CATÁLOGO DE RESIDUOS UTILIZABLES EN CONSTRUCCIÓN

CEDEX







RECICLADO DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN





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 [30] 2

3. VALORIZACIÓN 2

3.1 DEMOLICIÓN [2, 3, 4, 5, 6] 2

3.2 PROCESAMIENTO EN PLANTAS DE MACHAQUEO [2, 3, 4, 5, 6] 5

3.3 PROPIEDADES DEL MATERIAL PROCESADO [3, 6, 7, 8, 9] 6

3.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS 6

3.3.2 PROPIEDADES QUÍMICAS 6

3.4 APLICACIONES 7

3.4.1 OBRAS DE TIERRA Y TERRAPLENES [10] 7

3.4.2 FIRMES DE CARRETERAS [1, 2, 3, 4, 5, 6, 11] 8

3.4.3 FABRICACIÓN DE HORMIGONES 8

3.5 OBRAS REALIZADAS [1, 2, 4, 15, 16, 25, 26, 27, 29, 31] 9

4. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES [33] 11

5. ASPECTOS ECONÓMICOS 12

6. NORMATIVA TÉCNICA [18, 19, 32] 14

7. REFERENCIAS 16

8. ENTIDADES DE CONTACTO 18

AGRADECIMIENTOS 18

ÍNDICE DE IMÁGENES

FOTOGRAFÍA 1. DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN MEDIANTE EQUIPOS DE RESONANCIA [FUENTE: BLOG.VISE.COM.MX] 1

FOTOGRAFÍA 2. MICROFRACTURA POR RESONANCIA (RUBBLIZING) [FUENTE: RMI] 5

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TARIFAS 2025. PLANTA DE TRATAMIENTO RCD CASALE (ZARAGOZA) 13

TABLA 2. TARIFAS 2025. PLANTA DE TRATAMIENTO RCD ARENAS MALGO (CORUÑA). 13

TABLA 3: TARIFAS 2025. PLANTA DE TRATAMIENTO DE RCD DESCOMCASAR (GUADALAJARA) . 13

TABLA 4: TARIFAS 2025 (SALIDA DE ÁRIDOS RECICLADOS). PLANTA DE TRATAMIENTO DE RCD ARENAS MALGO (A CORUÑA) 14



Fotografía 1. Demolición de pavimentos de hormigón mediante equipos de resonancia
[Fuente: blog.vise.com.mx]

1. ORIGEN [(1)]

Se entiende como reciclado de pavimento de hormigón, el proceso de utilización del material procedente de su demolición en la construcción de nuevas capas de un firme.

Según la Ley 7/2022 [(33)], de residuos y suelos contaminados para una economía circular, el término reciclado se refiere a "toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad".

Dada la limitada cantidad de árido reciclado procedente de pavimentos de hormigón que cumple las especificaciones técnicas exigidas para su empleo en pavimentos de hormigón con la misma finalidad, se incluyen también en este documento otras aplicaciones que logran el correcto aprovechamiento como material para carretera en determinadas capas de mezclas asfálticas, explanadas, terraplenes o cualquier otra obra de tierra de la carretera.

El reciclado se realiza sobre firmes agotados, que han perdido en gran medida sus prestaciones iniciales. En el caso de firmes con pavimento de hormigón, en función del nivel de su deterioro se pueden plantear distintas alternativas de conservación: desde reparaciones locales del pavimento existente, en todo su espesor o en una parte, la estabilización de las losas mediante

inyecciones, el fresado, el sellado de grietas y juntas, el drenaje del firme y la reparación de arcenes, hasta el refuerzo del firme con otros pavimentos, asfálticos o de hormigón, o incluso la reconstrucción completa.

Si el análisis del estado del firme lleva a seleccionar como alternativa más adecuada una reconstrucción del pavimento existente, se debe considerar la posibilidad de reciclarlo, reutilizando el material, una vez tratado, en las capas del nuevo firme. Esta decisión deberá basarse en el coste y la disponibilidad de áridos en el entorno de la obra, la idoneidad de los áridos procedentes del reciclado para el uso al que se vaya a destinar, los costes de llevar el material a vertedero y las consideraciones medioambientales.

2. VOLUMEN Y DISTRIBUCIÓN [30]

Este tipo de reciclado se plantea en obras concretas de reconstrucción de firmes de pavimento de hormigón.

En España, la Red de Carreteras del Estado (RCE) cuenta con 1.632 km de calzada con firme rígido (4,7 % sobre el total de las calzadas de la RCE). El volumen estimado de pavimento de hormigón es 2,3 x 10^6 m^3 (sin contar el hormigón de base). Estos datos se han extraído del "Informe Resumen del Inventario de los Firmes de la RCE" del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana del año 2021 y hay que tener en cuenta que incluyen los firmes sobre tableros de estructuras, que no serían reciclables.

Además, en España, el pavimento de hormigón es la solución habitual en la construcción de plataformas portuarias, zonas de estacionamiento de aviones en aeropuertos y pavimentos industriales, así como una solución empleada en firmes urbanos.

En el apartado 3.5 de esta ficha se recogen distintas experiencias, tanto europeas como nacionales, sobre reciclado de pavimentos de hormigón.

3. VALORIZACIÓN

El hormigón es un material 100 % reciclable. El proceso de reciclado de pavimentos de hormigón lleva consigo su demolición y posterior procesamiento en plantas de machaqueo, para la obtención de áridos utilizables en la construcción de nuevas capas de firme.

Las consideraciones recogidas en los siguientes apartados son también válidas para el reciclado de hormigón magro vibrado, empleado en capas de base bajo pavimentos de hormigón compactado, y en gran medida, gravacemento y suelocemento.

3.1 DEMOLICIÓN [2, 3, 4, 5, 6]

En la demolición de los firmes de hormigón deben extraerse separadamente los materiales procedentes de las distintas capas y tomar precauciones para eliminar aquellos materiales que no sean aprovechables para nuevos firmes de hormigón.

Por otra parte, con objeto de aplicar la técnica más adecuada de demolición y reciclaje, es aconsejable llevar a cabo estudios previos de los materiales que se van a demoler, mediante:

- Recopilación de información técnica existente: año de construcción, sección de firme, cargas de tráfico soportadas (especialmente de vehículos pesados), operaciones de mantenimiento llevadas a cabo, etc.

- Inspección visual para evaluar posibles anomalías existentes en las capas del firme.

- Recopilación de información sobre la cantidad y calidad del material que se va a reciclar mediante la extracción de testigos y la realización de ensayos in situ y en laboratorio.

Con la demolición del pavimento se trata fundamentalmente de reducir el material a un tamaño que haga fácil su manejo y transporte hasta una planta de machaqueo, en el caso de optar por el reciclaje en planta, y separar en la medida de lo posible los elementos metálicos que contenga, además de las impurezas de cualquier tipo.

Existen en la actualidad diferentes equipos que se pueden utilizar en la demolición de pavimentos de hormigón. Su selección depende de las circunstancias de cada obra: tipo de hormigón, su resistencia e integridad, la utilización que se vaya a dar al material demolido, la necesidad de no dañar la capa de base, etc. Los equipos más habituales son los martillos hidráulicos, los fracturadores de impacto y las mandíbulas hidráulicas; en los últimos años se han desarrollado nuevos equipos, como los fracturadores de chorro de agua a alta presión y los de resonancia.

Los **martillos hidráulicos** montados en retroexcavadoras, a pesar de su bajo rendimiento, en torno a los 50 m^2/h, se han utilizado habitualmente en la demolición de pavimentos de hormigón, fundamentalmente cuando las losas tienen un espesor importante como sucede en los aeropuertos.

Los **fragmentadores de impacto** rompen el pavimento al dejar caer sobre las mismas guillotinas o mazas metálicas. En el rendimiento de estos equipos influyen una serie de factores, como el espesor de las losas, la resistencia del hormigón, la cantidad y distribución del acero y la capacidad de soporte de la base de apoyo del pavimento.

En cada obra habrá que ajustar el número de pasadas del fragmentador, su velocidad de avance y la altura de caída de las masas. La energía de impacto debe también controlarse para minimizar el daño de las capas subyacentes y las obras de drenaje. El espaciamiento habitual de los impactos es de 60 cm en losas de hormigón en masa, reduciéndose a unos 15 cm en las losas armadas, para poder retirar las armaduras haciendo posible su carga con pala. En losas de hormigón en masa de 20 cm de espesor se obtienen rendimientos del orden de 150 m^2/h.

Las **mandíbulas hidráulicas,** montadas sobre equipos tractores, son capaces de ejercer una fuerza en su cierre sobre el material aprisionado, que procede de la demolición primaria,

reduciendo sensiblemente su tamaño y facilitando, en su caso, la separación de armaduras antes del procesamiento en plantas de machaqueo.

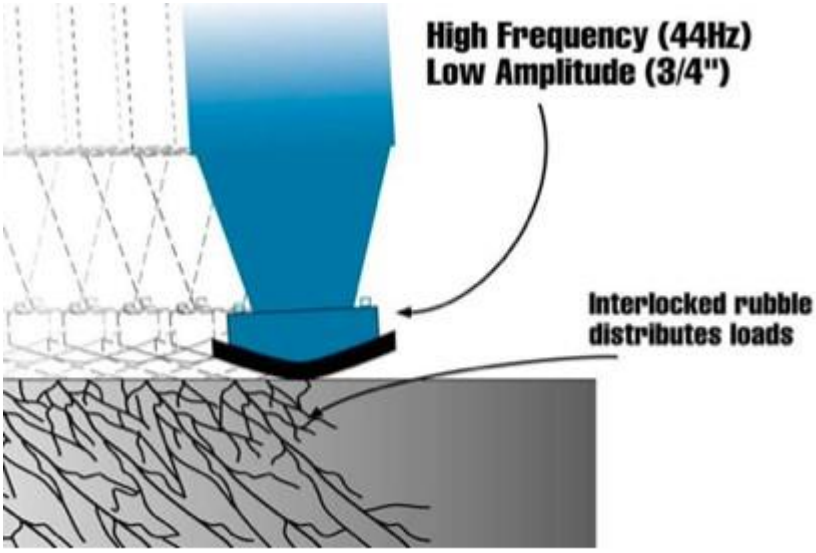
Los **fracturadores de chorro de agua a alta presión,** con rendimientos de aproximadamente 10 m^2/h, están indicados cuando se trata de eliminar un cierto espesor de las losas afectadas por deterioros superficiales, en pavimentos sobre tableros de puentes y en hormigón armado, rompiendo el hormigón que rodea a las armaduras, sin dañarlas. Con estos equipos se consigue un coeficiente de reducción muy alto, y no afecta a la integridad de las capas subyacentes de la zona tratada.

Los **fracturadores por resonancia** permiten la trituración de losas de hormigón armado de hasta 30 cm de espesor en trozos no superiores a 25 mm, con rendimientos de 400 a 500 m^2/h, así como la completa separación de la armadura y el hormigón.

Para el reciclaje en planta, una vez fracturado el pavimento de hormigón, es necesario retirarlo, generalmente por medio de rippers, separar los elementos metálicos, en su caso, y cargar el material para transportarlo a las plantas de machaqueo. Generalmente, la separación de las armaduras de los pavimentos de hormigón armado se realiza "in situ", mientras que la de los pasadores y barras de atado se suele hacer en las plantas. La carga del material conviene hacerla con palas de neumáticos, que afectan menos a las bases de apoyo.

Equipos avanzados de **microfractura por resonancia** permiten la rotura eficiente y controlada del pavimento de hormigón. Mediante técnicas de fragmentación por "rubblizing" y refuerzo del pavimento de hormigón con mezclas bituminosas es posible reutilizar in situ el 100 % del pavimento de hormigón transformando éste en una capa granular de alta resistencia. En el apartado 10.4.2. de la Norma 6.3 IC: Rehabilitación de firmes del Ministerio de Fomento, se prevé la rehabilitación estructural de un firme que tenga pavimento de hormigón mediante rotura controlada, asentamiento del firme existente y recrecimiento con mezcla bituminosa.

La técnica consiste en aplicar sobre el pavimento de hormigón un martillo demoledor que aplica una carga dinámica concentrada, de baja amplitud y alta frecuencia. El agrietamiento por resonancia se propaga hacia abajo en ángulos de aproximadamente 45° hasta la base de la losa, sin afectar a las capas subyacentes del pavimento en espesores variables de entre 150 y 550 mm. La porción superior del pavimento afectado (aproximadamente el primer cuarto de su espesor) queda fracturada en tamaños inferiores. A continuación, se lleva a cabo un planchado con un compactador de rodillos para eliminar posibles partículas sueltas en la superficie, pero sin llegar a compactar la capa de material triturado. Se obtiene un material conformado por trozos angulares y entrelazados con una alta trabazón, similar en capacidad estructural a una base granular con alto módulo. El proceso constructivo es rápido y permite alcanzar rendimientos de entre 5000 y 7000 m^2 por jornada, en función de la planificación de la obra, que son muy superiores al método convencional de demolición mediante martillo neumático; y no genera daños en estructuras bajo el pavimento o el entorno.



Fotografía 2. Microfractura por resonancia (Rubblizing) [Fuente: RMI]

3.2 PROCESAMIENTO EN PLANTAS DE MACHAQUEO [2, 3, 4, 5, 6]

El machaqueo del material demolido puede hacerse en plantas fijas o móviles instaladas en la propia obra.

Las **plantas fijas** son similares a las utilizadas para áridos naturales. Tras una primera fase de separación de los bloques con exceso de armadura metálica o demasiado grandes, el material se somete a un machaqueo primario mediante machacadoras de mandíbulas; en la cinta de salida de éstas se coloca un separador magnético que recupera los elementos metálicos, barras y pasadores de acero. El proceso continúa con el machaqueo secundario, en el que se utilizan machacadoras de impacto, obteniéndose, tras su cribado y clasificación, un material de granulometría adecuada a su utilización posterior. Como ejemplo de la clasificación del material obtenido, en Austria se almacenan separadamente las fracciones correspondientes a 0/4 mm, 4/16 mm y 16/32 mm.

Las **plantas móviles** están constituidas en la mayoría de los casos por una machacadora de mandíbulas o de impacto sobre orugas, que se mueve en función del ritmo de realización del trabajo. La alimentación se realiza mediante una pala de carga que accede por un terraplén o por rampas móviles. En estas plantas puede producirse una variación más amplia en el huso granulométrico debido a los desgastes y ajustes periódicos de la machacadora.

Las plantas móviles constituyen la solución más económica para grandes proyectos debido a la reducción de gastos de transporte que se obtiene.

En cualquier caso, la calidad de la nueva capa de firme depende, en parte, del resultado del proceso de machaqueo y mezclado.

3.3 PROPIEDADES DEL MATERIAL PROCESADO [3, 6, 7, 8, 9]

El árido obtenido del machaqueo de hormigón no presenta unas características tipo, ya que sus propiedades son muy variables dependiendo de la calidad del hormigón original, así como del proceso al que haya sido sometido.

Propiedades del material original como su resistencia a compresión, el tipo de árido y cemento, la edad, o las condiciones ambientales de la antigua construcción, tienen influencia en las propiedades del material reciclado.

Por otro lado, al igual que para los áridos naturales, el proceso de machaqueo es de vital importancia, ya que la granulometría obtenida tendrá también influencia sobre las propiedades del material final.

3.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS

La granulometría del material procesado debe adaptarse a las especificaciones que se exigen para las distintas aplicaciones. Si no se controla el proceso de trituración y cribado, el contenido de finos puede superar el 10 %, afectando a la trabajabilidad y aumentando la demanda de agua y aditivos.

El árido reciclado, al proceder del machaqueo, tiene formas más angulares e irregulares que los áridos naturales. Además, debido al contenido de mortero adherido a los áridos naturales con los que se fabricó el hormigón, tiene una textura superficial más rugosa que mejora su adherencia en mezclas con cemento, pero dificulta su trabajabilidad.

La presencia de mortero de cemento adherido aumenta la porosidad del árido reciclado y disminuye la densidad aparente (entre 2100 y 2400 kg/m^3, menor que la del árido natural, que suele estar entre 2500 y 2700 kg/m^3). Como consecuencia, la capacidad de absorción de agua es más alta que la de los áridos naturales del mismo tamaño, aumentando la demanda de agua en mezclas de hormigón entre un 4 % y un 8 %, frente a valores típicos de entre 1 % y 2 % en el árido natural.

En general, este tipo de materiales muestran una mayor variabilidad con el tiempo de sus propiedades físicas. Por otra parte, algunos proyectos de investigación han señalado que los métodos tradicionales de ensayo pueden no ser del todo apropiados para evaluar el comportamiento de los áridos reciclados, por ejemplo, en lo relacionado con la sensibilidad a ciclos de hielo-deshielo.

3.3.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

La composición química de los áridos reciclados refleja en gran medida la de los áridos que constituyen el hormigón de partida. Los componentes químicos del cemento son la causa de la alta alcalinidad de estos materiales en contacto con el agua (pH > 11).

Además, si la alcalinidad es suficientemente alta se podrían llegar a dar expansiones y fisuraciones no deseadas en el hormigón fabricado con áridos reciclados. En cualquier caso, no se deben reciclar aquellos pavimentos de hormigón que hayan presentado rápidos deterioros relacionados con reacciones álcali-sílice, por su mala calidad.

El material reciclado puede estar contaminado con cloruros procedentes de las sales utilizadas como fundentes en la vialidad invernal o con sulfatos, si proviene de ambientes agresivos o si el pavimento ha estado en contacto con suelos ricos en ellos. En el caso de los sulfatos, si no se controla el contenido máximo, se puede producir expansión y fisuración en el nuevo hormigón. En el caso de los cloruros, se pueden originar problemas de corrosión si el destino del reciclado es hormigón armado.

Si el pavimento ha estado en zonas contaminadas por derrames de aceite, combustibles o residuos urbanos, puede contener sustancias orgánicas que generen un impacto ambiental, afectando también a la hidratación del cemento y a la adherencia en los nuevos hormigones, por lo que no se recomienda el reciclaje en este caso.

3.4 APLICACIONES

3.4.1 OBRAS DE TIERRA Y TERRAPLENES [(10)]

Los áridos reciclados procedentes de la demolición de pavimentos de hormigón pueden utilizarse en la ejecución de **terraplenes y rellenos**, pero esta valorización no es coherente con el principio de jerarquía, ya que existen otras valorizaciones que aprovechan mucho mejor las posibilidades de este tipo de materiales.

En España, el PG-3 (Artículo 330.3) indica que se utilizarán materiales que permitan cumplir las condiciones básicas siguientes:

- Puesta en obra en condiciones aceptables.
- Estabilidad satisfactoria de la obra.
- Deformaciones tolerables a corto y largo plazo, para las condiciones de servicio que se definan en Proyecto.

Asimismo, se permite la utilización en terraplenes de los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan las especificaciones de este artículo y que sus características físico-químicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto.

También puede servir de orientación lo indicado en la norma francesa de obras de tierra (NF P11-300):

- Se debe tener en cuenta la homogeneidad, granulometría y ausencia de armaduras y contaminantes, para su empleo en terraplenes.

- Para el empleo en capas de coronación en la formación de explanadas, la norma francesa requiere la eliminación de los tamaños superiores a 50 mm y de los finos, si el azul de metileno es superior a 0,2 g/100 g de suelo seco.

Algunas administraciones norteamericanas de carreteras permiten el empleo de pavimento de hormigón demolido, siempre que no se supere un tamaño máximo (150 - 200 mm). Para evitar problemas de corrosión, estos materiales no deben estar en contacto con tuberías de aluminio o acero galvanizado por las que circulen corrientes de agua.

3.4.2 FIRMES DE CARRETERAS [1, 2, 3, 4, 5, 6, 11]

La aplicación más común de los áridos reciclados procedentes de pavimentos de hormigón es en **capas de base o subbases granulares de nuevos firmes, tratadas o sin tratar con conglomerantes hidráulicos.** Su proceso de almacenamiento y puesta en obra debe ser similar al de los áridos convencionales, si bien se debe tener especial cuidado para evitar la segregación de los áridos reciclados.

Cuando se utilizan en capas granulares sin tratar, aunque inicialmente la capacidad de soporte puede ser menor que la de las capas granulares convencionales, debido a la mayor dificultad para su compactación, a lo largo del tiempo estas capas se suelen cementar, igualando o superando la capacidad de soporte de otros materiales granulares. En ocasiones se debe mezclar el material reciclado con arena de aportación para mejorar su curva granulométrica y su trabajabilidad, así como disminuir su permeabilidad.

Por otro lado, en secciones de firmes dotadas de drenaje subterráneo, es recomendable lavar los áridos previamente a su puesta en obra, para evitar que la precipitación de los lixiviados pueda obstruir los elementos de drenaje.

El tratamiento de los áridos reciclados con cemento o ligantes bituminosos aumenta la resistencia del material y reduce su permeabilidad y la posibilidad de lixiviar.

3.4.3 FABRICACIÓN DE HORMIGONES

Los áridos reciclados también pueden utilizarse en la **fabricación de hormigones**. Sus aplicaciones más habituales en capas de firmes son para hormigón magro vibrado en capas de base, para hormigón vibrado en capa inferior de pavimento bicapa (con capa de rodadura de 4 cm de hormigón con áridos naturales), y para hormigón en arcenes. En todos estos casos, solamente se utilizarán los áridos procedentes de la demolición de pavimentos de hormigón cuyos deterioros no sean imputables a la acción de la helada, reacciones árido /álcali, ataques de sulfatos o la acción de las sales fundentes. El proceso de diseño, fabricación y puesta en obra de los hormigones en los que se utilizan los áridos reciclados es similar al de los hormigones con áridos naturales, pero hay que tener en cuenta algunas consideraciones:

- La **mayor absorción** de los áridos reciclados hace que sea necesaria una mayor cantidad de agua de amasado que cuando se emplean áridos naturales.

- Los áridos reciclados tienen el riesgo potencial de absorber agua de la mezcla si no se mantienen convenientemente saturados antes de su amasado.

- Se debe prestar especial atención al **contenido de áridos finos** (< 0,063 mm) reciclados en el nuevo hormigón, ya que puede afectar a la trabajabilidad del mismo. Altos contenidos de áridos finos reciclados aumentan la absorción de agua y la tendencia a apelmazarse durante su almacenamiento. De igual forma, un elevado contendido de finos puede afectar negativamente a la resistencia a los ciclos de hielo-deshielo y a la resistencia a flexotracción. El porcentaje óptimo se

debe fijar en cada proyecto,recomendándose entre el 10 y 20 %, completando hasta el contenido total de árido fino con arenas naturales.

- Hay que cuidar especialmente **el curado** de los hormigones fabricados con áridos reciclados de pavimentos de hormigón. **La retracción y la fluencia** en el hormigón fabricado con un contenido de árido grueso reciclado inferior al 20 % del total son sensiblemente similares a las del fabricado totalmente con áridos naturales. Si el contenido de árido grueso reciclado aumenta hasta el 100 %, la retracción puede aumentar hasta un 50 % y la fluencia entre un 30 % y un 60 %, siendo aún mayor si se utiliza árido fino reciclado.

- **La resistencia** del nuevo hormigón se mantiene en niveles similares para sustituciones de hasta el 30 % del árido natural por árido reciclado. La resistencia a compresión del hormigón disminuye ligeramente (10 % - 20 %) cuando la totalidad del árido grueso es reciclado [12] [13]; reduciéndose aún más cuando parte del árido fino procede también del reciclado. Esto se debe a la mayor resistencia que tienen las arenas naturales en relación con los áridos finos reciclados que contienen un porcentaje importante de mortero del hormigón original, especialmente el tamaño inferior a 2 mm. Esta merma de resistencia se puede compensar con una mayor dosificación de cemento.

- El **contenido de cemento** necesario para obtener la misma resistencia en un hormigón fabricado con áridos reciclados es ligeramente superior que si se emplean áridos naturales. Los valores de dosificación se verán incrementados aproximadamente en unos 15 kg/m^3.

- El **módulo de elasticidad** del hormigón reciclado es siempre inferior (del orden del 15 % - 40 %) al del hormigón de referencia, alcanzado valores aún menores cuando se utiliza también árido fino reciclado [14].

3.5 OBRAS REALIZADAS [1, 2, 4, 15, 16, 25, 26, 27, 29, 31]

Este tipo de reciclado es frecuente en los países con mayor tradición en la construcción de pavimentos de hormigón, como Estados Unidos, Alemania, Austria, Bélgica y Dinamarca, entre otros.

En **Austria,** donde el 40 % del total de la red de autovías y autopistas cuenta con pavimentos de hormigón, es frecuente la utilización de árido procedente del reciclado en la base del firme y en la capa inferior de los pavimentos bicapa.

Cuando en 1990 se tuvieron que reconstruir tramos antiguos de autovía (en su mayoría de más de 50 años), la Administración austriaca apostó por el reciclado de los pavimentos existentes. Estos pavimentos, de resistencias a compresión comprendidas entre 7 MPa y 10 MPa, se fragmentaron utilizando guillotinas, se llevaron a plantas de machaqueo in situ para dividirlos en fracciones. La fracción fina de 0/4 mm se extendía en una capa de unos 5

cm sobre la subbase de grava existente, y a continuación se estabilizaban los 20 o 25 cm superiores. Sobre esta capa estabilizada se extendía una capa de 5 cm de mezcla bituminosa para proporcionar un soporte resistente a la erosión y las heladas y, sobre ésta, el hormigón del firme que se ejecutaba mediante técnicas bicapa "fresco sobre fresco", generalmente en espesores de 21 cm (capa inferior con árido reciclado) más 4 cm (capa superior de rodadura con árido natural seleccionado). Es posible utilizar el árido extraído del pavimento de hormigón deteriorado en la capa inferior de pavimentos bicapa (donde no es necesario cumplir los requisitos de textura, ruido, resistencia al deslizamiento y desgaste exigidos a capas de rodadura), si bien se limita la utilización de fracciones de arena y grava más pequeñas (por su mayor influencia en la demanda de agua y en efectos de congelación y descongelación). Está limitada igualmente la presencia de material bituminoso, debiendo eliminar todo aquel procedente del sellado de juntas.

Este concepto supone una elevada reutilización de los materiales existentes y permite incrementar el peralte de la calzada de una forma sencilla, con solo nivelar la subbase antigua antes de estabilizarla. Las primeras obras resultaron tan convincentes que, desde entonces, se ha facilitado la rehabilitación de un total de 300 km de autovía con esta técnica. En la autopista A1, principal eje de transporte del país entre las ciudades de Viena y Salzburgo, se rehabilitaron 230 km de esta carretera empleando 5,7 millones de m^2 de pavimento de hormigón. Se ahorraron 1,7 millones de km de transporte de material evitando 7000 cargas de camiones (que supusieron 1447 t menos de emisión de CO_2) necesarios para eliminar el material recuperado, así como los costes de material virgen, que supusieron una reducción de los costes del proyecto de un 10 % (beneficios de al menos 1,85 €/m^2). El primer tramo del proyecto piloto reconstruido en 1991 sigue en uso y en condiciones adecuadas.

La Administración austriaca ha incluido en sus especificaciones técnicas para la construcción de pavimentos de hormigón en carreteras (RVS 08.17.02) requisitos específicos para la construcción de nuevos pavimentos de hormigón con material extraído de pavimentos deteriorados.

En **Bélgica** también se llevó a cabo una experiencia con esta técnica, siguiendo el ejemplo de Austria. Para ello, se construyó entre 2007 y 2008 un tramo piloto de 3 km utilizando el árido procedente de la demolición del pavimento en una base de hormigón compactado, construyendo sobre ella un pavimento de hormigón armado continuo. Los trabajos tuvieron lugar en la vía rápida E34 en Zwijndrecht, y se desarrollaron en dos fases: primeramente, se construyó la calzada en dirección a Gante, y posteriormente la calzada en dirección a Amberes.

En **España** hay una cantidad limitada de pavimentos de hormigón en carreteras, aeropuertos y puertos. Además, hasta la fecha apenas se han reutilizado pavimentos de hormigón en carreteras. En concreto, en la Autovía de Andalucía y en la Autovía A-92 se reciclaron en algunos tramos capas de base de hormigón seco compactado. Así mismo, en el aeropuerto de las Palmas se demolió el pavimento de hormigón existente mediante martillos hidráulicos, y se procesó el material en una planta dotada de machacadora

primaria de mandíbulas, separador magnético y machacadora secundaria de impacto; el material obtenido, zahorra artificial, se empleó en la subbase de la nueva plataforma.

Dentro del territorio español hay experiencias de rehabilitación in situ de pavimentos de hormigón mediante técnicas de rubblizing. En la Autovía A-2, en 2018, se rehabilitó estructuralmente un tramo de 1 km de firme mixto (compuesto por mezclas bituminosas sobre pavimentos de hormigón), construyendo un firme semiflexible (constituido por capas de mezcla bituminosa, de espesor total superior a 15 cm, sobre capas granulares no tratadas). Se fresó la mezcla asfáltica de la capa de rodadura situada sobre la losa de hormigón, para demoler después mediante rubblizing la losa superior de firme hormigón de 25 cm de espesor, sin afectar a la capa inferior de hormigón magro vibrado. La extracción de pasadores resultó una tarea fácil con un buen rendimiento de ejecución. Tras el planchado del material triturado se ejecutó un riego de imprimación para extender después mezclas bituminosas como capas de base, intermedia y rodadura. Los valores del módulo resiliente obtenidos en la capa resultante del rubblizing fueron superiores a los habituales de una zahorra.

Aunque se trata de una técnica poco desarrollada en nuestro país, son muchos los proyectos de rehabilitación estructural in situ para pavimentos de hormigón desarrollados mediante técnicas de rubblizing en diferentes países de América Latina (México, Panamá, Chile, Argentina, Brasil y Costa Rica), donde se documenta su aplicación, desde el año 2009, a más de 5 millones de metros cuadrados de superficie de firme.

Existen también en España diferentes proyectos de construcción de pavimentos de hormigón en áreas urbanas que han alcanzado grados de sustitución total del árido convencional por árido procedente de residuos de construcción y demolición. En la ciudad de Málaga, por ejemplo, se ejecutó en 2011 un tramo de 1000 m de firme de la Calle Pascal colocando una capa de 20-25 cm de zahorra artificial reciclada de hormigón (0/32 mm) y otra capa de 20 cm de hormigón seco compactado con áridos reciclados de hormigón (7/25 mm). En la pavimentación del Paseo de Colón de Barcelona, en 2021, se extendieron 815 m^3 de hormigón HRM-20, fabricado con un 100 % de árido reciclado procedente de demoliciones que se estima evitaron el vertido de 1600 toneladas de residuos y la extracción de igual cantidad de árido natural de cantera.

4. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES [(33)]

En España, la vigente 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, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, conforme a la normativa específica de residuos que se apruebe, para incluir nuevos códigos o desagregar los anteriores, cuando sea necesario por su peculiar composición o peligrosidad.

Los residuos generados en el reciclaje de pavimentos de hormigón son el propio hormigón y elementos metálicos como pasadores o barras de atado. Los pavimentos continuos de hormigón armado poseen, además, considerables cantidades de armadura. Ambos residuos están incluidos en el capítulo 17 de la Lista Europea de Residuos (LER), "Residuos de construcción y demolición", con los siguientes códigos:

- 17 01 01 Hormigón.
- 17 04 05 Hierro y acero.

Ninguno de ellos está considerado como residuo peligroso.

Desde el punto de vista medioambiental, el reciclado de pavimentos de hormigón presenta una serie de ventajas, como son la de reducir el consumo de recursos naturales y energéticos, así como reducir el impacto negativo por la acumulación masiva de escombros en vertedero.

La proporción de árido grueso en el pavimento de hormigón es tal, que la distancia de transporte del árido supone un impacto relevante cuando se realiza un análisis de ciclo de vida del pavimento de hormigón. Por tanto, técnicas como el rubblizing, la demolición y el machaqueo en la propia obra permiten la reutilización in situ del árido reciclado y aportan ventajas ambientales importantes al reducir la huella de carbono asociada.

En general, los áridos reciclados procedentes de los pavimentos de hormigón no producen un efecto negativo en el medioambiente. En caso de estar contaminados con cloruros, procedentes de las sales utilizadas como fundentes en la vialidad invernal, o por sulfatos, por haber estado en contacto con suelos que los contienen, se puede producir la corrosión de los elementos que contengan acero o fenómenos expansivos.

La alta alcalinidad de estos materiales en contacto con el agua (pH > 11) puede originar la corrosión de las tuberías de aluminio o galvanizadas en contacto con ellos. Aunque no parecen existir problemas medioambientales con los lixiviados procedentes de estos materiales, algunas jurisdicciones americanas establecen distancias mínimas entre el material apilado y los cursos de agua, debido a su naturaleza alcalina.

5. ASPECTOS ECONÓMICOS

El reciclado de pavimentos de hormigón conlleva, en general, ventajas económicas derivadas del inferior coste de producción del árido reciclado frente al material natural y por la reducción de las tasas de vertido.

La tendencia general es su reutilización in situ, en la propia carretera, añadiendo un ahorro económico adicional por la reducción de los costes de transporte. Siguiendo el principio de "quien contamina paga", cada vez existe una mayor diferencia en las tasas de vertido dependiendo del tipo de residuo, penalizando el vertido de residuos mezclados (LER 17 01 07 Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos distintas de las especificadas en el código 17 01 06 , o LER 17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03)

respecto a residuos de hormigón limpios (LER 17 01 01 Hormigón). A continuación, se aporta información sobre tarifas de entrada a diferentes plantas de tratamiento de RCD:

Tabla 1. Tarifas 2025. Planta de tratamiento RCD CASALE (Zaragoza)

Descripción	Código LER	Precio
Hormigón con densidad > 1,2 t/m^3	17 01 01	6,2 €/t
Hormigón con densidad ≤ 1,2 t/m^3	17 01 01	9,1 €/t
Material pétreo mezclado o mixto con baja densidad ≤ 0,8 t/m^3	17 01 07	12,5 €/t

Tabla 2. Tarifas 2025. Planta de tratamiento RCD Arenas Malgo (Coruña).

Descripción	Código LER	Precio
Hormigón	17 01 01	6,0 €/t
Material pétreo mezclado o mixto	17 01 07	10,8 €/t
m^3 de otros RCD mezclados, distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03. *****	17 09 04	46,6 €/m^3

*****: Se trata de material muy mezclado. Dada su baja densidad se factura por volumen (m^3) en lugar de por peso (t). La densidad varía en función de la composición; desde material muy silíceo o pétreo (hormigón) con densidades de 1,1 a 1,4 (t/m^3); sucio con una densidad en torno a 0,8 (t/m^3); o muy sucio con densidades de 0,5 o incluso 0,3 (t/m^3).

Tabla 3: Tarifas 2025. Planta de tratamiento de RCD DESCOMCASAR (Guadalajara)

Descripción	Código LER	Precio
Hormigón limpio	17 01 01	8,0 €/t
Material pétreo mezclado o mixto	17 01 07	9,0 €/t

Por último, en la Tabla 4 figuran precios de venta de material elaborado a partir de hormigón reciclado, inferior al del árido natural procedente de cantera:

Tabla 4: Tarifas 2025 (salida de áridos reciclados). Planta de tratamiento de RCD Arenas Malgo (A Coruña)

Material	Fracción (mm)	Precio
Zahorra procedente de hormigón	0 - 32	2,6 €/t
Árido procedente de hormigón	40 - 80	3,8 €/t
Árido procedente material mixto	0 - 80	0,6 €/t
Árido procedente material mixto	0 - 16	0,6 €/t

6. NORMATIVA TÉCNICA [18, 19, 32]

En España no existe normativa técnica específica para el reciclado de pavimentos de hormigón. Sin embargo, sí existen referencias sobre el empleo de áridos reciclados de hormigón en otras normativas, que se describen a continuación:

La ORDEN FOM/2523/2014 (BOE de 3 de enero de 2015) actualiza determinados artículos del **Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)** en los que se recoge la posibilidad de utilizar los áridos reciclados procedentes de pavimentos de hormigón:

- Art.510: ZAHORRAS. En el apartado 510.2.2.1 (Áridos, Características generales) se establece que sólo pueden utilizarse materiales granulares reciclados y áridos reciclados de residuos de construcción y demolición para las categorías de tráfico pesado T2 a T4, siempre que se declare el origen de los materiales y que se cumplan las prescripciones técnicas establecidasen este artículo. Asimismo, en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (PPTP) deberán fijarse expresamente las condiciones para su tratamiento y aplicación. En el apartado 510.2.2.3.4 (Árido grueso, Resistencia a la fragmentación, Coeficiente de Los Ángeles) se indica que para materiales reciclados procedentes de capas de firmes de carretera el valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser superior en cinco (5) unidades a los valores exigidos para áridos naturales, siempre y cuando su composición granulométrica se adapte al huso ZAD20 especificado en el artículo.

- Art. 513: MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO (SUELOCEMENTO Y GRAVACEMENTO). En el apartado 513.2.3.1 (Materiales granulares, Características generales) se indica que tanto para el suelocemento, como para la gravacemento podrán utilizarse subproductos, residuos de construcción y demolición o productos inertes de deshecho siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en este artículo, y se declare el origen de los materiales. Las condiciones para el tratamiento y aplicación de estos materiales deben estar fijadas expresamente en el PPTP. En el apartado 513.2.3.4.1 (Características específicas del árido para

gravacemento, Árido grueso) se establece que para las categorías de tráfico pesado T1 y T2, cuando se utilicen en capas de calzada materiales reciclados procedentes de pavimentos de hormigón, el valor del coeficiente de Los Ángeles (LA) deberá ser inferior a treinta y cinco (< 35).

- Art. 550: PAVIMENTOS DE HORMIGÓN. En el apartado 550.2.4.1 (Áridos, Características generales) se indica que en la capa inferior de los pavimentos bicapa se podrán utilizar materiales granulares reciclados siempre que cumplan con las prescripciones técnicas exigidas en el artículo y se declare el origen de los materiales. Se exige que las condiciones para su tratamiento y aplicación estén fijadas expresamente en el PPTP. Aunque para el árido grueso (apartado 550.2.4.2) se exige, de forma general, que el coeficiente de Los Ángeles sea inferior a treinta y cinco ($LA < 35$), cuando en la capa de hormigón inferior de los pavimentos bicapa se empleen materiales reciclados procedentes de demoliciones de hormigones de resistencia a compresión final superior a treinta y cinco megapascales (> 35 MPa), se admitirá para ellos un valor del coeficiente de Los Ángeles inferior a cuarenta ($LA < 40$).

- Art. 551: HORMIGÓN MAGRO VIBRADO. En el apartado 551.2.4.1 (Áridos, Características generales) se indica que se podrán utilizar materiales granulares reciclados siempre que cumplan con las prescripciones técnicas exigidas en el artículo y se declare el origen de los materiales. Se exige que las condiciones para su tratamiento y aplicación estén fijadas expresamente en el PPTP. Aunque para el árido grueso se exige, de forma general, que el coeficiente de Los Ángeles sea inferior a treinta y cinco ($LA < 35$), cuando se empleen materiales reciclados procedentes de demoliciones de hormigones de resistencia a compresión final superior a treinta y cinco megapascales (> 35 MPa), se admitirá para ellos un valor del coeficiente de Los Ángeles inferior a cuarenta ($LA < 40$).

Asimismo, la **Norma 6.3 IC** de rehabilitación de firmes (ORDEN FOM/3459/2003) establece lo siguiente en relación con el reciclado de firmes y pavimentos: “Prescripción de obligatoriedad de estudiar técnica y económicamente los materiales reciclados de firmes y pavimentos. Por consideraciones ambientales 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) m^2, 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 7.4. de la norma se indican los criterios de aplicación de las técnicas de reciclado de firmes, que establecen determinadas restricciones al uso de materiales reciclados, en función de la categoría de tráfico pesado.

Por otro lado, el **Código Estructural** (30.8 Áridos reciclados) admite la utilización del árido grueso reciclado procedente de residuos de hormigón para su aplicación en hormigón estructural, con una máximo de 20 % en peso sobre el contenido total de árido grueso.

Para la fabricación del hormigón de limpieza, podrá emplearse hasta un 100 % de árido grueso reciclado, siempre que éste cumpla con el apartado 30.8.

Además, la Guía Española de Áridos Reciclados procedentes de RCD (Proyecto GEAR), iniciativa de la Asociación Española de Gestores de RCD (GERD), da directrices para la utilización de residuos de hormigón en capas de hormigón compactado con rodillo.

7. REFERENCIAS

[1] YRJANSON, W.A. “Recycling of Portland Cement Concrete Pavements”, Synthesis of Highway Practice 154, National Cooperative Highway Research Program, TRB. Washington DC, 1989.

[2] GORLÉ, D. “Reciclado de hormigón y otros materiales utilizados en la construcción de carreteras en Europa”, Programa SPRINT de Transferencia de Tecnología e Innovaciones en la Construcción de Carreteras, Carreteras nº 69, 44-58. 1994

[3] AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION (ACPA). “Recycling Concrete Pavement”. Illinois, 1993.

[4] GARCÍA SANTIAGO, J.L. “Reciclado de materiales procedentes de la carretera”, Jornada sobre utilización de residuos en la construcción de carreteras. Madrid, 2001.

[5] PROYECTO DIRECT-MAT. “Synthesis of the national reports on demolition of hydraulically bound layers and recycling road materials in hydraulically bound layers”. 2011.

[6] PROYECTO DIRECT-MAT. “Best Practice Guide for the use of recycled materials in hydraulically-bound layers”. 2011.

[7] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB). “Appropriate Use of Waste and Recycled Materials in the Transportation Industry – an Information Database”, National Cooperative Highway Research Program, Project 4-21, TRB. Washington DC, 2001.

[8] PROYECTO DIRECT-MAT. “Synthesis of the national and international documents on existing knowledge regarding the recycling of road materials in unbound layers”. 2010.

[9] PROYECTO DIRECT-MAT. “Best Practice Guide regarding the dismantling of unbound layers and recycling of road materials into new unbound layers”. 2011.

[10] TURNER-FAIRBANKS HIGHWAY RESEARCH CENTER AND FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, “User Guidelines for Waste and By-product Materials in Pavement Construction”. 2002.

[11] GORLÉ, D.; SAEYS, L. “Les granulats de béton concassé comme matériau pour fondation routière non liée“, Centre de Recherches Routières, CR 34/91. Bruxelles, 1991.

[12] VRIES, P. “Concrete re-cycled crushed concrete as aggregate”, 21 st Annual Convention of the Institute of Concrete Technology. Coventry, 1993.

[13] WAINWRIGHT, P.J.; THEVORROW, A.; YU, Y; WANG, Y. “Modifying the perfomance of concrete aggregates”, Proceedings of the Third International RILEM Symposium. London,

1994.

[14] RAVINDRARAJAH, R.S.; TAM, C.T. “Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate”, Magazine of Concrete Research, Vol 37, nº130, p. 29. 1985.

[15] ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE). “Recycling Strategies for Road Works”. Paris, 1997.

[16] INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (IECA), EUROPEAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION (EUROPAVE) ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA, OFICEMEN “Pavimentos de Hormigón: Una Alternativa inteligente y sostenible”. 2010.

[17] MARTÍNEZ BERTRAND, CARLOS. ”Separación en origen de los residuos de construcción y demolición”. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid, 2008.

[18] Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). 2015.

[19] Real Decreto 470/2021, por el que se aprueba el Código Estructural. 2021.

[20] SEGURA PÉREZ, PILAR. “Reciclado de firmes y otros materiales”. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid, 2008.

[21] SINIS FERNÁNDEZ, FRANCISCO. “Trabajos desarrollados en el CEDEX sobre la utilización de residuos y subproductos industriales en la construcción”. Jornada “Construcción y Medio ambiente”. Madrid, 2006.

[22] ACHE. COMISIÓN 2, GRUPO DE TRABAJO 2/5 “HORMIGÓN RECICLADO”. “Monografía M-11. Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón. estructural”. 2006.

[23] SOMMER, HERMAN. “La experiencia austríaca con los pavimentos de hormigón” V Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón. Alicante, 1999.

[24] PROYECTO GEAR. “Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD”. Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición. 2012.

[25] PIARC “Uso de materiales reciclados en los pavimentos. Una colección de casos de estudio de PIARC. Comité Técnico 4.1 Pavimentos”. 2022.

[26] THENOUX, GUILLERMO. “Reciclado de pavimentos de concreto mediante tecnología de resonant rubblizing (micro fracturación por resonancia): Estado del arte”. 2019.

[27] MARCOBAL BARRANCO, JOSÉ RAMÓN. Experiencias prácticas en la desintegración de pavimentos de hormigón. Número 24 de la Revista Asfalto. 2017.

[28] HONOUN ROBAS. Influencia de la variación de las propiedades del árido reciclado en el hormigón endurecido. 2010.

[29] Ejecución de la técnica de rubblizing en la autovía A-2 en la provincia de Zaragoza. Lorenzo Plaza, Anna París y Miguel Ortín. 2018.

[30] Informe Resumen del Inventario de los Firmes de la RCE. Campaña 2021. Ministerio de

Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. 2021.

[31] Proyectos realizados en América Latina. RMI. 2024.

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

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

8. ENTIDADES DE CONTACTO

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/

RCD Asociación Española de Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición
C/ Torrelaguna, 127
28043 Madrid
Tel. 91 563 05 62
https://rcdasociacion.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

AGRADECIMIENTOS

El CEDEX desea expresar su agradecimiento al Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), a la Asociación Española de Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición, a la Universidad de Córdoba (Área de Ingeniería de la Construcción) y a la empresa Hidrodem por la aportación de información técnica relevante sobre el reciclado de pavimentos de hormigón.

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