

Reciclado de pavimentos

(Primera parte)*

POR AURELIO RUIZ RUBIO
DR. INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Planta de tratamiento de áridos recuperados.

1.-Introducción

Se entiende como reciclado de materiales de carreteras la reutilización de materiales procedentes de capas de firmes que ya han estado en servicio. La reutilización se realiza generalmente en nuevas capas de firme.

El reciclado 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 re-

ciclado es, en unos casos, una alternativa al fresado y reposición de firmes, o a la reconstrucción; y, en otros casos, constituye una manera de aprovechamiento de materiales fresados, que de otra manera irían a vertedero.

En carreteras se están utilizando otros materiales reciclados, como plásticos de recuperación, aceites usados de motor, neumáticos troceados, vidrio, etc.; pero estos productos no proceden de las capas de firme y no se van a tratar en este artículo.

El proceso del reciclado 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.

Las técnicas de reciclado de firmes se han venido utilizando paralelamente a otras técnicas de carretera, conociéndose aplicaciones en algunos países ya a principios de siglo. No obstante, hasta los años setenta su empleo fue muy escaso. A partir de la crisis de precios del petróleo del año 1973, como consecuen-

* La segunda parte se publicará en el número próximo de Rutas.

cia del aumento de los precios del betón y del interés en la conservación de la energía, 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. La generalización de la técnica llevó aparejada la continua aparición de nuevos equipos y productos. Las consideraciones ecológicas del comienzo de los años 80, y especialmente las referentes a la conservación de los áridos y a la reducción de los vertidos, dieron un nuevo impulso al reciclado, especialmente en los países con precios elevados de áridos y altos costes de vertido, con un cierto estancamiento a partir del año 86 por la caída de los precios del betón. Actualmente, los países europeos con mayor utilización de materiales reciclados son Alemania, Países Bajos, Dinamarca y Suiza. En estos países, la proporción de mezclas recicladas utilizadas sobre el consumo total de mezclas bituminosas es superior al 15% (en Dinamarca llega a ser del 34%).

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* que es el tipo que más se está desarrollando en nuestro país. Fueron dos reciclados en frío, uno con emulsión y el otro con cemento. Posteriormente, el interés de la técnica facilitó su empleo en unas obras, y en otras se utilizó como medio para paliar las enormes bajas en los concursos de obras que se produjeron a partir del año 1992. Hasta la fecha se ha utilizado principalmente el reciclado *in situ* en frío en carreteras de tráfico relativamente elevado, y el reciclado en frío en central en carreteras de bajo tráfico. La idea del reciclado está teniendo una gran aceptación, existiendo actualmente en nuestro país siete equipos de reciclado *in situ* propiedad de empresas españolas.

La revisión de las técnicas de

reciclado se va a presentar en dos artículos que se publicarán secuencialmente en esta revista. En esta primera parte, se describen los distintos tipos de reciclado; y,



Recuperación de material de pavimentos de hormigón.

en la segunda, se revisarán las técnicas de reciclado *in situ*, con especial énfasis en los reciclados *in situ* en frío.

2.-Tipos de reciclado de pavimentos

Pueden establecerse varias clasificaciones del reciclado de materiales de carreteras: según el lugar en el que se lleva a cabo el reciclado (*in situ* o en planta), según la temperatura a la que se realice (en caliente o en frío), según el material que se recicle (mate-

riales bituminosos, materiales tratados con cemento, capas granulares), según el ligante empleado (sin ligante; con ligante bituminoso; betón o emulsión; con

conglomerante hidráulico: cemento o cal; mixto: generalmente, emulsión y cal o cemento), y según se recicle con o sin adición de materiales nuevos. En la práctica no se dan todas las posibilidades, y los reciclados más frecuentes son los que se incluyen en los siguientes apartados.

3.-Utilización de materiales reciclados en capas granulares

Son reciclados en los que al material recuperado se le da un tratamiento de zorra.

Es el tipo de reciclado más simple y la solución más utilizada con materiales procedentes de pavimentos de hormigón. No es usual la utilización de mezclas bituminosas fresadas o trituradas como árido, ya que su empleo en capas granulares da problemas debido a:

- la baja compactación inicial que puede conseguirse,
- las deformaciones plásticas que puede sufrir el material a lo largo del tiempo, y
- la falta de aprovechamiento del betón que contienen las mezclas antiguas.

Las consideraciones ecológicas del comienzo de los años 80, y especialmente las referentes a la conservación de los áridos y a la reducción de los vertidos, dieron un nuevo impulso al reciclado



Central para reciclado de mezclas bituminosas en caliente

En el reciclado de firmes de hormigón para su utilización como árido se realiza generalmente una fragmentación grosera *in situ*, con masas de caída libre o martillos vibrantes (se están empezando a emplear los equipos de resonancia para sustituir los equipos de impacto o vibración, principalmente para aplicaciones en ciudades; y en puentes se ha empleado agua a elevada presión) y la definitiva se realiza en una central de machaqueo. A veces se utilizan machacadoras móviles, generalmente de mandíbulas, instaladas en la zona de demolición, para reducir las distancias de transporte. Los pasadores, barras de unión o armaduras se retiran después del machaqueo primario mediante electroimanes. Los productos de sellado se encuentran en pequeña proporción, y generalmente no se retiran.

Cuando el hormigón reciclado se utiliza en capas granulares, aunque inicialmente la capacidad de soporte (medida con placa de carga) es menor que en las capas granulares convencionales (el mate-

rial es más difícil de compactar y, por tanto, inicialmente es menos estable), a lo largo del tiempo se suele cementar, igualando entonces o superando la capacidad de soporte de otros materiales granulares. Suele ser una práctica usual mezclar el material reciclado con arena de aportación, para facilitar su manejabilidad y disminuir su permeabilidad.

El ahorro directo conseguido con el árido reciclado frente a los áridos nuevos se encuentra generalmente entre el 10% y el 40%. Este tipo de reciclado es frecuente en los países con más tradición en construcción de firmes de hormigón, como Estados Unidos, Alemania o Bélgica entre otros. En España, aunque hay una cantidad importante de pavimentos de hormigón en aeropuertos, puertos y ciudades, no se ha realizado, o al menos no está documentada ninguna aplicación de este tipo.

La aplicación de mayor envergadura potencial dentro de este campo es la de los materiales de demolición de edificación, aun-

que no se trate propiamente de un reciclado de pavimentos. Esta técnica presenta más problemas que la de reciclado de pavimentos de hormigón, por la heterogeneidad de los materiales; lo que hace que en el tratamiento haya que intentar eliminar hierros, maderas, plásticos y, especialmente, yesos y escayolas. Pero el volumen de materiales disponible para el reciclado es enorme. En los Países Bajos y Dinamarca, por ejemplo, se obtiene del reciclado, y, especialmente, del de demolición de edificaciones, el 10% del consumo total de áridos. En otros países europeos, como Francia, Italia o el Reino Unido, este porcentaje se reduce al 2%; pero sigue suponiendo una importante cantidad. En el año 1992 funcionaban en Alemania 500 centrales de reciclado de productos de demolición. En España se utilizó en la construcción de la Villa Olímpica de Barcelona, y en rellenos, especialmente de muelles portuarios; y, probablemente, tenga un desarrollo importante en el futuro. Esta técnica está todavía

Los países con legislación más estricta sobre el reciclado en caliente admiten únicamente mezclas con un 10% de material reciclado

o masas de caída libre, si se trata de una eliminación completa del conjunto de mezclas;

- mediante fresado, si se trata de eliminar únicamente una parte de las capas bituminosas.

El material retirado se transporta a una central de fabricación donde, en caliente, se mezcla con árido virgen y betún, obteniéndose una mezcla bituminosa compuesta en parte por material re-

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). Hay una variante que consiste en precalentar el material que se va a reciclar en un pequeño tambor secador adicional, generalmente con doble tambor, de manera que puede reducirse la temperatura de calentamiento de los áridos. El procedimiento convencional tiene una limitación en la proporción del material reciclado sobre el total de la mezcla fabricada, del 25-30%, para que la temperatura inicial de los áridos no sea excesiva ($<220^{\circ}\text{C}$); ya que, si no, se podría producir una degradación del ligante en el primer contacto. La ventaja del procedimiento es que permite la utilización de centrales discontinuas, evitando el problema que se produce en las continuas, al tener que pasar el material reciclado por el tambor secador, lo que da lugar al sobrecalentamiento del betún de la mezcla antigua y, a veces, a la aparición de humos contaminantes (humos azules), y que con el procedimiento descrito se evita el paso del material reciclado a altas temperaturas por las cintas transportadoras, a las que se puede adherirse, y por los cedazos, a los que puede colmatarse. El procedimiento del sobrecalentamiento de áridos fue el que más se utilizó en los primeros tiempos, hasta que surgieron y se generalizaron las centrales de tambor-secador-mezclador.

b) -La técnica del calentamiento indirecto, empleada en las centrales continuas de tambor-secador mezclador, en la que en la parte frontal del tambor se introducen los áridos, que se secan y calientan; en medio del tambor se introduce la mezcla que se va a reciclar, y en la parte posterior del tambor 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



Reciclado mixto.

en sus primeros pasos, aunque cada día aparecen centrales de clasificación con mayores posibilidades; y en los próximos años seguro que veremos un gran avance.

4.-Reciclado en central

4.1.-En caliente

Las técnicas especiales de reciclado en central en caliente se refieren únicamente a mezclas bituminosas, ya que la utilización de los áridos recuperados de pavimentos de hormigón tiene un tratamiento convencional, salvo en lo que se deriva de su mayor absorción y menor peso específico.

Para el reciclado en caliente, las mezclas se retiran de la carretera:

- en bloques, extraídos con martillos neumáticos, palas;

ciclado. Aunque pueden obtenerse mezclas compuestas en un 100% por material antiguo, lo más usual es que el porcentaje se encuentre por debajo del 50%. En el reciclado de materiales heterogéneos, cuanto más bajo es el porcentaje de material reciclado dentro del conjunto, mejor se asegura la homogeneidad de la mezcla resultante.

Se han desarrollado unos 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 ($200-275^{\circ}\text{C}$, según la tasa de reciclado) para que, al entrar en contacto con el material reciclado no

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 °C). Hay diversas posibilidades, entre las que se encuentran: tambor-secador con movimiento en la dirección de la llama, que sigue el procedimiento descrito; tambor-secador en contrarotación, con un mezclador exterior que utiliza un procedimiento de transferencia de calor; tambor-secador con el quemador adelantado dentro del tambor, en el que el material reciclado entra por detrás del quemador; y centrales con doble tambor, en las que la mezcla se realiza en el tambor exterior.

Como es evidente, no hay limitaciones en el espesor de la capa del firme que se puede tratar con esta técnica. Las posibles limitaciones relativas al material que se va a reciclar se refieren a:

- Mezclas que contengan alquitrán, aceites u otras sustancias peligrosas o contaminantes.
- En algunos países se limita el reciclado de mezclas con betunes muy envejecidos, ya sea basándose en la penetración del betún (como en los Países Bajos), o en la temperatura de anillo y bola (como en Alemania), ya que puede obligar bien a utilizar cantidades elevadas de rejuvenecedor que no pueden añadirse sin que la mezcla se vuelva inestable, bien a trabajar con porcentajes muy bajos de producto reciclado.
- Materiales que contengan una cantidad importante de lechadas bituminosas (generalmente se limita el contenido al 10%), porque el elevado contenido de finos puede perjudicar la estabilidad de la mezcla final.
- No está claramente definida en la actualidad la capacidad



Reciclado in situ con emulsión.

de las mezclas con betunes modificados para ser recicladas en caliente.

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.

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 las mezclas convencionales.

En España, a pesar del interés de la técnica, no hay demasiada experiencia, al menos documentada o con seguimiento de los resultados; siendo la autopista ACE-SA la que más ha trabajado en este campo. En esta autopista comenzaron utilizando bajos porcentajes de material reciclado, en general inferiores al 40%, y cuando se intentó aumentarlos tuvieron problemas de exudaciones y

deformaciones. Al final de los años 80, con la bajada de los precios del betún, abandonaron el reciclado. Algunas empresas utilizan pequeñas tasas (<10%) de mezclas fresadas en la fabricación de mezclas; pero la escasa salida de estos materiales y las grandes superficies necesarias para su acopio limitan enormemente su empleo.

4.2.-En frío

El reciclado en frío en central no presenta características especiales. Se lleva a cabo con áridos procedentes de capas granulares, firmes de hormigón o con mezclas fresadas de las capas del firme.

Cuando se reutiliza para capas bituminosas, el material se mezcla con emulsión en centrales continuas de mezcla en frío, o en centrales de grava-cemento modificadas para incorporar la emulsión. El proceso de fabricación es análogo al de una grava-emulsión. 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.

En la reutilización para capas tratadas con cemento, el proceso

de fabricación es análogo al del suelo-cemento.

El árido procedente de los firmes de hormigón se reutiliza a veces en capas tratadas con cemento o en otros hormigones. En estos casos, se utiliza únicamente el árido grueso, ya que el árido fino suele ser muy absorbente y conviene sustituirlo por áridos de calidad.

5.-Reciclado "in situ"

El reciclado *in situ* se realiza disgregando el material del firme antiguo que se recicla, mezclándolo *in situ* con el ligante utilizado y, posteriormente, extendiéndolo y compactándolo para constituir una capa del firme.

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 puesta en obra, si se compara con el reciclado en central o con el fresado y reposición, o el transporte desde la central si se compara con el refuerzo. 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 el reciclado *in situ* 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 re-

La ventaja de este método frente al reciclado en frío es que degrada menos los áridos, y que aprovecha más la capacidad aglomerante del betún de la mezcla antigua.

crecimiento 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.

Sin embargo la técnica presenta también algunos inconvenientes:

- Las características de la capa regenerada dependen en gran manera de las de las capas tratadas y, especialmente, de su homogeneidad, sobre todo en los reciclados con emulsión; en los firmes con materiales agrietados, pero homogéneos, se pueden obtener reciclados de gran calidad; sin embargo, en los firmes con reparaciones frecuentes, con variación de materiales en la sección transversal, o con numerosas capas de lechada, el resultado final reflejará también estas heterogeneidades.
- Es difícil controlar el material fabricado y, sobre todo 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.
- La técnica se realiza actualmente sin que existan prescripciones técnicas al respecto (si hay pliegos de prescripciones técnicas particulares, pero no se ha llegado a un pliego de aceptación general); y tampoco se ha llegado a un consenso general sobre cuándo y cómo aplicar el reciclado *in situ* ni sobre los espesores del tratamiento en función de las condiciones del firme antiguo.

Existen varios tipos de reciclado *in situ*: en caliente, mixtos y en frío.

5.1.- Reciclado in situ en caliente

Se trata de una técnica aplicable a materiales bituminosos. El reciclado se realiza *in situ* con unos equipos especiales, provistos de calefactores, que elevan la temperatura de la superficie del firme y facilitan la disgregación del material. El elemento básico del equipo es el escarificador o fresador-calentador. Generalmente, el calentador consiste en unos paneles de rayos infrarrojos, que calientan la superficie a temperaturas entre 120 °C y 160 °C. Suele haber una serie de paneles que precalientan la superficie y eliminan la humedad, y una o dos series (si se reciclan más de 2-3 cm, ya que suele hacerse en dos etapas) que aplican la temperatura final. El equipo de escarificado está provisto de dientes de acero con puntas de carburo, aunque a veces se utilizan fresadoras convencionales. El material suelto se mezcla con un betún blando o un agente rejuvenecedor. La técnica puede llevarse a cabo con o sin aportación de árido nuevo, realizando la operación de mezcla el mismo equipo. La extensión suele hacerse con una extendidora convencional que acompaña al equipo. La compactación debe realizarse muy



Reciclado in situ con cemento.

rápidamente, y es un punto crítico de la operación.

Existen tres modos básicos de aplicar la técnica:

- El termorreperfilado, que consiste únicamente en calentar, fraccionar, remezclar (con adición o no de agente rejuvenecedor) y recomprimir los 2-3 cm superiores del firme. Se aplica para corregir ligeros deterioros superficiales, o como tratamiento previo a un refuerzo posterior, de manera que se consiga una buena adherencia entre las capas antiguas y las nuevas.
- La termorregeneración, que consiste en el calentamiento y fraccionamiento de los 3-5 cm superiores del firme y la aplicación de una capa fina de refuerzo (2-3 cm), con la compactación simultánea del conjunto. Se aplica para corregir problemas de regularidad longitudinal o transversal, pérdida de ma-

terial superficial, superficies deslizantes o permeables, con las ventajas derivadas de disponer una nueva rodadura. A veces, va precedida de la eliminación por fresado de los 2-3 cm que se van a aportar de material nuevo, para mantener lo rasante.

- El termorreclado, que consiste en el calentamiento y fraccionamiento del material, la adición de ligante o rejuvenecedor y áridos nuevos si es necesario, la remezcla del conjunto y la compactación del material resultante. Generalmente trata de resolver problemas de envejecimiento del ligante o defectos de formulación de la mezcla, y suele aplicarse en espesores de 4 a 8 cm.

El rendimiento de la operación es del orden de 200-350 m de carril por hora. El tratamiento se aplica a pequeños espesores, ya que mayores profundidades llevarían a temperaturas excesivas.

A pesar de aplicarse en unos pocos centímetros, el tratamiento *in situ* en caliente tiene un cierto interés, ya que en esta zona superficial es donde el ligante envejece más rápidamente, siendo las superficies con microgrietas y pérdidas de áridos a las que más se les suele aplicar el tratamiento. Se puede también rehabilitar rodaduras, exudaciones, regenerar superficies agrietadas o porosas, mejorar la regularidad, solucionar problemas de deslizamiento y, en definitiva, rejuvenecer la rodadura. En las zonas con problemas de adherencia árido-ligante deben preverse medidas correctoras adicionales. La ventaja de este método frente al reciclado en frío es que degrada menos los áridos, y que aprovecha más la capacidad aglomerante del betún de la mezcla antigua. Los principales inconvenientes son que no soluciona problemas estructurales y que el calentamiento oxida y fragiliza el betún. La emisión de humos y los peligros de quemaduras a los

Los reciclados mixtos consisten en el fresado en frío y mezcla posterior en una central continua móvil de tambor secador, con doble tambor que sigue al equipo de fresado.

operarios o de llamas por elevada temperatura en bacheos o zonas con exceso de betún, o los sobrecalentamientos por paradas de la máquina, han limitado también en parte la aplicación.

Una variante en el reciclado en caliente *in situ* consiste en colocar una fresadora-mezcladora después del equipo de calentamiento-escarificado, que en este caso debe calentar la superficie a temperaturas superiores a 150 °C. Esta máquina reduce el tamaño de los fragmentos y añade el ligante y, si es necesario, el árido, realizando el mezclado del conjunto.

El país europeo donde más se ha utilizado el reciclado en caliente *in situ* es Alemania, aunque actualmente se está recurriendo más al reciclado en frío. En España las aplicaciones iniciales de mediados de los años 1980 (corrección de roderas en Sanchidrián-Arévalo en 1984, donde se experimentaron distintas técnicas, o las pruebas de la autopista ACESA) no tuvieron continuidad y la técnica se abandonó hasta el año 1995 en que se llevaron a cabo nuevas experiencias en las autopistas Vasco-Aragonesa y AUDENASA. El principal inconveniente de alguna de las aplicaciones iniciales en ACESA fue que las mezclas recicladas tenían bajos porcentajes de ligante y que, además, originalmente eran ligantes duros que en el momento del reciclado se encontraban muy envejecidos. El calentamiento necesario lleva a un envejecimiento adicional, originando mezclas frágiles.

5.2.-Reciclados mixtos

Consiste en el fresado en frío y mezcla posterior en una central continua móvil de tambor secador, con doble tambor que sigue al equipo de fresado. La mezcla se realiza a temperaturas de 150 °C - 180 °C, y en el proceso se pueden añadir rejuvenecedores y áridos si es necesario. Con este procedimiento se eliminan las limitaciones del espesor del reciclado. Un ejemplo de esta aplicación es el reciclado de la N-525 en la provincia de Zamora, con una longitud de tratamiento de 63 km.

5.3.-Reciclado en frío *in situ*

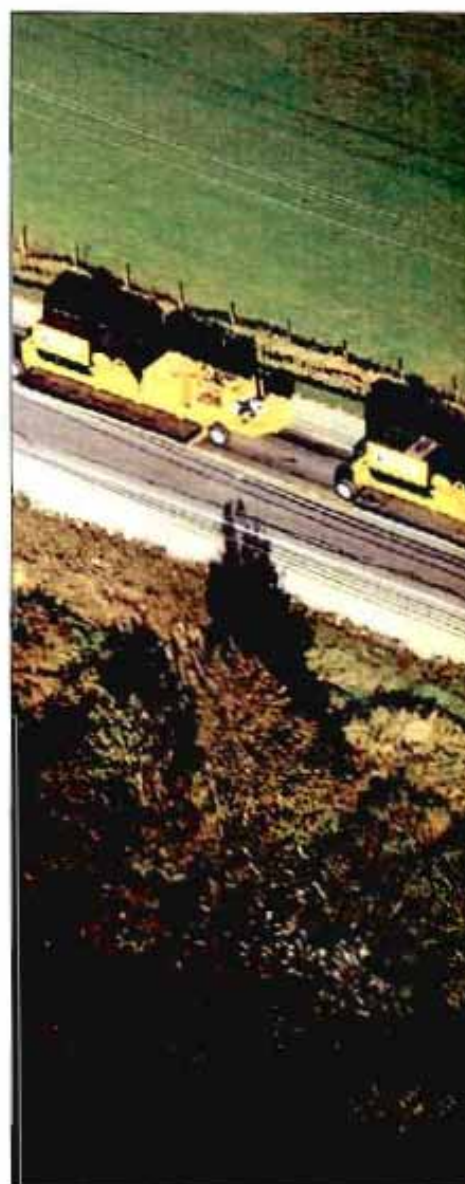
El reciclado en frío *in situ* se realiza con equipos específicos multifunción que fresan el material y lo mezclan con agua y el conglomerante seleccionado, realizándose todo el proceso a temperatura ambiente. Con la técnica del reciclado *in situ* se pueden reciclar capas de mezcla bituminosa, de materiales granulares o tratados con cemento, o conjuntos de estas capas. Es muy importante tener en cuenta que sólo conviene reciclar materiales deteriorados y no zonas sanas que, generalmente, tendrán unas características mecánicas superiores a las del material reciclado.

Las ventajas principales frente al reciclado en caliente son: la falta de emisión de humos, el empleo de menos energía, y la posibilidad de reciclar un mayor espesor de firme.

Los inconvenientes son la falta de aprovechamiento de la capacidad aglomerante del betún antiguo, el tiempo necesario para la abertura al tráfico, y la regularidad final de la capa, ya que al afectar en general a mayores espesores, haberse degradado más la granulometría y realizarse en frío, suele llevar a compactaciones difíciles.

Los reciclados en frío *in situ* más usuales son los que utilizan como ligante base emulsión o cemento.

El reciclado *in situ* con emulsión se basa en el fresado o disgregación del material que se va a tratar, seguido de una mezcla

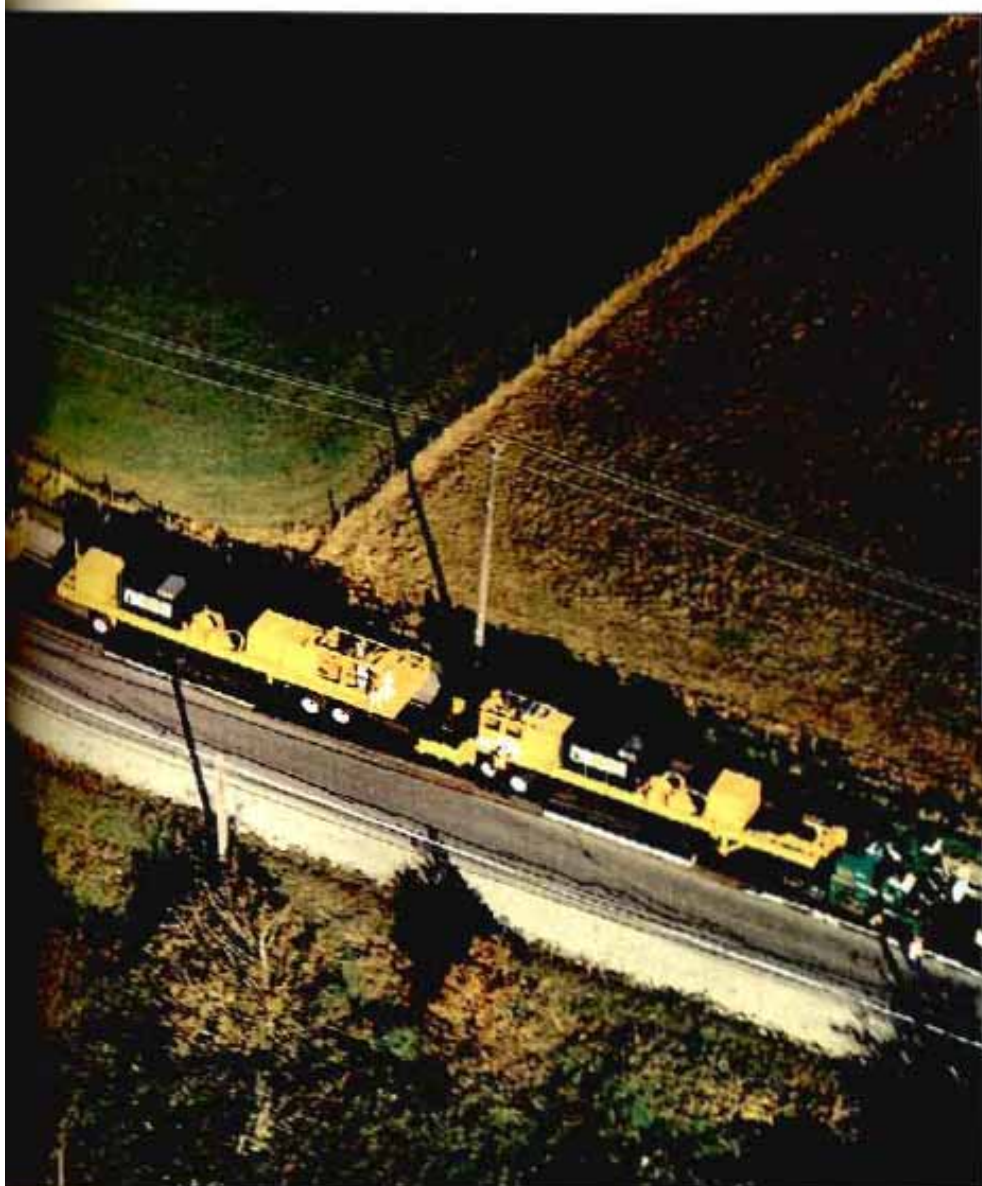


Reciclado *in situ* en caliente.

de este material con agua, emulsión (y áridos nuevos si es necesario) y, en algunos casos, cal o cemento. Los espesores de reciclado no pueden superar en general los 15 cm.

La técnica de reciclado con cemento es muy interesante para carreteras que necesitan una reconstrucción total. Se reciclan espesores de 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 de gran robustez.

Frente a la alternativa del reciclado con emulsión, el reciclado con cemento presenta varias diferencias, entre las que pueden destacarse las siguientes:



- El reciclado con cemento constituye en sí mismo una rehabilitación estructural del firme que, después del tratamiento, necesita únicamente de una rodadura (que puede ser un tratamiento superficial), o del espesor de mezcla bituminosa necesario para conseguir una regularidad superficial adecuada; o, si se pretende, para evitar la reflexión de grietas de retracción en la superficie. Sin embargo, el reciclado con emulsión es un tratamiento previo para rehabilitar el soporte de lo que será el refuerzo posterior.
- Se homogeniza mejor la capacidad de soporte en el perfil transversal en el caso

frecuente de que se realice sobre firmes que se han visto sometidos a ensanches de calzada.

- La apertura al tráfico es más rápida que en los tratamientos con emulsión, que necesitan eliminar en lo posible el agua de envuelta y el de la propia emulsión.

El principal inconveniente es que, si se quiere evitar la aparición de grietas reflejadas de las de retracción de la capa tratada con cemento, sin aumento del espesor del pavimento bituminoso, hay que recurrir a técnicas complementarias.

Reciclados mixtos emulsión-cemento/cal

En esta técnica existen dos aproximaciones:

Por un lado, se llega a ella desde los reciclados con emulsión, para evitar los problemas asociados a la plasticidad de los materiales que se reciclan, o en algunos casos los debidos a falta de cohesión, o para acelerar el curado de la capa. Suelen utilizarse porcentajes del 1-1,5% de cal o de cemento.

Por otro, se está experimentando con los reciclados mixtos desde la perspectiva del reciclado con cemento, para flexibilizar el material y evitar los problemas de retracción. Suele irse entonces a dotaciones del 4-5% de cemento y 2-3% de emulsión.

Espuma de betún

Una de las últimas novedades dentro de la técnica del reciclado con productos bituminosos es el empleo de espuma de betún, con el objetivo de poder estabilizar materiales con gran contenido de finos y abaratar el proceso.

Frente al reciclado en frío, la principal ventaja es la del menor coste de la operación. El inconveniente es la peor envuelta del producto.

6.- Consideraciones finales

En nuestro país parece que las técnicas de reciclado están empezando a seguir el camino que siguieron en otros países en la década pasada. Queda un gran campo de aplicación que es el del reciclado en caliente en central, con una utilización escasísima hasta ahora y con el que se pueden conseguir mezclas de gran calidad.

En cualquier caso, el reciclado es una alternativa más que considerar en cualquier proyecto de rehabilitación de firmes. Es importante tener en cuenta que no debe reciclarse simplemente porque es una aplicación "ecológica", sino porque sea técnicamente adecuado y de ello se deriven ventajas económicas, tanto para las empresas como para la Administración. El posible interés del reciclado debe examinarse caso a caso, analizando muy cuidadosamente las distintas

posibilidades. Aunque las ventajas técnicas, energéticas y de conservación de recursos no cambian a lo largo del tiempo, sí cambia la economía derivada de la aplicación. Aunque sea una paradoja, en algunas situaciones puede resultar más caro reciclar que utilizar áridos extraídos de canteras. En zonas con áridos abundantes, o de bajo precio, o con distancias de transporte reducidas, el reciclado puede no ser una solución económica. Los costes bajos de vertido son también un factor que desincentiva el empleo del reciclado. En momentos en que el precio del betón sea relativamente bajo, puede que tampoco tenga un gran interés el reciclado. En la situación actual el reciclado puede llevar a ahorros entre el 10% y el 40% frente a operaciones de fraccionado y reposición.

A pesar del interés técnico del reciclado y de la economía que se suele conseguir en los precios

de la obra, hasta hace pocos años no se ha considerado como alternativa en los proyectos de rehabilitación de carreteras en nuestro país. La principal razón puede encontrarse en la resistencia por parte de algunas Administraciones de carreteras a la utilización de un producto que se considera de inferior calidad.

La falta de normativa y soporte técnico también influye negativamente. Aunque en el reciclado en central no es completamente necesario desarrollar una normativa, ya que se puede aplicar la misma que a las mezclas convencionales, si se necesita para los reciclados in situ: y en este caso tanto en cuanto a prescripciones técnicas como a los sistemas de dosificación y de control de calidad y, especialmente, a los métodos de dimensionamiento de refuerzos basados en el reciclado.

De lo que no cabe duda es que en el futuro, las Administraciones

tratarán sin duda de potenciar el reciclado, empujadas por los acuerdos europeos, por los planteamientos ecologistas o por un simple análisis de costes. Existe ya una normativa europea de 1990 que recomienda que para el año 2002 se reciclen todos los materiales potencialmente reciclables. En otros países, se están implantando medidas para favorecer la técnica, como aplicar tasas sobre la extracción de áridos nuevos o aplicar bonificaciones por el empleo de material reciclado. En España, desde 1992, los proyectos de reciclado aumentan cada año, en número y longitud tratada; y parece que esa tendencia se mantendrá en el futuro. ■

Aurelio Ruiz Rubio. Centro de Estudios de Carreteras del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).