

22º Symposium Nacional de Vías y Obras de la
Administración Local de Zaragoza

EXPERIENCIA EN LA REHABILITACIÓN DE UN FIRME DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO MEDIANTE MEZCLAS EN FRÍO

AUTORES COLABORADORES

Maryse Pecoits (Empresa Constructora Durruty et Fils – Francia)

Adrien Indey (Empresa Constructora Durruty et Fils – Francia)

Ana Izaga (Empresa Proas – España)

María del Mar Colás (Empresa Proas – España)



RESUMEN

En esta comunicación se presenta un caso de rehabilitación de un firme llevado a cabo íntegramente, mediante el empleo de técnicas en frío.

La elección de la **actuación de rehabilitación** más adecuada, obedece a diversos criterios, en los que cabe destacar la disponibilidad de materiales, la tipología de la sección estructural existente y, especialmente en el caso de carreteras de baja intensidad de tráfico, dada a su basta longitud respecto a la red total, la asignación presupuestaria. Todo ello, debe responder a una estrategia correctamente planificada, para asegurar el éxito de la inversión en el proyecto.

Dentro de las actuaciones extraordinarias de rehabilitación, se encuentran las técnicas que se mencionarán en esta comunicación: grava-emulsión y mezclas densas en frío. Estas, junto a otras existentes, constituyen las denominadas **técnicas bituminosas en frío**, debido a que las todas tienen como elemento común el empleo de la emulsión bituminosa.

El empleo de la emulsión bituminosa en las mezclas en frío pretende una mejora en la manejabilidad de la mezcla, su posible almacenamiento y aplicación y, sobretodo, una reducción de las temperaturas de trabajo que no es posible con las mezclas bituminosas en caliente, aunque los últimos desarrollos de mezclas semi-calientes, traten de minimizar dichos inconvenientes.

Los problemática existente en torno al cambio climático, la reducción de emisiones de CO₂, el ahorro de recursos y la seguridad laboral, nos hace apostar cada día más por soluciones que favorezcan a la eficacia energética, al medioambiente y a las personas. Las mezclas bituminosas para las diferentes capas del firme de nuestras carreteras, también se ven afectadas por estos factores, tanto durante el proceso de fabricación como en la puesta en obra.

La búsqueda de soluciones sostenibles, nos plantea la utilización de técnicas donde no sea necesario calentar ni el ligante ni los áridos durante la fabricación de la mezcla, y donde la puesta en obra se realiza también a temperatura ambiente; técnicas que nos aportan grandes ventajas para la carretera, entre otras garantizan mezclas flexibles, con buen comportamiento a fatiga, que se adaptan perfectamente a firmes de limitada resistencia.

Estas mezclas en frío, una vez compactadas y curadas, presentan una importante resistencia a compresión debido a su esqueleto mineral continuo, así como una importante resistencia a flexotracción motivada por el mortero bituminoso. Dicho mortero, constituido por el árido fino y el ligante de la emulsión, impermeabiliza las capas inferiores del firme, lo que supone una garantía de durabilidad, especialmente en el caso de explanadas de no muy buena calidad, lo que no es raro de encontrar en este tipo de vías.

La experiencia que se presenta en esta comunicación se basa en la ejecución de las capas de firme de varias carreteras para un tráfico bajo, utilizando únicamente mezclas en frío: grava emulsión (GE) para la capa base y una mezcla densa en frío (MBC) para capa de rodadura, desde el estudio de la fórmula de trabajo hasta su fabricación y puesta en obra.

El éxito en la aplicación de estas técnicas se basa en la cuidada selección y dosificación de sus materiales constituyentes, entre ellos la emulsión bituminosa que debe presentar unas características y comportamiento adecuado a cada aplicación para lo cual ha sido preciso el desarrollo de formulaciones especialmente diseñadas de acuerdo a los materiales a emplear.

1. INTRODUCCIÓN

La presente comunicación muestra la experiencia realizada en la rehabilitación de firmes de baja intensidad de tráfico mediante el uso de técnicas en frío. Concretamente se trata de la puesta en obra de una grava-emulsión con alto contenido de ligante residual y una mezcla bituminosa densa en frío de granulometría continua, en diversos tramos de carretera de pertenecientes a la Dirección de mantenimiento, equipamientos y Medioambiente de los Servicios Territoriales del Oeste en Francia (Direction de l'Amenagement, de l'Equipement et de l'Environnement des Services Territoriaux OUEST).

2. DEFINICIÓN DE LAS TÉCNICAS Y LA OBRA EJECUTADA

La actuación consistió en la extensión de grava-emulsión tipo GE 0/6 R y GE 0/10 R como capa de reperfilado y regularización de hasta 8 cm de espesor, en función del estado del pavimento, en la RD 622 Hasparren Conseil General 64 (Francia). A continuación se extendió un microaglomerado en frío como capa de rodadura (esta actuación la realizó otra empresa contratista). En otra carretera como la RD 428 Saint Michel Conseil General 64, como rehabilitación de firme, se extendió una capa de rodadura mediante una mezcla densa en frío de un espesor de unos 6 cm de espesor aproximadamente.

2.1- GRAVA-EMULSIÓN

Generalmente, la grava-emulsión que se realiza en España es una mezcla de árido de granulometría continua, emulsión bituminosa en pequeña dotación (entre 3% y 4% de betún residual), agua y eventualmente aditivos, que se extiende y compacta a temperatura ambiente. En Francia, en la técnica de grava-emulsión, el aporte de emulsión es mayor, dejando una dotación de betún residual entre el 4,5% y el 4,8%, en función de la mezcla, de forma que se consiga la envuelta de prácticamente todo el árido. Además, las granulometrías y tamaño máximo de árido también difieren a las definidas en el PG-3, pudiéndose asemejar las grava-emulsión francesas al tipo GE1 para reperfilados de España.

Es frecuente que se forme un mortero rico en ligante con las partículas más finas que aglomera a los áridos más grandes. En su comportamiento, por tanto, se combina el rozamiento interno del material granular y la flexibilidad e impermeabilidad del mortero bituminoso (ATEB).

Son mezclas almacenables que pueden ser destinadas a capas estructurantes, reperfilados y reparaciones localizadas.

En este caso se fabricaron grava-emulsión de granulometría 0/6 y 0/10, fabricadas según la norma francesa XP P 98-121.

La obra comprendía la ejecución de capas de reperfilado en varias carreteras secundarias francesas. En primer lugar, se realizó una adecuada preparación del soporte, con un enérgico barrido en toda la longitud del tramo, la eliminación de las señalización horizontal y fresado de partes muy deterioradas.

El extendido se realizó con medios convencionales, mediante extendedora y regla de nivelación. La compactación se realizó de manera intensa, en torno a 15 pasadas de compactador pesado de cilindro vibrante seguido de unas 20 pasadas con compactador de neumáticos. La puesta en obra requiere condiciones meteorológicas adecuadas: sin lluvia, temperaturas superiores a 10°C y sin peligro de heladas en las noches siguientes a la aplicación.

2.2- MEZCLA BITUMINOSA DENSA EN FRÍO

La mezcla bituminosa utilizada en capa de rodadura corresponde a la denominada en Francia BBF (Beton Bitumineux à Froid).

Se trata de una mezcla de granulometría continua 0/10 con un contenido de ligante residual en torno al 5%-6%, lo que le otorga unas excelentes propiedades de flexibilidad e impermeabilidad, y con una macrorugosidad superficial superior a 0,6mm (NF EN 13036-1).

Se considera que esta mezcla no produce mejoras estructurales en la carretera, con lo cual el soporte de aplicación no debe presentar problemas de deformabilidad, fatiga, etc.

3. CONSTITUYENTES

3.1- ÁRIDOS

Los áridos utilizados para la elaboración de la grava emulsión son de tipo ofítico para la granulometría tipo GE 0/6 R, y calcáreo para la granulometría tipo GE 0/10 R. Para el caso de la mezcla densa en frío BBF 0/10, se utilizaron ofitas elaboradas mediante trituración y cribado. A continuación, se presenta el detalle para cada tipo de granulometría:

Tabla 1. Granulometrías para cada tipo de mezcla.

Tamiz en mm	% tamizado		
	0/6 R	0/10 R	BBF 0/10
20	100	100	100
16	100	100	100
14	100	100	100
12,5	100	100	100
10	100,0	96,5	97,4
8	100,0	86,7	81,0
6,3	93,0	72,9	64,1
4	68,3	51,1	48,5
3,15	61,0	44,3	44,1
2	45,0	31,4	33,3
1	30,7	20,0	22,8
0,5	22,7	13,8	16,9
0,25	17,0	10,4	12,6
0,063	8,7	6,7	6,6

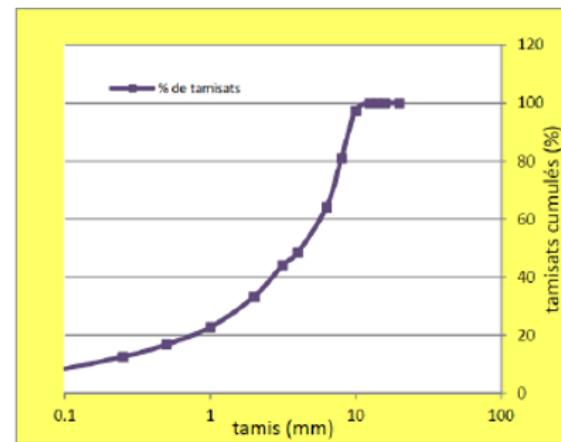
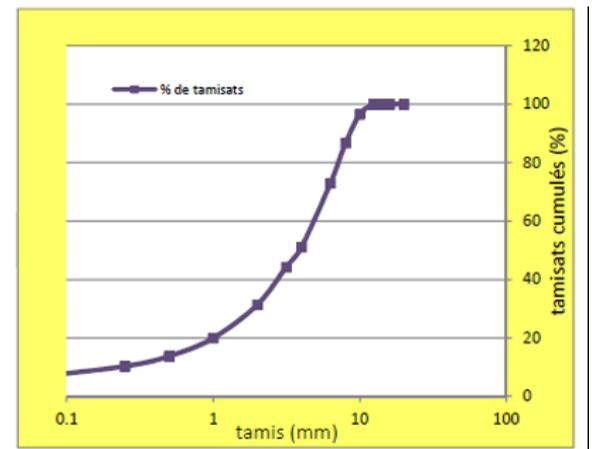
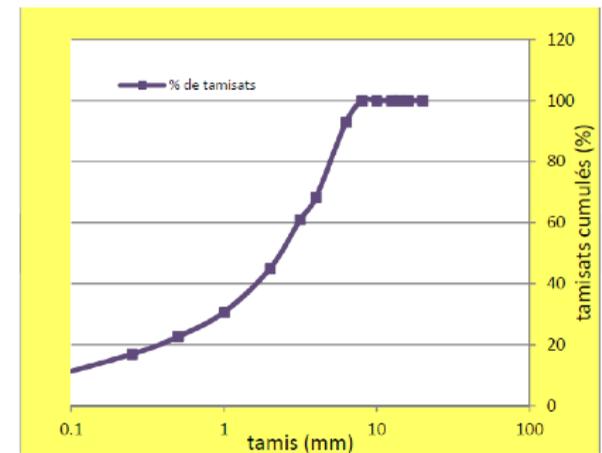


Figura 1. (a) Granulometría tipo 0/6 R, (b) tipo GE 0/10 R y (c) tipo BBF 0/10.

3.2- CENTRAL DE FABRICACIÓN

La central de fabricación de grava-emulsión es una central fija de nivel 2 según la norma NF P 98-732-1, de muy simple funcionamiento, como puede apreciarse en el esquema.

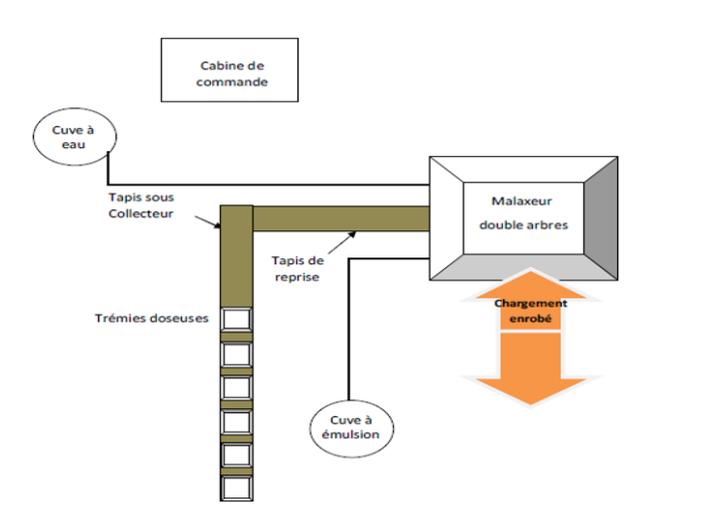


Figura 2. Esquema de la central de fabricación de Grava-Emulsión

La planta está compuesta por:

- Dosificador de áridos, con dos o más tolvas con alimentadores volumétricos.
- Cinta elevadora.
- Mezclador continuo de ejes paralelos.
- Depósito y dosificador de emulsión, generalmente una bomba de paletas con velocidad ajustable, mandada a su vez por el caudal real de áridos, que no necesita estar dotada de calefacción.
- Difusor de emulsión en el mezclador.
- Depósito, bomba, dosificador y difusor de agua.



Figura 3. Imagen obtenida in situ.

3.3- LIGANTE - EMULSIÓN

Mediante el desarrollo de las emulsiones modernas, aspectos como el control de la envuelta, rotura y curado de las mezclas densas en frío, se han superado con éxito.

Para el caso de la grava-emulsión, se trata de una emulsión catiónica de rotura lenta C65B6. Sus propiedades, que cumplen con la norma EN 13808, pueden verse a continuación:

Tabla 2. Propiedades de la emulsión utilizada para la fabricación de la grava-emulsión.

Característica	Unidad	Norma	Min.	Máx.
Emulsión Original				
Polaridad de las partículas		UNE EN-1430	Positiva	
Contenido de ligante	%	UNE EN-1428	63	67
Tiempo de fluencia 2 mm a 40°C (*)	s	UNE EN-12846	70	130
Tamizado por 0,5mm	%	UNE EN-1429	--	0,10
Sedimentación a los 7 días	%	UNE EN-12847	--	10
Adhesividad	%	UNE EN-13614	90	--
Índice de rotura	g	UNE EN-13075-1	170	230
Residuo por evaporación (UNE EN-13074)				
Penetración (25 °C; 100 g; 5 s)	0,1 mm	UNE EN-1426	--	100
Punto de reblandecimiento	°C	UNE EN-1427	43	--

(*) Se admite también tiempo de fluencia por orificio de 4 mm a 40°C de 10 a 45 seg.

En el caso de la mezcla densa en frío BBF 0/10, la emulsión utilizada es C60B6, con las siguientes propiedades, según EN 13808:

Tabla 3. Propiedades de la emulsión utilizada para la mezcla densa en frío.

Característica	Unidad	Norma	Min.	Máx.
Emulsión Original				
Polaridad de las partículas	-	UNE EN 1430	Positiva	
Índice de rotura	-	UNE EN 13075-1	170	230
Tiempo de fluencia 2mm, 40°C	s	UNE EN 12846	15	45
Contenido de ligante (por cont. en agua)	%	UNE EN 1428	58	62
Contenido de fluidificante	%	UNE EN 1431	-	2
Tamizado 0,5mm	%	UNE EN 1429	-	0,10
Tendencia a la sedimentación, 7 días	%	UNE EN 12847	-	10
Adhesividad	%	UNE EN 13614	90	-
Residuo por evaporación (UNE EN 13074)				
Penetración (25 °C; 100 g; 5 s)	0,1 mm	UNE EN 1426	-	100
Punto de reblandecimiento	°C	UNE EN 1427	43	-

3.4- FORMULACIÓN

En el laboratorio se comprobaron las dosificaciones idóneas, en función de las características de los constituyentes, así como la caracterización de las mezclas resultantes, contenido de agua y ligante residual y sus características mecánicas, evaluadas mediante los ensayos franceses de Essai de Duriez NF P 98251-4 (contenido de huecos y resistencias en seco y tras inmersión), similar a los ensayos de inmersión-compresión realizados en España, y el ensayo P.C.G. EN 12697-31, mediante el compactador giratorio (contenido de huecos).

En el caso de la grava-emulsión, los resultados mecánicos obtenidos fueron:

Tabla 4. Resumen de las propiedades mecánicas de la grava-emulsión GE 0/6 R

NF P 98251-4		Especificaciones	EN 12607-31		Especificaciones
Compacidad	89,1%		10 giros		
Contenido de huecos	10,9%	< 13%	40 giros		
Rc en seco	7,30	> 4 MPa	60 giros		
rc en agua	6,15		80 giros		
r/R	0,84	>0,55	200 giros		

Tabla 5. Resumen de las propiedades mecánicas de la grava-emulsión GE 0/10 R

NF P 98251-4		Especificaciones	EN 12607-31		Especificaciones
Compacidad	91,8%		10 giros	20,8%	< 22%
Contenido de huecos	8,2%	< 13%	40 giros	16,3%	
Rc en seco	7,41	> 4 MPa	60 giros	15,0%	
rc en agua	5,56		80 giros	14,1%	
r/R	0,75	>0,55	200 giros	11,1%	< 15%

Tabla 6. Resumen de las propiedades mecánicas de la mezcla densa en frío BBF 0/10

NF P 98251-4		Especificaciones	EN 12607-31		Especificaciones
Compacidad	90,1%		10 giros	17,5%	< 12%
Contenido de huecos	9,9%	6 a 11%	40 giros	12,6%	
Rc en seco	6,35	> 4 MPa	60 giros	11,2%	5 a 12%
rc en agua	4,95		80 giros	10,2%	
r/R	0,78	> 0,7	200 giros	6,9%	

4. PUESTA EN OBRA

Previa a la extensión de la grava-emulsión, se realizó un tramo de prueba a fin de determinar el comportamiento de la mezcla durante su puesta en obra y las condiciones necesarias de compactación.



Figura 4. Equipo empleado para la puesta en obra.

Algunas conclusiones de esta prueba fueron:

- Durante la extensión con niveladora, pueden detectarse algunos gránulos algo más duros en un principio, posiblemente debidos al almacenamiento de la mezcla. No obstante, el propio paso de la niveladora consigue eliminar esas durezas.
- Para conseguir buenos resultados en espesores mayores de 5 cm, es necesario compactador de neumáticos además del compactador mixto.
- Normalmente tras 24 horas, la mezcla debe estar ya seca, si bien espesores más grandes pueden necesitar mayor tiempo de maduración.
- Garantizar un buen anclaje con las capas inferiores, puede evitar la aparición de fisuras localizadas.

5. CONCLUSIONES

De la experiencia realizada podemos destacar las siguientes conclusiones:

- Las mezclas en frío mediante emulsión pueden constituir una solución adecuada para actuaciones en carreteras con baja intensidad de tráfico.
- El correcto diseño de las mismas permite disponer de mezclas flexibles, para reperfilado y rehabilitación de rodaduras deterioradas, debido a su facilidad de extendido y compactación.
- Adicionalmente, pueden colocarse con espesores variables y se puede emplear también como capa de regularización.
- Además, permiten la circulación inmediata del tráfico.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Monografía Grava-Emulsión de la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB).
- [2] Normativa francesa
- XP P 98-121: Graves- émulsions.
 - NF P 98-139 : Béton bitumineux à froid.



Cepsa Comercial Petróleo S.A.U.
Paseo de la Castellana 259A · 28046 Madrid (España)
Teléfono Atención al Cliente: +34 91 337 75 55
www.cepsa.com