de tráfico ligero, pero no necesariamente a la inversa.

Como lo que se evalúa son las prestaciones de una familia de productos, se permite una variación en los materiales constituyentes de la lechada o microaglomerado en frío, de acuerdo con el CPF del fabricante, siendo válido un mismo TAIT, siempre y cuando no varíen las prestaciones declaradas.

Es importante recalcar, que, en el caso de tratamientos bicapa, la evaluación visual de defectos del TAIT únicamente se realizará sobre la capa superior (que se verá a su vez afectada por el soporte sobre el que se extendió) ya que la inferior deja de estar expuesta al tráfico, una vez que se extendida la segunda capa.

11.2.1.3 Etiquetas y Declaración de Prestaciones

Una vez realizado el TAIT, el fabricante debe elaborar una etiqueta y una declaración de prestaciones por cada familia de productos.

11.2.1.3.1 Etiqueta

La etiqueta es un documento emitido por el fabricante, que acompaña al producto y que recoge la información de conformidad del marcado CE según la norma EN 12273. Las características esenciales que debe recoger quedan reflejadas en la tabla ZA.1 del anexo ZA de la norma, en el que también aparece un ejemplo de etiqueta.

Cuando la familia de producto esté formada por un tratamiento bicapa, no es obligatorio que la primera capa (dado que no está previsto que se someta a tráfico), responda las categorías seleccionadas para cada característica esencial.

11.2.1.3.2 Declaración de Prestaciones

La Declaración de Prestaciones, es un documento que define las propiedades del producto, en función de sus características esenciales. Este documento lo emite el fabricante, cuando se introduce en el mercado dicho producto, asumiendo la responsabilidad sobre las prestaciones que se declaran. El contenido de la Declaración de Prestaciones, viene reflejado en la Guía del Reglamento Europeo de Productos de la Construcción N° 305/2011, con la que el fabricante, debe elaborar la documentación necesaria para la obtención del marcado CE. A sí mismo, requerirá también los informes emitidos a este respecto por los organismos notificados.

11.2.1.4 Evaluación de la conformidad

La conformidad para el mercado CE, se realiza a través de un sistema de evaluación de conformidad 2+, que consiste en la inspección de un tercero, que es el Organismo Notificado. En esta inspección el Organismo Notificado realizará una revisión de toda la documentación desarrollada durante el proceso de marcado, incluida la inspección realizada por el fabricante en el TAIT seleccionado, incluyendo la evaluación de los defectos, así como la valoración de la resistencia del microaglomerado frente al deslizamiento, su durabilidad, y adherencia al sustrato.

Tras la inspección, el Organismo Notificado proporcionará el Certificado de Conformidad del producto, para la obtención del marcado CE. Posteriormente, el fabricante redactará la Declaración de Conformidad, que contemplará las prestaciones del producto en relación con sus características esenciales. Se elaborará una declaración por producto, o familia de productos, a criterio del fabricante.

Esta declaración debe incluir:

- Nombre y dirección del fabricante.

- Descripción del producto (tipo, identificación, empleo...) y una copia de la información que acompaña al marcado CE.

- Condiciones específicas aplicables al uso del producto.

- Número del certificado del CPF asociado.

- Nombre y cargo de la persona facultada para firmar la declaración en nombre del fabricante.

La declaración se debe acompañar de un certificado del CPF que debe incluir, además de lo anteriormente citado:

- Nombre y dirección del Organismo Notificado.

- Número del certificado del CPF.

- Condiciones y periodo de validez (si procede).

- Nombre y cargo de la persona facultada para firmar el certificado.

El fabricante también debe elaborar una etiqueta de producto que debe incluir la siguiente información:

- Número de identificación del organismo notificado.

- Nombre, marca comercial y dirección del fabricante.

- Los dos últimos dígitos del año de obtención del Marcado CE.

- El número del certificado de Control de Producción en Fábrica.

La referencia a la norma EN 12273: 2008.

Descripción del producto.

Información de las características declaradas para cada uno de los requisitos establecidos en la norma.

11.2.1.5 Entrega de documentación

La documentación relativa a marcado CE a entregar por parte del fabricante al receptor del producto es:

Certificado de Conformidad del Control de Producción en Fábrica, proporcionado por el Organismo Notificado. Se puede entregar en papel, por fax o vía electrónica, o se pueden colgar en la web del fabricante.

Declaración de Prestaciones del producto. Se puede entregar en papel, por fax o vía electrónica, o se pueden colgar en la web del fabricante.

Con cada suministro, se debe entregar también la **etiqueta CE del producto**. Esta etiqueta debe ir acompañada del producto, en su embalaje siempre que sea posible (por ejemplo, las lechadas embidonables) o si no, con los albaranes o facturas.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Monografía sobre Lechadas Bituminosas y Microaglomerados en Frío de ATEB. Coordinado por Javier Nebreda y Jesús Rincón. Año 2004.
2. Monografía 4 sobre el marcado CE de las Lechadas Bituminosas. Evaluación de defectos de ASEFMA. Año 2009.
3. Artículo 214 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). MITMA. Año 2015.
4. Artículo 540 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). MITMA. Año 2015.
5. UNE-EN 12273:2009 – Lechadas Bituminosas: Especificaciones. CEN. Año 2009.
6. UNE-EN 13808:2013 – Betunes y Ligantes Bituminosos: Especificaciones de las Emulsiones Bituminosas Catiónicas. CEN. Año 2013.
7. UNE-EN 12274-8:2006 - Lechadas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 8: Evaluación visual de defectos. CEN. Año 2006.
8. Recomendaciones para la Redacción de Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares de Firmes y Pavimentos Bituminosos de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico. Asociación Técnica de Carreteras (ATC). Año 2018.
9. Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para Obras de Microaglomerado en Frío para Aeropuertos. AENA. Año: Pte de publicación.



ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS

www.ateb.es | gerencia@ateb.es