CATÁLOGO DE RESIDUOS UTILIZABLES EN CONSTRUCCIÓN

CEDEX







RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS





GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y MOVILIDAD SOSTENIBLE
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
CEDEX

ÍNDICE GENERAL

1. ORIGEN [1] 1

2. VOLUMEN Y DISTRIBUCIÓN [2] 2

3. VALORIZACIÓN [3] 2

3.1 CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES 3

3.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS 4
3.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS 6

3.2 PROCESAMIENTO [4, 5, 6, 7, 8] 6

3.2.1 DEMOLICIÓN [8, 9, 10] 7
3.2.2 TÉCNICAS DE RECICLADO IN SITU 8

3.2.2.1 RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN EN FRÍO [2,8, 9, 10, 13,14,15] 8
3.2.2.2 RECICLADO IN SITU CON CEMENTO [2, 16, 17, 18, 19] 9

3.2.3 TÉCNICAS DE RECICLADO EN CENTRAL 10

3.2.3.1 RECICLADO EN CENTRAL CON EMULSIÓN EN FRIO [9, 10] 10
3.2.3.2 RECICLADO EN CENTRAL CON EMULSIÓN DE MEZCLAS TEMPLADAS 10
3.2.3.3 RECICLADO EN CENTRAL CON CEMENTO 12
3.2.3.4 RECICLADO EN CENTRAL CON BETÚN DE MEZCLAS CALIENTES Y SEMICALIENTES 12

3.3 APLICACIONES 14

3.3.1 MATERIAL DE RELLENO 14
3.3.2 ZAHORRA ARTIFICIAL 15
3.3.3 SUELO ESTABILIZADO IN SITU 16
3.3.4 SUELOCEMENTO 17
3.3.5 GRAVACEMENTO 17
3.3.6 RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN O BETÚN ESPUMADO 18
3.3.7 GRAVAEMULSIÓN RECICLADA EN CENTRAL 18
3.3.8 MEZCLA BITUMINOSA ABIERTA EN FRIO RECICLADA EN CENTRAL 18
3.3.9 MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE Y SEMICALIENTE RECICLADA EN CENTRAL 19

3.4 OBRAS REALIZADAS [6, 19 A 30, 36] 20

4. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES [35, 36] 23

5. NORMATIVA TÉCNICA [1, 3, 32, 33] 25

6. REFERENCIAS 34

7. ENTIDADES DE CONTACTO 36

ÍNDICE DE IMÁGENES

FOTOGRAFÍA 1. DEMOLICIÓN DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE FRESADO 1

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TASAS DE REUTILIZACIÓN Y RECICLADO DE RA EN DIFERENTES PAÍSES EUROPEOS (2023). 2
TABLA 2. ENSAYOS PARA DEFINIR EL USO DEL RA. 3
TABLA 3. CONTENIDO Y PROPIEDADES DEL LIGANTE RECUPERADO DEL RA (2023-2024) 5
TABLA 4. ESPECIFICACIONES DEL LIGANTE DEL RA EN FRANCIA. 5
TABLA 5. ESPECIFICACIONES DEL LIGANTE DEL RA EN PORTUGAL. 6
TABLA 6. MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS EN TASAS SUPERIORES AL 15 % DE RA. 11
TABLA 7. ESPESORES DE CAPA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE O SEMICALIENTE. 27



Fotografía 1. Demolición de un pavimento asfáltico mediante fresado
[Fuente: Centro de Estudios del Transporte del CEDEX]

1. ORIGEN [(1)]

Se entiende como reciclado de pavimentos asfálticos, la utilización de los materiales procedentes de la demolición de las capas de firmes que ya han estado en servicio, en la construcción de otras nuevas.

El reciclado de pavimentos asfálticos se realiza sobre materiales deteriorados que han perdido en gran medida sus propiedades iniciales, aunque en casos muy especiales puede actuarse también sobre materiales en condiciones de servicio para mejorar sus características. El reciclado es, en unos casos, una alternativa al fresado y reposición de firmes, al refuerzo o reconstrucción, y en otros, constituye un aprovechamiento de los materiales fresados, que de otra manera irían a vertedero.

La Orden Circular OC 2/2023 de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos, ha revisado y actualizado la OC 40/2017, en cuanto al contenido de los siguientes artículos:

- Artículo 20: Reutilización in situ con emulsión de capas bituminosas.
- Artículo 21: Reutilización in situ con cemento de capas de firme.
- Artículo 22: Reutilización en caliente y semicaliente en central de capas bituminosas.

El objetivo de esta OC 2/2023 es ampliar el campo de aplicación de la anterior OC, así como impulsar la reutilización de los firmes como solución habitual, implementando en los proyectos soluciones más sostenibles que permitan reducir el impacto ambiental en las etapas de construcción, a lo largo del ciclo de vida de los firmes y pavimentos bituminosos.

2. VOLUMEN Y DISTRIBUCIÓN [2]

La European Asphalt Pavement Association (EAPA), dentro de la cual se encuentra la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), recogió los datos estadísticos correspondientes a la reutilización y el reciclado del asfalto recuperado (RA), del año 2023, que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tasas de reutilización y reciclado de RA en diferentes países europeos (2023).
[Fuente: EAPA [2]]

País	Cantidad total de asfalto recuperado disponible en 2023 (Toneladas)	Cantidad total de asfalto recuperado disponible para su empleo por la industria asfáltica en 2023 (Toneladas)	Destino del asfalto recuperado disponible para su empleo por la industria asfáltica (Porcentaje)							Destino (Porcentaje)		
			Fabricación de Mezclas calientes y semicalientes	Fabricación de Mezclas templadas	Reciclado en frio "in situ" (con emulsion, betún espumado y/o cemento)	Reciclado en frio en planta (con emulsion, betún espumado y/o cemento)	Capas granulares de firme	Otras aplicaciones de ingenieria civil	Vertedero / Otras aplicaciones / Desconocido	Reutilización (mezclas, calientes, semicalientes y templadas)	Reciclado	Vertedero / Otras aplicaciones / Desconocido
Alemania	13.900.000	12.500.000	88	2	0	0	9	0	1	90	9	1
Austria	1.800.000	-	-	-	-	-	-	-	-	50	45	5
Bélgica	2.320.000	1.320.000	90	-	-	-	-	-	-	90	9	1
Croacia	-	370.000	39	0	0	21	5	-	-	65	-	-
Dinamarca	1.320.000*	1.120.000	-	-	-	-	2	-	-	98	2	0
Eslovenia	330.000*	129.000	37	0	10	0	18	25	10	47	43	10
España	2.500.000	2.100.000	61	0	17	0	4	2	16	78	6	16
Francia	-	7.340.000	45	-	-	-	-	-	-	100	0	0
Gran Bretaña	5.400.000	-	-	-	-	-	-	-	-	38	61	<1
Hungria	200.000	220.000	90	0	4	0	3	3	0	94	6	0
Irlanda	550.000	550.000	64	0	-	-	-	-	-	64	20	16
Italia	17.000.000	10.400.000	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Noruega	1.116.000	1.116.000	50	0	0	0	45	4	< 1	50	49	< 1
Republica Checa	2.700.000	2.500.000	20	0	25	5	10	10	10	50	20	30
Rumania	34.000	34.000	0	0	95	0	5	0	0	95	5	0
Suiza	1.650.000	-	89	< 1	< 1	< 1	< 2	< 3	6	89	5	6
Turquía	1.935.000	1.742.000	1	0	1	0	98	0	0	2	98	0

3. VALORIZACIÓN [3]

El proceso de valorización del material fresado procedente de pavimentos asfálticos incluye todas las operaciones de reciclado del asfalto recuperado (RA), desde su demolición hasta su aplicación final en la construcción de nuevos firmes, pasando por la caracterización de las propiedades del RA, así como el procesamiento completo del material, tanto in situ como en central. Este proceso de valorización permite obtener beneficios económicos, energéticos y ambientales, al reducir el consumo de materias primas vírgenes y las emisiones, limitando además la acumulación masiva de residuos en vertederos.

3.1 CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES

La **caracterización previa del material fresado** es un paso fundamental para determinar el uso y las proporciones adecuadas para su reciclado en las nuevas mezclas asfálticas. Este proceso implica realizar una serie de ensayos para conocer sus propiedades físicas y la calidad del ligante residual, que son los siguientes:

- **Análisis granulométrico del RA** (UNE-EN 933-1): distribución del tamaño de las partículas del material fresado, lo cual es crucial para la dosificación correcta en la nueva mezcla y asegurar que cumpla con los requisitos de diseño.
- **Contenido de ligante** (UNE-EN 12697-1): extracción y recuperación del betún residual en el material fresado.
- **Características del ligante extraído** (UNE-EN 1426 y 1427): evaluar el estado de envejecimiento del ligante extraído del RA. El betún envejecido suele ser más duro, por lo que su caracterización ayuda a determinar la necesidad de aditivos rejuvenecedores o ligante virgen adicional.
- **Granulometría de los áridos extraídos** (UNE-EN 12697-2): distribución por tamaños del árido base, una vez extraído el ligante.

La optimización del reciclado y el diseño de las nuevas mezclas asfálticas dependen en gran medida de la información disponible del material fresado. En función de ello, se pueden dar las siguientes situaciones:

- Conociendo solo la granulometría del RA, sin saber el contenido de betún ni de la granulometría del árido (una vez eliminado el betún), el RA se puede emplear en: rellenos tipo terraplén, zahorra, suelos estabilizados, suelo cemento, gravacemento y reciclado in situ con cemento.
- Si disponemos de toda la información: granulometría del RA, contenido y características de ligante y granulometría de los áridos extraídos, puede destinarse el RA a mezclas bituminosas en caliente y semicaliente, reciclado in situ en frío con emulsión, gravaemulsión y mezclas bituminosas abiertas en frío.

En la siguiente tabla se muestran los usos del RA, según los datos de ensayos disponibles:

Tabla 2. Ensayos para definir el uso del RA.

	Granulometría del fresado (UNE-EN 933-1)	Contenido de ligante (UNE-EN 12697-1)	Características del ligante (UNE-EN 1426 y 1427)	Granulometría de los áridos extraídos (UNE-EN 12697-2)
Relleno	X			
Zahorra	X			
Suelos estabilizados	X			
Suelocemento	X			

Gravacemento	X			
Reciclado in situ con cemento	X			
Reciclado in situ con emulsión	X	X	X	X
Gravaemulsión	X	X	X	X
MB abiertas en frío	X	X	X	X
MB en caliente y semicaliente	X	X	X	X

Hay que tener en cuenta que no se debe reutilizar el material fresado procedente de:

- Pavimentos que muestren deformaciones plásticas.
- Pavimentos que presenten en su composición sustancias como al alquitrán (procedentes de la destilación de productos carbonosos), asbesto-amianto, o alguno que esté clasificado como peligroso o no cumpla la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

Además de esta caracterización previa, para cada uso particular se deben realizar los ensayos indicados en la normativa técnica aplicable.

3.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS

En España, el asfalto recuperado (RA) presenta, en general, un alto grado de envejecimiento del ligante, debido a las condiciones climáticas y a la carga de tráfico a que ha estado sometido. Por otro lado, las **propiedades físicas** del RA dependen en gran medida de la mayor o menor homogeneidad del material recuperado que, a su vez, está relacionada con la capa de mezcla bituminosa que se frese y la composición de los materiales que la conforman, según lo siguiente:

- Tipología de la mezcla bituminosa: hormigón bituminoso, discontinua, drenantes, etc.
- Tipo de áridos: naturales, artificiales o reciclados (que pueden proceder de materiales alternativos).
- Tipo de ligante bituminoso: betún convencional, betún modificado con polímeros, betún-caucho, emulsión, etc.

Teniendo en cuenta esta circunstancia, existe la posibilidad de obtener un RA muy heterogéneo, cuyas propiedades físicas pueden ser variables.

A modo de ejemplo, se muestran a continuación los resultados de **contenido de ligante, penetración y punto de reblandecimiento** del betún recuperado de muestras de fresado tomadas en diferentes zonas de España.

Tabla 3. Contenido y propiedades del ligante recuperado del RA (2023-2024).

	Zona Castilla León Occidental		Zona Murcia		Zona Madrid	
	Fracción 0/8 mm	Fracción 8/22 mm	Fracción 0/4 mm	Fracción 4/12 mm	Fracción 0/8 mm	Fracción 8/22 mm
Contenido betún (% s/m)	5,4 %	3,3 %	6,6 %	3,3 %	4,9 %	3,6 %
Penetración a 25 ºC (0,1 mm)	4,0	6,1	15,4		5,1	3,8
Punto reblandecimiento (ºC)	79,8	77,5	107,1		79,6	82,9

El análisis de la normativa internacional muestra enfoques similares, aunque con matices en los valores límite. En **Francia**, por ejemplo, los requisitos para el ligante del RA son parecidos a los españoles, pero generalmente menos exigentes. La normativa francesa no permite el uso del RA en mezclas bituminosas si la penetración es inferior a $5 \cdot 10^{-1}$ mm o si el punto de reblandecimiento supera los 77 °C.

Tabla 4. Especificaciones del ligante del RA en Francia.

Contenido RA	Tipo de capa	Homogeneidad del ligante (sobre % ligante)	Penetración ($\cdot 10^{-1}$ mm)	Punto de reblandecimiento (ºC)
10 – 20 %	Rodadura	≤ 2	≥ 5	≤ 77
	Intermedia y base	≤ 2	≥ 5	≤ 77
20 – 30 %	Rodadura	≤ 1	≥ 5	≤ 77
	Intermedia y base	≤ 1	≥ 5	≤ 77
30 – 40 %	Rodadura	≤ 1	≥ 15	≤ 70
	Intermedia y base	≤ 1	≥ 5	≤ 77

Por el contrario, **Portugal** adopta valores de especificación más restrictivos que España, aunque permite cumplir solo una de las dos condiciones siguientes:

Tabla 5. Especificaciones del ligante del RA en Portugal.

Contenido RA	Tipo de capa	Penetración ($\cdot 10^{-1}$ mm)	Punto de reblandecimiento (ºC)
< 10 %	Rodadura	≥ 15	≤ 70
< 50 %	Base y regularización	≥ 15	≤ 70

La normativa portuguesa admite mayores proporciones de fresado en la mezcla si se utilizan aditivos rejuvenecedores y se aportan estudios que lo justifiquen.

A pesar de la aparente similitud normativa en nuestro entorno, el principal desafío en España radica en el estado del RA de las carreteras nacionales, que dificulta el cumplimiento de dichos valores debido al alto grado de envejecimiento del betún.

Otro aspecto clave del material fresado es la **granulometría de los áridos** que lo componen**.** Normalmente, cuando se va a reutilizar el RA en caliente y semicaliente se dividir en dos fracciones (por tamizado): 0/8 mm y 8/22 mm. Del análisis granulométrico de ambas fracciones suele obtenerse un contenido de finos muy alto, que no cumpliría el huso granulométrico de la mezcla bituminosa original. Este exceso de finos, que puede deberse a la degradación del árido o al proceso de fresado, limita la cantidad de RA que se puede incorporar a la mezcla final.

En función del tipo de reutilización que se vaya a hacer del RA (ver apartado 3.3), los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares definirán los husos granulométricos indicados en cada caso, de acuerdo con lo especificado en la normativa vigente (PG-3 y OC 2/2023).

3.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas del RA están relacionadas con la oxidación y la pérdida de componentes volátiles que tienen lugar durante el envejecimiento del ligante bituminoso, formando nuevos grupos químicos, como ácidos carboxílicos y sulfóxidos. Estas reacciones aumentan la polaridad y la viscosidad del ligante, lo que afecta a sus propiedades físicas como la penetración y el punto de reblandecimiento.

3.2 PROCESAMIENTO [4, 5, 6, 7, 8]

El proceso de reciclado de pavimentos asfálticos consiste en la disgregación del material, su mezcla con ligantes y/o agua, y su posterior extensión y compactación. El tratamiento de los materiales reciclados puede hacerse en el mismo firme del que proceden, o transportarse a una central de mezcla para, tras su tratamiento, emplearse en la misma u otra localización. Pueden establecerse varias clasificaciones del reciclado de materiales de firmes de carreteras con pavimento asfáltico: según el lugar en que se lleve a cabo el reciclado (in situ o en planta), según la temperatura a la que se realice (en caliente, en semicaliente, en templado o en frío),

según el tipo de material bituminosos que se recicle, según el ligante empleado (sin ligante; con ligante bituminoso: betún o emulsión), y según se recicle con o sin adición de materiales nuevos.

En la Tabla 1 se puede apreciar que, mientras algunos países europeos se centran en el reciclado de pavimentos asfálticos como material granular en capas de base, otros se han especializado en el uso de los viejos materiales bituminosos en nuevas mezclas bituminosas en caliente. Estas diferencias pueden explicarse por la distinta disponibilidad de infraestructuras para el reciclado.

Algunos países cuentan con gran cantidad de plantas fijas que permiten el reciclado en central sin necesidad de transportar los materiales largas distancias. En cambio, otros países practican con mayor frecuencia el reciclaje in situ debido a las elevadas distancias hasta las plantas de tratamiento, así como a la menor disponibilidad de áridos naturales. Otras razones para la elección de unas tecnologías u otras son el tiempo disponible para las actividades de rehabilitación, la necesidad de reducción de emisiones de CO_2 y los parámetros de vida útil y reciclabilidad de la nueva estructura.

3.2.1 DEMOLICIÓN [8, 9, 10]

Previamente a la demolición, y con el fin de asegurar la calidad del material fresado, se aconseja eliminar las marcas viales, así como realizar una evaluación inicial del estado de la carretera.

La técnica elegida para la demolición de los viejos pavimentos asfálticos tiene gran influencia sobre la calidad final del material reciclado. Las opciones son:

- Fresado, que puede realizarse capa a capa o varias capas simultáneamente. Su profundidad puede variar desde varios milímetros hasta 30 cm, dependiendo de la maquinaria.
- Rotura en bloques.

Dependiendo del uso futuro del material bituminoso recuperado se requerirán unas características granulares particulares y un determinado tamaño. Si la técnica de demolición elegida es el fresado, una adecuada elección del tipo de maquinaria puede ayudar a conseguir el tamaño adecuado. Éste depende a su vez de la velocidad de fresado (velocidad de la máquina, velocidad del cilindro rotatorio) y la configuración de la unidad de tambor de fresado (número, distancia y tamaño de los dientes).

Tras su extracción, los bloques de material bituminoso y los materiales extraídos mediante fresado con grandes tamaños deben ser machacados. Como resultado, se alcanzará la homogeneización del material reciclado procedente de más de una capa. Si el fresado se lleva a cabo capa a capa, la homogeneidad inicial del material será mayor. Sin embargo, esta opción no es siempre la elegida ya que su aplicación conlleva mayor inversión de tiempo y dinero.

Si el reciclaje se va a realizar en planta, el material se almacena durante un tiempo antes de su uso. Algunos países europeos establecen recomendaciones para separar el material en diferentes acopios, con objeto de mejorar su homogeneidad de cara a su futura utilización.

3.2.2 TÉCNICAS DE RECICLADO IN SITU

3.2.2.1 *RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN EN FRÍO* [2,8, 9, 10, 13,14,15]

El reciclado in situ con emulsión se basa en el fresado o disgregación del material del firme antiguo que se recicla, seguido de una mezcla in situ de este material con agua, emulsión (y áridos nuevos si es necesario) y, en muchos casos, cal o cemento; posteriormente se extiende y compacta para constituir una capa del firme.

El artículo 20 de la OC 2/2023 hace referencia a la técnica de reciclado in situ con emulsión de mezclas bituminosas limitando su utilización a categorías de tráfico pesado inferiores (T1 a T4) y a capas intermedias, de base y subbase. Sobre estas capas se proyectarán capas de mezcla en caliente o semicaliente, reutilizadas o no, con espesores mínimo de entre 8 y 3 cm en función de la categoría de tráfico. Los espesores de reciclado no pueden superar los 15 cm.

El reciclado in situ presenta varias ventajas en comparación con las técnicas de refuerzo simple, fresado y reposición, o reciclado en central:

a) Económicas: es la técnica de reciclado que lleva a mayores ahorros económicos, al no ser necesario el transporte a la central ni el de vuelta a la obra. También se producen ahorros por el empleo de una mezcladora móvil frente a una central fija de mezcla.

b) Energéticas: hay menos consumo de energía en el proceso, especialmente en este caso por tratarse de adicionalmente de una técnica en frío.

c) De conservación de recursos (frente al refuerzo y al fresado y reposición): menor utilización de áridos (una capa de 10 cm en un kilómetro de calzada de 7 m de anchura consume unas 1.700 t de áridos), de betún y de espacios de vertido en su caso.

d) Técnicas (en comparación con el recrecimiento), que se pueden resumir en:

   - Se consiguen mejoras estructurales, manteniendo o modificando levemente la rasante (de interés en aplicaciones urbanas, túneles y obras de paso, o en aplicaciones no urbanas en las que se quiera evitar el recrecimiento de arcenes o barreras).
   - Permite la rehabilitación estructural de carriles individualizados, de gran importancia en calzadas de sentido único y más de un carril, en las que los deterioros más importantes se dan en los carriles sometidos al tráfico pesado.
   - No necesita ensanchar la plataforma ni recrecer los arcenes para la operación.
   - Permite la colocación, en su caso, de las capas nuevas de refuerzo sobre material no deteriorado, consiguiéndose así una mayor vida de servicio.

e) Medioambientales: la eliminación del transporte disminuye las emisiones de CO_2 y otros contaminantes (posibles vertidos) y reduce los daños colaterales generados por éste a las vías colindantes (flora, fauna, polvo, ...).

Sin embargo, la técnica presenta también algunos inconvenientes:

- Las características de la capa regenerada dependen en gran medida de las características de las capas tratadas y, especialmente, de su homogeneidad, aunque esto apenas influye en los reciclados con conglomerantes hidráulicos.
- Es necesario controlar la regularidad final de la capa, ya que al afectar en general a mayores espesores que otros tipos de reciclados, haberse degradado más la granulometría y realizarse en frío, suele llevar a compactaciones algo más difíciles.
- Requiere un buen control del material fabricado y es difícil actuar rápidamente con medidas correctoras.
- Se necesita una longitud mínima de tratamiento para que la operación sea rentable.
- Es una operación más lenta que la del estricto refuerzo con capas bituminosas, lo que implica, en algunos casos, una demora en la apertura del tráfico.

Se puede alcanzar una cohesión alta de la mezcla si se utiliza la emulsión adecuada, pero la cohesión final también depende de la densidad que se alcance durante la compactación. Cuanto mayor sea la densidad, mayor será también la cohesión de la mezcla. El proceso de puesta en obra es de vital importancia ya que este tipo de mezclas son difíciles de compactar.

Debido a que el material reciclado no se mezclará, en principio, con otros materiales reciclados, la caracterización previa de los pavimentos existentes cobra mayor relevancia en las técnicas in situ. En estos casos, una buena caracterización de la calidad del material reduce la necesidad de aportar materiales vírgenes.

La homogeneidad del tramo se puede determinar con la ayuda de investigaciones preexistentes, inspecciones visuales de las características superficiales y la utilización de georradares. Además, es importante la homogeneidad transversal. Con la toma de testigos y calicatas se pueden estudiar la estructura del pavimento, las propiedades de las capas que lo componen y la adherencia entre ellas.

3.2.2.2 *RECICLADO IN SITU CON CEMENTO* [2, 16, 17, 18, 19]

El reciclado en frío in situ se realiza con equipos específicos multifunción que fresan el material y lo mezclan con agua y el conglomerante seleccionado, realizándose todo el proceso a temperatura ambiente. Con la técnica del reciclado in situ se pueden reciclar capas de mezcla bituminosa, de materiales granulares o tratados con cemento, o conjuntos de estas capas. Con esta técnica se pueden alcanzar porcentajes altos de reciclaje en la subbase, si bien es cierto que es necesaria la adición de una o varias capas bituminosas por encima.

Las ventajas principales frente al reciclado en caliente son: la falta de emisión de humos, el empleo de menos energía, un mayor rendimiento y la posibilidad de reciclar un mayor espesor de firme. Como inconveniente, señalar cierta pérdida de la capacidad aglomerante del betún antiguo.

La técnica de reciclado in situ con cemento es muy interesante para carreteras que necesitan recuperar la capacidad estructural o de soporte. Se reciclan espesores desde 20 cm hasta 35 cm, mezclando el material disgregado con cemento y agua. Es un tratamiento muy eficaz, con el

que se consiguen de manera económica firmes duraderos de elevada resistencia y reducida sensibilidad al agua.

El artículo 21 de la OC 2/2023 hace referencia a la técnica de reciclado in situ con cemento de capas de firme limitando su utilización a categorías de tráfico menos pesadas (T1 a T4) y capas de base y subbase; y asumiendo que la reutilización in situ con cemento es equivalente un suelocemento (artículo 513 del PG-3).

3.2.3 TÉCNICAS DE RECICLADO EN CENTRAL

3.2.3.1 *RECICLADO EN CENTRAL CON EMULSIÓN EN FRIO* [9, 10]

Cuando se reutiliza para capas bituminosas, el material se mezcla con emulsión en centrales continuas de mezcla en frío, o en centrales de gravacemento modificadas para incorporar la emulsión. El proceso de fabricación es análogo al de una gravaemulsión que recoge el artículo 514 del PG-3. Las únicas limitaciones en el proceso son las que puedan deducirse de la granulometría o de los excesos de ligante en el material reciclado, que pueden exigir una corrección por aportación de material granular. El ahorro conseguido depende de nuevo de las condiciones de la operación.

3.2.3.2 *RECICLADO EN CENTRAL CON EMULSIÓN DE MEZCLAS TEMPLADAS*

Esta técnica no está recogida en el PG-3, pero sí está incluida en la "Norma para el dimensionamiento de firmes de la red de carreteras del País Vasco" (texto ampliado y revisado en 2022). En el Anejo 9 de dicha norma se define la mezcla bituminosa templada con emulsión tipo hormigón bituminoso como la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) de granulometría continua con una emulsión bituminosa y eventualmente aditivos. La mezcla se debe poder extender y compactar, manteniendo sus características, a una temperatura comprendida entre 75 °C y 90 °C. Dichas mezclas podrán ser diseñadas para reutilizar, mediante esta técnica, el material bituminoso recuperado de fresados de mezclas asfálticas (RA) en una proporción que depende de la categoría de tráfico, pero que en ningún caso podrá ser superior al 80 % de la masa total de la mezcla. En concreto se establecen las siguientes limitaciones:

<u>Capas de rodadura</u>

- Con categorías de tráfico T3 y T4 se podrán utilizar mezclas bituminosas templadas con emulsión, según los tipos definidos en el Anejo 9 de la norma.
- Para tráficos T3 e inferiores, las mezclas bituminosas templadas con emulsión podrán contener RA hasta un 15 % en masa del total de la mezcla bituminosa.

<u>Capas intermedias e inferiores</u>

- Con categorías de tráfico T2B e inferiores se podrán utilizar mezclas bituminosas templadas con emulsión, según los tipos definidos en el Anejo 9 de la norma.
- Se podrá utilizar RA en contenidos no superiores al 30 % en masa del total de la mezcla bituminosa para tráficos T2B, y no superiores al 80 % para los tráficos T3 y T4.

En el Anejo 11 de la norma, se indican los requisitos específicos que debe cumplir el RA, que se resumen a continuación:

- El material fresado no debe ser susceptible a ningún tipo de meteorización o de alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo.
- En aplicaciones no ligadas tampoco podrán dar origen, con el agua, a lixiviados que contaminen el medio o puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme.
- Requisitos para mezclas bituminosas templadas en tasas superiores al 15% de RA (Tabla A11.3 de la norma):

Tabla 6. Mezclas bituminosas templadas en tasas superiores al 15 % de RA.

CARACTERÍSTICA	NORMA ENSAYO UNE-EN	APLICACIÓN	
		CAPA RODADURA	CAPA INTERMEDIA O BASE
MEZCLA BITUMINOSA RECUPERADA [1] (RA rodadura o RA inferiores si se utiliza en capas intermedias o de base y RA rodadura si se utiliza en capa de rodadura)			
Tamaño máximo partículas, mm [2] (entre paréntesis la mezcla bituminosa en la que se reutiliza)	933-1	≤16 mm (AF o ACBE 11) ≤11 mm (AF o ACBE 8)	≤32 mm (AF o ACBE 22) ≤22 mm (AF o ACBE 16) ≤16 mm (AF o ACBE 11) ≤11 mm (AF o ACBE 8)
Granulometría media	933-1	A declarar/NR [3]	
Porcentaje máximo de finos	933-1	5%	
Contenido de materias extrañas, %	12697-42	F_1	
ÁRIDOS (TRAS LA RETIRADA DEL BETÚN)			
Identificación de los áridos [4]	-	A declarar/NR [3]	
Tamaño máximo de partículas, mm	12697-2	A declarar/NR [3]	
Granulometría media	12697-2	A declarar/NR [3]	
Densidad aparente, g/cm³	1097-6	A declarar/NR [3]	
Otras propiedades de los áridos [5]	-	A declarar/NR [3]	

NOTAS

[1] RA, sin extracción de betún.

[2] Menor tamiz por el que pasa el 100% de las partículas. Tamices según tabla 542.8 del PG-3.

[3] A declarar/NR quiere decir que se debe dar el valor, pero no hay prescripción.

[4] Se debe definir su naturaleza: ofita, caliza, siderúrgico o mixto.

[5] Los áridos gruesos no presentarán signos de meteorización y cumplirán las especificaciones de los Anejos 9 o 10, según corresponda, de la Norma de Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco y sus propiedades se evaluarán directamente con los ensayos establecidos en estos pliegos. La Dirección de las Obras puede eximir de la realización de estos ensayos, por suponer que se realizaron para la construcción de la carretera de la que proceden y que eran conformes con las prescripciones para mezclas bituminosas y por tanto para estas unidades de obra

Las mezclas bituminosas templadas tienen la ventaja, al igual que las mezclas en frío, de reducir las emisiones a la atmósfera y mejorar la seguridad y salud en las obras. Las mezclas templadas

permiten también utilizar mayores tasas de reciclado que las mezclas en caliente.

3.2.3.3 *RECICLADO EN CENTRAL CON CEMENTO*

En la reutilización de capas de firme para capas tratadas con cemento, el proceso de fabricación es análogo al del suelocemento que recoge el artículo 513 del PG-3.

Estas técnicas se pueden usar para la construcción de subbase. El espesor de las capas puede variar entre 20 cm y 35 cm. Una vez completada la producción en planta, la mezcla final se transporta y se pone en obra con maquinaria convencional. Para la compactación se pueden utilizar rodillos vibratorios pesados.

Una desventaja de este tipo de técnica es el tiempo de curado, que depende de las condiciones de temperatura y humedad.

3.2.3.4 *RECICLADO EN CENTRAL CON BETÚN DE MEZCLAS CALIENTES Y SEMICALIENTES*

Las técnicas especiales de reciclado en central, en caliente y semicaliente, se refieren únicamente a mezclas bituminosas.

Para el reciclado en caliente, las mezclas se retiran de la carretera y se transportan a una central de fabricación, donde se clasifican y se mezclan en caliente con árido virgen, betún, polvo mineral, y eventualmente aditivos, obteniéndose una mezcla bituminosa compuesta en parte por material reciclado.

En función de la temperatura necesaria para su fabricación y puesta en obra, las mezclas bituminosas reutilizadas en central se clasifican en calientes y semicalientes. En estas últimas, el empleo de betunes especiales, aditivos u otros procedimientos, hace posible que la temperatura máxima a la salida del mezclador no sea superior a 140 ºC.

Según el artículo 22 de la OC 2/2023, la reutilización en central en caliente de mezclas bituminosas podrá ser empleada en cualquier categoría de tráfico pesado y en cualquier capa bituminosa del firme. La reutilización en central en semicaliente de mezclas bituminosas podrá ser empleada en categorías de tráfico pesado T1 a T4, y en cualquier capa del firme.

Procesado del material en central [(10)]

El material recuperado del pavimento se puede tratar en la planta con objeto de mejorar sus características y así conseguir mayores porcentajes de reciclado. Se pueden distinguir tres fases: machaqueo, clasificación/cribado y homogeneización.

Durante el machaqueo, se procesan bloques enteros de pavimento, pero también grandes terrones procedentes de operaciones de fresado, con el objetivo de conseguir tamaños menores. Estas labores se pueden llevar a cabo tanto con la utilización de unidades móviles ubicadas en obra, como con maquinaria instalada en la planta. Si el material permanece acopiado un largo periodo de tiempo, posiblemente sea necesario un nuevo machaqueo, dado que se puede apelmazar, especialmente si las temperaturas son altas y la exposición solar prolongada.

Para mejorar la homogeneidad de las diferentes fracciones tras el fresado y/o machaqueo, se aconseja la clasificación del material de acuerdo con los tamaños exigidos (cribado). Gracias a la separación del material por fracciones, el material resultante con menor tamaño máximo y mejor granulometría del árido puede utilizarse en mezclas bituminosas de mayor calidad (por ejemplo, mezclas para capas de rodadura).

El almacenamiento en acopios separados exige una gran disponibilidad de espacio en la planta. Los acopios pueden clasificarse de acuerdo con sus diferentes características: tamaño máximo de partícula, granulometría, tipo de betún, origen del material, etc. Dado que el contenido de agua puede reducir el porcentaje de utilización del material, se aconseja que los acopios estén techados.

Técnicas

Se han desarrollado equipos que permiten el reciclado tanto en centrales continuas como discontinuas, distinguiéndose en la actualidad dos técnicas distintas:

a) La técnica del sobrecalentamiento del árido virgen de aportación, utilizada en las centrales discontinuas, en la que éste se calienta a temperaturas elevadas (200 - 275 ºC, según la tasa de reciclado) para que, al entrar en contacto con el material reciclado no calentado, la temperatura del conjunto sea la deseada. En el mezclador se añade el ligante que se vaya a utilizar. Dentro de esta técnica existen varias posibilidades, según dónde se introduzca el material reciclado (en el mezclador o en las tolvas en caliente). En mezclas bituminosas reutilizadas con tasa baja de asfalto recuperado (tipos 0 y 1 de la Tabla 22.1 de la OC 2/2023), es posible incorporar en el mezclador en frio el asfalto recuperado en el mezclador, pero en una cantidad limitada al 20 % de la masa total, para evitar la degradación del ligante en el primer contacto. En la fabricación de mezclas bituminosas reutilizadas de tasa media de asfalto recuperado (tipo 2 de la Tabla 22.1 de la OC), las centrales de funcionamiento discontinuo tendrán un sistema de precalentamiento del asfalto recuperado, generalmente un tambor secador independiente. El procedimiento del sobrecalentamiento de los áridos fue el más utilizado en los primeros tiempos, hasta que surgieron las centrales de tambor-secador-mezclador.

b) La técnica del calentamiento indirecto, empleada en las centrales continuas de tambor-secador-mezclador (también utilizada en discontinuas). En la parte frontal del tambor se introducen los áridos, que se secan y calientan; por detrás del quemador, en un anillo intermedio al tambor, se introduce la mezcla que se va a reciclar de forma que no exista riesgo de contacto con la llama, y en la parte posterior del mismo se añade el betún. Los áridos actúan como una pantalla para evitar la acción directa de la llama sobre el material reciclado. La mezcla antigua se calienta por transferencia del calor de los áridos. Los materiales se van moviendo a lo largo del tambor por el giro de éste, produciéndose un flujo continuo de material durante todo el proceso. La necesidad de mantener una pantalla de áridos delante de la mezcla reciclada limita de nuevo la proporción de material reciclado en la mezcla final. En la práctica suele irse a proporciones del 10 % - 30 %. La temperatura empleada en el proceso es la usual en estas centrales (160 ºC).

Existen limitaciones al espesor de la capa del firme que se puede tratar con esta técnica (Norma 6.1 IC y su actualización OC 1/2023) [32]. Asimismo, la OC 2/2023 indica que no podrán ser reutilizados aquellos materiales que procedan de pavimentos con deformaciones plásticas, o que contengan o se encuentren contaminados por sustancias potencialmente peligrosas, ni tampoco aquellos materiales bituminosos que presenten en su composición sustancias procedentes de la destilación de productos carbonosos tipo alquitrán, asbesto-amianto, ni ningún otro que esté clasificado como peligroso, o que no cumpla la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

La economía de la operación depende evidentemente del porcentaje de material reciclado en la mezcla final y de las condiciones del transporte, tanto de la mezcla reciclada como de los áridos nuevos. En general, pueden darse ahorros entre el 5 % y el 30 % del coste de la mezcla.

De acuerdo con el artículo 22 de la OC 2/2023, apartado 6, en las centrales de fabricación continua con tambor secador-mezclador el sistema de dosificación del asfalto recuperado deberá ser ponderal. Las centrales de fabricación discontinua deberán estar provistas de un tambor secador independiente para precalentar el material bituminoso a reciclar.

En nuestro país, el artículo 22 de la OC 2/2023 hace referencia a la técnica de reciclado en central en caliente de capas bituminosas. A los efectos de la aplicación de este artículo, una mezcla bituminosa reutilizada en central se clasifica en función de la proporción de asfalto recuperado en la masa total de la mezcla de acuerdo con indicado en la Tabla 3 de esta ficha.

Según la OC 2/2023, las mezclas bituminosas reutilizadas en central podrán utilizarse en capas de base, intermedias o de rodadura de los artículos 542, 543 y 544, con la limitación de las mezclas correspondientes a los artículos 543 y 544 (OC 3/2019) [34] del PG-3, en las que el contenido máximo de RA debe ser del 15 % en masa de la mezcla final.

3.3 APLICACIONES

3.3.1 MATERIAL DE RELLENO

El material proveniente de reciclado de pavimentos asfálticos puede ser empleado como material de relleno en el cimiento, núcleo y coronación de terraplenes, así como en caminos de servicio. Este tipo de material suele presentar un elevado contenido de huecos debido a su granulometría, por lo que no es recomendable utilizarlo en espaldones.

Este material puede utilizarse como relleno, siempre que cumpla las tres características siguientes:

- Su puesta en obra debe hacerse en condiciones aceptables.
- Debe obtenerse una estabilidad adecuada tras su puesta en obra.
- Las deformaciones que ocurran a corto y largo plazo deben ser tolerables con las condiciones de puesta en servicio.

Es de especial importancia cumplir con la granulometría indicada para cada tipo de suelo, con el objeto de no utilizar asfalto recuperado que previamente no haya sido fresado o triturado para su posterior uso.

Humedad de compactación y puesta en obra.

El coeficiente de absorción del material fresado puede ser superior al del suelo, y la absorción se produce, además, de forma más lenta. Esto hace necesario que, para la realización del ensayo Proctor, haya que esperar un tiempo entre la humectación de la porción que se va a ensayar y su compactación, para dar tiempo a esa absorción. Este tiempo de espera debe ser, como mínimo, de una hora, que se puede incrementar lo necesario si se detecta que dicha absorción no se ha completado. Por esta razón es recomendable que el acopio del que proceda el suelo reciclado esté humectado previamente.

3.3.2 ZAHORRA ARTIFICIAL

El material fresado de mezclas bituminosas puede ser empleado como zahorra artificial en vías con categoría de tráfico pesado T2 a T4. En este caso, se denomina zahorra artificial reciclada mixta de asfalto y se refiere al material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de firme, procedente de la trituración controlada de asfalto recuperado.

La zahorra artificial reciclada mixta de asfalto debe tener su origen declarado y disponer del marcado CE, excepto que se produzca y utilice en la misma obra, en cuyo caso no es necesario. No obstante, se debe aportar un documento acreditativo de su origen, de la idoneidad de sus características para el uso propuesto, de que ha sido debidamente tratado y de que no se encuentra mezclado con otros contaminantes.

Consideraciones particulares.

Normalmente la zahorra obtenida a partir del tratamiento de asfalto recuperado tiene un contenido bajo de material fino. Esto puede dar lugar a problemas en su puesta en obra, relacionados con la dificultad de compactación. Por ello puede ser necesario mezclar la zahorra reciclada mixta de asfalto con árido fino (procedente de cantera, gravera, préstamos o finos de áridos procedentes de RCD) que mejore su estructura granulométrica, y, por lo tanto, su puesta en obra.

Estudio del material y fórmula de trabajo.

El coeficiente de absorción de agua de la zahorra reciclada es, generalmente, mayor que el de la zahorra de áridos naturales, y se produce, además, de forma más lenta. Esto hace que sea necesario que, para la realización del ensayo Proctor, haya que esperar un tiempo entre la humectación de la porción que se va a ensayar y su compactación, para dar tiempo a esa absorción. Este tiempo de espera debe ser, como mínimo, de una hora, que se puede incrementar lo necesario si se detecta que dicha absorción no se ha completado.

Fabricación y preparación del material.

La zahorra reciclada debe estar, dentro de la medida de lo posible, previamente humectada en los acopios, antes de colocarla en obra.

Especificaciones de la unidad terminada.

En ocasiones, debido a la falta de finos, es difícil alcanzar la densidad y compactación requeridas. Por ello, se puede permitir una compactación que sea superior al 95 %, siempre que se cumplan los requisitos de capacidad de soporte evaluados a través del ensayo de placa con carga.

3.3.3 SUELO ESTABILIZADO IN SITU

El material procedente del reciclado de pavimentos asfálticos puede ser empleado como suelo estabilizado in situ, pasando a denominarse reciclado estabilizado in situ.

El campo de aplicación es el habitual para el suelo estabilizado definido en el artículo 512 del PG-3, siempre que el material (asfalto recuperado, suelo, cemento y agua) cumpla con todas las características exigidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y en el PG-3.

Consideraciones particulares.

Para poder cumplir con la granulometría requerida, es necesario que el asfalto recuperado se obtenga mediante fresado o tras el machaqueo de planchas de material extraídas de la carretera (si se añade como material de aportación sobre el suelo a estabilizar). El tamaño máximo no debe exceder los 80 mm.

Una ventaja de utilizar material procedente del fresado como suelo estabilizado es que se consigue una mezcla con una menor rigidez que un suelo directamente tratado con cal o cemento. El betún que aporta el asfalto recuperado tiene un componente viscoso significativo, de forma que la capa ejecutada tiene una buena resistencia, pero además presenta una menor fisuración, con los beneficios que ello conlleva.

Para cumplir con el huso granulométrico del artículo 512 del PG-3, en función del tipo de suelo estabilizado (con cal o con cemento), es posible que deba añadirse material que incorpore finos a la mezcla, tipo arena o suelo fino. La curva granulométrica del suelo debe ser la obtenida tras realizar el ensayo de granulometría sobre el material reutilizado (y el adicionado en el caso en que lo haya), sin eliminar el betún.

Humedad de compactación y puesta en obra.

El coeficiente de absorción del material fresado puede ser superior al del suelo, y la absorción se produce, además, de forma más lenta. Esto hace que sea necesario que, para la realización del ensayo Proctor, haya que esperar un tiempo entre la humectación de la porción de suelo que se va a ensayar y la adición del ligante y posterior compactación, para dar tiempo a esa absorción. Este tiempo de espera debe ser, como mínimo, de una hora, que se puede incrementar lo necesario, si se detecta que dicha absorción no se ha completado.

Por esta misma razón es recomendable que el acopio del que proceda el suelo reciclado esté humectado previamente.

Este dato es de gran importancia sobre todo en los casos en los que la estabilización in situ se realice con cemento, ya que, si el suelo no está prehumectado y hay que esperar a su saturación, el cemento que ya está en contacto con dicho suelo y agua comienza a reaccionar

formando los productos de hidratación. La consecuencia de esto es que cuando se vaya a realizar la compactación de la mezcla, parte del cemento ya habrá reaccionado, y lo que se consigue es la rotura de dichos enlaces y la bajada de la resistencia de la mezcla.

3.3.4 SUELOCEMENTO

El asfalto recuperado puede utilizarse como parte del material que compone el suelocemento.

En función de la forma de fabricación de la mezcla de suelocemento, ésta debe tener una denominación y unas especificaciones determinadas. De esta forma se pueden definir dos grupos:

- Reutilización in situ con cemento de asfalto recuperado, para lo cual se debe seguir todo lo indicado en el artículo 21 de la OC 2/2023.
- Suelocemento fabricado en central con asfalto recuperado, según indica el artículo 513 del PG-3.

Consideraciones particulares.

Su uso como único material no suele ser posible, debido a la escasez de material fino que aporta el conglomerado betún + áridos. Por lo tanto, ha de ser mezclado con otro suelo o árido de aportación que complemente la curva granulométrica, la cual debe cumplir el huso requerido.

Al igual que en el caso anterior, el uso de material procedente del fresado como suelocemento es que se consigue una mezcla con una menor rigidez que la del suelocemento convencional. El betún que aporta el asfalto recuperado tiene un componente viscoso significativo, de forma que la capa ejecutada tiene una buena resistencia, pero además presenta una menor fisuración, con los beneficios que ello conlleva.

3.3.5 GRAVACEMENTO

El asfalto recuperado puede utilizarse como gravacemento. Debe tener su origen declarado y las condiciones de su tratamiento y aplicación deben estar recogidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. Puede utilizarse en carreteras de cualquier categoría de tráfico pesado.

Consideraciones particulares.

El asfalto recuperado con cemento, sin adición de otros materiales, es difícil que cumpla con todos los requisitos exigidos a la gravacemento, por lo que debe utilizarse junto con áridos de otros tamaños para cumplir con la curva granulométrica, así como con los criterios de densidad y resistencia.

Como en el caso del suelocemento con asfalto recuperado, el uso del fresado en gravacemento hace que se consiga una mezcla con una menor rigidez que la de la gravacemento convencional. El betún que aporta el asfalto recuperado tiene un componente viscoso significativo, de forma que la capa ejecutada tiene una buena resistencia, pero además presenta una menor fisuración, con los beneficios que ello conlleva.

3.3.6 RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN O BETÚN ESPUMADO

El material fresado de mezclas bituminosas puede ser reciclado in situ con emulsión o con betún espumado. Este tipo de reutilización se realiza a temperatura ambiente. La reutilización in situ con emulsión de capas de firme se puede emplear en vías con categoría de tráfico pesado T1 a T4, en capa intermedia, de base y subbase.

Consideraciones particulares.

Al tratarse de una reutilización in situ es muy importante tener un buen conocimiento previo de las características del material que se va a fresar. Antes de iniciar la reutilización se debería conocer, como mínimo:

- Tipos de capa y mezcla de procedencia.
- Espesores de las capas.
- Características del betún de la mezcla a reutilizar.
- Contenido de humedad.

Esta caracterización debe hacerse a lo largo de todo el firme que va a ser reutilizado. Se definirán tramos homogéneos, de acuerdo con la Tabla 20.5 del artículo 20 de la OC 2/2023.

Dado que la velocidad de avance de la fresadora o recicladora define la granulometría obtenida, se debe realizar un tramo de prueba donde se evalúen diferentes velocidades de fresado, para obtener la granulometría más adecuada del material.

Normalmente será necesario utilizar un árido de aportación para ajustar la granulometría final de la mezcla.

3.3.7 GRAVAEMULSIÓN RECICLADA EN CENTRAL

El asfalto recuperado se puede utilizar en la fabricación de gravaemulsión. La proporción de asfalto recuperado a utilizar en cada caso debe estar indicada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la obra.

La gravaemulsión fabricada con asfalto recuperado puede emplearse en capa intermedia, base o de regularización en carreteras con categoría de tráfico pesado T3 y T4.

3.3.8 MEZCLA BITUMINOSA ABIERTA EN FRIO RECICLADA EN CENTRAL

El asfalto recuperado puede utilizarse en la fabricación de mezclas bituminosas abiertas en frío.

Se permite el uso de asfalto recuperado en la fabricación en central de mezclas bituminosas abiertas en frío en capas de rodadura o intermedia en carreteras de categoría de tráfico pesado T3 y T4.

Consideraciones particulares.

El contenido de asfalto recuperado debe ser igual o inferior al 15 % en capas de rodadura e igual o inferior al 30 % en capas intermedias.

Además de los requisitos establecidos en la normativa vigente, es muy importante resaltar que se debe controlar la humedad del asfalto recuperado y tenerla en cuenta a la hora de la fabricación de la mezcla bituminosa.

Debido a la curva granulométrica exigida a las mezclas abiertas en frío, es difícil que se pueda utilizar la fracción fina del asfalto recuperado en estas mezclas, y, si se hace, debe ser en una pequeña proporción.

3.3.9 MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE Y SEMICALIENTE RECICLADA EN CENTRAL

El asfalto recuperado puede utilizarse en mezclas bituminosas en caliente y semicaliente, siendo este el uso más valorado, ya que se sí se trata de una reutilización como tal, al volver a incorporar el RA al mismo tipo de material del que procede.

El asfalto recuperado debe proceder de un gestor autorizado, excepto si procede de la propia obra, en cuyo caso se deben añadir las operaciones de acopio, tratamiento y caracterización del RA a la fabricación de la mezcla bituminosa.

Es de gran importancia tener bien caracterizado el asfalto recuperado a emplear en una determinada obra y tenerlo separado en acopios, en función de sus características, para poder utilizarlo correctamente. Entre estas características deben estar, al menos, las siguientes:

- Origen, en función de la capa reutilizada. El asfalto recuperado procedente de capas de rodadura de carreteras de tráfico pesado T1 o superior, o de mezclas tipo BBTM o PA debe estar separado, ya que tanto las características granulométricas como las del betún son muy diferentes al resto de capas.
- Homogeneidad del material recuperado para conseguir las propiedades exigidas a la mezcla. La homogeneidad es una de las propiedades que determina el contenido de material antiguo en la nueva mezcla
- Granulometría del fresado y de los áridos extraídos tras la eliminación del betún. Se requiere una granulometría adecuada del material recuperado, de forma que no sea posible el uso de grandes cantidades de materiales con granulometría continua en mezclas que requieran granulometría discontinua.
- Grado de penetración y punto de reblandecimiento del betún del asfalto recuperado.
- Control de la humedad.
- Acopios que cumplan con los criterios de tolerancias de la tabla 22.2 de la OC 2/2023.

Los países con legislación más estricta sobre el reciclado en caliente admiten únicamente mezclas con un 10 % de material reciclado; aunque es más frecuente encontrar porcentajes admitidos del 25 % - 40 %, según el empleo que se vaya a hacer de la mezcla. En algunos países, se admiten incluso mayores porcentajes, siempre que se garantice la homogeneidad del material. No suelen utilizarse prescripciones técnicas para el reciclado en central, recurriéndose a las mismas que para la mezcla.

Se debe garantizar el cumplimiento de todas las propiedades indicadas en la OC 2/2023 para las mezclas bituminosas con asfalto recuperado. En función del incremento de asfalto recuperado

en la mezcla, se deben tomar las medidas adecuadas para garantizar el correcto diseño y puesta en obra de la mezcla bituminosa. Esto implica que puede ser necesario tomar alguna o varias de las siguientes medidas:

- Valorar el uso de aditivos rejuvenecedores.
- Valorar el uso de ligantes con un mayor grado de penetración que el exigido a la mezcla final, o incluso de ligantes modificados.
- Valorar si es necesario incrementar ligeramente los contenidos de betún, para mejorar las prestaciones finales de la mezcla. Esto debe ir siempre ligado al cumplimiento de los valores de deformaciones plásticas, en función de la zona climática.
- Evaluar si es necesario hacer cambios en la curva granulométrica de la mezcla para dar cabida al contenido de betún que se quiere añadir, y que se siga cumpliendo con la especificación de huecos en mezcla.
- Hacer un buen estudio del tiempo y temperatura de mezclado de la mezcla bituminosa, ya que de ello va a depender el grado de integración del betún del asfalto recuperado.

Uno de los aspectos a estudiar detenidamente en las mezclas bituminosas con asfalto recuperado es el fallo por fisuración a baja temperatura. La incorporación de asfalto recuperado implica, si no se toman las medidas adecuadas, un aumento en la rigidez de la mezcla, lo que hace que pierda ductilidad, sobre todo a baja temperatura. Este efecto, que es el que indica el comportamiento frente a la fisuración de las mezclas bituminosas, puede ser medido y controlado mediante el ensayo Fénix. Por ello es de gran importancia que este ensayo se realice durante el proceso de diseño de la fórmula de trabajo de la mezcla bituminosa con asfalto recuperado.

3.4 OBRAS REALIZADAS [6, 19 a 30, 36]

Las técnicas de reciclado de firmes se han venido utilizando paralelamente a otras técnicas de carretera, conociéndose aplicaciones en algunos países ya a principios del siglo XX. No obstante, hasta los años setenta su empleo fue muy escaso. A partir de la crisis de precios del petróleo del año 1973, se impulsó con gran fuerza, principalmente en Estados Unidos. En este país se pasó de 50.000 t de mezclas bituminosas recicladas en el año 1975, a 25 millones en el año 1980. Según los últimos datos de la National Asphalt Pavement Association (NAPA), en el año 2019 se utilizaron 89,2 millones de toneladas de asfalto recuperado en mezclas asfálticas, y más del 97 % de las mezclas asfálticas recuperadas de pavimentos asfálticos antiguos se utilizó en pavimentos nuevos. Desde 2009, el porcentaje promedio de RA utilizado en mezclas asfálticas, en peso, ha aumentado del 15,6 % al 21,1 %.

Los datos de reutilización y reciclado del RA, en los países europeos pertenecientes a la EAPA, en 2023, están incluidos en la Tabla 1 de esta ficha, tanto en toneladas producidas como en porcentajes de uso/reciclado en las diferentes aplicaciones.

En España, después de unas tímidas aplicaciones a mediados de los años 80 con reciclado en central e in situ en caliente, en el año 1991 se realizaron dos obras importantes de la mano de

empresas españolas con participación francesa, mediante la técnica del reciclado in situ. Fueron dos reciclados en frío, uno con emulsión y el otro con cemento. Posteriormente, el interés de la técnica facilitó su empleo en otras obras. La idea del reciclado está teniendo una gran aceptación, existiendo actualmente un elevado número de equipos de reciclado in situ, propiedad de empresas españolas.

En los últimos años se han realizado en nuestro país obras de distintos tipos de reciclado de firmes con pavimento bituminoso, entre las que se pueden señalar las siguientes, según el tipo de aplicación:

Suelo estabilizado

- Subtramo C del Arco Noroeste de Murcia (2019-2025). Tramo de prueba en el camino de servicio de acceso al préstamo 4. Longitud: 7,650 km. Ejecución de un suelo estabilizado tipo 3 con material fresado de mezclas bituminosas que inicialmente iba destinado a vertedero. Fue necesario pasar el fresado por un molino y, además, aportar un 10 % de material fino procedente del excedente del cribado del suelo seleccionado de la obra, cuyo destino también era ir a vertedero. Este material de aportación se colocó sobre el extendido del fresado, antes de que la recicladora comenzara la estabilización. La granulometría obtenida cumplía con el huso granulométrico SC-40. El contenido de cemento tipo CEM II/B-L 32,5N fue del 3,0 %.

Suelocemento fabricado in situ

- Autovía A-66. Tramo: Puerto de Béjar - Aldeanueva del Camino (2023). Este tramo estaba formado por un firme semirrígido que presentaba deflexiones altas en muchas zonas, debidas al fallo de la capa de suelo cemento. Para su rehabilitación se ejecutó un reciclado in situ con cemento en el que se mezcló el material del suelo cemento existente con un 20 % de material procedente del fresado de la capa de firme colocada directamente sobre el suelo cemento existente. El contenido de cemento fue del 4 % respecto al material seco, alcanzándose una resistencia a compresión a los 7 días superior a 3,0 MPa.

Suelocemento fabricado en central

- Subtramo C del Arco Noroeste de Murcia (2019-2025). Tramo de prueba en el arcén del Enlace 2, Categoría de tráfico pesado T1. Fue necesario pasar el fresado por un molino y, además, aportar un 10 % de material fino procedente del excedente del cribado del suelo seleccionado de la obra, cuyo destino también era ir a vertedero. La granulometría final de la mezcla cumplía con el huso granulométrico SC-40. El contenido de cemento tipo CEM II/B-L 32,5N fue del 4,0 %.

Reciclado in situ con emulsión

- N-122. Tramo: Aranda de Duero-Límite de provincia con Valladolid (p.k. 269+560 a 296+500) (2023). El firme de la carretera antes de la rehabilitación presentaba rotura y fisuración generalizada, escamaduras, peladuras y despegues entre capas. La rehabilitación consistió en el reciclado in situ en frío con emulsión de los 12 cm superiores del firme en ambos carriles. Se utilizó un contenido de agua de pre envuelta

del 2 % sobre el fresado en húmedo y un contenido de emulsión del tipo C60B5 REC REJUV del 3 % sobre el fresado en húmedo. Sobre dicho reciclado se colocó una capa de 5 cm de mezcla bituminosa AC22 bin S y 3 cm de mezcla BBTM 11B.

- Carretera regional de Madrid M-204, entre Carabaña y Ambiente (2008).
- Carretera regional de Madrid M-822, entre Loeches y Nuevo Baztán (2005).
- Carretera regional de Madrid M-604, entre El Paular y Puerto de Navacerrada (2003).
- Carretera regional de Murcia CM-412, entre Villanueva de los Infantes y Villahermosa (2000).
- Autopista Sevilla-Cádiz A-4, 21 km (1999).
- Carretera regional de Huelva A-494, entre Mazagón y Matalascañas, 24 km (1998).
- Carretera regional de Lérida C-147 enre Sort y Esterri DÁneu, 32 km (1996).
- Carretera regional de Ávila C-501, entre Alcorcón y Plasencia, 15 km (1996).
- N-630, tramo en la provincia de Cáceres, entre Cañaveral y Cáceres, en que se han empleado rejuvenecedores (1994).

Reciclado en central con emulsión de mezclas templadas

Diputación Foral de Gipuzkoa (DFG) [37]

- Carretera GI-333 de la Diputación Foral de Gipuzkoa (2011). Fabricación y puesta en obra de 1 km de una mezcla bituminosa templada con emulsión de tipo AC con alta tasa de reciclado (80 %).
- Carretera GI-3591 (Arantzazu) de la Diputación Foral de Gipuzkoa (2014). Rehabilitación de 5 km de firme con una mezcla templada con emulsión tipo AC22 S caliza para capa intermedia con alta tasa de reciclado (80 %).
- Carretera GI-2637 (Idiazabal - Alsasua, por Segura y Zegama) de la Diputación Foral de Gipuzkoa (2016). Fabricación y extendido de una mezcla templada con alta tasa de reciclado con emulsión tipo AC16S para capa de rodadura (proyecto MEBITA).

Mezcla bituminosa en caliente en central

- A-62. Tramo Tordesillas-Sieteiglesias (pk 157+000-172+000) (2023). Rehabilitación de la capa base e intermedia con una mezcla semicaliente tipo AC 22 base/bin 50/70 S R30 fabricada mediante espumación directa y con aditivos rejuvenecedores. La temperatura de fabricación fue de 150ºC, algo superior a la indicada para una mezcla semicaliente, pero ello se debió a la gran distancia de transporte entre la planta y la obra (100 km), para asegurar la temperatura de compactación.
- A-5, entre Toledo y Navalmoral de la Mata (2008).
- A-140 en Aragón, entre Tamarite y Binéfar, Huesca (2007). Fresado de los 8 cm superiores de mezcla asfáltica del pavimento antiguo y extensión de una capa asfáltica de 8 cm de mezcla reciclada en caliente tipo S20 con una tasa de 60 % de RA. Sobre

ésta, se extendió una capa intermedia de 5 cm de mezcla reciclada en caliente tipo S12 (tasa de 40 % de RA), y, finalmente, se dispuso una capa de rodadura de mezcla discontinua tipo F8, con ligante asfáltico modificado con polímeros. Este proyecto tuvo la particularidad de la utilización de dos fracciones de RA en el proceso de fabricación de las mezclas de recicladas, con el objetivo de disminuir la heterogeneidad del material. Las fracciones y proporciones de RA utilizadas para la mezcla S20 fueron 15 % de RA 0/8 mm y 45 % de RA 8/25mm, y para la mezcla S12 fueron 20 % RA 0/8 mm y 20 % RA 8/25mm. [29]

- Autopista A-7, tramo en la provincia de Murcia entre Puerto Lumbreras y el límite de la provincia de Almería (2005). Fresado del carril derecho en todo el espesor de la mezcla existente (espesor de 20 cm en tramos con base asfáltica, y de 15 cm en tramos con base de grava cemento). Posteriormente, se empleó en las capas de reposición y primera capa de refuerzo una mezcla reciclada única tipo G20 con una tasa de 50 % de RA, y sobre ésta, se extendió una capa de 7 cm de mezcla convencional tipo S20. Finalmente, se extendió una capa de rodadura de 3 cm de una mezcla tipo M10. [29]
- CN-230 entre Viella y la frontera francesa (2005).
- N-230 en la provincia de Lérida (2004). Fresado de los 6 cm superiores de mezcla asfáltica, extensión de 8 cm de mezcla reciclada tipo S20 con una tasa de 50 % de material reciclado y, sobre ésta, una capa convencional de rodadura de 6 cm. [29]

4. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES [35, 36]

En España, la Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, establece en su artículo 6 que la determinación de los residuos que han de considerarse como residuos peligrosos y no peligrosos se hará de conformidad con la Lista Europea de Residuos (LER) establecida en la Decisión 2014/955/UE de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014.

Las mezclas bituminosas están incluidas en el capítulo 17 de la Lista Europea de Residuos (LER), “Residuos de construcción y demolición”. Sólo se deben reciclar residuos con código LER 17 03 02 “Mezclas bituminosas distintas de las especificadas en el código 17 03 01”. El asfalto recuperado que contiene alquitrán de hulla y otros destilados del alquitrán, con código LER 17 03 01* “Mezclas bituminosas que contienen alquitrán de hulla”, se clasifica como peligroso. La peligrosidad del alquitrán proviene de su alto contenido en hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Los HAP constituyen el grupo más grande de compuestos químicos conocidos como agentes cancerígenos. Por ello, el asfalto recuperado con concentraciones en hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) superiores a 50 mg/kg de material, se clasifica como residuo peligroso y no es posible volver a utilizar como material de carretera.

Aunque desde hace muchos años, las mezclas asfálticas se fabrican con betún de origen petrolífero, en el siglo pasado, sobre todo en otros países europeos, se utilizaba el alquitrán de hulla y otros destilados del alquitrán. Para identificar la posible presencia de alquitrán, se recomienda:

Identificar el historial de construcción del tramo de carretera a demoler o fresar. Es responsabilidad del propietario de la carretera proporcionar la información, de acuerdo con la responsabilidad general de cualquier posible productor de material contaminado.

Antes de comenzar la obra, se debe llevar a cabo un plan de ensayos a dos niveles, basado en un número reducido de ensayos cuantitativos en el laboratorio complementados con métodos de campo semicuantitativos.

Los métodos semicuantitativos disponibles se basan en el empleo de reactivos en forma de aerosol, con umbrales de detección suficientes para identificar la presencia o no de alquitrán en capas de firme de manera fiable. La técnica analítica validada para la determinación cuantitativa de HAP en materiales de construcción es la cromatografía de gases con detección por espectrometría de masas, según la Norma UNE-EN 17844.

La OC 2/2023, ya mencionada anteriormente, indica que “por consideraciones ambientales y de valorización de los materiales envejecidos por el uso en los firmes y pavimentos, en el análisis de soluciones en actuaciones de rehabilitación de un firme o de acondicionamiento de trazado, ensanche y mejora de plataforma, y ampliación de carriles, para cualquier categoría de tráfico pesado, será preceptivo tener en cuenta y priorizar las técnicas de reutilización incluidas como anejo a esta Orden Circular, con las limitaciones y prescripciones indicadas en los puntos 3 y 4, siempre que la opción elegida sea ajustada desde el punto de vista técnico y económico, debiéndose tener en cuenta la afección al tráfico por las obras y, muy especialmente, los aspectos relacionados con la seguridad de la circulación viaria”.

El reciclado de pavimentos asfalticos permite mantener recursos limitados como el árido y el betún envejecido en el ciclo productivo, reduciendo el consumo de materias primas y la energía en su fabricación y puesta en obra, y evitando la acumulación masiva de los residuos en los vertederos. El reciclado de pavimentos asfalticos es una iniciativa alineada totalmente con los principios de Economía Circular. De manera adicional, el empleo de técnicas de reciclado in situ con emulsión y cemento (contempladas en la OC 2/2023) permiten reducir considerablemente el consumo energético y las emisiones de CO_2 asociadas al transporte de materiales.

La jerarquía de residuos contemplada en la Ley 7/2022 de Residuos establece el siguiente orden de prevalencia en la gestión de residuos: 1) prevención; 2) preparación para la reutilización; 3) reciclaje; 4) otras formas de recuperación, por ejemplo, la recuperación de energía; y 5) eliminación. Por tanto, la reutilización se debe llevar a cabo preferentemente en la misma aplicación o en, todo caso, en otras aplicaciones, pero en la medida técnicamente posible en aplicaciones de obra en carreteras.

Igualmente, se debe asegurar que estas acciones en favor de reutilización y el reciclado aseguran un beneficio ambiental neto. Los ensayos de lixiviación permiten identificar y, en su caso, cuantificar el posible impacto ambiental asociado al empleo del asfalto recuperado en la construcción de una carretera. El ensayo de lixiviación de referencia para usos ligados, como es

el caso de las mezclas bituminosas, el suelocemento y el hormigón, es el ensayo de lixiviación dinámica superficial (habitualmente denominado ensayo DSLT) según la Norma UNE-EN 16637-2. En el caso de usos no ligados de áridos procedentes de asfalto recuperado, el ensayo de lixiviación apropiado es el ensayo de percolación de flujo ascendente (también denominado columna) según la Norma UNE-EN 16637-3. Ambos ensayos permiten realizar una proyección del comportamiento frente a la lixiviación, identificando la velocidad de liberación de sustancias y los mecanismos de lixiviación dominantes.

En un estudio realizado por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea Joint Research Centre (JRC), que recoge los valores limite aplicados en diferentes países de la Unión Europea para la declaración de la Fin de Condición de Residuo de áridos alternativos de diferentes tipologías, se indica que el árido procedente de asfalto recuperado no presenta contenidos relevantes de sustancias peligrosas en los lixiviados.

5. NORMATIVA TÉCNICA [1, 3, 32, 33]

Orden Circular OC 2/2023 de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos, que incluye en su anexo los siguientes artículos:

- Artículo 20: Reciclado Reutilización in situ con emulsión de capas bituminosas.
- Artículo 21: Reciclado Reutilización in situ con cemento de capas de firme.
- Artículo 22: Reutilización en caliente y semicaliente en central en caliente de capas bituminosas.

Establece los criterios para seleccionar y proyectar la solución idónea de rehabilitación de un firme de carretera y *"se extiende la reutilización en caliente y semicaliente en central a todas las categorías de tráfico existentes pudiendo disponer directamente la capa de rodadura, pudiendo incorporar cualquier tipo de tasa de reutilización, y en cualquier categoría de tráfico, siempre que se cumplan las prescripciones habituales para las mezclas convencionales del Artículo 542 del PG-3. La reutilización en central en semi caliente de mezclas bituminosas podrá ser empleada en las categorías de tráfico pesado T1 a T4, y en cualquier capa del firme."*

"Las mezclas bituminosas reutilizadas en central cumplirán lo indicado en el artículo 22 de esta Orden Circular y se emplearán de acuerdo con los criterios de tipo y espesor establecidos en la O.C. 1/2023.

"La reutilización in situ con emulsión de capas de firme podrá ser empleada en las categorías de tráfico pesado T1 a T4, en capas intermedias, de base y subbase. Cuando se proyecte una reutilización in situ con emulsión, de acuerdo con los criterios de la norma 6.3-IC Rehabilitación de firmes, sobre ella se proyectarán capas de mezcla en caliente o semicaliente, reutilizadas o no, en un espesor mínimo de:

- *Ocho centímetros (8 cm) en la categoría de tráfico pesado T1 para lo que se dispondrán dos capas de manera que la capa de rodadura tenga un espesor de dos o tres centímetros (2-3 cm) y la capa intermedia un espesor de cinco o seis centímetros (5-6 cm).*

- *Cinco centímetros (5 cm) en las categorías de tráfico pesado T2 y T3. Si fuera preceptivo el empleo de mezclas del artículo 543, 544 o 545 en la capa de rodadura, entre ésta y la mezcla reutilizada in situ con emulsión se dispondrá una capa intermedia con espesor de cinco centímetros (5 cm).*
- *Para la categoría de tráfico pesado T4, sobre la mezcla reutilizada in situ con emulsión se dispondrá una capa de rodadura que podrá consistir en una mezcla bituminosa con un espesor mínimo de tres centímetros (3 cm) o, alternativamente, en dos capas de microaglomerado en frío (artículo 540 del PG-3).*

La reutilización in situ con cemento de capas de firme podrá ser empleada en las categorías de tráfico pesado T1 a T4, en capas de base y subbase. Cuando se proyecte una reutilización in situ con cemento, el firme se diseñará siguiendo los criterios de la norma 6.1-IC Secciones de firme, asumiendo que la reutilización in situ con cemento es equivalente un suelocemento (artículo 513 del PG-3).

En los arcenes podrán emplearse todas las técnicas de reutilización indicadas en esta Orden Circular. En todos los casos se estará a lo dispuesto para ellos en el apartado 12.7 de la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes y, en el caso de las reutilizaciones in situ con cemento, además a lo indicado en el capítulo 7 de la Norma 6.1 IC Secciones de firme."

La prescripción de obligatoriedad de estudiar técnica y económicamente los materiales reciclados de firmes y pavimentos de esta norma, indica textualmente que " Por consideraciones medioambientales y de reutilización de los materiales existentes en los firmes y pavimentos, en aquellas actuaciones cuya superficie de rehabilitación sea superior a setenta mil (70.000) m2, se deberá considerar el empleo de las técnicas de reciclado, con las limitaciones y prescripciones que figuran en el anejo que acompaña a esta Orden".

Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" de la Instrucción de Carreteras, aprobada mediante Orden FOM/3459/2003 y complementada con la OC 2/2023.

Se prescribe la obligatoriedad de estudiar técnica y económicamente los materiales reciclados de firmes y pavimentos de esta norma, indicando que " *por consideraciones medioambientales y de reutilización de los materiales existentes en los firmes y pavimentos, en aquellas actuaciones cuya superficie de rehabilitación sea superior a setenta mil (70.000) m2, se deberá considerar el empleo de las técnicas de reciclado, con las limitaciones y prescripciones que figuran en el anejo que acompaña a esta Orden*".

En el apartado 7.2 de la norma, Actuaciones de rehabilitación estructural, entre las soluciones que se citan se hace referencia en primer lugar a la "*eliminación parcial y reposición del firme existente, incluyendo el reciclado de los materiales de acuerdo con lo expuesto en el apartado 7.4".* En este apartado 7.4 de la norma se comentan los Criterios de aplicación de las técnicas de reciclado de firmes, indicando que se deben tener en cuenta las limitaciones y prescripciones que se mencionan a continuación*:*

- "*En carreteras con categoría de tráfico pesado T00 no se podrán utilizar en ningún caso materiales reciclados."*

- *"En carreteras con categoría de tráfico pesado T0 no se podrán utilizar en ningún caso las técnicas de reciclado in situ en frío (con emulsión bituminosa o con cemento). Únicamente se podrán emplear mezclas bituminosas en caliente recicladas en central en el recrecimiento de arcenes, siempre que sobre ellas se disponga posteriormente como mínimo una capa de rodadura. También podrá ser aplicable este último tipo de material reciclado en capas de reposición en calzada cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 10 cm".*

- *"En carreteras con categoría de tráfico pesado T1 se podrán utilizar las mezclas bituminosas en caliente recicladas en central en los mismos supuestos indicados para carreteras con categoría de tráfico pesado T0, considerando, en este caso, que sobre las capas de reposición con mezclas bituminosas recicladas en central deben colocarse capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 6 cm. Además, podrán emplearse mezclas bituminosas recicladas in situ con emulsión bituminosa en arcenes cuando sobre este material se disponga como mínimo una capa de rodadura. También podrá ser aplicable este último tipo de material reciclado en capas de reposición en calzada cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 8 cm".*

- *"Para carreteras con categorías de tráfico pesado T2 a T4, incluidas las vías de servicio no agrícolas de autovías y autopistas, podrán utilizarse todas las técnicas de reciclado indicadas, así como el reciclado in situ con cemento, con la condición de disponer sobre cualquiera de ellas, como mínimo, una capa de mezcla bituminosa en caliente del tipo densa (D) o semidensa (S).*

Norma 6.1 IC "Secciones de firmes" de la Instrucción de Carreteras, aprobada mediante Orden FOM/3460/2003, y actualizada por la Orden Circular OC 1/2023 de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, sobre actualización de espesores de las capas y tipos de mezclas bituminosas en caliente y semicaliente.

Se amplían los límites de utilización de asfalto recuperado, fijando para cada tipo de mezcla un tipo de mezcla bituminosa reutilizada en central, o lo que es lo mismo, la tasa o contenido máximo de asfalto recuperado que es posible emplear.

Tabla 7. Espesores de capa de mezclas bituminosas en caliente o semicaliente.
[Fuente: Tabla 6 de la OC 1/2023]

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA [1]	TIPO SEGÚN TASA DE ASFALTO RECUPERADO[4]	TAMAÑO NOMINAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
				T1 y superior	T2 y T31	T32 e inferior
Rodadura	AC tipos D y S	0 y 1	16		4-5	
			22		5-6	
	BBTM [2] tipos A y B	0	8	2		
			11	3		
	PA[2]	0	11	4		
	SMA	0	8	2-3		
			11	3-5		
	AUTL[2]	Ninguno	5	1-1,5		
			8	1,5-2		
			11		2	
Intermedia	AC tipos D y S	Todos	22	5-10[3]		
	MAM	0 y 1	22	6-10		
	SMA	0	16	5-9		
Base	AC, tipo S	Todos	22	7-10		
			32	10-13		
	MAM	0 y 1	22	7-13	7-13	

(1) Ver definiciones en los artículos 542, 543, 544 y 545 del PG-3, 544 de la OC 3/2019 y 545 de la OC 3/2022

(2) De acuerdo con lo indicado en los artículos 543 y 545, para estas mezclas, el PPTP debe especificar la dotación media en kg/m2 en lugar del espesor.

(3) Salvo en arcenes, donde se seguirá lo indicado en el apartado 7

(4) Ver tabla de clasificación de las mezclas bituminosas reutilizadas

TABLA DE CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS REUTILIZADAS EN CENTRAL

TIPO	CONTENIDO DE ASFALTO RECUPERADO (RA) (% sobre la masa total de la mezcla)	
	Límite inferior	Límite superior
0	-	≤ 15
1	>15	≤ 30
2	> 30	≤ 50
3	> 50	≤ 80

<u>Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3), para las siguientes aplicaciones de carretera</u>:

Material de relleno

En el artículo 330 del PG-3 se especifica que "*además de los suelos naturales, se podrán utilizar en terraplenes los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan las especificaciones de este artículo y que sus características fisicoquímicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto*". Para poder ser utilizado como material para relleno debe cumplir todo lo indicado en el artículo 330 del PG-3, en función del tipo de suelo al que vaya a sustituir (tolerable, adecuado o seleccionado) y de la zona de uso. En el caso de que se utilice mezclado con otro tipo de material (otro suelo que le aporte material fino, arena, etc.), la mezcla debe cumplir lo especificado en dicho artículo del PG-3.

Suelo estabilizado in situ

Este reciclado estabilizado in situ está formado por material granular procedente del reciclado de pavimento asfáltico, y puede utilizarse en las mismas aplicaciones que el suelo estabilizado, siempre que cumpla las especificaciones del artículo 512 del PG-3, con las particularidades que aquí se indiquen.

Zahorra artificial

En el artículo 510 del PG-3 se indica que "*para las categorías de tráfico pesado T2 a T4 se podrán utilizar materiales granulares reciclados", "siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en este artículo, y se declare el origen de los materiales, tal como se establece en la legislación comunitaria sobre estas materias*".

"*Para el empleo de estos materiales se exige que las condiciones para su tratamiento y aplicación estén fijadas expresamente en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares".*

"El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá fijar especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear materiales cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese".

"Los materiales para las capas de zahorra no serán susceptibles a ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. Se deberá garantizar tanto la durabilidad a largo plazo, como que no puedan dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua. Por ello, en materiales en los que, por su naturaleza, no exista suficiente experiencia sobre su comportamiento, deberá hacerse un estudio especial sobre su aptitud para ser empleado, que deberá ser aprobado por el Director de las Obras."

"Para materiales reciclados procedentes de capas de firme de carretera, el valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser superior en cinco unidades a los valores que se exigen en general, siempre y cuando su composición granulométrica esté adaptada al huso ZAD20".

"Los áridos procedentes del reciclado, deberán disponer del marcado CE, según el Anejo ZA de la norma UNE-EN 13242, con un sistema de evaluación de la conformidad 2+, salvo en el caso de los áridos fabricados en el propio lugar de construcción para su incorporación en la correspondiente obra".

Suelocemento

Fabricación in situ

Se debe cumplir todo lo indicado en el artículo 21 de la OC 2/2023. Los criterios de diseño serán los indicados en la norma 6.1. IC, asumiendo que la reutilización in situ con cemento es equivalente a un suelo cemento.

Fabricación en central

Para su uso y puesta en obra se seguirá todo lo indicado en el artículo 513 del PG-3, con las particularidades que aquí se indican.

Gravacemento

Para este uso se debe cumplir lo especificado en el artículo 513 del PG-3.

Gravaemulsión reciclada en central

Su uso está regulado en el artículo 514 del PG-3 estableciendo que "*en el caso de emplear asfalto recuperado procedente del fresado y/o demolición de capas de mezclas bituminosas, este deberá cumplir los requisitos establecidos en el apartado 22.4.4 del artículo 22 sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos del PG-4*".

"*El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto la Dirección de la obra, podrá exigir propiedades o especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese. Cuando se emplee asfalto recuperado (RA), el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto la Dirección de la obra, establecerá la proporción de material procedente de fresado a emplear.*"

"Los áridos no serán susceptibles a ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar los suelos o corrientes de agua. Por ello, en materiales en los que, por su naturaleza, no exista suficiente experiencia sobre su comportamiento, deberá hacerse un estudio especial sobre su aptitud para ser empleado, que deberá ser aprobado por la Dirección de la obra. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto la Dirección de la obra, podrá fijar criterios específicos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes solubles de los áridos de cualquier tipo, naturales, artificiales o reciclados, que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se empleará la norma UNE-EN 1744-3."

Mezcla bituminosa reciclada

En el artículo 542 del PG-3 para Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso y en articulo 543 para Mezclas bituminosas para capa de rodadura, se establece que "*los áridos a emplear en las mezclas bituminosas podrán ser reciclados siempre que cumplan las especificaciones recogidas en este artículo*". "*Los áridos deberán disponer del marcado CE con un sistema de evaluación de la conformidad 2+, salvo en el caso de los áridos fabricados en el propio lugar de construcción para su incorporación en la correspondiente obra*"

En el caso de las mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso que se regulan en el Articulo 542 se indica que "*en la fabricación de mezclas bituminosas para capas de base e intermedias, podrá emplearse el material procedente del fresado de mezclas bituminosas en caliente, según las proporciones y criterios que se indican a continuación:*

- En proporción inferior o igual al quince por ciento (≤ 15%) de la masa total de la mezcla, empleando centrales de fabricación que cumplan las especificaciones del epígrafe 542.4.2 y siguiendo lo establecido en el epígrafe 542.5.4 de este artículo.

- En proporciones superiores al quince por ciento (> 15%), y hasta el sesenta por ciento (60%), de la masa total de la mezcla, siguiendo las especificaciones establecidas al respecto en el artículo 22 vigente del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras, PG-4.

- En proporciones superiores al sesenta por ciento (>60%) de la masa total de la mezcla, será preceptiva la autorización expresa de la Dirección General de Carreteras. Además, se realizará un estudio específico en el Proyecto de la central de fabricación de mezcla discontinua y de sus instalaciones especiales, con un estudio técnico del material bituminoso a reciclar por capas y características de los materiales, que estarán establecidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá exigir propiedades o especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese".

En el caso de las mezclas de alto módulo no es posible "*emplear en su fabricación materiales procedentes del fresado de mezclas bituminosas en caliente en proporción superior al quince por ciento de la masa total de la mezcla*".

En relación con los requisitos específicos que debe cumplir la central de fabricación se indica que "*cuando se vayan a emplear áridos procedentes del fresado o trituración de capas de mezclas bituminosas en proporciones superiores al quince por ciento (>15%) de la masa total de la mezcla, la central de fabricación dispondrá de los elementos necesarios para que se cumplan los requisitos y especificaciones recogidas en el epígrafe 542.5.4. La central de fabricación (de funcionamiento continuo o discontinuo) dispondrá de, al menos, dos tolvas adicionales para el material bituminoso a reciclar tratado, y será capaz de incorporarlo durante el proceso de mezcla sin afección negativa a los materiales constituyentes, en especial, al ligante bituminoso de aportación."*

Por otro lado, para la fabricación de la mezcla, "*si se utilizase material procedente del fresado o trituración de capas de mezclas bituminosas, en proporción superior al quince por ciento (>15%) de la masa total de la mezcla, se procederá como se especifica a continuación:*

- En centrales cuyo secador no sea a la vez mezclador, si la alimentación de éste fuera discontinua, para cada amasada, después de haber introducido los áridos, se pesarán e introducirán los áridos procedentes de mezclas bituminosas, y después de un tiempo de disgregación, calentado y mezcla, se agregará el ligante hidrocarbonado, y en su caso los aditivos, y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo. Si la alimentación

fuese continua, los áridos procedentes de mezclas bituminosas se incorporarán junto al resto de los áridos en la zona de pesaje en caliente a la salida del secador.

- En centrales de mezcla continua con tambor secador-mezclador se aportará el material procedente del fresado o trituración de capas de mezclas bituminosas tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella.

- En ningún caso se calentarán los áridos de aportación a más de doscientos veinte grados Celsius (220ºC), ni el material bituminoso a reciclar a una temperatura superior a la del ligante de aportación."

Mezcla bituminosa en caliente y semicaliente reciclada en central

El uso de asfalto recuperado en mezclas bituminosas en caliente y semicaliente está regulado en el artículo 22 de la OC 2/2023.

Mezcla bituminosa con emulsión o betún espumado reciclada in situ

Su utilización, control y puesta en obra están indicados en el artículo 20 de la OC 2/2023.

Mezcla bituminosa abierta en frio reciclada en central

En el artículo 541 del PG-3, se indica que" los *áridos a emplear podrán ser de origen reciclado y habrán de cumplir las especificaciones recogidas en este artículo. En el caso de emplear asfalto recuperado procedente del fresado y/o demolición de capas de mezclas bituminosas, este deberá cumplir los requisitos establecidos en el apartado 22.4.4 del artículo 22 sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4). El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto la Dirección de la obra, podrá exigir propiedades o especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese. Cuando se emplee asfalto recuperado (RA), el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto la Dirección de la obra, establecerá la proporción de material procedente de fresado a emplear, que no podrá superar el quince por ciento (≤ 15 %) en capa de rodadura o el treinta por ciento (≤ 30 %) en capa intermedia.*

Normas de especificaciones y ensayos:

- UNE-EN 933-1:2012. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.
- UNE-EN 1426:2025. Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la penetración con aguja.
- UNE-EN 1427:2015. Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de reblandecimiento. Método del anillo y bola.
- UNE-EN 1744-3:2003. Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 3: Preparación de eluatos por lixiviación de áridos.
- UNE-EN 12697-1:2022. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 1: Contenido de ligante soluble.

- UNE-EN 12697-2:2025. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la distribución granulométrica.
- UNE-EN 13108-8:2018. Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 8: Asfalto recuperado.
- UNE-EN 13242:2003+A1:2008. Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerados hidráulicos para uso en capas estructurales de firmes.
- UNE-EN 16637-2:2024. Productos de construcción. Evaluación de la liberación de sustancias peligrosas. Parte 2: Ensayo horizontal de lixiviación de superficie dinámica.
- UNE-EN 16637-3:2024. Productos de construcción. Evaluación de la liberación de sustancias peligrosas. Parte 3: Ensayo horizontal de percolación con flujo ascendente.
- UNE-EN 17844:2024. Productos de construcción. Evaluación de la emisión de sustancias peligrosas. Determinación del contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX). Método de cromatografía de gases con detección por espectrometría de masas.

6. REFERENCIAS

[1] Orden Circular OC 2/2023 sobre reutilización de capas de firmes y pavimentos bituminosos. 2023

[2] EAPA (European Asphalt Pavement Association), "ASPHALT IN FIGURES". 2023.

[3] Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Orden FOM/2523/2014. Enero 2015

Corrección de errores de la Orden FOM/2523/2014. Marzo 2017.

[4] RUIZ RUBIO, A. "Reciclado de pavimentos (Primera parte)", Rutas, nº 65, 11-20. 1998.

[5] RUIZ RUBIO, A. "Reciclado de pavimentos (Segunda parte)", Rutas, nº 66. 1998.

[6] RUIZ RUBIO, A. "Reciclado de firmes: balance de las actuaciones y perspectivas. Aspectos técnicos y económicos", IV Congreso Nacional de Firmes, Reciclado de Firmes., Ponencia 1. Segovia, junio, 1998.

[7] RUIZ RUBIO, A. "Panorámica general de las técnicas de reciclado de firmes", Jornada sobre "Técnicas de reciclado de materiales para capas de firme. Experiencias en la A-92". Granada, noviembre, 2000.

[8] PROYECTO DIRECT-MAT. "Synthesis of national and intenational documents on existing knowledge regarding the recycling of reclaimed road materials in asphalt". Noviembre 2010.

[9] PROYECTO DIRECT-MAT. "Report on practical application case studies regarding dismantling and recycling of asphalt". Marzo 2011.

[10] PROYECTO DIRECT-MAT. "Best Practice guide for dismantling of asphalt roads and use of recycled materials in asphalt layers". Agosto 2011.

[11] PROYECTO FÉNIX: "Monografía 2: Reducción de los impactos ambientales durante la construcción y explotación de firmes asfálticos". Mayo 2011.

[12] BUTTON, J.W.; LITTLE, D.N.; ESTAKHRI, C.K. "Hot In-Place Recycling of Asphalt Concrete", Synthesis of Highway Practice 193, National Cooperative Highway Research Program, TRB. Washington, DC, 1990.

[13] FERNÁNDEZ DEL CAMPO, J.A. "Tratado de estabilización y reciclado de capas de firme con emulsión asfáltica", Asociación Española de la Carretera, Primera edición. Abril, 1998

[14] CEDEX; CENTRO DE INVESTIGACIÓN ELPIDIO SÁNCHEZ MARCOS. "Jornada sobre Reciclado de Capas de firme con emulsión". Madrid, 1996.

[15] EPPS, J.A. "Cold-Recycled Bituminous Concrete Using Bituminous Materials", Synthesis of Highway Practice 160, National Cooperative Highway Research Program, TRB. Washington, D.C. 1990.

[16] Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). Guías Técnicas. Reciclado de

firmes in situ con cemento. Marzo de 2013.

[17] JOFRÉ, C.; KRAEMER, C.; DÍAZ MINGUELA, J. “Manual de firmes reciclados in situ con cemento”, Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. 1999.

[18] JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos, 2004

[19] DÍAZ MINGUELA, J. "El estudio del comportamieno de los firmes reciclados in situ con cemento", Tesis doctoral, Escuela Politécnisca Superior, Universidad de Burgos (2011) http://dspace.ubu.es:8080/tesis/handle/10259/157

[20] PROYECTO FÉNIX. “Comité Técnico Extraordinario. Resumen de las presentaciones·. Lérida, 22 y 23 de noviembre de 2010.

[21] HIERSCHE, E.U. “Reciclado de Materiales bituminosos en Europa”, Programa SPRINT de Transferencia de Tecnología e Innovaciones en la Construcción de Carreteras, Carreteras, nº 69, 29-43. 1994.

[22] INTEVÍA. “Reciclado de firmes y pavimentos”. Madrid, septiembre, 1996.

[23] INTEVÍA. “Curso sobre Explanadas Estabilizadas y reciclado de Firmes”. Madrid, noviembre, 1999.

[24] IV CONGRESO NACIONAL DE FIRMES. “Reciclado de firmes”. Segovia, junio, 1998.

[25] V CONGRESO NACIONAL DE FIRMES. “Las Capas de Base para Firmes de Carreteras”. León, mayo, 2000.

[26] VI CONGRESO NACIONAL DE FIRMES. “Normalización e Innovación”. León, mayo, 2004.

[27] VII CONGRESO NACIONAL DE FIRMES. Ávila, mayo, 2006.

[28] I CONGRESO ANDALUZ DE CARRETERAS. “Construcción de carreteras en climas semiáridos”. Granada, febrero, 1998.

[29] II CONGRESO ANDALUZ DE CARRETERAS. “Carreteras y ciudadanos. El Derecho a la Movilidad”. Cádiz, febrero, 2000.

[30] III CONGRESO ANDALUZ DE CARRETERAS. “Carreteras para una sociedad en desarrollo”. Sevilla, octubre, 2003.

[31] JULLIEN ET AL, “Bilan environmental d´un chantier de recyclage”. Annales du BTP, N3. Septiembre 2003.

[32] Norma 6.1 IC. SECCIONES DE FIRMES, DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. Orden FOM/3460/2003. Diciembre 2003.

Orden Circular OC 1/2023 sobre actualización de espesores de las capas y tipos de mezclas bituminosas en caliente y semicaliente en la Norma 6.1 IC. Abril 2023.

[33] Norma 6.3 IC. REHABILITACIÓN DE FIRMES, DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. Orden FOM/3459/2003. Diciembre 2003.

CORRECCIÓN de erratas de la Orden FOM/3459/2003. Mayo 2004.

[34] Orden Circular OC 3/2019 sobre mezclas bituminosas tipo SMA. 2019.

[35] Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Abril 2022.

[36] UTILIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS, SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS. Monografía 22. ASEFMA. Noviembre 2020.

[37] LAS MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSION EN LA REHABILITACION ESTRUCTURAL DE FIRMES EN CARRETERAS DE LA DFG CON INTENSIDADES DE TRÁFICO MEDIAS Y BAJAS. ASEFMA. XII Jornada Nacional (Comunicación 2). 2017.

7. ENTIDADES DE CONTACTO

ASEFMA (Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas)
Avenida del General Perón nº 26
28020 Madrid
Tel: 91 129 36 60
Fax.: 91 129 35 66
https://asefma.es/

IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones)
C/ José Abascal nº 53 -1º
28003 Madrid
Tel. 91 442 93 11
https://www.ieca.es/

CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas)
Centro de Estudios del Transporte
Autovía de Colmenar Viejo km 18,2
28760 – El Goloso (Madrid)
Tel. 91 335 78 00
https://www.cedex.es/centros-laboratorios/centro-de-estudios-del-transporte-cet
info@cedexmateriales.es

www.cedex.es

Síguenos en:

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y MOVILIDAD SOSTENIBLE
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
CEDEX