

El proyecto DIRECT-MAT: Técnicas de demolición y reciclado de materiales para la carretera - Compartiendo conocimientos y prácticas

FRANCISCO SINIS FERNÁNDEZ (*), BALTASAR RUBIO GUZMÁN (*) y ANA ISABEL GONZÁLEZ ABADÍAS (*)

RESUMEN En el presente artículo se describe el contenido del proyecto DIRECT-MAT (DIsmantling and RECycling Techniques for road MATerials), cuyo objetivo es facilitar que las experiencias nacionales en el campo de la demolición y el reciclado de materiales relacionados con la carretera puedan ser compartidas y divulgadas entre países europeos, para beneficio de todos ellos. Los procesos de demolición y reciclaje del material de la carretera han sido objeto de estudio de proyectos de investigación nacionales en los últimos años, sin embargo, los resultados de los mismos raramente han beneficiado al resto de los países europeos, especialmente a los nuevos miembros de la UE. DIRECT-MAT es un proyecto incluido en el 7º Programa Marco de la Unión Europea. Comenzó en enero de 2009 y tiene tres años de duración; participan en los trabajos un total de 20 centros de investigación de 15 países. Para alcanzar los objetivos del proyecto, se está desarrollando una base de datos pública, que se podrá consultar en Internet y recopilará las investigaciones validadas existentes hasta la fecha, así como experiencias prácticas en obra. Además, contendrá una colección de Guías de buenas prácticas para la demolición y reciclaje de diferentes tipos de materiales, elaboradas tomando como referencia las distintas experiencias de los países participantes. Por último, se propondrán una serie de directrices para asegurar la continua actualización de la base de datos mediante la incorporación de resultados de futuras investigaciones.

THE DIRECT-MAT PROJECT: DISMANTLING AND RECYCLING TECHNIQUES FOR ROAD MATERIALS. SHARING KNOWLEDGE AND PRACTICES.

ABSTRACT *This article describes the content of the DIRECT-MAT (DIsmantling and RECycling Techniques for road MATerials) project. The DIRECT MAT project objectives consist of sharing and disseminating, at the European scale, national knowledge and field practices regarding the dismantling and recycling of road and road related materials, for the benefit of all European countries. Road material recycling processes have previously been studied in national research projects in the last years; unfortunately, the results of those projects almost never benefit other European countries. This is especially true for the newer Member States. The DIRECT-MAT project, within 7th Framework Programme, is a three year project starting in 2009, and is comprised of 20 partners from 15 participating countries. To reach the aims of the project, a Web database will be created to compile and display the extensive existing and already validated research and jobsite data and a set of Best Practices Guides on dismantling and recycling of different types of materials will be issued. Finally, guidelines will be proposed to ensure database updating, including the results of future researches.*

Palabras clave: Demolición, Reciclaje, Materiales para la carretera, Base de datos, Guías de buenas prácticas.

Keywords: Dismantling, Recycling, Road materials, Database, Best Practices Guides.

1. INTRODUCCIÓN

Es indiscutible la importancia que tiene hoy en día la red de carreteras europea para el transporte de personas y mercancías. Son conocidos los altos costes que conlleva el mantenimiento de carreteras, sin embargo, quizá no lo sean tanto los

impactos ambientales relacionados con la generación de residuos y consumo de recursos asociados al mantenimiento de la red.

Por ello, se hace necesario centrar los esfuerzos no sólo en mejorar la relación calidad-precio de las infraestructuras de carreteras, sino también en implantar buenas prácticas ambientales en su mantenimiento. Una de estas prácticas es el reciclado de los residuos de los materiales de la carretera en la propia carretera.

(*) Centro de Estudios del Transporte.

En los últimos años, muchos países europeos han acumulado experiencias sobre esta materia. Sin embargo, se ha comprobado que las prácticas a nivel nacional difieren considerablemente de unos países a otros. Además, los documentos y bases de datos disponibles no suelen estar traducidos a un idioma común. Como consecuencia, los logros y experiencias de los diferentes países no se comparten por lo que el resto de los países no puede beneficiarse de los mismos.

Con el fin último de facilitar que las experiencias nacionales puedan ser compartidas, nace el proyecto DIRECT-MAT (Dismantling and REcycling Techniques for road MATERIALs) dentro de las acciones previstas en el Séptimo Programa Marco de la Unión Europea (2007 a 2013). El proyecto, que se inició en enero de 2009, tiene tres años de duración y cuenta con un presupuesto de 1,2 millones de euros y con la participación de un total de 15 países.

Los objetivos de DIRECT-MAT son la elaboración de una base de datos a nivel europeo, así como la redacción de Guías de buenas prácticas relativas a la demolición y reciclaje de materiales, bien provenientes de la carretera o directamente relacionados con ella (como son los neumáticos usados), para su posterior utilización en la propia carretera.

Las ventajas del uso de esta base de datos, que proporcionará información a autoridades, profesionales e investigadores, son múltiples. Desde un punto de vista técnico, facilitará un rápido acceso a directrices validadas y puestas en común. No se trata únicamente de resultados de proyectos de investigación, sino también de información sobre prácticas llevadas a cabo en laboratorios y obras de construcción. El proyecto así

contribuirá a la reducción de la generación de residuos asociada al mantenimiento de las carreteras, incrementando la confianza de las autoridades e interesados en general en las técnicas de reciclaje y reutilización.

Desde un punto de vista científico, la base de datos permitirá la mejora en la coordinación de los programas de investigación nacionales a nivel europeo, de cara a establecer prioridades para el desarrollo tecnológico y de investigación. Los recursos que proporcionará serán de gran ayuda para proyectos de investigación en curso. A su vez, los investigadores tendrán la oportunidad de compartir nuevos datos para el beneficio de toda la comunidad europea.

Por último, hay que indicar que la normativa europea relacionada con el uso de materiales reciclados en carreteras se encuentra en pleno desarrollo. Los grupos técnicos CEN están trabajando para definir criterios químicos, físicos, mecánicos y geométricos con el objeto de permitir el uso de materiales reciclados en carreteras. Estos comités, responsables de la redacción de los estándares europeos, podrán beneficiarse de la base de datos para incorporar información validada científicamente en sus trabajos.

2. ORGANIZACIÓN

El proyecto cuenta con la participación de 20 centros de investigación, la mayor parte de ellos pertenecientes al Foro Europeo de Laboratorios de Investigación de Carreteras, FEHRL (Forum of European National Highway Research Laboratories), provenientes de quince países. Todos ellos figuran en la Tabla 1.

Nº	Nombre de la organización	País
1 (Coordinador)	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)	Francia
2	Belgian Road Research Centre (BRRC)	Bélgica
3	Swedish Geotechnical Institute (SGI)	Suecia
4	Danish Road Institute (DRI)	Dinamarca
5	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)	Portugal
6	Dresden University of Technology (TUD)	Alemania
7	Braunschweig Institute of Technology (TUBS/ISBS)	Alemania
8	Institute for Transport Sciences (KIT)	Hungría
9	NIAS Strasbourg	Francia
10	University College Dublin (UCD)	Irlanda
11	RECIPAV	Portugal
12	Forum of European National Highway Research Laboratories (FEHRL)	
13	Branchevereniging Recycling Breken en Sortesen (BRBS)	Países Bajos
14	The Research Institute of VÖZ	Austria
15	Centrum dopravního výzkumu (CDV)	República Checa
16	Swedish National Road and Transport Research (VTI)	Suecia
17	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)	España
18	Slovenian National Building And Civil Engineering Institute (ZAG)	Eslovenia
19	The Highway Institute	Serbia
20	Road and Bridge Research Institute	Polonia

TABLA 1.
Participantes en el
proyecto europeo
DIRECT-MAT.

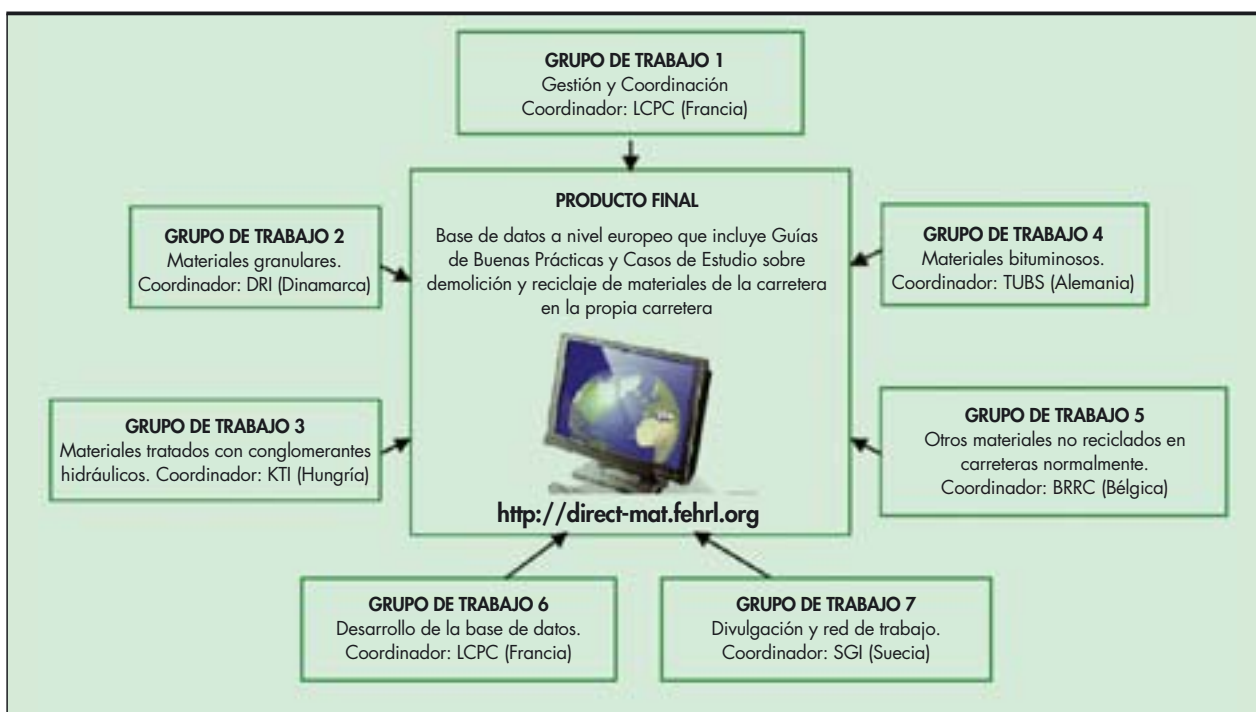


FIGURA 1. Organización de los grupos de trabajo de DIRECT-MAT .

Tal y como se puede apreciar en la Figura 1, el trabajo está repartido en los siguientes grupos:

- Grupo de trabajo 1 (GT 1): Gestión y coordinación.
- Grupo de trabajo 2 (GT 2): Materiales granulares.
- Grupo de trabajo 3 (GT 3): Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos.
- Grupo de trabajo 4 (GT 4): Materiales bituminosos.
- Grupo de trabajo 5 (GT 5): Otros materiales no reutilizados normalmente en carreteras.
- Grupo de trabajo 6 (GT 6): Base de datos web sobre demolición y reciclaje de materiales de la carretera en la propia carretera.
- Grupo de trabajo 7 (GT 7): Divulgación, red de trabajo y coordinación del compartimiento de conocimientos.

Cada GT cuenta con un responsable, encargado de coordinar los diferentes centros de investigación que participan en el mismo y responder ante el coordinador general del proyecto. Algunos grupos de trabajo (1, 6 y 7) tienen carácter transversal, con labores de coordinación, gestión y divulgación, mientras que otros (2-5) tienen un perfil más técnico, centrados cada uno en las diferentes posibilidades de reciclaje de materiales. Así, la denominación de los GT 2-5 hace referencia al nuevo material obtenido tras el proceso de reciclado. La idea es que la información recopilada comprenda el mayor número posible de materiales relacionados con la carretera utilizados en Europa.

El CEDEX, a través del Centro de Estudios del Transporte, está participando en los grupos de trabajo 4, 5 y 7, relacionados con materiales bituminosos, otros materiales no reutilizados normalmente en carreteras, y divulgación y red de trabajo, respectivamente.

El trabajo de cada grupo está organizado en una serie de tareas, las cuales se reflejan en la Tabla 2.

		Descripción de las tareas
GT 1	1	Gestión y coordinación del proyecto
GT 2-5	1	Estructura de los datos
	2	Revisión de la documentación
	3	Recopilación de datos de campo y laboratorio
	4	Guía de buenas prácticas
GT 6	1	Definición del marco general
	2	Edición y circulación de prueba para la programación del software de la base de datos
	3	Programación del software de la base de datos
	4	Comprobaciones, depuración y aprobación del software de la base de datos
	5	Revisión y armonización de informes y guías de buenas prácticas
	6	Alimentación y mantenimiento de la base de datos
	7	Finalización de la estrategia para el mantenimiento de la base de datos
GT 7	1	Información general del proyecto
	2	Establecimiento de un panel de partes interesadas
	3	Sitio web con acceso interno y externo
	4	Promoción del resultado final obtenido

TABLA 2. Tareas asignadas a cada GT.

3. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LOS GRUPOS DE TRABAJO

Como se puede apreciar en la Tabla 2, los GT que estudian tipos de materiales finales concretos (2-5) tienen planes de trabajo similares. Los trabajos de estos grupos comenzaron con la revisión de la documentación nacional existente; para ello, se recopilaban todas las referencias normativas (informes de proyectos de investigación, artículos, publicaciones, etc...) de interés. La revisión de la información fue, para cada documento que se consideró relevante, presentada en el formato individual DRF (Document Review Form, Formato de Revisión de Documentación), para más tarde ser reunida en los informes nacionales. Los coordinadores de grupo fueron los encargados de sintetizar dichos informes en un documento final.

En la actualidad se está realizando un análisis de datos tomados de casos prácticos con el objetivo de generar informes sobre las técnicas de demolición, reutilización y reciclaje de distintos materiales. Para ello, los diferentes participantes están aportando una serie de casos de estudio que documenten las experiencias llevadas a cabo en sus respectivos países. Por último, se redactarán Guías de buenas prácticas en base a los resultados y conclusiones de los informes mencionados anteriormente elaborados.

Como se ha mencionado anteriormente, La denominación de los GT 2-5 hace referencia al nuevo material que se consigue tras el proceso de reciclaje, a excepción del GT 5. La Tabla 3 detalla los materiales de demolición y nuevos productos estudiados por cada grupo de trabajo (GT).

El GT 5 estudia como materiales de origen aquellos no considerados en el resto de los grupos:

- Materiales que dificultan la demolición y/o reciclado de las carreteras y estructuras asociadas: geotextiles, materiales férricos, señalización vial...
- Residuos peligrosos: amianto y alquitranes.
- Escorias, cenizas, arenas de fundición...

- Caucho procedente de neumáticos usados.
- Suelos y sedimentos contaminados: excedentes de tierras de excavación, sedimentos procedentes de limpieza de cunetas y balsas de tormenta....

Corresponde al GT 6 recopilar la información procedente de los grupos de trabajo 2-5 y homogeneizarla. El desarrollo del software de la base de datos tiene como objetivo poder descargar la información para que el sistema pueda ser operativo para todos los futuros usuarios. En la Figura 2 se presenta un esquema de funcionamiento del grupo, así como sus conexiones con el resto de los GT.

El GT 7 se centra en actividades divulgativas, como por ejemplo artículos y conferencias a nivel internacional, con objeto de animar a que la recopilación y puesta en común de datos continúe más allá del fin del proyecto. La base de datos y sus potenciales beneficios deben ser publicitados, con el objeto de atraer el mayor número posible de usuarios. Además, el GT 7 está trabajando en:

- Creación de grupos de referencia nacionales integrados por representantes de los sectores implicados (administración, contratistas, investigadores, proyectistas, proveedores de material, entidades de normalización...). Varios miembros de los mencionados grupos nacionales integran el denominado grupo de referencia europeo. La misión de estos grupos es estar al tanto del contenido de los trabajos durante su desarrollo, para así poder hacer aportaciones en las diferentes etapas del proyecto.
- Cuestionario dirigido a obtener información procedente de potenciales usuarios de la base de datos DIRECT-MAT, y así conocer sus necesidades, expectativas y disposición a participar en su mantenimiento.
- Seminarios a nivel nacional y europeo dirigidos a usuarios finales de la base de datos.
- Edición de folletos, posters y presentaciones, disponibles en la web <http://direct-mat.fehrl.org>.

TABLA 3. Materiales origen y producto de los grupos de trabajo 2-5.

GT	Material de demolición	Nuevo producto
GT 2: Materiales granulares	• Materiales granulares • Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos • Materiales bituminosos	• Materiales granulares
GT 3: Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos	• Materiales granulares • Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos • Materiales bituminosos	• Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos
GT 4: Materiales bituminosos	• Materiales granulares • Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos • Materiales bituminosos	• Materiales bituminosos
GT 5: Otros materiales no reutilizados en carreteras normalmente	• Otros materiales	• Materiales granulares • Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos • Materiales bituminosos • Otros materiales

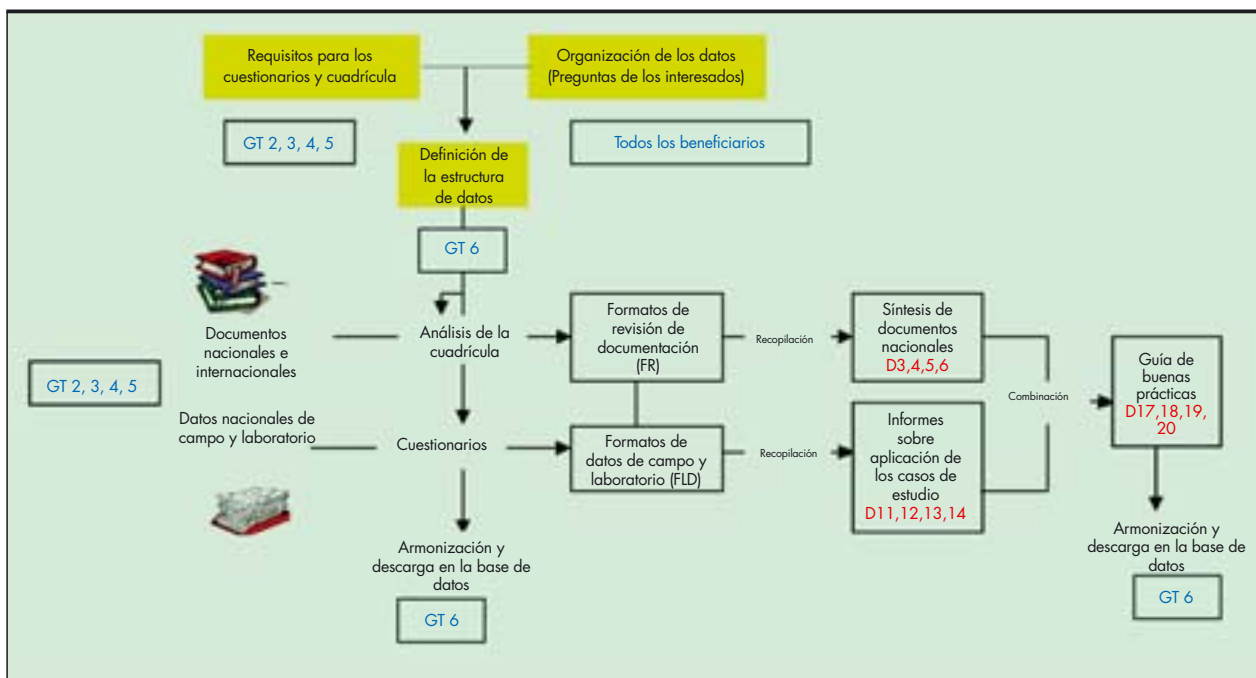


FIGURA 2. Esquema de trabajo del GT 6.

4. ESTADO ACTUAL DE LOS TRABAJOS

Se ha concluido la revisión de la documentación nacional existente por parte de los GT 2-5.

Los países participantes cuentan con **legislación medioambiental y normativa técnica** que acepta, con determinados requerimientos, el uso de materiales reciclados. Dada la riqueza de algunos países en **materiales naturales** para la fabricación de áridos, las **tasas por su extracción** o no existen (República Checa, Países Bajos) o son muy bajas (0,40 €/t en Dinamarca, 0,20 €/t en Francia). En algunos de los países participantes se exige un **canon de vertido** bastante elevado (46 €/t en Suecia, 50 €/t en Dinamarca), o bien esta práctica está directamente prohibida (Países Bajos, Bélgica). En cambio, en Eslovenia y la República Checa, las tasas de vertido son bajas (1,8 €/t y 3-7 €/t, respectivamente).

Los **porcentajes de material procedente de la carretera reciclado en la propia carretera** son muy altos en Bélgica (95%), Dinamarca (cercano al 100%), Países Bajos (cercano al 100% de los residuos pétreos) y Suecia (95%), mientras que los ratios de países como Francia y Eslovenia son considerablemente más bajos.

A continuación se comentan los aspectos más significativos de las conclusiones obtenidas por cada grupo de trabajo.

4.1. GRUPO DE TRABAJO 2: MATERIALES GRANULARES

En este grupo de trabajo están participando Alemania, Bélgica, Dinamarca, Eslovenia, Francia, Países Bajos, República Checa y Suecia.

La **técnica de demolición de capas granulares** es la excavación; no existe normativa al respecto, si acaso recomendaciones en algunos países, como en Suecia o Bélgica. Como norma de general aplicación, los áridos obtenidos deberán cumplir las mismas especificaciones que los naturales. A continuación se analizan las distintas técnicas de reciclaje dependiendo de cual sea el origen de los materiales.

4.1.1. Reciclaje de material granular en nuevas capas granulares

Con respecto a este tipo de reciclaje, se pueden hacer las siguientes apreciaciones:

- En los Países Bajos, incluso se reciclan materiales que ya provenían de procesos de reciclaje (2° y 3° ciclo de vida).
- En general no hay **regulaciones medioambientales** específicas para la aplicación de este tipo de reciclaje, ya que en las obras de nueva construcción usan mayoritariamente áridos naturales y no prevé que, al ser estos reciclados, puedan ser dañinos en nuevos usos.
- La mayoría de los países han desarrollado **especificaciones** para materiales de carretera, con requerimientos adicionales para áridos reciclados.
- **Proyectos de investigación** desarrollados en los Países Bajos han llegado a la conclusión de que, independientemente de la granulometría, el **grado de compactación** de este tipo de materiales afecta de manera importante al comportamiento del firme, y es más fácil de mejorar y controlar que otros factores.
- Durante el proceso de excavación se suele producir una pérdida en la homogeneidad de los materiales recuperados, ya que es probable que se produzcan mezclas de material procedente de las diferentes capas. Será necesario llevar a cabo controles rigurosos para verificar la homogeneidad de los materiales, y también para evitar la presencia de materiales contaminantes.

4.1.2. Reciclaje de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos en nuevas capas granulares

El reciclaje de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos en nuevas capas granulares se lleva a cabo en todos

los países participantes, si bien la cantidad total utilizada es pequeña. En relación con este tipo de reciclaje se puede concluir que:

- Los materiales granulares reciclados que contienen materiales tratados con conglomerantes hidráulicos machacados, presentan generalmente, comparados con los áridos naturales, baja resistencia del árido, textura muy rugosa, alta porosidad y absorción de agua. Además, la masa específica es más baja.
- Las consecuencias para el **proceso constructivo** de las características de este tipo de materiales son:
 - La humedad óptima para su compactación es más alta que para los áridos naturales.
 - Generalmente los materiales son más difíciles de compactar, debido a su gran angulosidad y características de fricción.
 - Debido a la menor resistencia de los áridos, se necesita especial cuidado durante la compactación, con objeto de evitar la aparición de materiales finos en la superficie de la capa. Por ello, se desaconseja el uso de rodillos vibratorios muy pesados y se recomienda la limitación del tráfico sobre capas granulares recicladas durante la construcción.
- Los **resultados de proyectos de investigación** desarrollados en países como Bélgica, Suecia y los Países Bajos, utilizando ensayos triaxiales en laboratorio y deflectómetros de impacto en la auscultación de tramos experimentales, han concluido que la actividad hidráulica residual de los áridos de hormigón machacado permite la mejora de su comportamiento con el tiempo.

4.1.3. *Reciclaje de material bituminoso en nuevas capas granulares*

El material bituminoso se recicla preferiblemente en nuevas mezclas bituminosas. Cuando se usa en capas granulares, suele ser para bases y subbases. Para este tipo de reciclaje, se pueden hacer las siguientes apreciaciones:

- Las **regulaciones medioambientales** existentes centran su atención en el posible contenido de alquitrán de los materiales bituminosos.
- Las **experiencias prácticas** llevadas a cabo en Suecia han llegado a la conclusión de que este tipo de materiales pueden aportar una capacidad de carga tan buena o mejor que la de los áridos naturales en bases o subbases. La estabilidad puede ser problemática si el contenido en betún es demasiado alto, o el material no está bien compactado. No está recomendado el uso donde se esperan cargas estáticas altas, ya que se incrementa el riesgo de deformación.

4.2. GRUPO DE TRABAJO 3: MATERIALES TRATADOS CON CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS

Los países participantes en el grupo de trabajo son Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovenia, Francia, Hungría, la República Checa y Suecia.

El reciclaje de materiales de la carretera en capas de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos comenzó en Europa a partir de los años 80. En la actualidad, el reciclaje de viejos pavimentos de hormigón en capas de bases tratadas con conglomerantes hidráulicos parece ser una técnica practicada en la mayoría los países participantes.

De las **técnicas de demolición de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos**, la más característica es la utilizada en la demolición de pavimentos de hormigón, que en general se machacan mediante guillotina o bola, se excava y se transporta a central de almacenamiento o planta de machaqueo. De cara a elegir la mejor técnica de demolición y reciclaje, se recomienda realizar un análisis previo de los materiales. La mayoría de los países no cuentan con especificaciones nacionales concretas para la demolición de pavimentos de hormigón, si bien algunos aportan prescripciones relacionadas con trabajos de rehabilitación.

4.2.1. *Reciclaje de material granular en nuevas capas de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos*

Esta técnica se practica en la mitad de los países participantes (Austria, Bélgica, Francia y la República Checa), concretamente en capas de bases y subbases. Algunos países cuentan con **regulaciones específicas en la materia**. En general, las propiedades exigidas son las mismas que para los áridos naturales y se presupone que el uso de este tipo de materiales no comporta un riesgo medioambiental adicional.

4.2.2. *Reciclaje de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos en nuevas capas de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos*

Este tipo de reciclaje se practica también en la mitad de los países participantes (Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia y la República Checa), existiendo experiencias en la utilización del material reciclado en pavimentos, bases y subbases.

De las numerosas experiencias e investigaciones en países como Alemania, Bélgica y la República Checa, se puede destacar la siguiente información:

- En la República Checa se ensaya el contenido de clorhídrico, sulfatos solubles al agua y reacción alcalina de los áridos reciclados ya que esas propiedades pueden afectar a la calidad del nuevo hormigón.
- El uso del árido reciclado influye en la consistencia de la mezcla del hormigón necesiéndose un incremento de la dosificación de agua.
- La densidad del hormigón, la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad se ven, en general, afectados a la baja.
- Una alta proporción de áridos finos procedentes de hormigón machacado puede influir en el comportamiento a la deformación disminuyendo el valor del módulo de elasticidad e incrementando la fluencia y retracción. Cuanto más alta es la proporción de árido reciclado, mayor es la retracción del nuevo hormigón.
- En Bélgica, el material fino (0/4) procedente de hormigón machacado estabilizado con cemento y usado en subbases ha presentado una buena capacidad de carga.

4.2.3. *Reciclaje de material bituminoso en nuevas capas de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos*

Esta técnica se practica en Alemania, Austria, Bélgica, Eslovenia, Francia y la República Checa, existiendo en todos estos países regulaciones técnicas al respecto.

- En **Austria**:
 - Está permitido el uso en capas inferiores de áridos procedentes de hormigón triturado con un contenido

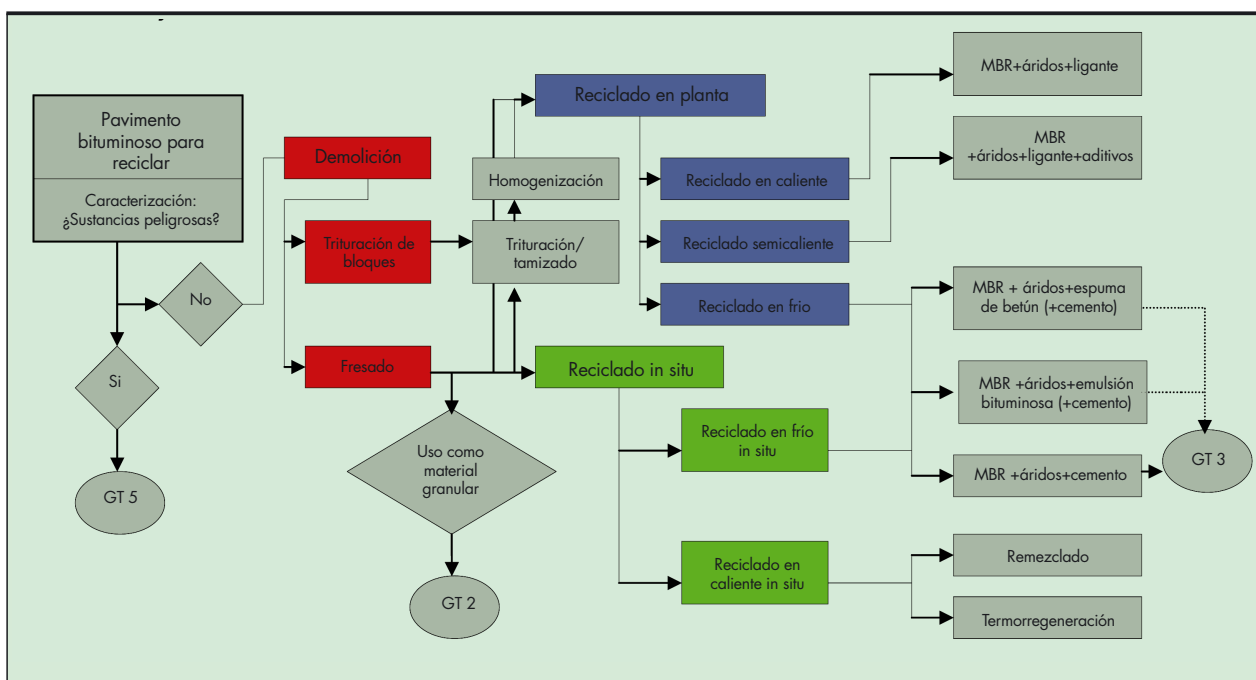


FIGURA 3. Esquema de las técnicas de reciclado de materiales bituminosos y relación con materiales tratados en otros grupos de trabajo.

máximo del 20% de árido procedente de material bituminoso (Tramo “Salzburg Süd” de la autopista A10 “Tauernautobahn”).

- Según los requerimientos austriacos, a mayor contenido de material asfáltico en el árido reciclado, menor relación agua/ cemento.
- Algunas experiencias muestran incluso mejor resistencia a la flexión y a la compresión para materiales reciclados, con una fracción del 4% de material bituminoso, que los hormigones con áridos naturales.
- Mayores porcentajes ensayados (19 y 33) incrementan la resistencia a la flexión, pero bajan la resistencia a compresión respecto a hormigones con áridos naturales. (Autopista A-1 entre Thalgau y Mondsee).
- **En Bélgica:**
 - La principal diferenciación se hace entre material bituminoso que contiene alquitrán o betún (sin alquitrán). El primero sólo se podrá reciclar mediante reciclado en frío, y nunca en nuevas capas bituminosas, ya que está prohibido.
 - La reutilización de los materiales bituminosos se lleva a cabo mezclándolos con arena (15%) y después tratándolos con cemento (5%).
 - Se han construido varios tramos de prueba con subbases de material granular con material asfáltico (70-80%) tratado con cemento (3-7%). Tras varios años de uso, estos firmes no han presentado ningún signo de deterioro.
- Tanto en **la República Checa** (TP 208: Reciclado in situ en frío de capas de firmes flexibles) como en **Francia** (SETRA-CFTR) se han publicado especificaciones que describen técnicas de reciclaje in situ de este tipo de material.

4.3. GRUPO DE TRABAJO 4: MATERIALES BITUMINOSOS

En este GT están participando Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Hungría, Irlanda, Polonia, Portugal, Reino Unido, Serbia y Suecia.

En la Figura 3 se presenta un esquema de las técnicas de reciclado de materiales bituminosos y su relación con materiales tratados en otros grupos de trabajo.

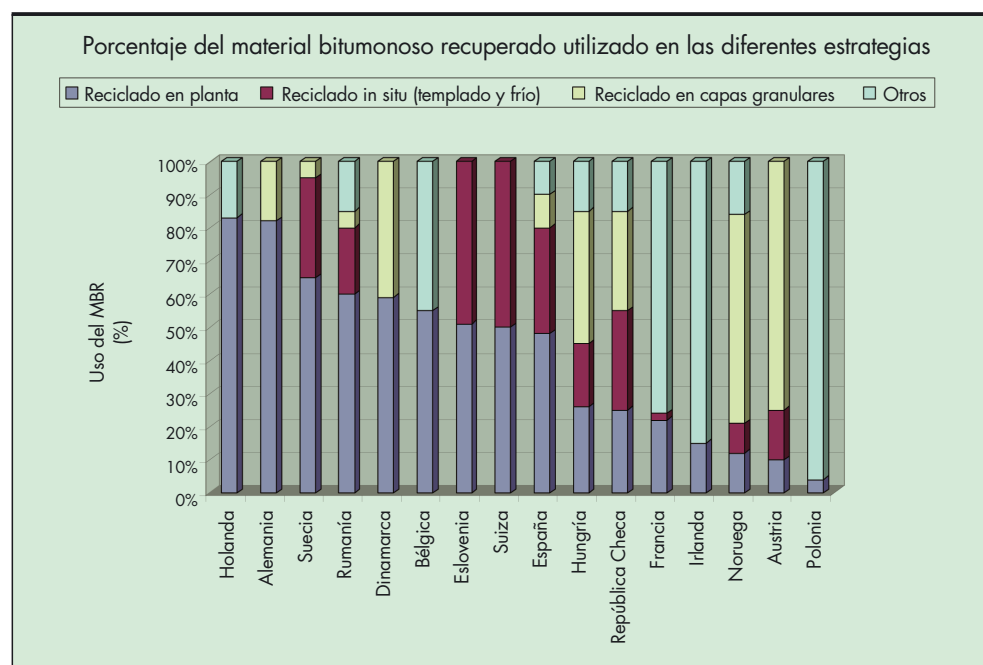
En Europa, se produjeron unas 333 millones de toneladas de mezclas bituminosas en caliente (MBC) en 2008. En el mismo año, se generaron 51 millones de toneladas de material bituminoso recuperado (MBR) procedentes de trabajos de mantenimiento de carreteras o demolición para reciclar. En Bélgica, el 44% del total de las mezclas bituminosas fabricadas contienen MBR, mientras que en España el porcentaje es del 8%. La Figura 4 muestra las diferencias en la aplicación de las diferentes estrategias de utilización del material a reciclar, según datos de EAPA (European Asphalt Pavement Association), Asociación Europea de Pavimentos Asfálticos.

La **técnica utilizada en la demolición de capas de mezclas bituminosas** tiene gran influencia sobre la calidad del material bituminoso recuperado (MBR). Las principales opciones son el fresado (de capa en capa, o más de una capa a la vez), o bien la demolición en bloques. Para asegurar una buena calidad del material reciclado, se deberían eliminar las marcas viales antes de la demolición.

4.3.1. Reciclado de materiales granulares y materiales con conglomerantes hidráulicos en MBC

La mayoría de los países han señalado que en MBC no es habitual el **uso de áridos reciclados procedentes de material granular**, ya que estos materiales se emplean generalmente en nuevas capas granulares. Este uso es más práctico ya que comporta menores costes de transporte de material y evitan tratamientos posteriores. Ocurre de igual forma con el **reciclado de materiales con conglomeran-**

FIGURA 4. Reciclado de materiales bituminosos en Europa. Fuente: EAPA (European Asphalt Pavement Association), 2008.



tes hidráulicos en MBC, para el cual no se han definido requerimientos técnicos específicos diferentes a los de los áridos naturales.

4.3.2. Reciclado del material bituminoso recuperado (MBR) en MBC

Se trata del uso más generalizado de reutilización para este tipo de materiales en todos los países participantes, salvo en Serbia. Los requerimientos para el MBR se especifican en la norma europea EN 13108-8.

Para que las MBC que contienen MBR satisfagan los mismos requisitos exigidos a las MBC convencionales, se deben cumplir requerimientos adicionales para ajustar la granulometría o asegurar la homogeneidad. Muchos países han introducido requisitos para la homogeneidad, relacionados con el contenido de betún y los ensayos de penetración y punto de reblandecimiento del betún recuperado.

Otros límites para la proporción de uso de MBR vienen marcados por la tipología de la central de fabricación de mezclas bituminosas o el tipo de capa en que se emplee la nueva mezcla reciclada. Se han llevado a cabo numerosas **investigaciones para determinar el contenido máximo de MBR** en las mezclas bituminosas. En términos generales, y según **estudios de laboratorio**, la incorporación de MBR en elevados porcentajes a las mezclas no tiene efectos negativos, sin embargo, en determinados casos las propiedades finales del material empeoraron (mayor sensibilidad al agua, reducción de la resistencia a la fatiga y de la resistencia a las deformaciones plásticas). **A escala real**, se han documentado experiencias positivas llevadas a cabo con mezclas bituminosas que contenían hasta el 45% de MBR, estas mostraron propiedades iguales o mejores en comparación con mezclas bituminosas sin MBR.

Las investigaciones también han determinado que son precisas modificaciones en el proyecto de la mezcla bituminosa si se usa este tipo de material. Así, para determinar el contenido máximo posible de MBR, se han aplicado nuevas

herramientas de diseño, además de nuevas fórmulas granulométricas.

También hay que tener en cuenta la gran influencia del tiempo de mezclado en el resultado de las propiedades de la mezcla bituminosa. Para desmenuzar completamente el MBR, se requiere un tiempo prolongado de mezclado comparado con los procedimientos habituales de mezcla correspondientes a materiales vírgenes.

4.3.3. Reciclado en planta del material bituminoso recuperado (MBR) en mezclas frías, semicalientes y templadas

Generalmente, las diversas técnicas de **reciclado en frío** permiten porcentajes de reciclado del 100%, y el material resultante se utiliza normalmente en capas de base. Las características mecánicas de este tipo de mezclas difieren considerablemente de las MBC, estando condicionadas por el tipo de ligante utilizado (emulsión bituminosa, espuma de betún o cemento). Las mezclas en frío con emulsión bituminosa necesitan un tiempo de curado hasta alcanzar las características finales. Este tiempo de curado depende de las condiciones de humedad y temperatura, y puede variar desde algunos días a meses.

El **reciclado en mezclas semicalientes y templadas** requiere de otro tipo de técnicas:

- El empleo de aditivos especiales para reducir la viscosidad del betún permite reducir la temperatura de extendido y la compactación de la mezcla bituminosa, así como el uso de mayores proporciones de MBR evitando el calentamiento y reduciendo consecuentemente el envejecimiento.
- Calentamiento del MBR antes de la adición de la emulsión bituminosa para reducir el tiempo de curado.

4.3.4. Reciclado in situ

Existen dos técnicas de reciclado in situ, en frío y en caliente. Bélgica y Francia tienen más o menos abandonada la técnica del **reciclado in situ en caliente** principalmente por razones medioambientales y de seguridad de los opera-

rios. La experiencia de Polonia enfatiza la importancia de la caracterización de las capas recicladas, ya que en algunos casos los pavimentos reciclados mostraron daños similares a los que tenía el pavimento antes de reciclar.

4.4. GRUPO DE TRABAJO 5: OTROS MATERIALES NORMALMENTE NO REUTILIZADOS EN CARRETERAS

En este grupo de trabajo están participando Alemania, Bélgica, Eslovenia, España, Francia, Irlanda, Polonia, Portugal, la República Checa y Suecia.

El GT 5 está enfocado a una gran variedad de materiales: materiales que dificultan la demolición y/o reciclado de las carreteras, residuos peligrosos, subproductos industriales, caucho procedente de neumáticos usados así como suelos y sedimentos contaminados. A continuación se analiza por separado algunos de ellos.

4.4.1. Residuos peligrosos (amianto y alquitranes)

Las mezclas bituminosas con alquitrán fueron utilizadas en algunos países europeos en el pasado. En la actualidad, la mayoría de los países prohíben usar materiales que contengan alquitrán en el reciclado en caliente. El reciclado en frío con cemento, emulsiones y otros ligantes parece ser la forma más común de reciclar este tipo de materiales. El amianto es un material peligroso para la seguridad y salud de las personas, estando prohibido su utilización o reciclado.

4.4.2. Subproductos industriales (escorias y cenizas)

Las propiedades mecánicas y medioambientales de las escorias metalúrgicas han sido estudiadas en varios proyectos de investigación suecos. Más concretamente, una sección de carretera de 10 años de edad que contenía **escorias de horno eléctrico** en la capa de subbase. Entre las conclusiones cabe destacar que este tipo de subproductos evolucionan con el tiempo debido a procesos como la carbonatación, lo que hace decrecer el pH, con la consecuente variación en las propiedades de lixiviación.

En Suecia es donde más investigaciones se han llevado a cabo relacionadas con **escorias de incineración**. Un resultado a tener en cuenta es que la comparación de lixiviados de escorias procedentes de incineración de residuos municipales en tramos de prueba reales y ensayos de laboratorios mostró diferencias significativas.

Las **cenizas volantes** subproducto de la incineración de carbón en centrales térmicas pueden ser usadas como conglomerantes hidráulicos en carreteras, dadas sus propiedades pozolánicas.

4.4.3. Caucho procedente de neumáticos usados

Los **neumáticos fuera de uso triturados** pueden utilizarse como: material de relleno en barreras antiruido, aislante térmico, material de drenaje y construcción de pavimentos elásticos en instalaciones deportivas. Sin embargo, la principal aplicación en países como España y Portugal es el uso del caucho en polvo procedente de los neumáticos en mezclas bituminosas.

El **tratamiento previo** de los neumáticos implica la separación de los componentes metálicos y textiles y su posterior fragmentación en partículas de menores dimensiones, dependiendo cual sea su uso final. El proceso para su pulverización puede consistir en un tratamiento mecánico o criogénico.

El Instituto Geotécnico Sueco (Swedish Geotechnical Institute, SGI) ha publicado un manual que describe las perspectivas tanto técnicas como medioambientales del uso de

neumáticos troceados como material de relleno en terraplenes y barreras antiruido, aislante térmico en carreteras, material de drenaje en vertederos y para pavimentos elástico en instalaciones infantiles y deportivas.

Respecto a los **aspectos medioambientales** relacionados con este tipo de usos, entre los metales contenidos en los neumáticos se encuentran el hierro y zinc. Este hecho ha de ser tenido en cuenta cuando estos materiales se usan en rellenos, dadas las altas concentraciones encontradas en estudios de lixiviación.

Las propiedades elásticas del caucho contenido en los neumáticos hacen que sea interesante su **uso en la producción de mezclas bituminosas**. El origen del caucho y su proceso de manufactura tienen una gran influencia sobre las características del polvo de caucho, como la granulometría o la forma de la partícula, lo que afectará a su vez al comportamiento del material bituminoso.

Existen **dos tipos de procesos** para la utilización del caucho en polvo en la fabricación de mezclas bituminosas: La modificación del betún original con el caucho antes de introducirlo en el mezclador de la planta (**vía húmeda**), o la incorporación del caucho triturado directamente al mezclador, junto con los áridos (**vía seca**). La mayor parte de las experiencias en España y Portugal se han llevado a cabo mediante vía húmeda.

En cuanto a las **regulaciones nacionales**, las especificaciones para construcción de carreteras de Portugal, España y la República Checa hacen referencia al betún modificado con caucho. Los requisitos exigidos para los ligantes que incorporan caucho son los habituales para los modificados con polímeros, en ocasiones con requerimientos adicionales, como por ejemplo, los relacionados con la viscosidad.

En lo que se refiere a las **experiencias llevadas a cabo por la vía seca**, en Polonia se practican desde principios de los años 70, donde el caucho se incorpora como árido de tamaño de grano máximo 12,8 mm; el contenido de caucho oscila entre el 4 y 10% respecto a la masa de áridos. Las aplicaciones por vía seca de polvo de caucho en España se limitan a carreteras con poco tráfico. En nuestro país, el primer caso práctico tuvo lugar en 1994, utilizando caucho con un tamaño de partícula menor de 2 mm. Con respecto a los resultados obtenidos, ambos países informan de que en general las experiencias han sido positivas.

La información más detallada sobre **las mezclas bituminosas con caucho fabricadas mediante vía húmeda** proviene de España y Portugal. En ambos países, las mezclas asfálticas fabricadas con betún modificado de alta viscosidad con alto contenido en caucho (BBA/BMVAC) se usan en trabajos de pavimentación desde la década de los 90. En nuestro país, los betunes modificados con caucho de alta viscosidad (BMVAC) se utilizan principalmente en la fabricación de mezclas bituminosas antifisuras, en labores de mantenimiento, reparación o rehabilitación de firmes semirígidos o de hormigón. La mayor ventaja de su uso reside en su resistencia a la fisuración y su capacidad para evitar su propagación, además del incremento de su durabilidad en comparación con las mezclas convencionales.

Por último, hay que indicar que en el momento de la redacción del presente artículo, el conjunto de los trabajos se encuentra bastante avanzado, estando la base de datos en pleno desarrollo.

4.5. GRUPO DE TRABAJO 6: DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS

En el momento de la redacción del presente artículo el desarrollo de la base de datos se encuentra muy avanzado.



FIGURA 5. Página de inicio de la base de datos.

5. CONCLUSIONES

El proyecto DIRECT MAT establecerá un marco de referencia en lo que a mejores prácticas de demolición y reciclaje de materiales de la carretera en la propia carretera se refiere. Este objetivo se conseguirá mediante la recopilación de la información existente gracias a la puesta en común de experiencias locales, la edición de Guías de Buenas Prácticas, y compartiendo todos esos elementos en una Base de datos. El trabajo emprendido servirá también para identificar futuras necesidades de investigación de cara a conseguir una optimización global del sistema.

6. REFERENCIAS

Descantes, Yannick; Arm, Maria; de La Roche, Chantal; Pihl, Knud A.; Habil Laszlo, Gaspar; Mollenhauer, Konrad; Antunes, Maria de Lurdes; de Bock, Luc; McNally, Ciaran. 2009. DIRECT-MAT: Bringing together best practice across Europe on the dismantling and recycling of road materials.

DIRECT-MAT (2010).WP2, Deliverable Report D3, Synthesis of national documents on existing knowledge regarding recycling road materials in unbound layers.

DIRECT-MAT (2010).WP3, Deliverable Report D4, Synthesis of national reports on demolition hydraulically bound layers and recycling road materials in hydraulically bound layers.

DIRECT-MAT (2010).WP4, Deliverable Report D5, Synthesis of national and international documents on existing knowledge regarding the recycling of reclaimed road materials in asphalt.

DIRECT-MAT (2010).WP5, Deliverable Report D6, Synthesis report of national and international document review.

DIRECT-MAT (2009).WP1, Deliverable Report D2, Quality Assurance Plan.

Folleto, posters y presentaciones disponibles en <http://direct-mat.fehr1.org>.