

Consideraciones ambientales sobre las mezclas asfálticas



Miguel Ángel del Val.
Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen

En este artículo se aborda el problema de la fabricación de las mezclas asfálticas desde un punto de vista ambiental. Se hace referencia al reto que supone la adaptación de la industria a las exigencias planteadas por el Protocolo de Kioto. Esa adaptación requiere, en algunos casos, una renovación de las

instalaciones; pero, sobre todo, el desarrollo de productos para los que se sean necesarias menores temperaturas de fabricación, sin merma de las características mecánicas, lo que permitiría mejorar el balance energético y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. En cuanto al reciclado, se destaca la aún escasa aplicación que se hace en España del reciclado en central, el retraso en el cumplimiento de los objetivos establecidos en la legislación vigente sobre el aprovechamiento de residuos y, finalmente, la necesidad de con-

templar el reciclado desde un punto de vista global, considerando el ciclo de vida completo de los materiales involucrados.

Palabras clave: Mezcla asfáltica, medio ambiente, Kioto, reciclado, mezcla asfáltica semicaliente, mezcla asfáltica templada.

1. Introducción

La industria de fabricación de las mezclas asfálticas en España ha ido modernizando paulatinamente sus instalaciones en los últimos veinticin-

co años, adaptándolas a las necesidades de la producción. Pero ese proceso se ha desarrollado de manera desigual. Mientras hay centrales de fabricación de mezclas asfálticas en caliente que tienen incorporadas las más modernas tecnologías, otras pueden considerarse obsoletas y son poco aptas para obtener un producto de la calidad requerida. En cuanto a las instalaciones para la fabricación de mezclas en frío el panorama es peor, siendo difícil encontrar en nuestro país alguna que se pueda calificar no ya de última generación, sino tan siquiera de penúltima generación.

Por otro lado, el proceso de modernización al que se alude ha tenido tanto avances como retrocesos. El caso más llamativo ha sido el referente a las centrales continuas de tambor secador mezclador. Tras su introducción a principios de la década de 1980 y después de experimentar una notable penetración en el mercado en los años posteriores, fueron dejadas de lado en gran medida a partir de la siguiente década. Esa situación se ha mantenido prácticamente hasta hoy, con alguna reseñable excepción. Debe tenerse en cuenta que no se trata sólo de una determinada configuración de la instalación o de una manera distinta de producir, con sus ventajas y sus inconvenientes, sino que esas centrales de tambor secador mezclador son las mejor adaptadas para el reciclado de mezclas asfálticas en central, por lo que su escasa implantación actual podría señalarse como una de las causas por las que dicha técnica del reciclado tiene aún en España un desarrollo insuficiente.

2. Los retos de la industria española de fabricación de mezclas asfálticas

La industria española de fabricación de mezclas asfálticas tiene ante sí tres retos fundamentales, que ciertamente no son independientes:

- Ser capaz de hacer frente, sin

merma de los resultados empresariales, a las nuevas exigencias que derivan de la entrada en vigor y la aplicación del Protocolo de Kioto, principalmente el aumento de la eficiencia energética y, sobre todo, la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero.

- Incorporar el reciclado en central como una técnica habitual y que represente una proporción apreciable de la producción total de mezclas asfálticas.

- Como en cualquier otro sector industrial, ofrecer productos innovadores que sirvan para incrementar la demanda y su grado de satisfacción; no limitándose, por tanto, a fabricar sólo lo que se ha diseñado fuera del sector.

En lo que se refiere al primer reto, probablemente será necesario des-

Los fabricantes de mezclas deberían tener como uno de sus principales objetivos el de la ecoeficiencia

guazar las instalaciones más antiguas y menos eficientes, así como adaptar al máximo las más modernas. Además, deberá apostarse decididamente por mezclas que no requieran, al contrario de lo que ocurre ahora en la mayoría de los casos, un proceso de fabricación a altas temperaturas, para lo cual deberán diseñarse procesos en esa línea, cuyos productos tengan un comportamiento fuera de toda duda; en todo caso, habría que trabajar en estrecha colaboración con las Administraciones públicas, que son las primeras obligadas a cumplir lo establecido por el Protocolo de Kioto.

En relación con el reciclado de mezclas asfálticas en central, el incremento de su empleo no pasa sólo por disponer de más instalaciones específicamente adaptadas a este proceso, sino que es preciso, también en colaboración con las Administraciones públicas, establecer planes logísticos, con un ámbito territorial lo más amplio posible, para optimizar el ciclo de fresado, almacenamiento y utilización.

En lo que se refiere a la aparición de nuevos productos, el sector de fabricación de las mezclas asfálticas podría calificarse como poco innovador. En estos últimos veinticinco años, los principales tipos nuevos de mezclas asfálticas han tenido su origen en España fuera del sector: las mezclas drenantes en el ámbito universitario; los microaglomerados en caliente de granulometría discontinua en el de algunos aplicadores especializados; y el de las mezclas de alto módulo en el ámbito de los productores de asfalto. Es necesario que los fabricantes de mezclas impulsen por sí mismos nuevos desarrollos, no sólo para aumentar sus ventas y a la postre sus beneficios, sino también para poder enfrentar mejor los dos primeros retos mencionados.

En relación con lo expuesto, los fabricantes de mezclas deberían tener como uno de sus principales objetivos el de la ecoeficiencia, como base indispensable de un desarrollo industrial sostenible. Su análisis requiere el estudio de cinco factores:

- Consumo de materias primas.
- Consumo de energía.
- Emisiones a la atmósfera.
- Efectos sobre la salud.
- Riesgo de accidente o uso indebido.

Estos factores van a ser contemplados, directamente o indirectamente, en los siguientes apartados.

3. Consideraciones generales sobre el reciclado

La Directiva Comunitaria 91/156/CEE, del Consejo, de 18 de

marzo de 1991, por la que se modificaba la Directiva 75/442/CEE, del Consejo, de 15 de julio de 1975, supuso la adopción por la Unión Europea de una nueva política de residuos, abandonando la clasificación de éstos en dos únicas modalidades (generales y peligrosos) y estableciendo una norma común para todos ellos, que se ha ido desarrollando con una regulación específica para determinadas categorías de residuos.

La adecuación del ordenamiento jurídico español a este nuevo marco se ha llevado a cabo a través de la promulgación de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos, cuyas características principales son las siguientes:

1. Tiene por objetivo contribuir a la protección del medio ambiente, coordinando la política de residuos con las políticas económica, industrial y territorial, al objeto de incentivar su reducción en origen y dar prioridad a su reutilización, reciclado y valorización sobre otras técnicas de gestión.

2. Prevé la elaboración de planes nacionales de residuos, que han de ser el resultado de la integración de los respectivos planes autonómicos de gestión, admitiendo la posibilidad de que las entidades locales puedan elaborar sus propios planes de gestión para los residuos urbanos.

3. No se limita a regular los residuos una vez generados, sino que los contempla también en la fase previa a su generación, regulando las actividades de los productores, importadores y compradores intracomunitarios y, en general, las de cualquiera que ponga en el mercado productos generadores de residuos.

4. Con la finalidad de lograr una estricta aplicación del principio de "quien contamina paga", se hace recaer sobre el bien mismo, en el momento de su puesta en el mercado, los costos de la gestión adecuada de los residuos que generen dicho bien y sus accesorios, tales como el envasado o el embalaje.

5. Con carácter general, se establece el régimen al que habrá de ade-

cuarse la producción, la posesión y la gestión de residuos, manteniéndose un nivel mínimo de intervención administrativa en los supuestos de eliminación y valorización de los residuos dentro del propio proceso productivo, cuando ello permita al gestor beneficiarse de las medidas de incentiación de mercados de valorización.

6. Para la consecución de los objetivos de reducción, reutilización, reciclado y valorización, así como para la promoción de las tecnologías menos contaminantes en la eliminación de residuos, la Ley prevé que las Administraciones públicas, en el ámbito de sus respectivas competencias, puedan establecer instrumentos de carácter económico y medidas que incentiven estas materias.

Entre las Directivas denominadas "de nuevo enfoque", destaca la Directiva de Productos de Construcción 89/106/CEE (transpuesta en España mediante el Real Decreto 1630/1992), que establece las exigencias mínimas que han de cumplir los productos de construcción para la certificación obligatoria de conformidad (CE), con arreglo a seis requisitos esenciales, tres de ellos muy ligados a la protección del medio ambiente, que son:

1. Resistencia mecánica y estabilidad.
2. Seguridad en caso de incendio.
3. Higiene, salud y medio ambiente.
4. Seguridad de utilización.
5. Protección contra el ruido.
6. Ahorro de energía y aislamiento térmico.

Por otra parte, en los últimos años han sido promulgados o están en vías de serlo diversos reglamentos técnicos específicos para el tratamiento de un conjunto de residuos, de los cuales algunos afectan directamente al sector de la construcción: materiales de demolición, neumáticos fuera de uso, residuos de las explotaciones mineras, etc. Algunos de estos reglamentos son el resultado de la transposición de disposiciones de la Unión Europea. En todo caso, su origen concreto no tiene mayor importancia, pues

lo importante es tener presente que en la gestión de los residuos se está avanzando muy rápidamente.

4. Aspectos técnicos y ambientales del reciclado de mezclas

En el Boletín Oficial del Estado del 12 de julio de 2001 se publicaba la Resolución de 14 de junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se disponía la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 1 de junio de 2001, por el que quedaba aprobado el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006. Desafortunadamente, el Plan sólo contiene una referencia, no demasiado concreta, a las carreteras, aparte de indicar que el asfalto (entiéndase las mezclas asfálticas) representa el 5 % de los residuos de construcción y demolición llevados a vertedero en la Comunidad de Madrid; en la introducción del Plan se indica literalmente lo siguiente:

"Los denominados residuos inertes pueden tener distintas procedencias: excavaciones de suelos o ejecución de obras de reforma en calles del casco urbano; los originados en carreteras e infraestructuras; mezcla de los escombros de construcción o demolición de edificios y los rechazos o roturas de la fabricación de piezas y elementos de construcción"

Quizás hubiera sido deseable que en el Plan apareciera una referencia explícita a los residuos obtenidos al levantar o demoler pavimentos asfálticos. De todos modos, no hay nada que permita pensar que el reciclado de mezclas asfálticas esté excluido de los objetivos del Plan, entre los cuales se formula el de que en 2005 se debería reciclar o reutilizar al menos el 40 % de los residuos de construcción y demolición, cifra que debería alcanzar un mínimo del 60 % en 2006. En la mayor parte del territorio nacional se está aún lejos de llegar a estas cifras en lo que se refiere a los pavimentos asfálticos.

Es cierto, qué duda cabe, que ya



Mezcla asfáltica fresada para su posterior reciclado en central.

ha desaparecido la práctica de llevar estos residuos sistemáticamente a vertedero. Su aprovechamiento marginal, por ejemplo para restaurar caminos agrícolas, es relativamente común; sin embargo, todavía no se ha llegado a la situación de que su recogida, almacenamiento y distribución estén organizados para permitir de manera generalizada su máxima valorización, que se consigue cuando se emplean en la fabricación de mezclas asfálticas.

Una primera vía de aprovechamiento es la que propicia el artículo 542 (Mezclas bituminosas en caliente)¹ del PG-3, en cuyo apartado dedicado a las especificaciones de los áridos se dice lo siguiente:

"En cumplimiento del Acuerdo de Consejo de Ministros de 1 de junio de 2001 por el que se aprueba el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006 podrá emplearse como árido el material procedente del reciclado de mezclas bituminosas en caliente en proporciones inferiores al diez por ciento (10%) de la masa total de mezcla".

Aunque el aprovechamiento del material es como árido, debe tenerse en cuenta que la presencia de un ligante asfáltico más o menos enve-

jecido podría hacer que de acuerdo con los estudios de formulación de la mezcla llevados a cabo en el laboratorio la cantidad necesaria de ligante nuevo fuese algo menor que la habitual. Sin embargo, el artículo 542 del PG-3 obliga en todo caso a que, dependiendo del tipo de mezcla y de su situación en el firme, el contenido de ligante nuevo no baje de unos mínimos especificados.

Llama la atención el que no se haga una referencia similar también en el artículo 543 (Mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de rodadura), aunque fuese con las oportunas restricciones adicionales. Así mismo, puede resultar llamativo el que las mezclas que se reciclen hayan de ser necesariamente mezclas asfálticas en caliente, teniendo en cuenta que la forma en la que fueron puestas en obra puede ser imposible de precisar. En cambio, no se hace ninguna llamada de atención sobre el hecho de que las mezclas pudieran contener algún producto que eventualmente supusiese una limitación para su utilización en la fabricación de mezclas.

La segunda vía de aprovechamiento, extensión de la anterior, es la que entra en el ámbito del artícu-

lo 22 (Reciclado en central en caliente de capas bituminosas)² del PG-4. Según este artículo, la mezcla asfáltica reciclada contendrá una proporción en masa del material a reciclar comprendida entre el 10 y el 50 % de la masa total de la mezcla.

La experiencia en la ejecución de obras basándose en lo dispuesto en este artículo 22 del PG-4 es aún limitada; pero parece que algunas de las prescripciones, tal como están redactadas, no se adaptan suficientemente a la realidad de este tipo de obras. Por otro lado, sería necesario en todo caso actualizar algunos contenidos de este artículo en la línea de los del artículo 542.

Un aspecto objeto de discusión son las limitaciones para el empleo de las mezclas recicladas que se establecen en el texto de la Orden Circular por la que se aprueba el artículo 22 del PG-4, así como en la Norma 6.3 IC (Rehabilitación de firmes). De entrada, estas mezclas están especificadas sólo para su posible empleo en obras de conservación, pero no para la construcción de nuevas carreteras: discriminación para la que no parece existir ninguna justificación³; además, en los proyectos de rehabilitación se limita el posible empleo de las mezclas recicladas según la categoría del tráfico pesado con la que se cuente en cada caso:

- En carreteras con categoría de tráfico pesado T00 no se pueden utilizar en ningún caso.

(1) Aprobado por Orden FOM/891/2004, de 1 de marzo de 2004 (BOE de 6 de abril de 2004).

(2) Aprobado por Orden Circular 8/2001, de 27 de diciembre, del Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

(3) Sin embargo, en las IX Jornadas de Conservación de Carreteras que organizó la Asociación Técnica de Carreteras en junio de 2004 en Salamanca, en un texto presentado por el Servicio de Tecnología de Carreteras del Ministerio de Fomento se puede leer lo siguiente: "Lo anterior, especificado para la rehabilitación de firmes, se puede entender o hacer extensivo como criterio de utilización de mezclas bituminosas recicladas en caliente para firmes nuevos".

- En carreteras con categoría de tráfico pesado T0, únicamente se pueden emplear en el recrecimiento de arcones, siempre que sobre ellas se disponga posteriormente, como mínimo, una capa de rodadura. También pueden ser aplicables en capas de reposición en calzada, cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas asfálticas en caliente en un espesor total superior a 10 cm.

- En carreteras con categoría de tráfico pesado T1 se pueden utilizar en los mismos supuestos indicados para la categoría de tráfico pesado T0, considerando, en este caso, que sobre las capas de reposición de mezclas asfálticas recicladas deben colocarse capas de recrecimiento con mezclas en caliente en un espesor total de al menos 6 cm.

- Para carreteras con categorías de tráfico pesado T2 a T4, incluidas las vías de servicio no agrícolas de autovías y autopistas, pueden utilizarse con la condición de disponer sobre las capas de mezcla reciclada una capa de mezcla asfáltica convencional, como mínimo.

Otras limitaciones que se establecen para las mezclas asfálticas recicladas en caliente son las siguientes:

- En ningún caso puede colocarse una capa de mezcla reciclada en caliente debajo de una capa de rodadura de mezcla drenante o de mezcla discontinua en caliente.

- No se autoriza el empleo del material asfáltico reciclado en la fabricación de mezclas de alto módulo.

- No se pueden emplear mezclas asfálticas recicladas en las capas de rodadura.

- No se admite el empleo de material procedente del reciclado de mezclas asfálticas que presenten deformaciones plásticas (roderas).

Para finalizar este apartado, parece obligada alguna consideración sobre la posibilidad de que en la fabricación de las mezclas asfálticas se utilicen residuos o subproductos de otras procedencias. El ya citado artículo 542 del

PG-3 señala lo siguiente⁴:

"Según lo dispuesto en el apartado 2.3.f) del Plan de neumáticos fuera de uso, aprobado por Acuerdo de Consejo de Ministros de 5 de octubre de 2001, en las obras en las que la utilización del producto resultante de la trituración de los neumáticos usados sea técnica y económicamente viable se dará prioridad a estos materiales".

Pero más importante que esta posibilidad es la que se abre en dicho artículo, en el apartado dedicado a los áridos, al afirmarse que *"los áridos a emplear en las mezclas bituminosas en caliente podrán ser naturales o artificiales siempre que cumplan las especificaciones recogidas en este artículo"*, aunque con la matización adicional de que *"el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá exigir propiedades o especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese"*.

No hay nada que objetar a esta redacción, por cuanto con ella se permite el empleo de cualquier material que sea asimilable a un árido natural, si bien se impone la lógica cautela de que en todo caso se compruebe que lo que se va a incorporar a la mezcla no va a ir en detrimento del resultado final. A este respecto, una opinión que comparte el autor es la de que los firmes no se deben convertir en la vía habitual de eliminación de los residuos o subproductos generados en otros ámbitos. Es más, debería imponerse con la mayor generalidad posible el principio de que los residuos y subproductos deben ser valorizados preferentemente en el mismo sector que los genera.

En este sentido no parece suficientemente justificada la referencia expresa a la posible utilización del producto resultante de la trituración de los neumáticos fuera de uso, más aún cuando en muchos casos no se han visto cumplidas las expectativas técnicas y económicas que algunos habían depositado en este tipo de

aprovechamientos. Entre las tecnologías disponibles ha demostrado ser muy válida la consistente en producir en fábrica un ligante modificado en el que el modificador, en vez de ser un producto virgen, tiene este origen particular, siempre, por supuesto, que dicho ligante cumpla las correspondientes especificaciones contenidas en el artículo 215 del PG-3. Sin embargo, en todas las otras técnicas de aprovechamiento los inconvenientes en la práctica han superado claramente las eventuales ventajas, si bien algunos autores mantienen lo contrario; además, se trata de soluciones cuya ecoeficiencia es muy reducida.

5. Mezclas asfálticas templadas y semicalientes

En la fabricación de las mezclas asfálticas en caliente las reducciones de temperatura implican un menor consumo de combustible: aproximadamente un litro menos por cada 20 °C y tonelada de mezcla. Por otra parte, a medida que se quema menos combustible, menos compuestos carbonados organovolátiles se lanzan a la atmósfera⁵, lo que va en la línea de lo establecido en el Protocolo de Kioto. Por ello, en los últimos años, entre las líneas de investigación más activas en el campo de las mezclas asfálticas están, por un lado, las que pretenden la reducción de las temperaturas de fabricación de las mezclas en caliente y, por otro, el de la aproximación del comportamiento mecánico de las mezclas en frío al de las mezclas en caliente. Las primeras son las que en España se han

(4) Este mismo texto se incluye también en los artículos 540 (Lechadas bituminosas) y 543 (Mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de rodadura) del PG-3.

(5) Desde el punto de vista de las emisiones, su dependencia con la temperatura es exponencial: un incremento de 20 °C incrementa las emisiones casi en 9 veces, y un incremento de 40 °C multiplica por 40 las emisiones de compuestos carbonados organovolátiles.

denominado mezclas semicalientes y las segundas las que en nuestro país se denominan mezclas templadas. Estas opciones pueden convertirse a corto plazo en una magnífica alternativa a las tradicionales, al combinar mejoras energéticas, ambientales y estructurales, así como permitir unas mejores condiciones de trabajo para los operarios en la puesta en obra.

5.1. Mezclas semicalientes

Se denominan mezclas asfálticas semicalientes⁶ las que, gracias al em-

isiones de CO₂, la contribución que puedan hacer las mezclas semicalientes a la consecución de este objetivo no es en absoluto desdeñable. La contrapartida para la industria es que con algunos de los procedimientos es necesario hacer ciertas modificaciones en las centrales de fabricación. Por otro lado, parece que el precio de las mezclas podría incrementarse en unos 4 € por tonelada.

Los primeros trabajos de investigación comenzaron en Alemania y en Francia ya en 1995, pudiéndose ya

tado por Shell y Kolo Veidekke) se basa en el empleo de un sistema ligante de dos componentes: uno blando, con el que en una primera etapa del mezclado se envuelven totalmente los áridos; y otro duro, que se espuma inyectándole agua en el momento de su entrada en el mezclador. La reducción de la viscosidad del ligante se traduce en un aumento de la trabajabilidad de la mezcla, que resulta compactable a temperaturas de 80 - 90 °C. El procedimiento tiene el inconveniente de requerir modificaciones en la central de fabricación;



Recolección del polvo mineral de los áridos extraído en el proceso de fabricación de mezclas asfálticas.

pleo de determinados procedimientos, pueden ser fabricadas a temperaturas del orden de unos 40 °C por debajo de las que corresponderían al tipo de ligante utilizado⁷. Esto se traduce, tanto en la central como en la puesta en obra, en una apreciable reducción de emisiones gaseosas, de humos y de olores, así como en unas más fáciles extensión y compactación, incluso en condiciones climáticas poco favorables. La durabilidad de la mezcla no queda comprometida, sino más bien lo contrario, puesto que las menores temperaturas de fabricación hacen que el envejecimiento del ligante sea menor.

Teniendo en cuenta que la Unión Europea se ha marcado para el año 2010 la reducción en un 15 % de las

hoy señalar las siguientes ventajas potenciales de las mezclas semicalientes:

- Ahorros de energía.
- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Menos humos y olores, tanto en la fabricación como en la puesta en obra, con lo que mejoran las condiciones de trabajo de los operarios.
- Menor oxidación del ligante.
- Menos desgastes de los elementos mecánicos de la central.
- Posibilidad de transportar la mezcla a mayores distancias.

Se han difundido tres tipos de procesos patentados que permiten la fabricación de las mezclas asfálticas semicalientes:

- El proceso WAM-Foam[®] (paten-

Las mezclas templadas serán con toda probabilidad las mezclas más utilizadas, pues su ecoeficiencia es muy superior al de las restantes alternativas existentes

sin embargo, según Shell, los ahorros de combustible llegan hasta el 30 %, la reducción de la emisión de partículas sólidas alcanza el 50 %, y la de gases de efecto invernadero el 30 %.

• En un segundo grupo de procedimientos se emplean aditivos orgánicos de bajo punto de fusión, los

(6) En inglés se denominan warm asphalt mixes, y en francés enrobés tièdes.

(7) Esta disminución tiene unas consecuencias espectaculares en el caso de los asfaltos fundidos y en el de las mezclas tipo Gussasphalt.

cuales, mediante reacciones químicas, modifican la curva viscosidad - temperatura del ligante. Existen dos aditivos patentados de este tipo:

- Sasobit® es una resina hidrocarbonada, formada por cadenas alifáticas largas, que es totalmente soluble en el ligante asfáltico. Se incorpora al ligante en un 3 % de la masa de la mezcla, en forma de polvo o de hojuelas, y antes de la entrada de aquél al mezclador.

- o Asphaltan B® es una resina esteérica de bajo peso molecular que se presenta en forma granular. Se añade en una proporción del 2 - 4 % directamente al mezclador o bien previamente al ligante, que puede ser convencional o modificado.

- El tercer procedimiento es el denominado Aspha-Min®, patentado por Eurovia. Consiste en que, a la vez que el ligante, se incorpora al mezclador, en forma de polvo y en una proporción del 0,3 % sobre la masa de la mezcla, una zeolita⁸ sintética. Ésta, al calentarse, libera el agua de hidratación que existe en su estructura molecular en una proporción del orden del 20 %, espumando el betún, lo que por su efecto lubricante permite la reducción de las temperaturas de fabricación. Según Eurovia, este procedimiento puede ser empleado con todo tipo de ligantes, convencionales o modificados, así como en el reciclado de mezclas.

En definitiva, los avances conseguidos en la tecnología de la fabricación de mezclas semicálidas son ya muy reseñables; sin embargo, debe profundizarse en aspectos tales como:

- El control del proceso en el mezclador.
- La trabajabilidad en la extensión y en la compactación.
- El tiempo de apertura al tráfico.
- El comportamiento de las mezclas a largo plazo.

5.2. Mezclas templadas

En España se denominan mezclas templadas⁹ a las fabricadas con una emulsión asfáltica cuyo betún residual es relativamente duro (penetra-



Puesta en obra de una mezcla asfáltica reciclada.

ción 70-100), por lo que en su proceso de fabricación se necesita un cierto calentamiento (60 - 70 °C). Tienen prácticamente todas las ventajas ambientales y energéticas de las mezclas en frío; pero, al fabricarse en centrales de mezcla en caliente, se conseguiría una uniformidad muy superior de sus características; los inconvenientes relacionados con el proceso de maduración de la mezcla disminuyen, y sus características finales resultan muy parecidas a las de las mezclas en caliente. Éste es, sin embargo, el principal reto en la actualidad; una vez superado, lo que es probable que se produzca en los próximos años, las mezclas templadas serán con toda probabilidad las mezclas más utilizadas, pues su ecoeficiencia es muy superior al de las restantes alternativas existentes para la pavimentación asfáltica.

6. Bibliografía

[1] Bardesi, A.; Martínez Nicolau, M. (2005): *Análisis de las distintas capas de rodadura*.

[2] Cancela, M. D. (2004): *Normativa europea sobre reciclado de firmes y su transposición en España*, IX Jornadas de Conservación de Carreteras, Asociación Técnica de Carreteras, Salamanca.

[3] Corrigan, M. (2004): *Warm Mix Asphalt Technology*, 44th Annual Idaho Asphalt Conference, Moscow, Idaho.

[4] Corrigan, M. (2005): *Warm Mix Asphalt Technologies and Research*, <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ashome.htm>

[5] Jones, W. (2004): *Warm Mix Asphalt Pavements: Technology of the Future?*, Asphalt (Fall 2004), pp. 8-11.

[6] Kuennen, T. (2004): *Warm Mixes are a Hot Topic*, Better Roads (June 2004).

[7] Ministerio de Medio Ambiente (2001): *Plan Nacional de Residuos de Construcción y demolición 2001-2006*, BOE 166 del 12 de julio de 2001, pp. 25305-25313

[8] Naciones Unidas (1997): *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*, 31 págs.

[9] Potti, J.J. (2004): *Innovaciones en mezclas bituminosas*.

[10] Rühl, R.; Von Devivere, M. (2003): *Réduction des expositions lors de la production et mise en oeuvre d'enrobés tièdes*. ■

(8) Las zeolitas son sustancias químicas muy conocidas como ablandadores del agua.

(9) En francés se denominan enrobés demi-tièdes.