

Líneas de investigación sobre los materiales para los firmes de carretera



Construcción de un firme mediante módulos prefabricados.

POR ALFREDO RUIZ RUBIO
DIRECTOR DEL LABORATORIO
DE INFRAESTRUCTURA VIARIA,
CENTRO DE ESTUDIOS DE
CARRETERAS DEL CEDEX,
MINISTERIO DE FOMENTO

1. Introducción

El objetivo básico en las investigaciones para carreteras es, lógicamente, conseguir unas vías más seguras y cómodas para el usuario, en un contexto de construcción económica y duradera y de respeto por el medio ambiente.

La técnica de diseño y construcción de las carreteras ha evolucionado notablemente en los últimos veinte años, como conse-

cuencia de las crecientes demandas de la sociedad y de la respuesta de los técnicos a las nuevas necesidades. Las carreteras en general, y sus firmes en particular, se han adecuado a la nueva situación de manera que existen materiales y procedimientos constructivos capaces de dar respuesta a la mayor parte de las exigencias actuales. Un repaso a los principales adelantos producidos entre 1980 y 2000 indica claramente esta evolución:

- **Seguridad vial.** Al año se vienen produciendo en Europa unas 42 000 muertes en carretera y en España más de 5 000. El reducir todo lo posible esta pérdida de vidas humanas es una prioridad absoluta para las Administraciones. Se han producido

avances en muchos aspectos relacionados con la seguridad: trazado, señalización, barreras, etc., y en esta década veremos muchos más. Los técnicos de firmes de carretera diseñaron superficies de rodadura más seguras, lo que constituyó una de las líneas principales de investigación en los años 90. Cabe, por ejemplo, señalar los avances en microaglomerados en caliente y en frío o las mezclas drenantes.

- **Ruido.** Dentro de las preocupaciones ambientales de los años 80 y posteriores, los intentos por reducir el ruido afectaron en gran medida a los diseños de capa de rodadura. Los materiales antes señalados, especialmente las mezclas drenantes y, en menor medida, los microaglomera-



La utilización de mezclas drenantes mejoró notablemente las condiciones de circulación.

dos en caliente, consiguieron una notable reducción del ruido frente a las mezclas bituminosas convencionales.

• **Residuos y subproductos.** En la década de los noventa aumentaron las limitaciones sobre los vertidos en Europa. La carretera fue vista como un elemento que permitía la utilización masiva de muchos residuos y subproductos, con pocos riesgos ambientales. Hubo que investigar sobre las posibilidades de empleo de estos materiales, y se desarrollaron técnicas para el aprovechamiento de los residuos industriales y urbanos.

• **Reciclado de los materiales de carretera.** A partir del año 92 se produjo un gran desarrollo de equipos de reciclado *in situ*, debido primero a la necesidad de las empresas de reducir costes en grandes obras de refuerzo, y luego a la de las Administraciones regionales para poder rehabilitar carreteras de redes secundarias con presupuestos reducidos. Las empresas tuvieron que poner a punto procesos constructivos, ligantes y técnicas de diseño y evaluación adecuados al reciclado *in situ*.

• **Adaptación a las crecientes solicitudes del tráfico.** En estos veinte años ha ha-

bido un aumento continuo de las intensidades del tráfico, y ha cambiado la configuración de los vehículos. Se ha pasado a una mayor carga transportada por vehículo (hasta 44 t) y a unos vehículos más agresivos (configuraciones en tres ejes con rueda simple de tipo ancho). Se tuvieron que desarrollar materiales y firmes con mayor capacidad de soporte y mayor durabilidad. El desarrollo actual de los ligantes modificados es un ejemplo de estos adelantos.

Esta lista de desarrollos recientes, que no pretende ser exhaustiva, no implica en absoluto que la técnica haya llegado a un punto que permita pocos avances. Las líneas señaladas están todavía abiertas y necesitan una continuación. Además, están empezando a apuntar otras necesidades, entre las que cabe destacar:

• La preocupación por las emisiones de CO₂ y las perjudi-

Se tuvieron que desarrollar materiales y firmes con mayor capacidad de soporte y mayor durabilidad

ciales para la salud o el entorno en los procesos constructivos.

• La necesidad de adoptar procedimientos de conservación que molesten mínimamente al usuario, y especialmente las técnicas rápidas de reparación.

• Búsqueda de unos sistemas que permitan una mayor integración de la carretera en el paisaje.

• El desarrollo de normas y criterios basados en propiedades fundamentales, en vez de los empíricos tradicionales, de manera que se pueda ir a unos criterios puramente científicos que permitan unos avances más rápidos.

• La escasez de áridos de calidad en muchos ámbitos geográficos, lo que puede obligar a adaptar las técnicas y las prescripciones.

• La incorporación a las carreteras de las novedades desarrolladas en otros campos de la ciencia y de la técnica.

Como puede verse, las necesidades son muchas, y los campos de investigación amplios y complejos. Dentro de este planteamiento general hay muchas investigaciones abiertas, casi tantas como desafíos plantea la técnica o la sociedad. Se va a pasar revista aquí a algunas de las principales líneas de investigación (españolas y extranjeras), sin que sea posible revisar todas las que son significativas. No se consideran, por ejemplo, los trabajos sobre la estabilización de las explanadas, los materiales especiales como los geotextiles o las geomallas, los desarrollos sobre las técnicas y los equipos de conservación, o las mejoras de los equipos y los procesos de construcción. La falta de espacio, que no la de interés, ha impedido incluirlos.

2. Mejora de las capas de rodadura

Las capas de rodadura definen en gran medida las características superficiales de las carreteras, y

especialmente la resistencia al deslizamiento, la visibilidad o el ruido generado por el tráfico.

La aparición de las mezclas drenantes en los años 80 marcó un nuevo estándar para las capas de rodadura. Estas mezclas mejoran enormemente la conducción cuando llueve, facilitando la visibilidad de las marcas viales, reduciendo los deslumbramientos por reflexión de los faros de los coches que circulan en sentido contrario, eliminando las proyecciones de agua y, especialmente, limitando el riesgo de hidropneumático. Además se vio que la gran cantidad de huecos accesibles facilitaba la disminución del ruido de rodadura, y que incluso permitía absorber ruidos exteriores. A partir de la implantación de las mezclas drenantes, muy utilizadas en los años 90, se persiguió conseguir unas mejoras similares con otras capas de rodadura. El desarrollo de las mezclas bituminosas en caliente para mezclas finas o los hormigones porosos para rodadura se deben sin duda a este objetivo.

Actualmente se está trabajando en los siguientes campos dentro de capas de rodadura con características superficiales mejoradas:

Mezclas drenantes

Las mezclas drenantes tienen, junto a las interesantes prestaciones señaladas, una serie de limitaciones técnicas, entre las que destacan su facilidad para que se desprendan partículas ante esfuerzos tangenciales elevados, su rápida colmatación o las dificultades que presentan para la conservación invernal. Además, hay interés en mejorar más todavía la reducción del nivel sonoro que consiguen y sus características antideslizantes. Las principales líneas de investigación en este campo son las siguientes:

- Disminución de la colmatación mediante la construcción en doble capa, en la que se coloca una capa superior muy delgada con una mezcla bituminosa de tamaño de árido 4/6 y otra inferior



Equipo para la puesta en obra de las mejoras drenantes en doble capa.

de 3 a 6 cm de espesor con material 10/14. La superior filtra las impurezas y es fácil de limpiar. La inferior es difícil de colmar por el gran tamaño de los huecos.

En este mismo sentido se está también trabajando en unas mezclas drenantes convencionales en capa única con una gran proporción de huecos (superior al 25%), y en unas mezclas con mayores tamaños máximos y granulometrias discontinuas. Con ello se pretende conseguir unos huecos de mayor tamaño, que no se colmaten fácilmente y que, además, puedan limpiarse con mayor facilidad.

- Se está investigando también el efecto de una disminución aún mayor del ruido de rodadura mediante unos tamaños máximos más pequeños, del tipo 0/6, generalmente con discontinuidad 2/4. Se asegura que este tipo de diseño mejora además la resistencia al deslizamiento, así como la drenabilidad, al aumentar la proporción de los huecos (aunque éstos son de menor tamaño). Otra línea interesante de estudio es la de las denominadas mezclas poroelásticas, desarrolladas en Suecia, en las que se incorpora

caucho de neumáticos como parte o único constituyente del árido.

- Otras investigaciones tratan de obtener unos ligantes modificados con una mayor capacidad de retención de las partículas del árido, para evitar desprendimientos en zonas con elevadas sollicitaciones horizontales. Se están estudiando también, con el mismo objetivo, unas películas de ligante más gruesas a base de añadir fibras o filleres especiales.

Quedan todavía otros aspectos que hay que mejorar y en los que se deberían producir desarrollos, como los de la conservación invernal de estas mezclas, las técnicas específicas para las pequeñas reparaciones (ya ha habido desarrollos con mezclas en frío y mezclas "templadas") y las grandes rehabilitaciones, y las mezclas drenantes adecuadas para las zonas urbanas.

Mezclas discontinuas para capas finas

Las mezclas discontinuas para capas finas se empezaron a utilizar en Alemania en los años 60 y tuvieron su mayor desarrollo en



Circulación sobre riego de adherencia "termoadherente".

Europa en los años 80. En España se generalizaron a partir de la segunda mitad de los años 90, siguiendo una técnica francesa modificada de la alemana. Las mezclas discontinuas en capa fina ofrecen una gran macrotextura, y una cierta capacidad para eliminar el agua y reducir el ruido. Aunque en estos dos últimos aspectos no son tan eficaces como las mezclas drenantes, presentan la ventaja de que su conservación es más sencilla, y son más duraderas. Además pueden extenderse y compactarse fácilmente en capas muy finas, lo que permite mantener la cota del firme y reduce la necesidad de áridos de calidad para la rodadura.

Su empleo llevó a un nuevo interés por los riegos de adherencia, muy críticos para estas capas, que derivó en desarrollos como el de las extendedoras con barra de riego incorporada, los riegos termoadherentes o los nuevos ensayos para controlar la adherencia entre capas, en los que se está trabajando todavía. En otros países se han desarrollado unos equipos intermedios entre los camiones de transporte y la extendidora, denominados *transfer*, que permiten que la extendidora trabaje sin paradas, ya que la regularidad conseguida con estos materiales es especialmente sensible a las detenciones.

Estos equipos mejoran además la homogeneidad de la mezcla.

En estos materiales se está trabajando fundamentalmente, además de en lo ya señalado, en los siguientes campos:

- Técnicas para disminuir los espesores, habiéndose conseguido ya con algunos desarrollos que se solapan con los tratamientos superficiales.

- Mezclas con granulometrías 0/6, menos ruidosas que las convencionales y utilizables tanto en ciudades como en carreteras interurbanas.

- Incorporación de caucho para disminuir el ruido.

- Mejora en los métodos de diseño en laboratorio.

- Incorporación de fibras o *fillers* especiales para aumentar su durabilidad y especialmente la de la textura superficial.

Un aspecto común a las mezclas drenantes y las mezclas discontinuas para capas finas son los desarrollos en dos campos:

- Mejoras en la calidad de la regularidad superficial de las distintas capas, modificando las técnicas de construcción o los equipos.

- Limitación de las segregaciones, mediante unos mejores controles, el diseño de unos materiales menos segregables, la modificación de equipos y el desa-

rollo de unas técnicas de control de gran rendimiento que permitan medir la segregación.

Se están produciendo también avances en otras rodaduras, como por ejemplo en:

Tratamientos superficiales

- Puesta en obra de tratamientos superficiales con extendidora.

- Utilización de ligantes de alta consistencia para disminuir los arranques.

- Tratamientos superficiales multicapa mejorados.

Mezclas en frío

- Microaglomerados en frío: mejora de las emulsiones para adaptarlas a todo tipo de áridos y condiciones de trabajo. Incorporación de fibras y aditivos para prolongar su vida de servicio.

- Desarrollo de mezclas densas en frío para capas de rodadura delgadas o gruesas; en algunos casos, basadas en la técnica de doble envuelta (envuelta previa de la arena, con betún o con emulsión, y posterior del conjunto con emulsión).

Capas de rodadura especiales

Dentro de este campo deben destacarse dos líneas de trabajo principales:

- Las mezclas bituminosas anticarburante, desarrolladas como alternativa a los pavimentos de hormigón o a las mezclas con alquitrán (fuera de uso por la peligrosidad de este ligante para la salud). Las nuevas mezclas se basan especialmente en el empleo de ligantes modificados con elevados contenidos de un elastómero resistente a los disolventes. Son de utilidad en aeropuertos, gasolineras, balsas, zonas industriales, etc.

- Capas de rodadura para atrapar las partículas emitidas por los vehículos que permanecen suspendidas en el aire. Se basan en el desarrollo de betunes conductores que permiten cargar electrostáticamente la superficie del firme y evitar que ésta repela las



Central de doble tambor para reciclado de mezclas bituminosas en caliente.

partículas en suspensión, que de esta manera se depositan por gravedad o por atracción eléctrica.

3. Pavimentos de hormigón

En este campo se están produciendo numerosos desarrollos, que encuentran dificultades para introducirse en España por el escaso empleo que se hace de los pavimentos de hormigón. Entre las principales novedades pueden citarse:

- Las técnicas para reducir el ruido de rodadura, como la de áridos expuestos mediante denudado químico, y la de hormigones porosos.
- La técnica de construcción en dos capas, con una considerable economía de áridos de calidad.

En los EE.UU. se está trabajando en numerosos temas relacionados con los pavimentos de hormigón. Por ejemplo, la Fundación para el Estudio de Novedades en Firmes de Carretera tiene un plan estratégico de desarrollo en el que figuran más de 50

líneas de investigación sobre los pavimentos de hormigón, entre las que se encuentran el desarrollo de unos pasadores con materiales alternativos (compuestos con fibras) resistentes a la corrosión, nuevos diseños en la distribución de los pasadores, el desarrollo de hormigones de alta durabilidad o el empleo de fibras para reducir el espesor de las losas.

En España hay una línea de investigación muy original, basada ya en numerosas realizaciones prácticas, sobre el diseño de unas juntas especiales entre las losas que permiten una transferencia total de las cargas, con las ventajas consiguientes en cuanto a la reducción de espesores y la durabilidad de la propia junta.

4. Técnicas para utilizar desechos y emplear materiales locales

En la década de los noventa aumentaron las limitaciones sobre

los vertidos en Europa. La carretera fue vista como una solución práctica para la colocación de residuos y subproductos. Además, el empleo de estos materiales tiene el interés de reducir la extracción de materiales vírgenes. En esa década se incrementó el tipo de residuos que se pueden utilizar y el campo de aplicación (el CEDEX ha preparado, para el Ministerio de Medio Ambiente, un catálogo de residuos utilizables en la construcción de carreteras, que recoge los más usuales). Entre las necesidades más inmediatas se encuentran el aprovechamiento de los neumáticos y de los residuos de la demolición de edificios y estructuras de hormigón, para los que se han elaborado ya Planes Nacionales.

El aprovechamiento de los neumáticos se está haciendo mediante dos procedimientos distintos. En uno de ellos se utilizan como áridos, incorporando el material troceado directamente a las plantas de fabricación de mezclas, como un árido más. Hay ya una cierta experiencia en Cataluña. Este sistema tiene la ventaja de que puede ser adoptado por cualquier empresa constructora. El segundo incorpora polvo de neumático al betón para obtener un ligante modificado. En los dos campos se ha empezado a trabajar ya en España, pero todavía queda mucho por hacer.

Por otro lado se debe avanzar en el aprovechamiento de los materiales de demolición. Debe prestarse atención a las demoliciones selectivas, al diseño de las plantas de tratamiento y a los procedimientos de utilización de estos materiales (más porosos que los convencionales, difíciles de compactar y con posibles contaminaciones) en los firmes de carreteras.

Se ha avanzado bastante en el aprovechamiento de las escorias de acería eléctrica, que es un material de gran interés para capas de rodadura.

Otros campos en los que hay investigaciones en marcha son los siguientes:

- Aprovechamiento de los residuos de los incineradores urbanos (ya hay experiencias en Tarragona y en Baleares).
- Utilización de vidrios reciclados (especialmente los de color) en mezclas bituminosas, con algunos tramos de ensayo en Cataluña.
- Aprovechamiento de plásticos y protecciones de cable.

5. Reciclado de firmes y aprovechamiento de residuos de la carretera

En España se comenzó a desarrollar el reciclado de firmes en el año 1992 con el reciclado *in situ* con emulsión y con cemento, y ha tenido un avance continuado hasta ahora. En estos años se ha definido la técnica y se ha avanzado en los equipos y los métodos. Actualmente los campos de investigación prioritarios son:

- Desarrollo de la técnica de "espuma de betún", que puede presentar las ventajas de una mayor economía que la emulsión, menores tiempo de espera para la puesta en obra de las capas superiores y mayores profundidades de tratamiento.

- Reciclados mixtos con cemento (3-5%) y emulsión (2-3%), con la ventaja de una mayor flexibilidad que los realizados con cemento únicamente y un menor agrietamiento por retracción.

- Desarrollos de la técnica de reciclado en caliente, en lo relativo a aditivos rejuvenecedores y procedimientos. Son especialmente interesantes las técnicas para utilizar tasas elevadas de reciclado (por encima del 40% del material recuperado).

Hay otro campo en el aprovechamiento de residuos de la carretera que no es el del reciclado. Un ejemplo es el del aprovechamiento de los *fillers* de recupe-



Central para el tratamiento de escorias procedentes de la incineración de residuos sólidos urbanos en Tarragona.

ración de las centrales de fabricación de mezclas, que constituyen un importante problema ambiental.

6. Medidas de protección ambiental y para la salud y seguridad

Es un campo que tendrá probablemente un gran desarrollo en esta década. Se exigirá cada vez en mayor medida a los constructores que cuiden la seguridad y salud de los trabajadores, y que utilicen unos nuevos métodos de construcción y unos materiales que tengan menos impacto sobre el medio ambiente y sobre las personas. Hay numerosos grupos de investigación europeos y norteamericanos que están trabajando en estos asuntos. Los principales campos de investigación son:

- Disminución de emisiones en los procesos de fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas.

Se han llevado ya a cabo estudios sobre los consumos energéticos en las fases de construcción y explotación de los firmes de carretera, para reducirlos y así disminuir las emisiones de CO₂. Se trabaja en conseguir temperaturas de fabricación y puesta en obra inferiores a las convencionales mediante unos aditivos que lo permitan (por ejemplo, aceites derivados del carbón) o unas modificaciones de los procesos (por ejemplo, envolviendo primero a 100-120 °C con un betún blando y añadiendo posteriormente otro más duro en forma de polvo, emulsión o espuma). Se plantea, por otro lado, volver a las técnicas en frío. También se están modificando los equipos de fabricación de las mezclas bituminosas (mejora de los filtros) o los de extensión (incorporación de sistemas de ventilación que alejen los humos de los trabajadores). Hay equipos de investigación trabajando en eliminar el olor en la fabricación de productos bituminosos mediante unos betunes especiales.

- Análisis de los lixiviados de los terraplenes o las capas granulares, mediante la elaboración de modelos de previsión de daños, ensayos o técnicas de prevención.

7. Mezclas bituminosas especiales

Las mezclas bituminosas de alto módulo tienen un gran interés porque permiten reducir el volumen de los materiales empleados, preservándose recursos naturales y reduciéndose los tiempos de ejecución. Permiten también trabajar con algunos áridos marginales, aplicando de nuevo la posibilidad de una utilización óptima de los recursos. Se está trabajando en mezclas de muy alto módulo, que utilizan un betón aún más duro, del tipo 0/10, lo que lleva a obtener módulos entre 20 000 y 25 000 MPa. Este material puede llevar a reducciones de hasta el 50% del espesor de los materiales bituminosos.

También se está trabajando en el diseño de mezclas de alto módulo para capas de rodadura o intermedia antirrodas. La formulación se modifica para mejorar la macrotextura y reducir los riesgos de fisuración por rotura frágil a flexión o térmica. Se incorporan fibras o ligantes modificados para dotar al producto de una mayor flexibilidad.

Otro campo de trabajo es el empleo de mezclas con granulometría discontinua, semejantes a las de las capas finas, para ser utilizadas en capas intermedias o (de base).

En algunos países se trabaja en el empleo de mezclas para capa de base con tamaño de áridos elevado (hasta 40 ó 50 mm), que presentan las ventajas de una mayor resistencia a las deformaciones plásticas, unos menores contenidos de ligante y unas menores necesidades de trituración de áridos.

Hay también un campo de estudio muy importante en los elastómeros que pueden añadirse directamente al mezclador. La utilización de ligantes modificados obliga generalmente a disponer en las centrales de fabricación de dos depósitos de ligante, incluso si el ligante modificado se va a utilizar únicamente en unas zonas concretas (curvas, intersecciones o glonetas). El empleo de modificantes, fácilmente mezclables en el mezclador, da una gran flexibilidad a la central, que puede utilizar betún modificado en las ocasiones que desee y con distintos grados de modificación si es necesario. Se necesitan unos elastómeros que se dispersen fácilmente en el betún, con la energía de mezcla propia de los mezcladores convencionales. Hay varios procedimientos; por ejemplo, uno de ellos se basa en mezclar previamente el elastómero con la fracción malténica de los betunes, que es la parte del proceso que necesita más tiempo, añadiendo el concentrado al mezclador.

También se están desarrollando nuevos elastómeros reticulados, incorporados químicamente, con las ventajas de que pueden modificarse fácilmente unos betunes que serían incompatibles con los modificadores convencionales; son muy estables al almacenamiento y muy adhesivos, y son muy eficaces en la resistencia a las rodadas y al envejecimiento.

Se está trabajando también en otro tipo de aditivos añadidos al mezclador, que sean más fáciles de incorporar a los betunes y que igualen o mejoren el comportamiento de los de tipo SBS. Se están desarrollando otros aditivos que no son elastómeros, que hacen el betún menos viscoso a altas temperaturas ($> 100^{\circ}\text{C}$) y mejoran sus características a la temperatura ambiente. Esto permite compactar mejor las mezclas bituminosas.

Otro desarrollo son los betunes multigrado: betunes puros en

los que se ha modificado el proceso de fabricación de manera que se obtienen índices de penetración positivos y próximos a la unidad. Esto quiere decir que son menos susceptibles a la temperatura que los convencionales y que tienen mayores temperaturas de reblandecimiento. Mejoran la capacidad de resistir las deformaciones plásticas. No tienen las características elásticas de los betunes modificados.

Se han producido también avances en las emulsiones, y en España hay abierta una línea muy interesante en el tema de las microemulsiones, desarrolladas en el proyecto OPTTEL.

8. Materiales tratados con cemento

La lucha contra la reflexión de grietas de retracción es uno de los grandes retos para los técnicos de firmes de carreteras. Estas grietas se producen espontáneamente en estos materiales como consecuencia de la retracción hidráulica y térmica y acaban reflejándose en la superficie de las carreteras, constituyendo una vía de deterioro y el origen de frecuentes necesidades de conservación. En España se empezó a trabajar en este campo en la década de los ochenta, como consecuencia de la aparición del hormigón seco compactado. Se desarrollaron varias líneas, unas de construcción (aserrado de juntas próximas, juntas en fresco) y otras de conservación (arena-betún, geotextiles impregnados, diseños especiales de las mezclas bituminosas). Actualmente constituye uno de los mayores impedimentos para utilizar materiales del tipo de la gravacemiento o del hormigón compactado. Los mayores éxitos que se han producido en este campo se deben a las siguientes técnicas, que se deben tratar de optimizar:

- En nueva construcción, prefisuración en fresco del material, provocando unas juntas relativa-

mente próximas, que minimizan el tamaño de las losas formadas por retracción y los movimientos debidos a cambios de volumen por efectos térmicos, y por tanto, la reflexión de grietas.

- En conservación y rehabilitación, utilización de la técnica de geotextiles impregnados.

Hay también un campo abierto de investigación, que es el de la optimización del diseño de estos materiales y, especialmente, el empleo de retardadores en la puesta en obra de los materiales.

También deben producirse en los próximos años avances y mejoras en el proceso de construcción *in situ* de los materiales tratados con cemento para capas de firme.

Por otro lado, se está tratando de avanzar en la maquinaria de extensión de los materiales tratados con cemento, para que permitan llegar a una precompactación tan enérgica que se pueda evitar el empleo de compactadores, y que se consiga una gran regularidad superficial que haga innecesario el empleo de mezclas bituminosas de rodadura, solucionándose de esta forma el problema de las grietas reflejadas.

9. Materiales para capas granulares

Las principales líneas de avance en estos materiales son la lucha contra las segregaciones, la combinación con geosintéticos (especialmente con geomallas) y las mejoras en su caracterización basándose en métodos fundamentales. En este último aspecto es importante la caracterización de las deformaciones permanentes de estas capas, especialmente para el diseño de vías de bajo tráfico. Se trabaja también en mejorar el diseño de las capas granulares desde el punto de vista de su permeabilidad y en la medida y predicción de los movimientos del agua. También deben desarrollarse métodos de medida *in situ* de las



Preisuración en fresco de una gravacemento.

características de las capas granulares.

Un campo en el que no se están produciendo avances es en el de los riegos de imprimación, que en su forma actual no funcionan correctamente con muchos materiales. En algunos países se ha llegado incluso a prescindir de ellos, ya que al no cumplir su función pueden incluso originar algunos problemas. En cualquier caso es una línea de trabajo a la que se debería prestar atención.

10. Dimensionamiento de los firmes

Hay una tendencia clara hacia los métodos de dimensionamiento

La carretera mejora la movilidad y calidad de vida de los ciudadanos y, por tanto, su posibilidad de participar en otras actividades económicas

analítico, y se está desarrollando un gran esfuerzo en perfeccionar los sistemas de cálculo mediante medidas de las tensiones y las deformaciones en los firmes, que permitan calibrar los procedimientos existentes. Se va, en general, a grandes pistas de ensayo, como la del CEDEX, que facilitan enormemente esta tarea. Estas mismas pistas se están utilizando para la mejora de los métodos empíricos.

Hay también una tendencia clara a introducir los ensayos fundamentales (los que permiten determinar las características de los materiales necesarias para el cálculo) en los análisis de los firmes de carretera. Se está haciendo un gran esfuerzo en poner a punto este tipo de ensayos para los distintos materiales de firmes.

Por otro lado, en los últimos años han aparecido en la técnica algunos tipos nuevos de firme que indican que todavía no se han agotado las posibilidades en este campo. Entre ellos hay que señalar:

Los firmes polifuncionales, desarrollados en Italia y constituidos por una capa de base de hormigón armado y una rodadura bituminosa, generalmente una mezcla drenante. Se trata de firmes muy duraderos, pero de un precio muy elevado.

Los firmes perpetuos, experimentados en el Reino Unido y en los EE.UU., basados en una construcción cuidada de la explanada, la colocación de unas capas inferiores resistentes a la fatiga y de unas capas superiores resistentes a las deformaciones plásticas.

Los firmes con triple capa de base, compuestos por dos capas (superior e inferior) delgadas (de unos 6 cm), formadas por un material de altas prestaciones (mezclas de alto módulo generalmente), y entre ellas un material económico de módulo bajo (mezclas en frío con espuma de betún o gravaemulsión). El sistema tricapita distribuye de una manera óptima las tensiones dentro del firme y permite una importante reducción de espesores.

Los firmes modulares, desarrollados en Holanda y contruidos con unos elementos prefabricados de fácil montaje y desmontaje, que permiten agilizar las reparaciones, minimizando las molestias al tráfico, y conseguir unas mejores calidades.

11. Reflexión final

La importancia de las actividades de I+D+I en el desarrollo económico de un país es algo que nadie pone en duda. Como puede deducirse de lo expuesto, en el campo de firmes de carretera hay muchas líneas de investigación que potencialmente pueden producir grandes beneficios, tanto al sector de la carretera como a la sociedad en general. La importancia física y el valor patrimonial de la red de carreteras es enorme, y la carretera es y seguirá siendo en el futuro el principal modo de transporte de personas y mercancías. La carretera mejora la movilidad y calidad de vida de los ciudadanos y, por tanto, su posibilidad de participar en otras actividades económicas. Hay que considerar también el coste económico y social de los accidentes, las congestiones del tráfico, y el impacto ambiental.



Construcción de un pavimento prefabricado, suministrado en forma de "alfombru".

La innovación en carreteras ha demostrado que en términos globales puede ser una de las actividades más rentables del país.

El número de investigaciones señalado en este artículo corresponde en gran parte a otros países, por lo que no debe enmascarar el déficit en investigación y desarrollo en firmes de carretera en España. Hay muchas carencias, y se puede y debe hacer mucho más, porque los retos y las necesidades son enormes.

En principio, la empresa privada, por su conocimiento próximo de las necesidades del mercado y por las ventajas directas que le puede significar la innovación, debería ser la principal impulsora de las actividades de I+D+I en este campo. En un sector en el que la competitividad es cada día más fuerte y las demandas técnicas mayores, hay una gran necesidad de reducir costes e introducir nuevas tecnologías. La experimentación y, sobre todo, el desarrollo del espíritu de innovación es lo que debe permitir avanzar a las empresas. Sin embargo, el sector de la construcción muestra, en general, un déficit de proyectos de investigación, que es muy preocupante; no sólo en comparación con

otros países, sino también en comparación con otros sectores. Las empresas se limitan a ser aplicadoras de productos normalizados.

Por otro lado, el papel de la Administraciones en el mantenimiento de la competitividad de la industria de la construcción está continuamente sometido a discusión. En los últimos años las Administraciones han aceptado el reto, y están haciendo un gran esfuerzo para aumentar los presupuestos de ayuda a la investigación. Quedan todavía tareas por hacer, y especialmente habría que instaurar unos sistemas que permitan probar las innovaciones, de manera que puedan pasar a una fase industrial, y luego otros que hagan posible la valorización de los desarrollos. En otros países se están desarrollando unos sistemas de estímulo a la innovación que habría que analizar. La Administración debería también potenciar la investigación propia sobre asuntos que sean de su estricta competencia.

En cualquier caso, la innovación es tarea de todos, y los debates que se están produciendo sobre este asunto, con la intervención de todos los sectores implicados, contribuirán sin duda a que se siga avanzando en este camino. ■