

# REUTILIZACIÓN CON ALTAS TASAS DE RA EN MICROAGLOMERADOS EN FRÍO

Alberto Prieto Carbajo, [albertop@collosa.es](mailto:albertop@collosa.es), 619 04 55 29.

## RESUMEN.

El asfalto recuperado (RA), se utiliza tradicionalmente en la construcción de mezclas bituminosas en caliente y semicalientes, sin olvidar su reutilización en técnicas de reciclado en frío con emulsión, pero hay un interés creciente en el uso de RA en tratamientos de conservación no habituales y no destructivos.

La reutilización de pavimentos de asfalto recuperado, tiene un impacto positivo en criterios *medioambientales, circularidad y sostenibilidad*, y si incluimos factores como la reducción de la temperatura de fabricación y extendido reduce exponencialmente su huella de carbono.

Las técnicas de conservación y sobre todo las que se aplican en frío no solían introducir en su composición materiales considerados secundarios. A nivel de investigaciones, desarrollos e innovaciones ha habido experiencias de estudios a nivel de laboratorio.

En esta presentación, se van a exponer las experiencias de uso de materiales provenientes del fresado de pavimentos bituminosos para su aplicación en microaglomerados en frío usando como ligantes, emulsiones específicas para ello, a alta tasa y tasa total.

Las experiencias que se van a exponer en esta comunicación son las actuaciones en el proyecto promovido por:

1. la Junta de Extremadura en las “ACTUACIONES DE CONSERVACIÓN EXTRAORDINARIAS Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL EN LAS CARRETERAS EX-206 Y EX-323. LOTE 1 EX-206. PP.KK. 81+200 – GLORIETA (94+740) Y EX-A2-R1 (3+900 – 4+190)”, con microaglomerados en frío tipo MICROF-5 para capa de rodadura con tasa de reciclado (RAP) del 50 y 100%. **ABRIL 2.022**
2. MITMA en el contrato de servicios del sector VA-04, “REHABILITACIÓN SUPERFICIAL DEL FIRME EN LA RONDA EXTERIOR DE VALLADOLID VA-30 ENTRE LOS p.p.k.k 15+000 al 17+300 y del 18+600 al 20+000”, mediante el extendido de microaglomerado en frío, tipo MICROF5 INF C60BP4 R70 (70% de RAP). **AGOSTO 2.022**
3. SEITT en el contrato de servicios de la R-2, M-50 y M-12 en MADRID, mediante el extendido de microaglomerado en frío, tipo MICROF-5 INF C60BP4 R100 (100% de RAP) y MICROF-8 SUP C60BP4 100R. **JULIO-AGOSTO 2.023**

## 1. OBJETIVOS.

En esta presentación se va a exponer las experiencias de reutilización de pavimentos asfálticos recuperados en aplicaciones de microaglomerados en frío (MICROF) con emulsión bituminosa específica, como actuación pionera.

## 2. INTRODUCCIÓN.

Actualmente se están estableciendo criterios medioambientales para las mezclas bituminosas, encaminadas a la reducción de su impacto. En esta línea, tanto la disminución de temperaturas de fabricación y extendido de mezclas calientes, como los ya tradicionales reciclados con materiales de desecho son las tecnologías que ayudan a la sostenibilidad.

La reutilización de pavimentos de asfalto recuperado (RA) está creciendo exponencialmente, ya que tiene un impacto positivo en criterios medioambientales, circularidad y sostenibilidad. Este se utiliza tradicionalmente en la construcción de mezclas bituminosas en caliente y semicalientes, sin olvidar su reutilización en técnicas de reciclado en frío con emulsión, pero hay un interés creciente en su uso en otro tipo de proyectos que no sean los habituales, como pueden ser su empleo en tratamientos de conservación no habituales y no destructivos.

Las técnicas de conservación y sobre todo las que se aplican en frío no solían introducir en su composición materiales considerados secundarios. A nivel de investigaciones, desarrollos e innovaciones ha habido experiencias de estudios a nivel de laboratorio, como pueden verse en los estudios y proyectos indicados en la bibliografía de este documento.

En estas investigaciones se estudió la aplicación de la tecnología de los microaglomerados en frío para operaciones de conservación superficial de las capas de rodadura, para conocer el comportamiento de los mismos cuando se emplea como material constituyente una fracción de fresado proveniente de la recuperación de pavimentos asfálticos e incluso polvo de neumático fuera de uso (PNFVU).

En base a estos estudios se aplicó el conocimiento para el estudio de fórmulas para su aplicación en las obras promovidas por:

- Junta de Extremadura en el proyecto de “ACTUACIONES DE CONSERVACIÓN EXTRAORDINARIAS Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL EN LAS CARRETERAS EX-206 Y EX-323. LOTE 1 EX-206. PP.KK. 81+200 – GLORIETA (94+740) Y EX-A2-R1 (3+900 – 4+190)”, con microaglomerados en frío tipo MICROF5 para capa de rodadura con tasa de reciclado (RAP) del 50% y 100%.
- MITMA en el contrato de servicios del sector VA-04, del extendido de una “REHABILITACIÓN SUPERFICIAL DEL FIRME EN LA RONDA EXTERIOR DE VALLADOLID VA-30 ENTRE LOS p.p.k.k 15+000 al 17+300 y del 18+600 al 20+000”, mediante el extendido de mezcla bituminosa en frío, tipo MICROF5 INF C60BP4 R70 (70% de RAP) y MICROF8 SUP C65BP4 AP (Altas Prestaciones), aparte de las mezclas convencionales MICROF5 INF C60BP4 y MICROF8 SUP C60 BP4.
- SEITT en el contrato de servicios de la R-2, M-50 y M-12 en MADRID, en la R-2 exterior calzada izquierda 32+880 al 15+550, R-2 interior del 3+895 al 7+230 y M-12 del 3+200 al 6+479, mediante el extendido de microaglomerado en frío, tipo MICROF-5 INF C60BP4 R100 (100% de RAP) y MICROF-8 SUP C60BP4 100R (100% RAP)

### 3. DESARROLLO.

#### 3.1. Antecedentes.

Las investigaciones previas sobre la aplicación de la tecnología de los microaglomerados en frío con emulsión bituminosa para operaciones de conservación superficial de las capas de rodadura para conocer el comportamiento de los mismos cuando se emplea como material constituyente una fracción de RA e incluso polvo de neumático fuera de uso (PNFVU), mostraron las siguientes conclusiones:

- A escala de laboratorio, la utilización de este material es perfectamente viable para la confección de microaglomerados en frío, con las ventajas económicas y medioambientales que ofrece.
- Este debe ser seleccionado y tratado previamente para encajarlo en los husos granulométricos de los microaglomerados en frío.
- Dada sus características, es necesario el ajuste tanto de la composición de la emulsión (en tiempos de rotura y emulgentes cohesivos) como del microaglomerado en frío, especialmente en el filler de aportación y en los fluidos.
- Ya que en función del comportamiento del fresado con las emulsiones es necesario ajustar la composición de los componentes del microaglomerado en frío.
- Evidentemente, a la hora de diseñar estas mezclas, es necesario conocer la información del árido que contiene el fresado, especialmente a lo que dureza y pulimento se refiere, para determinar el tipo de tráfico al que puede ir destinado. Si las características no fueran las adecuadas, siempre se podrá combinar con árido virgen.
- El PNFVU no tuvo un buen comportamiento en abrasión y desgaste, aunque pueda tener una acción beneficiosa de este material en la reducción de ruido, aspecto este que en los aglomerados en caliente tiene su importancia.

#### 3.2. Soluciones propuestas.

En base a estas premisas se valoró el empleo de esta tecnología de forma cronológica dentro de los proyectos indicados en la introducción, con el objetivo de:

1. aplicar esta solución en la rehabilitación superficial de firmes, que se engloba dentro de la economía circular y sostenible, y pionera a nivel europeo.
2. contrastar nuestros datos sobre como diseñar, utilizar, gestionar y seguir la aplicación y reutilización de asfalto recuperado (RAP) en capas de rehabilitación superficial.

##### 3.2.1 "ACTUACIONES DE CONSERVACIÓN EXTRAORDINARIAS Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL EN LAS CARRETERAS EX-206 Y EX-323. LOTE 1 EX-206. PP.KK. 81+200 – GLORIETA (94+740) Y EX-A2-R1 (3+900 – 4+190)" para la Junta de Extremadura.

Las actuaciones principales establecidas en el proyecto y que se ejecutaron, fueron la rehabilitación superficial del firme, mediante el fresado de firme existente y reposición con mezcla bituminosa en caliente AC 22 SURF 50/70 S con un espesor de 6 cm en la rotonda de entrada a Don Benito y en el ramal 1 de la EX-A2 y la rehabilitación superficial del firme con microaglomerado en frío, tipo MICROF5, en única capa con emulsión bituminosa modificada tipo C60BP4 MIC.

Se concretó emplear la reutilización del fresado que provenía de la rotonda de entrada indicada, para ser empleado en el MICROF. Obviándose el empleo de PNFVU en la composición, por lo indicado en los antecedentes.



*Foto 1 y 2. Ejecución Fresado rotonda entrada Don Benito (BA).*

Dentro del MICROF se valoraron dos opciones: MICROF-5 y el MICROF-8, optándose por la primera. Ya que, aunque el estado que presentaba el tramo entre los p.p.k.k 81+200 al 94+740 de la EX-206 era homogéneo en cuanto a conservación, mostraba defectos superficiales como fisuras tanto longitudinales como transversales, pérdida de árido de rodadura, peladuras y pequeños baches sin influencia estructural. Por lo que se decidió emplear un MICROF5 para cubrir las pequeñas fisuras con un tamaño menor en la mezcla.

El tramo seleccionado para aplicar el MICROF5 con un 50% y 100% de material recuperado tratado fue entre los p.p.k.k 83+000 y el 83+500 de la EX-206. Para comparar y ver el comportamiento de cada uno de ellos se ejecutaron de tal manera que en cada margen de la carretera hubiera un tramo similar y pudieran ser analizados con el paso del tiempo el resultado de esta prueba. Por tanto, se procedió a ejecutar del pK. 83+000 al 83+250 Margen derecha y del pK. 83+250 al 83+500 margen izquierda el MICROF5 con 100 % RAP y del pK. 83+250 al 83+500 Margen derecha y del pK. 83+000 al 83+250 margen izquierda el MICROF5 con 50 % RAP.

El fresado del firme de la rotonda fue acopiado en la gravera de donde provenía el árido virgen para el MICROF (Hormigones Rodriguez, Don Benito, BA). Este fue clasificado y separado en dos fracciones, empleándose el material inferior a 6 mm para esta aplicación.



*Foto 3. Clasificación del fresado en tamaño 0/6 mm*

Este material fue analizado, determinándose su granulometría con y sin el ligante envejecido, equivalente de arena, EN 933-8, contenido de ligante soluble, UNE EN 12697, y recuperación para determinar su

consistencia y estado mediante penetración con aguja, EN 1426, y punto de reblandecimiento anillo y bola, EN 1427. Comprobándose que su naturaleza era similar a la del árido virgen, de naturaleza silíceo, típica de la zona. Como material mineral virgen se empleó un árido de naturaleza silíceo de la gravera antes mencionada, cercana a la obra. Analizándose su composición granulométrica, EN 933-1, equivalente de arena, EN 933-8, coeficiente de pulimento acelerado del árido grueso de origen, EN 1097-8 y coeficiente desgaste de los Ángeles fracción 10-14 mm, EN 1097-2. Además, se utilizó cemento como filler de aportación y agua, valorándose también un aditivo retardador de la rotura.

Tamiz UNE EN, mm	Granulometría en negro	Árido extraído	Árido virgen silíceo
	% Pasa		
8	100	100	100
5,6	78	86	97
4	60	71	83
2	37	50	58
1	24	38	43
0,5	15	30	33
0,25	10	25	26
0,125	5	17	15
0,063	2,4	11,5	9,4
Contenido de ligante soluble s/ mezcla, %		5,3	--
Contenido de ligante soluble s/ árido, %		5,6	--
Penetración, 0,1 mm		5	--
Punto de reblandecimiento, °C		97,8	--
E.A.		82	80
C.P.A			52
L.A.			19

Tabla 1. Propiedades físicas del fresado tratado y árido extraído. Y arena silíceo virgen.

La emulsión se diseñó en base a las investigaciones previas y en base al estudio de la fórmula de trabajo según la naturaleza del árido y del fresado, ajustando su composición adecuadamente en cuanto a emulgentes, aditivos, betún base y grado de modificación polimérica, para asegurar envuelta, aplicación y cohesiones a corto plazo de la mezcla. La emulsión establecida para esta actuación se engloba dentro de las especificaciones que se establecen en la norma EN 13808 sobre emulsiones modificadas de naturaleza catiónica para microaglomerados en frío C60BP4 MIC.

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN	CLASE
Polaridad de las partículas	-	EN 1430	Positivo	-
Índice de ruptura	-	EN 13075-1	110-195	4
Contenido en ligante	%	EN 1428	58 a 62	6
Residuo de tamizado	%	EN 1429	≤0,1	2
LIGANTE POR DESTILACIÓN (EN 1431)				
Penetración a 25°C	0,1mm	EN 1426	≤100	3
Punto de Reblandecimiento	°C	EN 1427	≥50	4
Cohesión (ensayo del péndulo)	J/cm <sup>2</sup>	EN 13588	≥0,5	6
Recuperación Elástica a 25°C	%	EN 13398	DV (>50%)	1

Tabla 2. Especificaciones más características de la emulsión C60BP4 MIC

Para el diseño de la Fórmula de Trabajo se emplearon los ensayos de laboratorio adecuados, correspondientes a la preparación de lechadas bituminosas, NLT-316, para fijar el comportamiento de las

diferentes formulaciones planteadas y establecer cuál era la composición/formulación más adecuada en cuanto a comportamiento a rotura y cohesiones a cortos tiempos de vida de la emulsión bituminosa catiónica C60BP4 MIC.

Una vez establecidas las emulsiones más adecuadas, se definió la composición granulométrica final de los MICROF5 para todas las composiciones: tasa del 100% de RAP, tasa del 50% de RAP y referencia con solo material virgen.

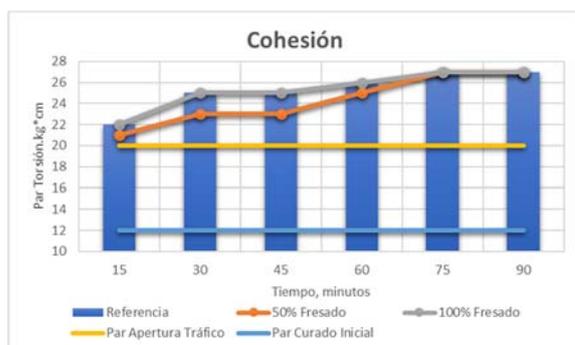
Dosificación MICROF 5, %	Referencia	50% Fresado (Blanco/Negro)		100% Fresado Blanco/Negro		Huso MICROF 5	
Arena 0/6 Silíceo	100	50					
Fresado 0/8		50		100			
Tamiz UNE, mm	% Pasa						100
8	100	100	100	100	100		
5.6	97	92	88	86	78		
4	83	77	72	71	60		
2	58	54	48	50	37		
1	43	41	34	41	24		
0.5	33	32	24	38	15		
0.25	15	26	18	30	10		
0,063	9,4	10,5	5,9	11,5	2,4		
E.A.	80	87	--	82	--		

Tabla 3. Granulometrías de las fórmulas de los diferentes MICROF 5.

Y finalmente se comprobaron cohesiones, par de torsión para clasificación y desgaste o pérdida de partículas, según las normas EN 12274-4, NLT-323 y EN 12274-5, respectivamente. Y así establecer la fórmula de trabajo óptima de los diferentes componentes de las mezclas.

Componente, % s/a	Referencia	50% Fresado	100% Fresado
0/6 Silíceo	100	50	--
Fresado 0/6	--	50	100
Cemento	0,1	0,1-0,2	0,1-0,2
Agua	9-10	8-9	7-8
Aditivo	0,1-0,2	0,1	0,1 - 0,15
C60BP4 MIC	11-12	10-11	9-10

Tabla 4. Composición MICROF5.



Gráficos 1, 2. Cohesión y Desgaste por abrasión de los microaglomerados en frío.

Las conclusiones que se obtuvieron del diseño fueron:

- El fresado se encontraba bastante envejecido con valores muy acusados en cuanto a consistencia empírica, dado que mostro baja penetración y alto punto de reblandecimiento.
- La arena sílicea tenía un comportamiento muy franco con la composición definida y formulada para la emulsión C60BP4 MIC. Al igual que la emulsión definida para los microaglomerados con RAP en las proporciones indicadas.
- La composición de las emulsiones C60BP4 MIC fueron definidas para ajustar el consumo de aditivo al mínimo, de tal forma que se vean mejoradas las cohesiones a cortos tiempos de vida.
- Esto se reflejó en unos valores de cohesión o par de torsión buenos, lo que clasifico a los microaglomerados como de curado rápido y/o rápida apertura al tráfico.
- Los consumos de líquidos de los MICROF se ajustaron al mínimo, tanto el que llevaba el 100% de RAP, como el que se combina con la arena de cantera. Y por los datos obtenidos no era necesario emplear dosificaciones altas de cemento, ajustándose al mínimo para ayudar a las cohesiones tempranas.
- Finalmente, los datos de abrasión por vía húmeda de los MICROF analizados, dieron resultados bastante buenos. Manteniéndose en el orden las dosificaciones de solo arena y sólo fresado, mejorándose ampliamente cuando empleamos al 50% ambos materiales.
- Considerando las granulometrías en blanco del material reutilizado, encajaban relativamente bien en el huso MICROF5.
- Para esta aplicación, el material fresado 0/6 tratado fue considerado como otro árido más.

La metodología de fabricación y sistema de fabricación consistió en preparar el material recuperado de la mezcla bituminosa del tramo, separándolo en dos fracciones y acopiado en la gravera, empleándose la fracción 0/6 mm como material a reutilizar en los MICROF. Para la composición del 50%, se emplearon los medios mecánicos necesarios en planta para hacer la mezcla y su homogeneización. Con todos los materiales en el lugar de acopio, se cargó la máquina de extendido de MICROF con todos los componentes intervinientes según tipo de mezcla y se trasladó al lugar de extendido, según el croquis adjunto.



*Foto 4 y 5. Detalle del Fresado 0/6 mm tratado acopiado en planta.*

*Foto 6. Mezcla al 50% ejecutada y homogeneizada.*

Los MICROF con las diferentes composiciones de fresado se aplicaron según la configuración y puntos indicados anteriormente, completándose el resto de la obra con la mezcla de referencia.



Foto 7. Extendido MICROF5 con 100% Fresado



Foto 9. Extendido MICROF5 con 50% Fresado

Se realizaron los ensayos pertinentes de control de puesta en obra y ensayos de caracterización de los tramos, mediante el control de los materiales constituyentes principales: materia mineral, fracción 0/6 mm del RAP, emulsión bituminosa y a la mezcla terminada.

MICROF5, %	Fresado	Referencia	50% Fresado	100% Fresado	Huso MICROF 5
Tamiz UNE, mm	% Pasa				
8	100±0	100±0	100±0	100±0,0	100
5.6	98±0,0	97±0	94±2	98±0	90-100
4	87±3	83±2	81±3	82±1	78-93
2	67±3	62±2	61±3	61±0,5	60-80
1	47±3	45±0	43±3	41±1	44-64
0.5	38±3	33±1	34±0,5	34±0,5	30-48
0.25	30±3	16±1	25±1,7	25±0,5	19-33
0,063	12,6±1,1	9,4±0,5	8,5±1,0	11,5±0,3	8-14
Contenido de ligante soluble s/ mezcla, %	5,66±0,06	6,45±0,2	9,8±0,4	11,6±0,4	--
Contenido de ligante soluble s/ árido, %	6,00±0,07	6,90±0,2	10,8±0,50	13,2±0,5	6,5-9
Relación filler/Ligante	2,09±0,17	1,36±0,2	0,80±0,21	0,87±0,1	--

Tabla 5. Extracciones y composición granulométrica de los diferentes MICROF ejecutados.

Las tolerancias de las granulometrías de todas las composiciones eran admisibles sobre su desviación promedio y sobre lo que se indica en el artículo 540 del PG3 sobre microaglomerados en frío. Encajando bastante bien en el huso MICROF 5 establecido. Los datos de las extracciones de los MICROF con fresado

mostraron valores algo por encima de los datos establecidos en la fórmula de trabajo en cuanto a contenidos de emulsión.

Si comparamos estos datos de control con los datos que se pueden ver en el estudio elaborado por Federal Highway Administration of U.S Department of Transportation (FHWA), sobre la utilización de pavimentos asfálticos recuperados en tratamientos de conservación de pavimentos en sus programas de carreteras, en donde documentan estudios de casos, mejoras prácticas, pruebas, costes y especificaciones. Estos establecen contenidos óptimos de emulsión entre 11-12,5% s/a para los estudios con microaglomerados, según tipo de fresado y ensayos basados en las indicaciones de la International Slurry Seal Association (ISSA). Estos valores son parecidos a los que se obtuvieron en los ensayos de control de los tramos de ensayo expuestos y algo por encima de los planteados en las fórmulas de trabajo.

Los datos de control de la emulsión para los MICROF con fresado, fabricada en la factoría de emulsiones de Repsol Asfaltos de Puertollano, fueron los siguientes:

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	MÉTODO	Control Producción Fabrica	Control en Obra
Índice de ruptura	-	EN 13075-1	194	192
Contenido en ligante	%	EN 1428	61,8	61,4
Residuo de tamizado	%	EN 1429	≤0,1	≤0,1
LIGANTE POR DESTILACIÓN (EN 1431)				
Penetración	10 <sup>-1</sup> mm	EN 1426	80	--
Punto de Reblandecimiento	°C	EN 1427	54	--
Cohesión (ensayo del péndulo)	J/cm <sup>2</sup>	EN 13588	1,2	--
Recuperación Elástica a 25°C	%	EN 13398	55	--

*Tabla 6. Datos de control de la emulsión para MICROF con Fresado*

Una vez ejecutados los tramos de prueba, se comprobó que presentaban una textura uniforme y exenta de segregaciones.



*Foto 10. Aspecto MICROF 50% madurado.*



*Foto 11. Aspecto de la Macrotextura MICROF5 100% madurado.*

Se realizaron macrotexturas previas a la apertura al tráfico una vez transcurridos siete días, según la norma EN 13036-1, tanto en el tramo del 100%, como en el del 50%, para su valoración respecto a la mezcla de referencia. A los 7 días se ejecutó una medición del coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) según la norma NLT-175.

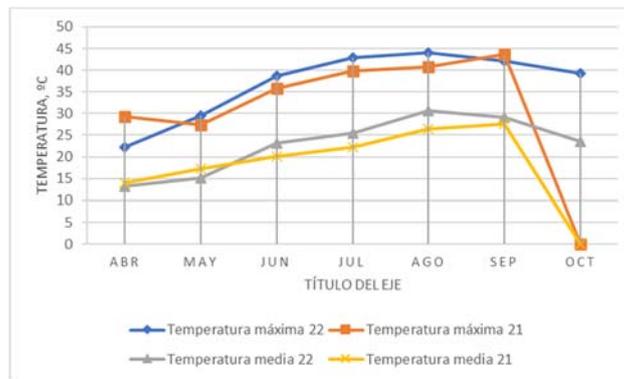
Característica	Fresado 100%	Fresado 50%	Referencia	Especificación
Macrotextura superficial, mm	0,84±0,05	0,85±0,02	0,81±0,03	0,70*
Coefficiente de Resistencia al deslizamiento (CRD)	0,57±0,07	0,58±0,03	0,50±0,03	>0,50**

\*Medida lo antes posible después de la extensión del MICROF y antes de abrir al tráfico.

\*\*Medida una vez transcurridos 7 días de la aplicación del MICROF.

*Tabla 7. Macrotextura y Coeficiente deslizamiento de los MICROF ejecutados.*

Dentro del proyecto, se estableció un sistema de seguimiento de inspección visual cada dos meses con el objetivo de detectar defectos superficiales y realizar mediciones de resistencia al deslizamiento al primer y segundo año de vida de los MICROF con fresado. Los microaglomerados fueron ejecutados a finales de abril del 2022 y a fecha de publicación de esta comunicación han sufrido temperaturas de servicio muy altas, tal como pueden extraerse de los datos gravados por la estación meteorológica de Don Benito (Badajoz) de la Agencia Española de meteorología (AEMET).



*Gráfico 3. Datos promedio temperaturas Don Benito (BA). Fuente: AEMET.*

Después de 12 meses, los microaglomerados con fresado muestran un aspecto sin marcas, sin pérdida de Macrotextura, sin pérdida de partículas y sin exudaciones.



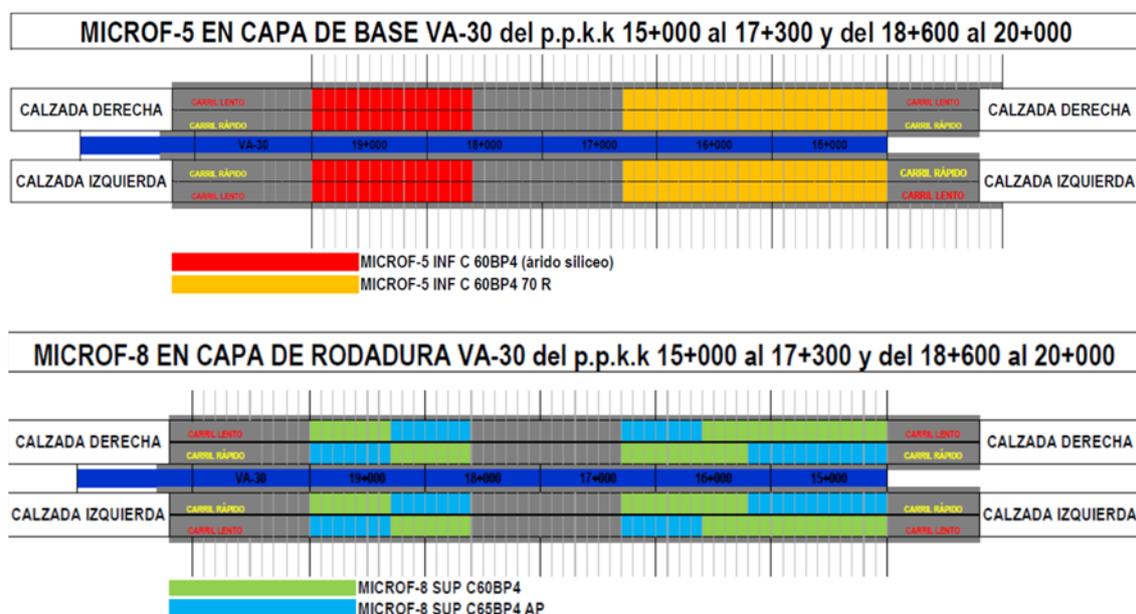
*Foto 12. Aspecto MICROF 5 100% de Fresado.*

3.2.2. "REHABILITACIÓN SUPERFICIAL DEL FIRME EN LA RONDA EXTERIOR DE VALLADOLID VA-30 ENTRE LOS p.p.k.k 15+000 al 17+300 y del 18+600 al 20+000", en el contrato de servicios del sector VA-04 para el MITMA.

Las actuaciones principales establecidas en el proyecto y que se ejecutaron, fueron la rehabilitación superficial del firme en la ronda exterior de Valladolid VA-30 entre los p.p.k.k 15+000 al 17+300 y del 18+600 al 20+000. Mediante el extendido de microaglomerados en frío sobre rodaduras envejecidas tipo BBTM11B, sin defectos estructurales, homogéneo y con defectos superficiales como fisuras longitudinales y transversales.

La configuración de estas soluciones fue con el objetivo de comparar el comportamiento de:

- Solución específica de dos capas de: MICROF5 para capa de base con un 70% de material recuperado y tratado de firmes envejecidos con emulsión bituminosa modificada específica, junto a una capa de rodadura MICROF8 con una emulsión de altas prestaciones con un contenido de polímero superior a las tradicionales emulsiones modificadas.
- Solución tradicional de dos capas de: MICROF5 en capa de base más MICROF8 para capa de rodadura.



Gráfica 4. Tramificación de las actuaciones en función de la solución, tipo de capa de base y rodadura.

La configuración de los cuatro tipos de microaglomerados en frío en base a composición y capa fueron los siguientes:

- CAPA DE BASE:
  - MICROF5 INF C60BP4, con árido de naturaleza silícea, procedente de Toro (Zamora), y emulsión bituminosa modificada con polímeros tipo C60BP4
  - MICROF5 INF C60BP4 R70, con 70 % de fresado 0/6 clasificado más un 30 % de arena 0/6 mm de naturaleza pórfido de origen de Canteras Cuadrado. Y emulsión bituminosa modificada con polímeros tipo C60BP4 especialmente diseñada para esta composición.
- CAPA DE RODADURA:
  - MICROF-8 SUP C60BP4, con árido de naturaleza porfídica, en una proporción 80 % arena 0/6 mm y 20 % de gravilla 3/6 mm, procedente de Tornadizos (Ávila), y emulsión bituminosa modificada con polímeros tipo C60 BP4.

- MICROF-8 SUP C65BP4 AP, con árido de naturaleza porfídica, en una proporción 80 % arena 0/6 mm y 20 % de gravilla 3/6 mm, procedente de Tornadizos (Ávila), proveedor Canteras Cuadrado y emulsión bituminosa modificada con polímeros elastoméricos de altas prestaciones tipo C65BP4 AP.
- Además, se utilizó cemento como filler de aportación y agua, valorándose también aditivo regulador de la rotura según el tipo de microaglomerado.

Para el diseño de las Fórmulas de Trabajo se emplearon los ensayos de laboratorio adecuados, correspondientes a la preparación de lechadas bituminosas, NLT-316, para fijar el comportamiento de las diferentes formulaciones planteadas y establecer cuál era la composición/formulación más adecuada en cuanto a comportamiento a rotura y cohesiones a cortos tiempos de vida de la emulsión bituminosa catiónica C60BP4 MIC y C65BP4 MIC AP, respectivamente.

Centrándonos en el MICROF con fresado, hay que indicar que la tasa de reciclado fijada del 70% se basó en el comportamiento del fresado y árido frente a la emulsión diseñada, en función del grado de maduración y cohesión a cortos tiempos de vida, con el objetivo de emplear el porcentaje más alto posible.

El material reutilizado fue recuperado y seleccionado de la capa de rodadura de la autovía A-62 entre los p.p.k.k 100+800 – 117+800 de ambas calzadas. Clasificando el material en las instalaciones de Collosa en Cubillas de Santa Marta, para obtener la fracción 0/6 mm que iba a ser empleada en la composición del MICROF con material recuperado.



*Foto 13. Acopio de arena 0/6 de material procedente de fresado RAP*



*Foto 14. Detalle de la máquina clasificadora de materiales*

Este material fue analizado, determinándose su granulometría con y sin el ligante envejecido, equivalente en arena, EN 933-8, contenido de ligante soluble, UNE EN 12697, y recuperación para determinar su consistencia y estado mediante penetración con aguja, EN 1426, y punto de reblandecimiento anillo y bola, EN 1427. Sobre el árido porfídico se analizó su composición granulométrica, EN 933-1, equivalente de arena, EN 933-8, coeficiente de pulido acelerado del árido grueso de origen, EN 1097-8 y coeficiente desgaste de los Ángeles fracción 10-14 mm, EN 1097-2.

Tamiz UNE EN, mm	Granulometría en negro	Árido extraído	Árido Porfídico
	% Pasa		
8	100	100	100
5,6	64	84	96
4	44	70	81
2	21	51	56
1	14	41	41

0,5	7	31	30
0,25	5	23	23
0,063	1,4	11,4	13,3
Contenido de ligante soluble s/ mezcla, %		4,9	--
Contenido de ligante soluble s/ árido, %		5,2	--
Penetración, 0,1 mm		8	--
Punto de reblandecimiento, °C		85,5	--
E.A.		70	75
C.P.A		--	56
L.A.		--	12

*Tabla 8. Propiedades físicas del fresado tratado y árido extraído. Y arena silícea virgen.*

La emulsión para el MICROF con un 70% de fresado se diseñó en base a las indicaciones expuestas anteriormente, encajando en las emulsiones C60BP4 MIC. Respecto a la emulsión C65BP4 MIC AP, se trata de una emulsión que mejora la rotura y por tanto la cohesión con mayores contenidos de carga polimérica que las tradicionales emulsiones modificadas para microaglomerados, presentando las siguientes especificaciones:

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN	CLASE
Polaridad de las partículas	-	EN 1430	Positivo	-
Índice de ruptura	-	EN 13075-1	110-195	4
Contenido en ligante	%	EN 1428	63 a 67	7
Residuo de tamizado	%	EN 1429	≤0,1	2
<b>LIGANTE POR DESTILACIÓN (EN 1431)</b>				
Penetración a 25°C	0,1mm	EN 1426	≤100	3
Punto de Reblandecimiento	°C	EN 1427	≥50	4
Cohesión (ensayo del péndulo)	J/cm <sup>2</sup>	EN 13588	≥0,5	6
Recuperación Elástica a 25°C	%	EN 13398	DV (>55%)	1

*Tabla 9. Especificaciones más características de la emulsión C65BP4 MIC AP.*

La composición granulométrica final del MICROF5 con un 70% de material reutilizado y su composición fue:

Dosificación	MICROF 5, %		
Arena 0/6 Cuadrado	30		
Fresado 0/6	70		
Cemento	1		
Agua	9-10		
Aditivo	--		
C60BP4 MIC	9-10		
Tamiz UNE, mm	FT		
	% Pasa		
	Blanco	Negro	Huso
8	100	100	100
5.6	74	88	74-92
4	54	73	60-84
2	32	53	40-64
1	22	41	25-45
0.5	15	31	15-31
0.25	10	23	10-22
0,063	4,7	13,3	5-9

*Tabla 10. Granulometría y composición MICROF5 70R.*

Se determino la cohesión por par de torsión, EN 12274-5, y perdida de partículas por desgaste, EN 12274-5, del MICROF5 70R.

Par de Torsión, EN 12274-5, 60 min, Kg*cm, Clasificación	Curado rápido, rápida apertura al tráfico
15 min.	16
30 min.	20
60 min.	23
90 min	25
Desgaste por abrasión, EN 12274-5, g/m <sup>2</sup>	183

*Tabla 11. Cohesión y Desgaste MICROF5 70R.*

Las conclusiones que se obtuvieron del diseño fueron:

- El fresado se encontraba bastante envejecido con valores muy acusados en cuanto a consistencia empírica, dado que mostro baja penetración y alto punto de reblandecimiento.
- Fue necesario ajustar bien la emulsión en cuanto a composición para tener un buen comportamiento con el RAP y el árido virgen. Para ajustar el aditivo y fluidos al mínimo, de tal forma que se vean mejoradas las cohesiones a cortos tiempos de vida. reflejándose en buenos valores de cohesión y sobre todo de desgaste por abrasión por vía húmeda.
- Considerando las granulometrías en blanco del material reutilizado junto con el árido virgen, encajaban en la parte baja del huso MICROF5. Mejorando cuando es la granulometría en negro la considerada.
- Para esta aplicación, el material fresado 0/6 tratado fue considerado como otro árido más.

La metodología de fabricación y sistema de fabricación empleado fue el mismo que la actuación expuesta anteriormente. Empleándose en este caso compactador neumáticos para acelerar el curado por el tipo de vía que era, con tráfico pesado T1. Los MICROF con las diferentes composiciones se aplicaron según la configuración indicada anteriormente. Enfocando las siguientes comentarios e indicaciones al microaglomerado en frío con un 70% de material recuperado, hay que indicar que curó y maduro de forma similar que a los que emplean solo material virgen, presentando una textura uniforme y exenta de segregaciones. Se dejo durante unos días abierto al tráfico, no observándose ninguna deficiencia superficial, con un





Foto 15, 16, 17 y 18. Aplicación MICROF% 70%RAP, compactación y aspecto final.

El control de calidad del MICROF5 70R fue el siguiente:

Tamiz UNE, mm	% Pasa	Huso MICROF5
8	100	100
5.6	93	90-100
4	82	78-93
2	61	60-80
1	39	44-64
0.5	29	30-48
0.25	19	19-33
0,063	8,0	8-14
Contenido de ligante soluble s/ mezcla, %	9,35	--
Contenido de ligante soluble s/ árido, %	10,3	6,5 – 9,0
Relación filler/Ligante		

Tabla 12. Control calidad MICROF5 70R.

La curva granulométrica encontrada fue con algo más de cabeza y un poco más fina que la fórmula de trabajo, pero con contenidos finales de ligante en el orden de lo esperado para este tipo de MICROF5 con fresado en un 70%. Las tolerancias de las granulometrías de todas las composiciones eran admisibles sobre su desviación promedio y sobre lo que se indica en el artículo 540 del PG3 sobre microaglomerados en frío. Encajando correctamente en el huso MICROF 5 establecido. Los datos de las extracciones de los MICROF con fresado mostraron valores parecidos a la anterior experiencia. Con valores en el orden de lo que indica la Federal Highway Administration of U.S Department of Transportation (FHWA), sobre la utilización de pavimentos asfálticos recuperados en tratamientos de conservación de pavimentos en sus programas de carreteras, según tipo de fresado y ensayos basados en las indicaciones de la International Slurry Seal Association (ISSA).



Foto 19. Aspecto final de las soluciones con MICROF5 INF 70R C60BP4 MIC más MICROF8 SUP C65BP4 MIC AP.

Se realizaron macrotexturas previas a la apertura al tráfico una vez transcurridos siete días en varios puntos del tramo, según la norma EN 13036-1, de las soluciones indicadas, antes y después del empleo del neumático. Los resultados fueron:

Característica	Antes Rodillo	Después Rodillo	Especificación
Macrotextura superficial, mm	1,77±0,00	1,28±0,06	1,00

*Tabla 7. Macrotextura y Coeficiente deslizamiento de los MICROF8 SUP ejecutados.*

3.2.3. "REHABILITACIÓN SUPERFICIAL DEL FIRME EN LA R-2 EXTERIOR DE MADRID VA-30 ENTRE LOS p.p.k.k 15+550 al 32+880 CALZADA IZQUIERDA, R-2 INTERIOR del 3+895 al 7+230 y M-12 del 3+200 al 6+479" mediante el extendido de microaglomerado en frío, tipo MICROF-5 INF C60BP4 R100 (100% de RAP) y MICROF-8 SUP C60BP4 100R (100% RAP), en el contrato de servicios del sector de la R-2, M-50 y M-12 para el SEITT.

Dando continuidad a las actuaciones de rehabilitación superficial del firme con MICROAGLOMERADO EN FRÍO, los años 2.021 (659.117 m<sup>2</sup>) y 2.022 (247.908 m<sup>2</sup>) en la M-50 y M-12 (túneles) y viendo la buena evolución que están teniendo, en la anualidad de 2.023 COLLOSA ha realizado entre el 10 de julio de 2.023 y el 9 de agosto de 2.023, una rehabilitación superficial del firme en varios tramos del sector de conservación, que la empresa UTE RENOVACIÓN R-2 (COLLOSA-GEVORA) gestiona en el contrato de conservación integral que tiene adjudicado con SEITT. En esta rehabilitación superficial del firme, se han ejecutado 4 tipos de microaglomerados en frío, distinguiéndose estos diferentes MICROF por capas y tipos de áridos empleados:

TIPO DE MICROF	ÁRIDO EMPLEADO	EMULSIÓN	CAPA
MICROF-5 INF C60BP4 100 R	RA	C60BP4	BASE
MICROF-5 INF C60BP4	SILÍCEO	C60BP4	BASE
MICROF-8 SUP C60BP4	PÓRFIDO	C60BP4	RODADURA
MICROF-8 SUP C60BP4 100 R	RA	C60BP4	RODADURA

Cabe destacar los 2 tipos de MICROF con RA empleados, uno en la capa de base y otro en rodadura, los cuales se ejecutaron aprovechando la ORDEN CIRCULAR 1/2022, SOBRE LAS DECLARACIONES DE EXCEPCIONALIDAD NORMATIVA PARA IMPULSAR LA INVESTIGACIÓN, EL DESARROLLO Y LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICAS EN CARRETERAS y con la ORDEN CIRCULAR OC 2/2023 SOBRE REUTILIZACIÓN DE CAPAS DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS que salió publicada el 3 de abril de 2.023. Alberto Prieto Carbajo, representante de COLLOSA, propuso la ejecución de estos MICROF con material procedente del fresado RA, procedente del acopio que la SEITT dispone en la R-2 en estas coordenadas (40°32'36"N ; 3°33'57.7"W), siendo aceptado por SEITT y ejecutándose según la fórmula de trabajo diseñada.



*Foto izquierda, foto satélite de la zona del acopio en R-2. Foto derecha aspecto de la M-50, actuaciones 2.021 y 2.022.*

Los tramos donde se ha ejecutado los tratamientos con microaglomerado en frío

FECHA	CARRETERA	CALZADA	CARRIL	P.K INICIAL	P.K FINAL	CAPA
10-jul	R-2	IZQUIERDA	Rápido	32+880	31+650	BASE 100 % RAP
11-jul	R-2	IZQUIERDA	Rápido	32+880	27+350	BASE 100 % RAP
	R-2	IZQUIERDA	Rápido	27+350	26+950	BASE SILÍCEA
12-jul	R-2	IZQUIERDA	Lento	31+650	26+500	BASE 100% RAP
13-jul	R-2	IZQUIERDA	Rápido	32+880	26+950	RODADURA PÓRFIDO
14-jul	R-2	IZQUIERDA	Lento	32+880	26+500	RODADURA PÓRFIDO
17-jul	R-2	IZQUIERDA	Lento	26+500	20+520	BASE 100% RAP
18-jul	R-2	IZQUIERDA	Rápido	26+950	20+270	BASE 100% RAP
	R-2	IZQUIERDA	E-24 Deceleración			BASE 100% RAP
	R-2	IZQUIERDA	E-24 Aceleración			BASE 100% RAP
19-jul	R-2	IZQUIERDA	Lento	26+500	20+520	RODADURA PÓRFIDO
	R-2	IZQUIERDA	Lento	20+520	18+360	BASE 100% RAP
20-jul	R-2	IZQUIERDA	Lento	26+950	20+270	RODADURA PÓRFIDO
	R-2	IZQUIERDA	Lento	20+270	18+360	BASE 100% RAP
	R-2	IZQUIERDA	E-24 Deceleración			RODADURA PÓRFIDO
	R-2	IZQUIERDA	E-24 Aceleración			RODADURA PÓRFIDO
21-jul	R-2	IZQUIERDA	Lento	18+000	15+550	BASE 100% RAP
24-jul	R-2	IZQUIERDA	Rápido	18+000	15+550	BASE 100% RAP
	R-2	IZQUIERDA	Ramal a M-50			BASE 100% RAP
	R-2	IZQUIERDA	Lento	20+270	18+360	RODADURA PÓRFIDO
25-jul	R-2	IZQUIERDA	Lento	18+000	15+550	RODADURA PÓRFIDO
	R-2	IZQUIERDA	Rápido	20+520	18+360	RODADURA PÓRFIDO
	R-2	IZQUIERDA	Rápido	18+000	15+550	RODADURA PÓRFIDO
26-jul	R-2	IZQUIERDA	Lento	7+230	3+895	BASE 100% RAP
	R-2	IZQUIERDA	E-5 Deceleración			BASE 100% RAP
	R-2	IZQUIERDA	E-5 Aceleración			BASE 100% RAP
	R-2	IZQUIERDA	Lento	0+000	1+090	RODADURA PÓRFIDO
	R-2	IZQUIERDA	Central	0+000	1+090	RODADURA PÓRFIDO
	R-2	IZQUIERDA	Rápido	0+000	1+090	RODADURA PÓRFIDO
27-jul	R-2	IZQUIERDA	Rápido	7+230	3+895	BASE 100% RAP
	R-2	IZQUIERDA	Rápido	7+230	3+895	RODADURA PÓRFIDO
02-ago	M-12	IZQUIERDA	Rápido	4+730	3+200	RODADURA PÓRFIDO
	R-2 EXT	IZQUIERDA	Lento	Ramal a M-50 crec		BASE 100% RAP
	R-2 EXT	IZQUIERDA	Rápido	Ramal a M-50 crec		RODADURA 100%RAP
	R-2 EXT	IZQUIERDA	Lento	Ramal a M-50 crec		RODADURA 100%RAP
	M-12	IZQUIERDA	Lento	4+730	3+500	RODADURA PÓRFIDO
03-ago	M-12	IZQUIERDA	Lento	3+500	3+200	RODADURA PÓRFIDO
	M-12 VS	IZQUIERDA	Rápido	6+470	3+850	BASE 100% RAP
	M-12 VS	IZQUIERDA	Central	6+470	5+500	BASE 100% RAP
	M-12 VS	IZQUIERDA	Central	5+500	3+850	BASE SILÍCEA
	M-12 VS	IZQUIERDA	Lento trenzado 1	6+150	5+350	BASE SILÍCEA
	M-12 VS	IZQUIERDA	Lento trenzado 2	4+900	4+250	BASE SILÍCEA
04-ago	M-12 VS	IZQUIERDA	Lento trenzado 1	6+150	5+350	RODADURA PÓRFIDO
	M-12 VS	IZQUIERDA	Lento trenzado 2	4+900	4+250	RODADURA PÓRFIDO
	M-12 VS	IZQUIERDA	Lento	6+470	3+850	RODADURA PÓRFIDO
07-ago	R-2 INTERIOR	IZQUIERDA	E-5 Deceleración			RODADURA PÓRFIDO
	R-2 INTERIOR	IZQUIERDA	E-5 Aceleración			RODADURA PÓRFIDO
	R-2 INTERIOR	IZQUIERDA	Lento	7+230	3+895	RODADURA PÓRFIDO
	M-12 VS	IZQUIERDA	Rápido	6+470	3+850	RODADURA PÓRFIDO
08-ago	M-12 VS	IZQUIERDA	Izda, dcha y ramal	3+850	3+200	BASE SILÍCEA
	M-12 VS	IZQUIERDA	Izda, dcha y ramal	3+850	3+200	RODADURA PÓRFIDO
	R-2 INTERIOR	IZQUIERDA	Lento	0+000	0+700	RODADURA PÓRFIDO
09-ago	R-2 INTERIOR	IZQUIERDA	Central	0+000	0+700	RODADURA PÓRFIDO
	R-2 INTERIOR	IZQUIERDA	RÁPIDO	0+000	0+700	RODADURA PÓRFIDO

## EJECUCIÓN

Una vez aceptada SEITT la propuesta de ejecución de una solución pionera e innovadora, utilizando RA como materia mineral con microaglomerado en frío, se procedió a la realización de las fórmulas de trabajo en el Centro Tecnológico de REPSOL en Móstoles (Madrid). Se recogieron muestras del acopio que SEITT tiene ubicado en la R-2 (40°32'36"N ; 3°33'57.7"W) y se analizaron en el laboratorio. Con las muestras analizadas, REPSOL nos facilitó la fórmula de trabajo, con las dosificaciones a emplear, la cohesión de la mezcla, y caracterización del RA.

Collosa, instaló en el acopio de la R-2, una máquina clasificadora de material para cribar y clasificar el RA al tamaño requerido en la fórmula de trabajo.

Previamente antes de extender el microaglomerado en frío en las zonas definidas por SEITT, se realizó por parte de la UTE RENOVACIÓN R-2 (UTE COLLOSA-GEVORA), un bacheo con aglomerado en frío, con el fin de eliminar los baches, cazuelas que existían en los tramos.



*Aspecto previo de los tramos a ejecutar*

Una vez ejecutado los bacheos previos, se procedió a la extensión de los microaglomerados en frío.



*Aspecto una vez ejecutado*

PARTE TÉCNICA DE LA FÓRMULA DE TRABAJO EMPLEADA EN LA R-2 y M-12

<b>Fresado</b>	<b>M2023-0078</b>
Contenido de ligante soluble s/ mezcla, %	4,3
Contenido de ligante soluble s/ árido, %	4,5
Penetración, 0,1 mm	16
Punto de reblandecimiento, °C	81,0

<b>Componente, % s/a</b>	<b>1</b>
<b>Fresado</b>	100
<b>Cemento</b>	1,2
<b>Agua</b>	5
<b>Aditivo</b>	--
<b>C60BP4 MIC (2)</b>	10

<b>COHESIÓN, EN 12274-5</b>	<b>Dosificación 100% Fresado</b>
<b>Par de Torsión, 60 min, Kg*cm, Clasificación</b>	26 Curado rápido, rápida apertura al tráfico
15 min.	17
30 min.	22
45 min.	24
60 min.	<b>26</b>
75 min.	26
90 min	26

<b>Componente/Dosificación</b>	<b>Dosificación 100% Fresado</b>
<b>Fresado</b>	100
<b>Cemento</b>	1,2
<b>Agua</b>	5
<b>Aditivo</b>	--
<b>Emulsión</b>	10
1	286
2	253
3	230
<b>Media</b>	<b>257</b>

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1. Experiencia en los tramos ejecutados

Se puede concluir que son pruebas pioneras, que apuestan por la economía circular y por la sostenibilidad, enfocada en la reutilización de materiales procedentes de firmes envejecidos en operaciones de conservación de pavimentos de rodadura en carreteras de baja y alta intensidad de tráfico. Por lo que su reutilización es perfectamente viable para la confección de microaglomerados en frío, con las ventajas económicas y medioambientales que ofrece.

Este material debe ser seleccionado y tratado previamente para su empleo y encaje en los husos de los microaglomerados en frío. Deben ser analizadas sus características físicas, tanto desde el punto de vista de composición granulométrica, como contenido y estado de ligante envejecido. Ya que este aspecto es fundamental para decidir si es adecuado para ser empleado y tratado como un árido más en la composición de un microaglomerados en frío.

Dada las características de los fresados y su comportamiento en los microaglomerados en frío, es necesario y fundamental ajustar la composición de la emulsión en cuanto a emulgentes cohesivos y aditivos, además de convenir sus tiempos de envuelta y rotura, valorando la constitución de la mezcla en cuanto a fluidos totales y filler de aportación cemento.

Evidentemente, a la hora de diseñar estas mezclas es necesario conocer la información del árido que contiene el material a reutilizar, especialmente a lo que dureza y pulimento se refiere, para determinar el tipo de tráfico al que puede ir destinado. Valorándose la combinación con árido virgen.

La experiencia en la ejecución de los tramos con las diferentes tasas de material reutilizado nos mostró que permite extenderse sin problemas en base a la dosificación diseñada, ajustando bien los fluidos. Admitió manejar los diferentes componentes durante la ejecución, asegurando una perfecta envuelta, distribución en el ancho de la regla de extendido, aplicación en el firme antiguo y finalmente su rotura en el menor tiempo posible para asegurar buena cohesión durante los tiempos de maduración. Empleándose tiempos de apertura al tráfico similares a los MICROF con material virgen.

Los datos obtenidos de Macrotextura superficial de la primera experiencia indicada son equiparables e incluso mejoraron los valores del microaglomerado de referencia. Y los datos de coeficiente de resistencia al rozamiento de las mezclas con fresado fueron mejores que el de referencia. Será necesario conocer su evolución con el tiempo y paso del tráfico rodado.

Hay que indicar que es la primera experiencia después de 18 meses ejecutados y una climatología muy severa en estos meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, en cuanto a altas temperaturas, los tramos muestran un aspecto sin marcas, sin pérdida de Macrotextura, sin pérdida de partículas y sin exudaciones, con aspecto ideal.

Respecto a la actuación como capa de base, después de 5 meses ejecutado, no se observan marcas ni exudaciones en la capa de rodadura. Con un aspecto similar al tramo de referencia.

Las experiencias mostradas en esta comunicación van enfocadas a firmes con alta capacidad con tráfico T1. En el primero enfocado a capa de rodadura con tasa de reciclado del 50%,70% y tasa total 100 %, y en la segunda actuación empleo de la máxima tasa de reciclado que asegure buenas cohesiones para capa de base, en la tercera se ha ejecutado casi el 100% de RAP como base y se ha ejecutado un tramo de prueba de 1.000m en capa de rodadura con un MICROF-8.

#### 4.2. Aspectos para considerar sobre los microaglomerados en frío que emplean fresado en su composición:

Cuando se reutiliza material recuperado de mezclas bituminosas implica un menor contenido ligante final vía emulsión para los sellos con microaglomerados. Hay dos factores que contribuyen a que la emulsión óptima o contenido de ligante requerido sea menor: que las partículas están parcialmente recubiertas de betún envejecido por lo que no necesitan que la emulsión penetre en los huecos o sea absorbida por el material virgen; y que las partículas finas tienen menos superficie que el árido virgen. El contenido total de emulsión requerido para un sello con este tipo de mezcla puede dividirse en dos partes: la primera recubrir el material y la segunda rellenar los huecos entre las partículas, y que por lo tanto proporcionar trabajabilidad para el tratamiento.

La granulometría de la mezcla y su comportamiento son factores importantes para establecer el porcentaje de emulsión necesario para el recubrimiento y la trabajabilidad. Este comportamiento está relacionado con la cantidad de material que pasa por los tamices más pequeños, cuanto más superficie tiene la mezcla más emulsión se necesita para recubrir todas las partículas. Además, cuanto más angulosa sea la forma de las partículas y más áspera la textura de la superficie, mayor será el contenido de emulsión necesario para la trabajabilidad. Sin obviar otro factor como es la cantidad de finos adheridos a las partículas más grandes, los cuales reducen la superficie total de la mezcla, lo que puede crear que las partículas tengan una forma más irregular, anulando en cierto modo los efectos.

Los tratamientos de conservación pueden ser diseñados con estos materiales, pero puede que no todas las fuentes puedan considerarse aceptables para ellos, ya que puede que la vida útil restante del ligante envejecido aun no sea adecuada, tengan una graduación inadecuada o posean contaminación con materiales impropios.

Se recomienda un tratamiento previo a su empleo, para minimizar factores como la variabilidad en su homogeneidad. Pero es muy importante analizar previamente los materiales y diseñar adecuadamente la mezcla a nivel de laboratorio empleando todos los ensayos. Para valorar el comportamiento en cuanto a maduración y cohesión de los microaglomerados en frío con emulsión que lleven este material reutilizado. Asegurando un comportamiento de la emulsión adecuado según tipo de fresado, tasa y fin.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Microaglomerados en frío con fresado. IX Jornada Nacional de Asefma 2014. Francisco Guisado Mateo & Emilio Moreno Martinez (Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.)
- 2.- Proyecto Rodaduras Urbanas Sostenibles (RUS), Tarea: Estudio y caracterización de Microaglomerados o lechadas bituminosas urbanas recicladas. Subprograma IMPACTO, 2012-2014. Ministerio de Economía y Competitividad.
- 3.- Proyecto REPARA, Desarrollo de nuevas técnicas y sistemas de información para la rehabilitación sostenible de pavimentos de carreteras. Tarea: MEZCLAS RECICLADAS EN FRÍO IN SITU PARA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL Y SUPERFICIAL CDTI. 2015-2019. [www.proyectorepara.com/index.php](http://www.proyectorepara.com/index.php)
- 4.- Using Reclaimed Asphalt Pavement in Pavement-Preservation Treatments, publication No. FHWA-HRT-21-007. Federal Highway Administration of U.S Department of Transportation (FHWA). December 2020.
- 4.- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales (PG3).

5.-Monografía Lechadas bituminosas y Microaglomerados en frío. Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB).

6.- Normas de ensayo UNE EN y NLT.

7.- 26º Vyodeal. Reutilización de pavimentos asfálticos recuperados en tasas del 50% y 100% en tratamientos de conservación de pavimentos empleando microaglomerados en frío con emulsión. Experiencia para la Junta de Extremadura. Alberto Prieto Carbajo y Francisco Guisado

8.- SIMPOSIO NACIONAL DE FIRMES (VALENCIA) Abril 2.023. Reutilización de pavimentos asfálticos recuperados en tasas del 50% y 100% en tratamientos de conservación de pavimentos empleando microaglomerados en frío con emulsión. Experiencia para la Junta de Extremadura. Alberto Prieto Carbajo.