

RECICLADOS IN SITU CON EMULSIÓN. EXPERIENCIAS EN LA RED CARRETERAS ESTADO



José Ignacio Suárez Sánchez. ICCP del Estado

Demarcación de Carreteras del Estado en la Comunidad Valenciana

Dirección General de Carreteras. MITMA.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

RECICLADO DE FIRMES “IN SITU” EN FRIO CON EMULSIÓN.

CAMINO HACIA LA REUTILIZACIÓN DEL
100% DE LOS FIRMES ENVEJECIDOS.





Introducción. Normativa.

▶ Orden Circular 40/2017 SOBRE RECICLADO DE FIRMES Y PAVIMENTOS BITUMINOSOS.

- ▶ Norma de aplicación que deroga la anterior Orden Circular 08/2001.
- ▶ **DIFERENCIAS MAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LAS ORDENES CIRCULARES:**
 - ▶ Se amplía el espectro de aplicación de estas técnicas a obras de acondicionamiento de trazado, de ensanche y mejora de plataforma o de ampliación de carriles.
 - ▶ Se permite el uso en categorías de tráfico pesado más altas.
 - ▶ Por cuestiones de economía y de sostenibilidad, se incentiva un mayor aprovechamiento de los materiales reciclados de capas bituminosas.
 - ▶ Se mejoran y se concretan los coeficientes de equivalencia de los materiales realizados con mezclas recicladas.
 - ▶ Dentro del marco de prescripciones de los betunes, se admite la disminución de las temperaturas de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas.
 - ▶ La utilización en los reciclados *in situ* con cemento de equipos con dosificación en forma de lechada y con dosificador-distribuidor volumétrico con control programable, para obtener un material de mayor calidad, y con menores riesgos ambientales y de seguridad y salud



Introducción. Normativa.

- ▶ Obligatoriedad del marcado CE en los materiales básicos que se incorporen a las mezclas recicladas.
- ▶ La adaptación a las nuevas nomenclaturas y ensayos de las normas europeas armonizadas (UNE-EN).

Normativa.



TABLA 1 – CRITERIOS DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO

TIPO DE RECICLADO	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T0	T1	T2	T3 y T4
En central	Reciclado + 10 cm (1)	Reciclado + 8 cm (1)	Reciclado + 5 cm (2)	Reciclado + 5 cm (2, 3)	Reciclado + rodadura (3, 4 ó 5)
<i>In situ</i> con emulsión	—	—	Reciclado + 8 cm (1)	Reciclado + 5 cm (2)	Reciclado + rodadura (3, 4 ó 5)
<i>In situ</i> con cemento	—	—	Reciclado + MBC	Reciclado + MBC	Reciclado + MBC

MBC Mezclas bituminosas (incluida capa de rodadura), con espesores de acuerdo con la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes.

- (1) **Espesor total mínimo de 8 o 10 cm**, en doble capa, siendo 3 o 4 cm el espesor correspondiente a la capa de rodadura, según se trate de una mezcla discontinua o drenante (art. 543 del PG-3), respectivamente.
- (2) **Espesor total mínimo de 5 cm en capa única**. Para el espesor mínimo se dispondrá una sola capa de mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) (art. 542 del PG-3) de 5 cm de espesor. En el caso de ser preceptiva una capa de rodadura drenante o discontinua, el espesor mínimo se elevará a 8 cm y se aplicará lo indicado en (1).
- (3) Mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) reciclada en central conforme a lo indicado en el artículo 22 en su apartado 22.3.
- (4) Mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) (art. 542 del PG-3).
- (5) Microaglomerado en frío (art. 540 del PG-3).



Normativa.

TABLA 2 - COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA ESTRUCTURAL ENTRE UNA MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE O SEMICALIENTE Y LOS DIFERENTES TIPOS DE MATERIAL RECICLADO

TIPO DE MATERIAL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	LEY DE FATIGA	LIMITACIÓN DE ESPESOR (cm)
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE O SEMICALIENTE (Densa, Semidensa y Gruesa)	1	$\epsilon_r = 6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$	—
RECICLADO EN CALIENTE Y SEMICALIENTE EN CENTRAL DE CAPAS BITUMINOSAS	0,80 a 1 ⁽¹⁾	Ley específica	5 - 15
RECICLADO <i>IN SITU</i> CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS	0,75 ⁽²⁾	Ley específica	6 - 12
RECICLADO <i>IN SITU</i> CON CEMENTO DE CAPAS DE FIRME	Material semejante al suelocemento		20 - 30 ⁽³⁾

- (1) El coeficiente de equivalencia dependerá de la proporción r de material bituminoso reciclado (RAP) utilizado, con el siguiente criterio: **1** si $15 < r \leq 30$; **0,9** si $30 < r \leq 60$ y **0,8** si $r \geq 60$.
- (2) Si el mezclado se efectúa en una central de fabricación de mezclas de las especificadas en los artículos 542 del PG-3 o 22 de esta Orden Circular, podrá adoptarse el coeficiente de 0,80.
- (3) Este valor máximo podrá aumentarse hasta 35 cm, siempre y cuando el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares especifique sistemas constructivos que garanticen una compacidad uniforme en todo el espesor de la capa.

Normativa.

RECICLADO <i>IN SITU</i> CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS	0,75 ⁽²⁾	Ley específica	6 - 12
--	---------------------	----------------	--------

Experimentalmente se ha comprobado que esta equivalencia puede llegar al 0,85.



Normativa.

▶ DEFINICIÓN. RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS.

- ▶ Mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o mas capas de mezcla bituminosa de un pavimento existente, una emulsión bituminosa, agua y, eventualmente aditivos.
- ▶ Proceso realizado a temperatura ambiente sobre la misma capa a tratar con un espesor que varia entre los 6 y los 12 cm.
- ▶ El material será valido cuando:
El % mezclas con ligantes hidrocarbonados ≥ 90 .



Normativa.

▶ EJECUCIÓN.

▶ COMPONENTES:

- ▶ Estudio previo de los materiales.
- ▶ Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo para cada tramo de características homogéneas.
- ▶ Fresado de la parte del pavimento a reciclar.
- ▶ Incorporación de la emulsión, agua y aditivos.
- ▶ Mezclado y extensión.
- ▶ Compactación del material resultante.
- ▶ Curado y, en su caso, ejecución de un riego de protección



Normativa.

▶ Estudio previo de los materiales.

▶ Consideraciones Generales: (Art. 20 OC40/2017)

- ▶ Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción
 - ▶ Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados de la Declaración de Prestaciones y de las instrucciones e información de seguridad del producto
 - ▶ Se tendrá en cuenta además lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, de producción, almacenamiento, gestión y transporte de productos de la construcción, de residuos de construcción y de suelos contaminados.

▶ Emulsiones bituminosas:

- ▶ El PPTP fijará el tipo de emulsión a emplear.
- ▶ Cumplirá las prescripciones del artículo 214 del PPTG (PG-3).
- ▶ La emulsión bituminosa será del tipo C60B5REC, salvo justificación.
- ▶ Si la emulsión contiene adiciones para controlar la rotura o mejorar sus propiedades, no incluidas en el artículo 214 del PG-3, **éstas no deberán contener fluidificantes** y PPTP, o el Director de las Obras, **establecerá el tipo de adición y las especificaciones que deberán cumplir, la emulsión, su ligante residual y la unidad de obra terminada.**

Normativa.

▶ Estudio previo de los materiales.

▶ Material a Reciclar:

▶ Características Generales:

- ▶ El material a reciclar estará constituido por un conjunto de partículas pétreas, recubiertas por ligante hidrocarbonado envejecido, resultantes de la adecuada disgregación mediante fresado del pavimento existente en la profundidad establecida.
- ▶ El Director de las Obras determinará si existen zonas en las que no deba reutilizarse el material existente, el cual se tratará como un residuo de construcción y demolición.
- ▶ **NO PODRÁN SER RECICALDOS** aquellos materiales que procedan de pavimentos con deformaciones plásticas, o que **contengan o se encuentren contaminados por sustancias potencialmente peligrosas.**
- ▶ Tampoco **SE PODRÁN USAR** aquellos materiales bituminosos que presenten en su composición sustancias procedentes de la destilación de **productos carbonosos, asbesto-amianto, ni que esté clasificado como peligroso**, por no cumplir la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

Normativa.

▶ Estudio previo de los materiales.

▶ Material a Reciclar:

▶ Granulometría:

- ▶ El PPTP fijará el huso granulométrico de las partículas del material a reciclar, que será uno de los indicados en la tabla 20.2. El análisis granulométrico se hará conforme a la norma UNE-EN 933-1.

TABLA 20.2 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE RECICLADO	ABERTURA DE LOS TAMICES (norma UNE-EN 933-2) (mm)									
	40	32	22	16	8	4	2	0,500	0,250	0,063
RE1	100	78-100	69-95	52-82	40-70	25-53	15-40	2-20	0-10	0-3
RE2		100	80-100	62-89	49-77	31-58	19-42	2-20	0-10	0-3

- ▶ Salvo justificación en contrario, el huso RE1 será de utilización para aplicaciones con espesores > 10 cm y el huso RE2 para espesores comprendidos entre 6 y 10 cm.



Normativa.

▶ Estudio previo de los materiales.

▶ Material a Reciclar:

▶ Agua

- ▶ El agua deberá cumplir las prescripciones de la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE.

▶ Polvo mineral de aportación

- ▶ En caso de utilizarse polvo mineral de aportación, éste cumplirá las exigencias establecidas para él en el artículo 542 del PG-3.

▶ Aditivos

- ▶ El PPTP fijará los aditivos que puedan utilizarse, los cuales deberán ser especificados en la fórmula de trabajo y aprobados por el Director de las Obras.
- ▶ El PPTP, o el Director de las Obras, establecerá la proporción adecuada, el método para su incorporación, y las especificaciones a cumplir.



Normativa.

- ▶ **Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo para cada tramo de características homogéneas.**
 - ▶ El PPTP fijará el tipo y composición de la mezcla bituminosa reciclada cuya granulometría, contenido de ligante, resistencia a tracción indirecta antes y después de la inmersión en agua, y resistencia conservada deberán cumplir:
 - ▶ La granulometría del material a reciclar estará dentro de los usos RE1 y RE2.
 - ▶ El tamaño máximo nominal del material a reciclar sea $< 1/3$ del espesor del reciclado.
 - ▶ Tamaño máximo nominal \rightarrow 1er tamiz $> 10\%$ de material retenido.
 - ▶ La dotación de ligante hidrocarbonado residual será **no inferior $\nless 2\%$** en capas de base para la **categoría de tráfico pesado T1**, y al **$\nless 1,5\%$** en el **resto de los casos**.
 - ▶ Fabricación de probetas compactadas mediante compactador giratorio (norma UNE-EN 12697-31) a temperatura ambiente y curadas desmoldadas durante tres días (3 d) a cincuenta grados Celsius (50°C).



Introducción. Normativa.

- ▶ **Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo para cada tramo de características homogéneas.**
 - ▶ Sobre dichas probetas se determinará:
 - ▶ **Densidad de la mezcla** (norma UNE-EN 12697-6).
 - ▶ **Ensayo de tracción indirecta a 15°C** (norma UNE-EN 12697-12) de las probetas **secas y húmedas**, que **DEBERAN CUMPLIR** los valores mínimos especificados en la tabla 20.3.
 - ▶ En caso necesario, **para mejorar la adhesividad y la relación de resistencia, se podrá aportar cal o el cemento, en una proporción máxima del 1% de la masa total en seco del material a reciclar.**

TABLA 20.3 - VALORES MINIMOS DE RESISTENCIA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA
(norma UNE-EN 12697-12)

CATEGORIA DEL TRAFICO PESADO	RESISTENCIA MEDIA (MPa) (**)		RELACIÓN DE RESISTENCIA (ITSR) (%)
	SECA (ITS _d)	HÚMEDA (ITS _w)	
T1 (CAPAS DE BASE) T2 y (*)	1,7	1,3	75
T3, T4 y ARCENES	1,2	0,9	70

(*) Vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías interurbanas.

(**) Sobre un número de probetas no inferior a tres (≥ 3) para cada tipo de resistencia.



Introducción. Normativa.

► PROBLEMÁTICA DE LA OC 40/2017.

- Cumplimiento de los requisitos de resistencia a tracción indirecta.

TABLA 20.3 - VALORES MINIMOS DE RESISTENCIA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA
(norma UNE-EN 12697-12)

CATEGORIA DEL TRAFICO PESADO	RESISTENCIA MEDIA (MPa) (**)		RELACIÓN DE RESISTENCIA (ITSR) (%)
	SECA (ITS _d)	HÚMEDA (ITS _w)	
T1 (CAPAS DE BASE) T2 y (*)	1,7	1,3	75
T3, T4 y ARCENES	1,2	0,9	70

(*) Vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías interurbanas.

(**) Sobre un número de probetas no inferior a tres ($\neq 3$) para cada tipo de resistencia.

No se consiguen estos valores de resistencia en tracción indirecta. Comprobado reiteradamente en laboratorio.



Análisis previo – Tipología de la Carretera.

- ▶ El reciclado in situ con emulsión en frío solo se puede emplear en carreteras con una categoría de tráfico pesado T1 a T4, según los requisitos indicados en la siguiente tabla:

TIPO DE RECICLADO	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T1	T2	T3 Y T4
<i>In situ</i> con emulsión	Reciclado + 8 cm en doble capa, según sea mezcla continua o discontinua	Reciclado + 5 cm en una única capa tipo D o S (podría ser reciclada en central según Art 22 de la OC40/2017)	Reciclado + Rodadura tipo D, S (incluso reciclada en central) o microaglomerado en frío

Análisis previo – Datos para la redacción de Proyecto.

- ▶ Estado del firme a reciclar.
 - ▶ Deformaciones, deterioros y determinación de zonas contaminadas.
- ▶ Sección de firme existente.
 - ▶ Recopilación de datos del proyecto de ejecución.
 - ▶ Comprobación de los espesores reales de las capas bituminosas mediante extracción de testigos.
- ▶ Determinación de la mejor opción de reciclado y refuerzo de firme.
 - ▶ Categoría de tráfico pesado existente.
 - ▶ Refuerzo de firme necesario.



Fórmula de trabajo.



- ▶ **Toma de datos iniciales:**
- ▶ Extracción de testigos, al menos 2 cada kilometro (Determinación de espesores del tramo a reciclar).
- ▶ Toma de 1 muestra por kilometro de material fresado con medios mecánicos similares a los empleados en el reciclado, .



Fórmula de trabajo.



Sobre las muestras de cada tipo de material fresado en cada tramo homogéneo se determinará:

- ▶ Análisis granulométrico (norma UNE-EN 933-1).
- ▶ Contenido de ligante residual (normas UNE-EN 12697-1 ó UNE-EN 12697-39).
- ▶ Penetración (norma UNE-EN 1426) y punto de reblandecimiento (norma UNE-EN 1427) del ligante recuperado (norma UNE-EN 12697-1 ó UNE-EN 12697-3).
- ▶ Identificación del tipo de árido recuperado.



Fórmula de trabajo.



- ▶ **Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.**
- ▶ Será necesario determinar:
 - ▶ **El espesor del reciclado in situ.**
 - ▶ Se reciclaran capas completas. Penetrando 1 cm en la capa inferior si es una mezcla bituminosa.
 - ▶ Si no es posible, se evitará que queden sin tratar espesores de mezcla bituminosa < 3 cm.
 - ▶ **La granulometría deberá cumplir los Husos RE1 o RE2.**
 - ▶ **La proporción en masa respecto a la total en seco de:**
 - ▶ Ligante residual de aportación, indicando el tipo de emulsión utilizada.
 - ▶ agua de aportación.
 - ▶ aditivos, con indicación de su tipo y características.
 - ▶ polvo mineral de aportación, en su caso, indicando el tipo utilizado.
 - ▶ **La densidad de la mezcla (norma UNE-EN 12697-6) y la humedad óptima de compactación, obtenida sobre probetas fabricadas.**



Fórmula de trabajo.



- ▶ El % de **ligante residual** se determinará mediante el ensayo de sensibilidad al agua (norma UNE-EN 12697-12).
- ▶ La **humedad de compactación** se determinará mediante el ensayo Proctor modificado (norma UNE-EN 13286-2), realizado sobre el material a reciclar.
- ▶ **Se estudiará y aprobará una nueva fórmula de trabajo cada vez que varíen las características del material a reciclar** o de alguno de los componentes de la mezcla, o las condiciones ambientales.
- ▶ Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo serán:

TABLA 20.4 - TOLERANCIAS ADMISIBLES RESPECTO DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

CARACTERÍSTICA		NORMA	UNIDAD	TOLERANCIA
GRANULOMETRÍA CERNIDO TAMICES (mm)	> 2	UNE-EN 933-2	% sobre masa total material a reciclar en seco	± 6
	> 0,063 y ≤ 2			± 3
	0,063			± 1,5
LIGANTE RESIDUAL APORTADO		UNE-EN 12697-12		± 0,3
HUMEDAD COMPACTACIÓN (AGUA TOTAL)		UNE-EN 13286-2		-1 / + 0,5



Fórmula de trabajo.

Reciclado en Frio con Emulsión N-232					Reciclado en Frio con Emulsión			
	Tracción	Compresión	Especificaciones Art 20; PG4	Especificaciones OC 40/2017	Húmedo			
					% Emulsión	Kgf	Kgf/cm ²	MPa
Resistencia en Seco; MPa	0,60	3,3	>3,0 (T1/T2)	>1,7 (T1/T2)	2,5	2.744	34,3	3,36
Resistencia en Húmedo; MPa	0,49	2,9	> 2,5 (T1/T2)	>1,3 (T1/T2)	3,0	2.511	31,3	3,07
Resistencia Conservada; %	82	88	>75 (T1/T2)	>70 (T1/T2)	3,5	2.147	26,8	2,63
				>1,3 (T3/T4)	Seco			
				>0,9 (T3/T4)	% Emulsión	Kgf	Kgf/cm ²	MPa
					2,5	3.346	41,8	4,10
					3,0	2.990	37,3	3,66
					3,5	2.526	31,5	3,09
					MPa			
					COMPRESIÓN		CONSERVADA	
					% Emulsión	EN SECO	HÚMEDO	%
					2,5	4,10	3,36	82
					3,0	3,66	3,07	84
					3,5	3,09	2,63	85

Fórmula de trabajo.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA



P.K. 63+500 MI: Cuarteos en malla fina. Grietas longitudinales. Grietas erráticas

Reciclado en Frio con Emulsión

Material Fresado; %	100
Agua de Preeenvuelta; %	2,5 - 3
Emulsión C60B5 REC REJUV; %/s/mat. Fresado	3,0 - 3,2
Ligante residual; % s/material fresado	1,8 - 1,9

AÑO	OBRA	ADMINISTRACIÓN	M2 RECICLADO
1993	Reutilización y refuerzo del firme, N-11 Tramo: Limite provincia de Zaragoza a limite provincia Lérida	MITMA. DGC. Demarcación de Aragón.	3.626.742,00
1994	Refuerzo del firme de la N-630. Tramo: Cañaveral sur- Cáceres	MITMA. DGC. Demarcación Extremadura	567.612,00
1997	Reciclado del firme y obras accesorias N- 230. Tramo Boca Túnel de Vielha	MITMA. DGC. Demarcación de Cataluña	375.720,00
1998	Reciclado del firme Ctra. N-230, Tramo: Limite de provincia Lleida- Senet	MITMA. DGC. Demarcación de Cataluña	716.990,00
2003	Reciclado del firme Ctra. LV-3341 TramoBellpuig - Tornabous	Diputació de Lleida	450.000,00
2005	Reciclado del firme Ctra. C-53 Tramo: Intersección LV 3344 a Vallfogona de Balaguer	Generalitata de Catalunya	140.000,00
2006	Reciclado del firme Ctra. C-12 Tramo: Corbins - Menarguens	Generalitat de Catalunya	490.000,00
2006	Reciclado del Firme Ctra. LV 7041 Tramo: Alcarras - La Granja d'Escarp	Generalitat de Catalunya	980.000,00

AÑO	OBRA	ADMINISTRACIÓN	M2 RECICLADO
2006	Reciclado del firme Ctra. C-1412b, TRAMO: Orcau - Tremp	Generalitat de Catalunya	810.000,00
2006	Reciclado del firme Ctra. C-12 Tramo: Maials limite Provincia Tarragona	Generalitat de Catalunya	756.000,00
2006	Reciclado del firme Ctra. C-12 Tramo: L. P. Lleida a Flix	Generalitat de Catalunya	714.000,00
2006	Reciclado del firme Ctra. LV 3025 Tramo: La Sentiu de Sió - Agramunt	Generalitat de Catalunya	965.972,00
2009	Reciclado del firme Ctra. C-12 Tramo: Torrebesses - Maials	Generalitat de Catalunya	323.031,00
2009	Refuerzo del firme Ctra. C-13, Tramo: Sort - La Guingueta d'Aneu	Generalitat de Catalunya	925.092,00
2016	Rehabilitación de firme N-420 del Pk 820+000 al PK 840+000. Tramo Mora de Ebro - Marça.	MITMA. DGC. Demarcación de Cataluña	229.000,00
2019	Rehabilitación del firme Ctra TF-82. Pk 0+207 al 7+300 Icod de los Vinos-El Tanque	CABILDO DE TENERIFE (VIALES)	526.881,48

AÑO	OBRA	ADMINISTRACIÓN	M2 RECICLADO
2019	Rehabilitación del firme Ctra. TF 28, PK 26+250 AL 33+000, Güimar	CABILDO TENERIFE (SANDO)	319.579,20
2019	Rehabilitación del firme Ctra. TF 28 PK 74+000 AL 76+000, Travesía Granadilla	CABILDO DE TENERIFE (OHL)	150.176,16
2019	Rehabilitación de la Ctra. LP-7043, PK 0+000 AL 2+250 Torres de Segre	DIPUTACIÓN DE LLEIDA	115.410,40
2022	Obra de Emergencia. Refuerzo del firme N-232. PK 62+400 A 74+500. Tramo Morella - Puerto de Torre Miró.	MITMA. DGC. Demarcación de Valencia.	118.700,20
2022	Obra de Emergencia. Reparación de firme PK 59+000 a PK 62+400	MITMA.DGC. Demarcación de Valencia.	22.540,00
ADJ.	32-T-3390. N-211. Tramo Castell de Cabra - Alcorisa	MITMA. DGC. Demarcación de Aragón.	250.000,00

Ejecución del reciclado.

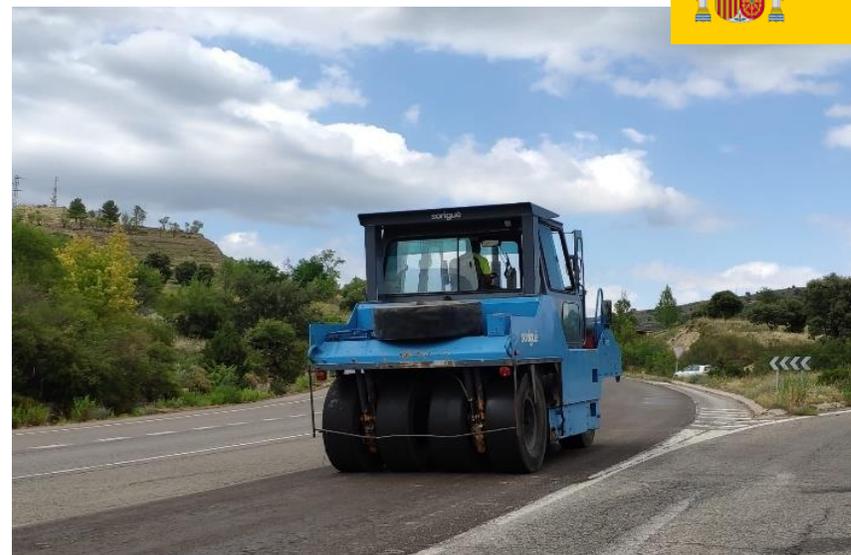
▶ TRAMO DE PRUEBA.

- ▶ Al comienzo de cada tramo homogéneo:
 - ▶ Se comprobará la profundidad de fresado.
 - ▶ **Se ajustará la velocidad de avance del equipo** para obtener la profundidad de fresado, la granulometría dentro del huso especificado y una mezcla uniforme y homogénea.
 - ▶ Se determinará la granulometría del material fresado que se vaya a reciclar.
 - ▶ Se comprobará y ajustará la fórmula de trabajo obtenida para ese tramo
- ▶ Durante la ejecución del tramo de prueba se analizarán también los siguientes aspectos:
 - ▶ Correlación entre los métodos de control de la dosificación del ligante establecidos en el PPTP, y otros métodos rápidos de control.
 - ▶ Correlación entre los métodos de control de la densidad y humedad *in situ* establecidos en el PPTP, y otros métodos rápidos de control.
 - ▶ Se comprobará en la mezcla la precisión de los sistemas de dosificación de la emulsión y del agua y, en su caso, del polvo mineral de aportación y las adiciones.
 - ▶ Se establecerán las relaciones entre humedad, densidad alcanzada y número de pasadas de los compactadores.
 - ▶ Se evaluará el esponjamiento de la capa reciclada al objeto de garantizar el espesor mínimo de reciclado necesario.



Ejecución del reciclado.

- ▶ La ejecución del reciclado se realizó mediante dos recicladoras Wirtgen 2100 y 1900 en paralelo solapadas al menos 10 cm, las cuales dosificarán el agua y la emulsión necesaria según la fórmula de trabajo. El agua y la emulsión se encuentran ubicadas dentro de una cisterna que es empujada por una de las recicladoras.





Ejecución del reciclado.

▶ Temperaturas ambientales de trabajo:

- ▶ Trabajar con temperaturas ambientales mínimas de 20 grados.
- ▶ Temperatura optima recomendada de 30 grados.
 - ▶ Se consigue una mejor compactación en menor tiempo.

▶ Velocidad de trabajo:

- ▶ Depende fundamentalmente del, **estado del firme inicial**.
 - ▶ **MAYOR** es el grado de fisuración, fragmentación o deterioro → **MENOR** será la velocidad de reciclado.
- ▶ Se debe asegurar una homogeneidad en las granulometría del material reciclado.
- ▶ Las velocidades en firmes en mal estado están comprendidas entre los 3 y 5 metros por minuto.
- ▶ Un exceso de velocidad produciría la aparición de material no triturado de grandes dimensiones. Tamaño máximo del árido fresado **NO DEBERÁ SER SUPERIOR A 1/3 DEL ESPESOR DE CAPA.**



Ejecución del reciclado.

- ▶ **Reciclado y extendido de la mezcla.**
 - ▶ Se debe realizar mediante implemento de extendido, que consta de un sinfín que reparte el material y una regla que regulariza transversalmente la mezcla.
 - ▶ Se debe cuidar la junta longitudinal del carril reciclado con el arcén, eliminado el material más grueso mediante el uso de rastrillo o cepillos.
 - ▶ Reducción de la degradación de esta zona por el tránsito de vehículo.
 - ▶ Si solo se emplea una sola recicladora se deberá concretar tramos por tandas lo suficientemente largas como para que en la jornada se deje reciclado el ancho completo del carril.



Ejecución del reciclado.

- ▶ **Compactación de la mezcla reciclada**
 - ▶ Se debe realizar con equipos de alta compactación.
 - ▶ Compactadores neumáticos de 35 tn.
 - ▶ Apisonadoras metálicas pesadas de 18 tn.
 - ▶ La compactación se debe iniciar lo antes posible, evitando que **no pase más de 30 minutos desde el inicio de reciclado.**
 - ▶ Se podría abrir al tráfico al final de la jornada. Limitando las velocidades de circulación para evitar que se produzcan pérdidas de material en el firme del tramo reciclado.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA



Ejecución del reciclado.

- ▶ **Apertura al tráfico rodado.**
 - ▶ La circulación de vehículos una vez acabada la jornada diaria de reciclado no es un problema, **sino una ventaja** que permite extender la capa de refuerzo en menor tiempo.
 - ▶ La circulación de vehículos produce un efecto añadido de maduración y de pérdida de humedad de la capa reciclada.
 - ▶ Se debe limitar la velocidad de circulación.
 - ▶ Sobre todo en las zonas de curvas que son más susceptibles de sufrir daños y tener una mayor pérdida de material hacia los arcenes.
 - ▶ Conveniente reforzar la posible pérdida de material con el riego de curado.

La norma indica que para poder extender la capa de refuerzo sobre la capa reciclada, la humedad de ésta debe estar por debajo del 1%.





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA







GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA





Refuerzo de firme tras el reciclado.

- ▶ Para proteger el reciclado es necesario reforzarlo con una o dos capas de firme en función de la categoría de tráfico pesado.
 - ▶ Ejemplo: El reciclado de firme realizado en la N-232 por el MITMA en Castellón, se dividía en:
 - ▶ Zonas con una capa de Refuerzo:
 - ▶ 5 cm de AC16 50/70 SURF S
 - ▶ Zonas con dos capas de Refuerzo:
 - ▶ Capa Intermedia: 6 cm de AC22 50/70 BIN D Calizo.
 - ▶ Capa Rodadura: 4 cm de AC16 50/70 SURF S.





GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

Refuerzo de firme tras el reciclado.





IRI Capas de reciclado y firme.

► IRI en Capa de Reciclado.

CRTA	TRAMO	CARRIL	CAPA	LONG. (M.)	IRI MEDIO R.DRCHA	IRI MEDIO R.IZQDA	IRI MEDIO RD RI
N-232	P.K. 62+417 A P.K. 67+574	Derecho	RECICLADO. Base	5.157	3.3	2.9	3.1
N-232	P.K. 70+500 A P.K. 74+534	Derecho	RECICLADO. Base	4.034	3.0	3.0	3.0
N-232	P.K. 74+534 A P.K. 70+906	Izquierdo	RECICLADO. Base	3.628	2,8	3.2	3.0
N-232	P.K. 67+547 A P.K. 62+417	Izquierdo	RECICLADO. Base	5.130	2.8	3.1	3.0
N-232	P.K. 62+482 A P.K. 68+420	Derecho lento	RECICLADO. Base	5.938	2.8	2.8	2.8

TABLA 20.5 - ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	IRI (dm/hm)
50	< 2,0
80	< 2,5
100	< 3,0



IRI Capas de reciclado y firme.

► IRI en Capa Intermedia.(Extendido con Regla Francesa)

CRTA	TRAMO	CARRIL	CAPA	LONG. (M.)	IRI MEDIO R.DRCHA	IRI MEDIO R.IZQDA	IRI MEDIO RD RI
N-232	P.K. 62+440 A P.K. 66+450	Central	M.B.C. Intermedia	4010	1.3	1.0	1.1
N-232	P.K. 67+750 A P.K. 68+250	Central	M.B.C. Intermedia	500	1.2	0.9	1.1
N-232	P.K. 71+500 A P.K. 74+478	Derecho	M.B.C. Intermedia	2978	1.6	1.3	1.4
N-232	P.K. 74+478 A P.K. 71+500	Izquierdo	M.B.C. Intermedia	2978	1.1	1.0	1.0
N-232	P.K. 68+250 A P.K. 67+750	Izquierdo	M.B.C. Intermedia	500	1.4	1.4	1.4
N-232	P.K. 66+450 A P.K. 62+440	Izquierdo	M.B.C. Intermedia	4010	1.3	1.4	1.3
N-232	P.K. 62+440 A P.K. 66+450	Lento	M.B.C. Intermedia	4010	1.5	1.4	1.5
N-232	P.K. 67+750 A P.K. 68+250	Lento	M.B.C. Intermedia	500	1.2	1.1	1.2



IRI Capas de reciclado y firme.

► IRI en Capa Rodadura. (Extendido con Regla Francesa)

CRTA	TRAMO	CARRIL	CAPA	LONG. (M.)	IRI MEDIO R.DRCHA	IRI MEDIO R.IZQDA	IRI MEDIO RD RI
N-232	P.K. 62+500 A P.K. 69+900	Lento	M.B.C. Rodadura	7400	1.3	1.0	1.1
N-232	P.K. 74+534 A P.K. 62+404	Izquierdo	M.B.C. Rodadura	12130	1.0	1.1	1.1
N-232	P.K. 62+404 A P.K. 74+534	Derecho	M.B.C. Rodadura	12130	1.0	1.1	1.1

RECRECIDOS EN OBRAS DE REHABILITACIÓN

% hectómetros medidos	Tipo de carretera			
	Autopistas y autovías		Resto de vías	
	Espesor de recrecimiento			
	e > 10	e ≤ 10	e > 10	e ≤ 10
50	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 2.0
80	< 1.8	< 2.0	< 2.0	< 2.5
100	< 2.0	< 2.5	< 2.5	< 3.0

Sostenibilidad.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN EN FRIO	SISTEMA TRADICIONAL DE REHABILITACIÓN DE FIRME (Fresado y Reposición)
100% del uso del material fresado sin desplazarlo a planta, sin necesidad de acopios intermedios o vertederos.	Empleo de un % en la fabricación de las nuevas capas de firme. El resto debe ser llevado a planta o vertedero.
Disminución de áridos de cantera necesarios para las capas de refuerzo.	Necesidad de sustituir el material fresado por nuevas capas de mezclas bituminosas.
Disminución del ligante bituminoso necesario.	Aumento del ligante bituminoso para un mismo paquete de firme.
Disminución del transporte de mezclas bituminosas.	Mayor transporte en las operaciones de fresado y reposición de capas y fabricación de áridos.
Disminución de la energía necesaria en la fabricación de la capa base constituida por el reciclado in situ con emulsión en frío.	A pesar de usar mezclas semi-calientes, el consumo de energía es superior.
Disminución de la Huella de Carbono.	-

Sostenibilidad. Huella de Carbono

FRESADO Y REPOSICIÓN DE FIRME.	
Superficie de Fresado	115.000,00 m ²
Espesor:	12 cm
Volumen de Fresado:	13.800,00 m ³
Tn de Fresado Transportadas:	33.810 Tn
Distancia media a planta o vertedero considerado	40 km
Total de Kg de CO2 de un camión por Tn x km	0,106 Kg/Tn x km
TOTAL DE Kg GENERADOS POR EL TRANSPORTE DEL FRESADO:	143.354,40 Kg de CO2
REPOSICIÓN DE FIRME:	Kg CO2 / Tn
Extracción y producción de áridos:	6,65
Filler:	13,51
Betún asfáltico:	11,97
Fabricación de Mezcla:	18,13
Puesta en Obra:	1,49
Transporte:	8,95
TOTAL POR TN REPUESTA:	60,70 Kg CO2 / Tn
TOTAL DE Kg GENERADOS POR LA REPOSICION DE LA CAPA DE FIRME FRESADA	2.052.267,00 Kg de CO2
TOTAL DE Kg GENERADOS POR EL FRESADO Y LA REPOSICIÓN DE LA CAPA.	2.195.621,40 Kg de CO2



RECICLADO DE FIRME IN SITU CON EMULSION EN FRIO

Sistemas de compactación reciclado:	1,49 Kg CO2 / Tn
Transporte emulsión:	1,23 Kg CO2 / Tn
Total Compactación + Transporte Emulsión:	2,72 Kg CO2 / Tn
Tn de Fresado reciclado:	33.810 Tn
Tn de Capa Intermedia Necesaria:	9.200 Tn
TOTAL DE Kg GENERADOS POR EL TRANSPORTE DEL FRESADO:	91.963,20 Kg de CO2
REPOSICIÓN DE FIRME:	Kg CO2 / Tn
Extracción y producción de áridos:	6,65
Filler:	13,51
Betún asfáltico:	11,97
Fabricación de Mezcla:	18,13
Puesta en Obra:	1,49
Transporte:	8,95
TOTAL POR TN REPUESTA:	60,70 Kg CO2 / Tn
TOTAL DE Kg GENERADOS POR LA CAPA INTERMEDIA NECESARIA:	558.440,00 Kg de CO2
TOTAL DE Kg GENERADOS POR EL FRESADO Y LA REPOSICIÓN DE LA CAPA.	650.403,20 Kg de CO2
AHORRO CO2 ENTRE AMBOS SISTEMAS:	1.545.218,20 Kg de CO2

**Programa de
Compra Pública de
Innovación de la
Dirección General
de Carreteras**

**Evento de
lanzamiento**

**1ª Consulta Preliminar
al Mercado**

**30 de noviembre de
2022**



Los primeros 10 retos del Programa de CPI de la DGC

Planificación

- 1 Diseño, mejora y optimización de las infraestructuras y el transporte viario
- 2 Impulsar el despliegue del vehículo automatizado y extender su dominio operativo en la RCE

Construcción

- 3 Ejecución innovadora de las infraestructuras viarias
- 4 Construcción de firmes bajo criterios de sostenibilidad, seguridad y eficiencia energética

Conservación y Explotación

- 5 Tecnologías e I.A. para la inspección de activos de la carretera
- 6 Racionalización y modernización de la gestión de los túneles
- 7 Diagnóstico del estado actual de los firmes y de su evolución
- 8 Eficiencia Energética en la RCE

Seguridad Vial

- 9 Gestión avanzada de la seguridad vial
- 10 Medidas de protección para usuarios vulnerables y para accidentes con fauna

Construcción de firmes bajo criterios de sostenibilidad, seguridad y eficiencia energética

Situación actual. Necesidades no cubiertas:

- **Necesidad de descarbonización:**
 - Minimización de los impactos ambientales de cada una de las etapas → Firmes sostenibles
- **Control de calidad actual:**
 - Tecnologías de control de calidad basadas en métodos no destructivos.
- **Digitalización del proceso:**
 - Inventarios digitales de los activos que componen las infraestructuras viarias.
 - Proyectos de construcción de obras de firmes digitales “comprensibles”
- **Seguridad de los trabajadores:**
 - Tecnologías de señalización y aviso de las zonas de obras → Evaluación y verificación de su eficacia.



Necesidades no cubiertas.

▶ AREAS DE MEJORA:

- ▶ Descarbonización.
- ▶ Eficiencia Energética.
- ▶ Digitalización.
- ▶ Seguridad Vial.

▶ DESCARBONIZACIÓN:

▶ Relacionada con **procesos productivos de las actividades de la construcción y/o rehabilitación de firme:**

- ▶ Extracción de materias primas.
 - ▶ Transporte de las mismas.
 - ▶ Producción de materiales.
 - ▶ Puesta en obra.
- 
- ▶ Minimización impactos ambientales colaterales como el agotamiento de recursos naturales.

Necesidades no cubiertas.

▶ AREAS DE MEJORA:

- ▶ Descarbonización.
- ▶ Eficiencia Energética.
- ▶ Digitalización.
- ▶ Seguridad Vial.



▶ DESCARBONIZACIÓN:

- ▶ Relacionada con **procesos productivos de las actividades de la construcción y/o rehabilitación de firme:**

- ▶ **Extracción de materias primas.**
- ▶ **Transporte de las mismas.**
- ▶ **Producción de materiales.**
- ▶ **Puesta en obra.**



- ▶ **Minimización impactos ambientales colaterales como el agotamiento de recursos naturales.**



Necesidades no cubiertas.

► DESCARBONIZACIÓN:

- Relacionada con la fase de explotación de las infraestructuras viarias:

Consumo de combustible de Vehículos. → Eficiencia Energética.



Innovación en el desarrollo de tecnologías que permitan validar in situ la calidad de los pavimentos en términos de RESISTENCIA A LA RODADURA.

[Enlace al Programa de Compra Pública de Innovación de la Dirección General de Carreteras. MITMA.](#)

[Presentación de PowerPoint \(mitma.gob.es\)](#)

[Enlace al Construcción de firmes bajo criterios de sostenibilidad, seguridad y eficiencia energética.](#)

[anexo_1.4_construccion_sostenible_de_firmes.pdf \(mitma.gob.es\)](#)

La presentación de solicitudes para intervenir en el programa de compra publica finalizo el pasado 30 de enero de 2023.



Agradecimientos.

- ▶ Carlos Rifá Rocamora. Jefe de Obra de la Emergencia N-232. Puerto de Torremiro. Realizada por la empresa CHM Obras e Infraestructuras S.A., actualmente Jefe COEX del Sector de Conservación de Castellón CS-4 (Sacyr Conservación S.A.), por la ayuda e implicación en la preparación de esta presentación.
- ▶ **CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS S.A.**



- ▶ **BECSA S.A.**





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

GRACIAS POR SU ATENCIÓN.