

Estambul, 4 a 7 de abril de 2004

9º Simposio Internacional sobre Carreteras de Hormigón



Carlos Jofré,
Director Técnico
del IECA.

Este evento técnico de gran prestigio, junto con las Conferencias Internacionales sobre Proyecto de Pavimentos de Hormigón, organizadas por la Universidad de Purdue (EE.UU.) cada cuatro años, constituye una de las dos manifestaciones más importantes a escala mundial dentro del campo de los firmes rígidos.

El número de participantes fue superior a 500, y se recibieron cerca de 150 comunicaciones, que fueron desarrolladas en cuatro sesiones plenarias.

Tres de ellas fueron redactadas por autores españoles: *"Recomendaciones de la AIPCR sobre reciclado con cemento de firmes"* (Carlos Jofré), *"Estado del arte del reciclado in situ con cemento de firmes en España"* (Jesús Díaz Minguela) y *"Pavimentos continuos con juntas tridimensionales JRI+"* (José R. Vázquez).

Asimismo, el 4 de abril se celebraron dos seminarios especializados. El primero de ellos, dirigido por el Prof. Lorenzo Domenichini, de Italia, tenía como lema *"Su primer pavimento de hormigón"*. Se trataron en él temas como "¿Cuáles son los elementos más impor-

tales que tener en cuenta en el proyecto de un pavimento de hormigón?", o "¿Cómo construir correctamente un pavimento de hormigón?". Se presentaron también ejemplos de programas informáticos para el proyecto de pavimentos de hormigón, y algunas obras recientes, como la del refuerzo de la autopista San Salvador - aeropuerto internacional de Comalapa (El Salvador), con cerca de 40 km de longitud de doble calzada. Es de destacar que en este último país, al igual que en México y Brasil, algunas compañías cementeras han adquirido equipos modernos para la construcción de pavimentos de hormigón y creado empresas para su manejo, lo que se ha traducido en un número muy importante de carreteras ejecutadas con dicha técnica (en México, por ejemplo, una longitud equivalente a más de 1 500 km de calzada de 2 carriles). Con ello, se ha tratado de romper el círculo vicioso "Las Administraciones no proyectan pavimentos de hormigón porque los contratistas no poseen equipos adecuados - Los contratistas no compran equipos para la construcción de pavimentos de hormigón

porque las Administraciones no los proyectan". Una medida similar fue adoptada hace 40 años por la industria del cemento de España, que compró dos trenes de maquinaria con los que se construyeron obras tan importantes como la variante de Torrejón de Ardoz o la carretera de acceso al Valle de los Caídos"

El segundo seminario estuvo dedicado al *"Reciclado in situ con cemento de firmes existentes"*, que permite tratar con garantías hasta 300 mm del firme, y es una de las alternativas más eficaces y con una mejor relación calidad/coste para incrementar de forma sustancial la capacidad de soporte.

Este seminario estuvo dirigido por D. Carlos Jofré, del IECA, y en él se trataron los siguientes temas: 1. Aspectos generales: las Recomendaciones de la AIPCR sobre reciclado con cemento de firmes (Carlos Jofré, España); 2. Obstáculos para el desarrollo de la técnica (Joseph Abdo, Francia); 3. Propiedades mecánicas de los materiales reciclados con cemento (Stelios Koliass, Grecia); 4. Cómo organizar eficientemente una obra de

reciclado (Miguel López Bachiller, España); y 5. Estado del arte del reciclado in situ con cemento en España (Jesús Díaz Minguela, España).

La participación española en el seminario fue, por tanto, muy destacada; y ello está en línea con la posición puntera a escala mundial que España ocupa en esta técnica.

La primera ponencia del seminario estuvo dedicada a los aspectos generales de la técnica, que han sido recogidos en unas Recomendaciones sobre reciclado in situ con cemento de firmes, preparadas por un grupo de trabajo internacional constituido dentro del Comité C7/8 Internacional de Firmes de la AIPCR y coordinado por D. Carlos Jofré. Otras dos recomendaciones se han dedicado, respectivamente, al reciclado in situ con emulsión bituminosa o betún espumado y al reciclado en caliente en planta de mezclas bituminosas. En los distintos grupos de trabajo han participado también, entre otros, D. Alberto Bardesi, D. Jesús Díaz Minguela, D. Carlos Kraemer, D. Juan José Potti y D. Aurelio Ruiz.

Dentro del **capítulo 1, Introducción**, se afirmó que el reciclado de firmes es una técnica que reutiliza los materiales del firme existente para la construcción de una nueva capa, mediante las siguientes operaciones: escarificado del firme existente hasta una cierta profundidad, y la incorporación de un conglomerante (cemento y/o emulsión bituminosa), agua (para hidratación, mezcla y compactación), áridos en caso necesario (para corregir la granulometría o con otros propósitos) y aditivos.

Desde mediados de los años ochenta, la opción del reciclado in situ para rehabilitar carreteras existentes ha experimentado un gran desarrollo, principalmente debido a un conocimiento mejor de las características mecánicas de los cementos, de los materiales tratados y del comportamiento de los firmes semirrígidos; el uso de nuevos equipos, más potentes, de gran rendimiento y con una profundidad de trabajo mayor; y a una creciente concienciación ecológica.

El **capítulo 2, Estudios preliminares**, trata de los estudios que son necesarios hacer previamente a un reci-

clado para verificar su viabilidad; seleccionar el tipo de reciclado; determinar, por medio de los ensayos de laboratorio, las características de los materiales que se van a reciclar; y llevar a cabo el estudio de la fórmula de trabajo.



Olivier Michaud, Presidente de la AIPCR.

Dentro del **capítulo 3, Estudio de la fórmula de trabajo**, se afirma que el reciclado del firme no debe empezar hasta haber completado los ensayos para determinar la fórmula de trabajo y ésta se haya aprobado. Además, el contenido de cemento debe ser el óptimo para lograr de forma económica la resistencia requerida y conseguir que las grietas de retracción sean lo más finas posibles.

En el **capítulo 4, Propiedades mecánicas de los materiales reciclados con cemento**, se afirmó que su conocimiento es indispensable para el estudio de la fórmula de trabajo y el proyecto de espesores, tanto de la capa reciclada como de las capas superiores de mezcla bituminosa. Además, deben conocerse antes de que se inicie la construcción, ya que ésta es una de las mayores dificultades, puesto que los materiales son relativamente heterogéneos y es difícil de estimar la granulometría de los materiales reciclados que se obtendrán después de la escarificación. Debido a esta heterogeneidad, los rangos de variación de las diferentes propiedades mecánicas de los materiales reciclados con cemento son muy amplios.

Así mismo, otros factores que contribuyen a la dispersión en los valores de las diferentes propiedades mecánicas son: el contenido de cemento, la eficacia del proceso de escarificación y mezcla, la densidad obtenida después de la compactación, el contenido de humedad, y el tiempo transcurrido después de llevado a cabo el reciclado.

Sin embargo, las capas recicladas con cemento tienen un elevado módulo de elasticidad y, en consecuencia, una gran capacidad de soporte alta, lo que se traduce en una disminución importante tanto en las deflexiones del firme como en las tensiones y deformaciones de la explanada en comparación con los valores antes de reciclar.

El **capítulo 5, Proyecto de espesores de firmes reciclados con cemento**, se afirma que son similares a los suelos cemento o a los materiales granulares tratados con cemento, los cuales se emplean en todas las categorías de tráfico.

El proyecto de este tipo de firmes abarca la determinación del espesor de la capa reciclada y del espesor total de las capas superiores de mezcla bituminosa.

Tras afirmarse que, en general, se usan mezclas bituminosas en caliente para proteger la capa reciclada con cemento, salvo en las vías de baja intensidad de tráfico, se subraya que el reciclado con cemento es una técnica de rehabilitación total, y que la determinación del espesor de un firme reciclado con cemento debe realizarse como en el caso de un firme nuevo.

Así mismo, se recuerda que el espesor mínimo en cualquier punto de las capas recicladas con cemento no debe ser inferior a unos 20 cm, y que no es aconsejable proyectarlas con un espesor superior a 35 cm.

El **capítulo 6, Maquinaria para reciclados**, presenta el proceso de reciclado in situ con cemento de un firme existente, que puede ser dividido en dos fases principales: una primera que comprende la escarificación de la(s) capa(s) del firme hasta la profundidad requerida, y la mezcla del material pulverizado con el cemento y el agua; y una segunda, que es la compactación, y, en su caso, el refinado del material reciclado.



En la foto, D. Carlos Jofré, segundo por la izquierda.

con cemento, y la posterior aplicación de una emulsión bituminosa de curado.

Tras afirmarse que los equipos de compactación pueden variar dependiendo de la profundidad de tratamiento, se afirma que el método más ampliamente usado es la extensión mecánica del conglomerante mediante uno de los dos tipos de máquinas actualmente disponibles: distribuidores que extienden el material en forma pulverulenta, y equipos que mezclan el cemento y el agua para producir una lechada que se introduce a continuación en la recicladora.

Más adelante, se dijo que la mayoría de los equipos para reciclado se desarrolló originalmente para la estabilización de suelos y que su elemento principal es un tambor escarificador.

Posteriormente, se presentaron otros tipos de recicladoras, y se afirmó que la prefisuración de las capas recicladas con cemento por medio de entallas creadas en el material fresco a distancias cortas (2,5 a 3,5 m) es el sistema más eficaz para minimizar la reflexión de las grietas de retracción en las capas bituminosas superiores, y que también es aplicable a los firmes semirrígidos para tráfico medios o altos. Así mismo, se subrayó que los rodillos vibratorios lisos son los más frecuentemente utilizados por su versatilidad y eficacia.

En el **capítulo 7, Ejecución de las obras**, se resumen las distintas etapas de una obra de reciclado con cemento, y se defiende que, para garantizar tanto una buena uniformidad del material reciclado como una profundidad de mezcla constante, es necesario usar una recicladora con potencia suficiente. Además, el

equipo debe avanzar regularmente a una velocidad suficientemente lenta para lograr una mezcla homogénea sin perjudicar el rendimiento. Así mismo, que normalmente el reciclado se lleva a cabo en bandas que deben solaparse unos 20 cm, y que debe evitarse los excesos de contenido de cemento en dichos solapes.

Más adelante, se afirmó que el funcionamiento del equipo de compactación, incluso el número de pasadas requerido, debe definirse en un tramo de ensayo; que la compactación debe completarse tan pronto como sea posible después de realizar la mezcla con el cemento y el agua, dado que el plazo de trabajabilidad del material reciclado tiende a ser relativamente corto; y que es importante que el material reciclado de una banda no empiece a fraguar antes de que la banda adyacente posterior haya sido tratada y compactada. Además, se destacó que es beneficioso refinar el material reciclado con una motoniveladora, después de una compactación inicial hasta una densidad uniforme del 90-92% del valor de la referencia en todo el ancho de la banda.

En cuanto la compactación final se haya completado, debe extenderse un riego de curado sobre la capa reciclada para protegerla de las pérdidas de humedad, las condiciones atmosféricas y el tráfico. Habitualmente se emplea una emulsión catiónica.

En el **capítulo 8, Control de calidad**, se destacó que éste es esencial para obtener unos resultados satisfactorios y que durante la construcción debe verificarse el origen de los materiales y controlarse la calidad de la producción, con-

siderando la calidad y cantidad de los materiales incorporados, el contenido de humedad, la granulometría del material reciclado, la homogeneidad de la mezcla, la compactación, la profundidad de reciclado y el aspecto y la geometría.

El **capítulo 9, Costes**, analiza los diferentes factores que intervienen en el costo de reciclar un firme, y presenta algunas cifras medias para ilustrar la influencia de los distintos factores involucrados: cemento, 38%; equipos de reciclado, 39%; equipos auxiliares, 13%; mano de obra auxiliar, 1%; y curado, 9%.

Por su lado, **D. Jesús Díaz Minguela**, del **IECA**, intervino con el tema **"La situación actual del reciclado in situ con cemento en España"**, informando que, con una primera experiencia a finales de 1991 de unos 100 000 m² en Huelva y tras un pequeño paréntesis en los años 93 y 96, el número de carreteras rehabilitadas mediante la técnica de reciclado in situ con cemento en España ha ido creciendo hasta el año 1999, en el que se reciclaron más de 1 200 000 m². Desde entonces, la superficie de pavimento reciclado anualmente se ha mantenido en estas cifras, lo que suma una superficie total reciclada de más de 8 500 000 m². Esto supone más de 142 obras diferentes y una longitud total de unos 1 200 km de carretera reciclada con cemento. Actualmente hay unos 26 equipos especializados para el reciclado de firmes in situ en España.

Aunque esta técnica se encuentra muy extendida, es en Castilla y León donde se ha llevado a cabo casi el 50% de los trabajos.

Respecto al proyecto, en 1996, las Recomendaciones de Proyecto y Construcción de Firmes y Pavimentos de la Junta de Castilla y León presentaron un anejo sobre esta técnica. Pero es a partir de 1999, con la publicación del Manual de firmes reciclados in situ con cemento del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), cuando se dispone de instrucciones sobre cómo realizar los estudios previos y definir la fórmula de trabajo, el proceso de ejecución y los equipos disponibles, el coste aproximado e incluso un pliego de prescrip-

ciones técnicas particulares. Además, se incluye un catálogo con el diseño de las secciones de firme para cada categoría de tráfico pesado, optimizando y homogeneizando así las secciones realizadas hasta la fecha. Las secciones tipo están formadas por capas recicladas de espesor variable entre 20-35 cm, cubiertas con 5-15 cm de mezcla bituminosa en caliente. En 2001, el Ministerio de Fomento publica el capítulo de prescripciones técnicas generales del PG-4 correspondiente (cap. 21).

Las características de los firmes reciclados en España es muy variable: desde carreteras con tráfico pesado de categoría T1 (más de 1 000 camiones/día/carril), como la Ruta de la Plata, a carreteras de categoría T-4 (menos de 25). También la anchura de éstas es muy variable, desde 5 a 10 m, así como el firme reciclado, que suele estar formado por capas de macadam o zahorra artificial en la base y un pavimento que varía desde simples tratamientos superficiales hasta varias capas de mezclas bituminosas.

La maquinaria utilizada para el reciclado ha ido variando; pero actualmente se emplea un equipo formado por una dosificadora de lechada de cemento WM-1000 y una recicladora WR-2500 de la casa Wirtgen. De hecho, hay 26 de estos equipos en España pertenecientes a 16 empresas diferentes.

Para la compactación se utiliza un rodillo de más de 15 t, procediéndose a un refinado con motoniveladora, tras una primera pasada del rodillo. En algunas ocasiones se emplea además un rodillo de neumáticos. El rendimiento medio es de unos 8 000 m²/día.

El sistema de prefisuración para la realización de juntas en fresco sólo se ha empleado en dos obras; pero se ha podido observar que, con tráfico pesado (categoría T2 o superior), es necesario para evitar la reflexión de las fisuras de la capa reciclada sobre la rodadura.

Cuando la capa reciclada se abre inmediatamente al tráfico, tras el riego de curado realizado con una emulsión, se protege con un árido 3-6 mm. El tiempo transcurrido hasta la colocación de la capa de mezcla bituminosa superior es muy

variable, entre 1-2 semanas a 3-4 meses, según las condiciones de cada obra. El comportamiento hasta la fecha se puede clasificar de muy bueno en general.

El reciclado in situ con cemento es una alternativa de rehabilitación económica (cada cm de firme reciclado puede costar aproximadamente 0,11 euros/m²)



D. Carlos Jofré en un momento de su intervención.

y muy interesante. Su futuro, dadas las ventajas técnicas, económicas y medioambientales, está asegurado en un país como España, con una amplia experiencia de más de 8 500 000 de m² de carreteras recicladas.

D. Miguel López Bachiller, de Soltec, intervino con la ponencia **¿Cómo organizar una obra de reciclado de una manera eficaz?** En ella dio un repaso rápido a los puntos principales que hay que tener en cuenta en el momento de organizar una obra de reciclado de una carretera, sin pretender que ésta fuera una guía definitiva.

Su intervención se dividió en una introducción y una serie de capítulos. Comenzó por dar un repaso a los detalles que es necesario contemplar en cuanto a la preparación de la plataforma existente, insistiendo en que una buena preparación es necesaria para obtener un buen resultado: las máquinas de reciclado no crean ni destruyen material, por lo que la rasante de terminación se parecerá bastante a la primitiva. También subrayó en este comienzo que sus co-

rrecciones es conveniente hacerlas antes de la aplicación del ligante.

Tras ello analizó la logística necesaria para llevar a cabo la obra: maquinaria (recicladora, distribuidor de cemento, cubas de agua, rodillos compactadores, motoniveladoras, camión regador de emulsión y eventualmente distribuidor de gravillas), materiales (cemento, agua, tanto de humectación de la mezcla como de curado, y posibles áridos de corrección de rasante o granulometría). Preparar siempre bien los accesos a la obra y asegurar el suministro de agua suficientemente limpia.

El siguiente capítulo de su intervención lo dedicó a cómo llevar a cabo la propia ejecución, analizando la extensión del cemento, el reciclado, la nivelación y la compactación, para subrayar que hay que prestar mucho cuidado y atención a la extensión del ligante, tanto si es por vía seca como por la húmeda. Igualmente, destacó que hay que llevar todos los controles que sean necesarios para evitar errores. Cuidados que hay que tener en cuenta en todo lo referente al propio reciclado, al comienzo y final de cada trazo, y controlando la profundidad del reciclado.

Por lo que se refiere a la nivelación, insistió en lo dicho en el apartado de preparación de plataforma. Así mismo, afirmó que la compactación ha de hacerse empleando los rodillos necesarios. Muchas veces es obligado hacer tramos de prueba; ya que, al cambiar la granulometría de los materiales, los ensayos de densidad Proctor de laboratorio hay que adaptarlos a las condiciones reales de la obra.

Finalmente, hizo un breve recordatorio en cuanto al control de la calidad, prestando un cuidado especial de las probetas, procurando confeccionarlas en obra y teniendo en cuenta que muchas veces el material que se recicla cambia conforme avanza la obra, por lo que se hace necesario adaptar los datos de laboratorio a los materiales de la obra.

Presentación de comunicaciones

Las sesiones de trabajo del Simposio para debatir las comunicaciones recibi-

das se desarrollaron durante los días 5 y 6 de abril. Intercaladas durante las sesiones de trabajo, hubo dos presentaciones de los resultados de los seminarios, realizadas por sus coordinadores.

En cada sesión de trabajo, uno o dos especialistas exponían un resumen de las comunicaciones incluidas en ellas. A continuación, los autores de varias comunicaciones seleccionadas realizaban una presentación de las mismas y finalmente se tenía un tiempo para coloquio.

El encargado de resumir las ponencias de la primera parte de la sesión 1 (dedicada al tema "**Proyecto y especificaciones - Costes a lo largo del ciclo de vida**") fue **D. Carlos Kraemer**. En esa primera parte se analizaron 15 comunicaciones procedentes de 10 países diferentes. Para resumir las principales conclusiones, dichas comunicaciones se dividieron en cuatro cuestiones, aunque algunas de ellas cubrían unos temas más amplios: Investigación teórica y experimental para nuevos diseños; Proyecto y construcción: práctica actual; Recomendaciones y especificaciones; y Diseño de infraestructuras para ferrocarriles.

Entre otras cuestiones, dentro de la **investigación teórica y experimental para nuevos diseños**, se destacó que **Léonard y Jasienski**, de *Bélgica*, describen un nuevo e interesante programa de ordenador para el diseño analítico de pavimentos, con una gran capacidad para tratar firmes rígidos, flexibles o compuestos.

Por su lado, **Debroux y Platiaux**, también de *Bélgica*, presentaron el programa que se está llevando a cabo para validar in situ el método de proyecto descrito por Léonard y Jasienski.

También se significó que, en particular, se está investigando la eficacia y durabilidad de la adherencia entre el pavimento de hormigón y la capa bituminosa subyacente.

Pfeifer, de *Alemania*, informa sobre dos nuevas estructuras de firme con hormigón introducidas recientemente en las normas alemanas (RStO), así como del desarrollo de un nuevo método de diseño de firmes (AWDSTAKO) basado en cálculos del estado límite último y de servicio.

Puttappa, Muthu, Anjaneya, Murthy

y **Veeraragavan**, de *Karnataka, India*, proponen un método alternativo para el proyecto de pavimentos rígidos. El análisis de las tensiones de flexión se lleva a cabo mediante un programa de integración numérica para análisis de sistemas, empleando el método de los elementos finitos.

Foos y Müller, de *Alemania*, han llevado a cabo una extensa investigación experimental y teórica sobre pavimentos de hormigón expuestos a condiciones climáticas severas. Los resultados se utilizaron para verificar y calibrar un mode-



D. Jesús Díaz Minguela.

lo numérico avanzado desarrollado en el marco del programa de investigación.

Steinauer y Ückermann, de *Alemania*, subrayan los efectos en la fatiga del firme de la interacción entre las cargas de los vehículos y la regularidad superficial de la carretera.

Las conclusiones de esta importante investigación permiten comparar y clasificar los diferentes vehículos pesados, y proporcionan una mejor comprensión de su respectiva contribución a la fatiga del pavimento.

Nassif y Yuksel, de *New Jersey, EE.UU.*, han estudiado la respuesta dinámica de los puentes de carretera sometidos a cargas de camiones móviles, la cual depende de las características dinámicas del puente y del vehículo, así como del perfil de la superficie de la carretera, particularmente en la entrada al puente.

La simulación confirma que el DLF dis-

minuye al aumentar la tensión estática.

En cuanto al **proyecto y construcción: práctica actual**, **Schnyder y Bischoff**, de *Suiza*, describen un notable ejemplo de proyecto y construcción moderna en el aeropuerto de Zurich, que comprende un estacionamiento, un sistema de pistas de rodadura y dos túneles, con una superficie del orden de 600 000 m².

El nuevo pavimento se ha proyectado para unas cargas futuras de avión de hasta 6 500 kN, pero con unas prescripciones muy estrictas.

Mediante un análisis coste-beneficio se confirmó la viabilidad del diseño de pavimento ensayado previamente, consistente en un pavimento de hormigón en masa de 0,36 m de espesor con losas de 6 x 6 m de hormigón de alta calidad sobre una base de 3 capas estabilizadas con cemento. Se adoptaron medidas para asegurar una adherencia eficaz entre las capas.

Silfwerbrand, de *Suecia*, trata de los **whitetoppings**, es decir, de los pavimentos compuestos consistentes en un refuerzo delgado de hormigón adherido a una capa bituminosa, en general fresada, para asegurar la adherencia, y en la que ambas capas trabajan conjuntamente. Aunque pueden emplearse también en obras nuevas, generalmente se recurre a esta solución para mejorar la capacidad estructural de pavimentos bituminosos viejos y degradados, así como capas de rodadura con muchas roderas.

Se comparan los pavimentos de hormigón, los firmes bituminosos y los **whitetoppings**, analizando sus propiedades. Se describe el buen comportamiento de los tramos de ensayo con un refuerzo de hormigón de 70 mm de espesor, tanto en masa como armado con fibras de acero, sobre una capa bituminosa de 150 mm de espesor. La separación entre juntas no debería ser superior en principio a 20 veces el espesor del refuerzo.

En lo relativo a **Recomendaciones y prescripciones**, **Jasienski y Rens**, de *Bélgica*, realizan un resumen y comparan las nuevas prescripciones belgas para pavimentos de hormigón de las tres regiones administrativas de Bélgica y destacando que entre un 35 y un 40%

de las autopistas tienen pavimento de hormigón.

En general, las estructuras de firme normalizadas dependen del tráfico (ejes equivalentes). La estructura para la categoría de tráfico más elevada es la siguiente:

23 cm	pavimento continuo de hormigón armado
6 cm	capa bituminosa intermedia
20 cm	hormigón magro

todo ello sobre un mínimo de 30 cm de explanada no susceptible a la helada.

Se destacaron que la mayoría de los pavimentos de hormigón son del tipo armado continuo; la resistencia del hormigón se especifica sobre testigos (diámetro=100 mm, altura=113 mm) a 90 días de edad con una resistencia mínima $R'_{bk}= 52,5 - 60$ MPa en las carreteras principales y secundarias (o un poco inferior en el caso de hormigón con aire ocluido).

Stet y Van Leest, de *Holanda*, describen el estado del arte de los firmes continuos de hormigón armado en su país después de más de 10 años de desarrollo. En las carreteras principales, la práctica holandesa es la siguiente: 50 mm de mezcla bituminosa drenante para la reducción de ruido; 250 mm de pavimento continuo de hormigón armado; 60 mm de capa intermedia bituminosa, que constituye una plataforma de trabajo no erosionable y que impide la fisuración por reflexión; 250 mm de subbase granular sin estabilizar sobre la típica arena holandesa que cubre el terreno natural.

Las prescripciones holandesas cubren todos los aspectos de proyecto, desde detalles normalizados hasta el aseguramiento de la calidad y el control de la ejecución.

Stet, Van Leest y Jurriaans, de *Holanda*, resumen una publicación reciente de CROW (Centro Holandés de Información y Tecnología del Transporte e Infraestructuras) sobre la experiencia holandesa con gloriets de hormigón. Se dan directrices prácticas y recomendaciones para el proyecto, así como muchos detalles para la preparación de los documentos para la licitación, buscando una normalización de la geometría y de la estructura del pavimento.

Las gloriets de un solo carril son una solución segura en muchos cruces congestionados. Incluso a pesar de su coste de construcción algo más elevado que el de un hormigón con juntas o un firme bituminoso, a menudo se prefiere un pavimento continuo de hormigón armado, porque requiere menos conservación y es más duradero.

A continuación, el Sr. Kraemer resumió la intervención del Sr. Jofré, ya mencionada anteriormente.

Dentro del capítulo de **Proyecto de infraestructuras de ferrocarriles, Zü-**



D. Carlos Kraemer.

beyde y Turgut Öztürk, de *Turquía*, centran su comunicación en las superestructuras de ferrocarril de hormigón armado, cada vez más apreciadas tanto en los sistemas de trenes ligeros para transporte urbano como en las líneas de alta velocidad interurbanas.

Se destacan sus ventajas frente a la solución clásica en balasto. Un posible inconveniente es su mayor coste de ejecución, si bien éste se ve equilibrado por una conservación más reducida y que requiere menos tiempo. Los autores llaman también la atención sobre su sensibilidad frente a los terremotos.

Ehrsam, de *Francia*, trató el **proyecto de las vías en placa** mediante la adaptación de un método desarrollado inicialmente para carreteras de hormigón, basado en la resistencia a fatiga

del hormigón bajo el efecto de cargas de tráfico repetidas.

También se mencionó un método automatizado para la construcción de la placa con encofrados deslizantes.

En resumen, el Sr. Kraemer afirmó que se han desarrollado nuevos programas de ordenador de fácil empleo para proyectar de forma mejor y más segura los pavimentos de hormigón. Se pueden considerar en ellos factores tales como el tráfico, las condiciones climáticas, diferentes modelos de deterioro, parámetros de desgaste, el perfil de la carretera, etc. Así mismo, se están llevando a cabo en paralelo investigaciones experimentales para validar los modelos y sus resultados.

Se han presentado nuevos métodos de diseño estructural y de construcción, que cumplen con los condicionantes medioambientales, y con los que es posible conseguir obras de gran calidad.

Se continúan introduciendo mejoras tanto los pavimentos de hormigón con juntas como los armados continuos. Se ha investigado sobre la eficacia y durabilidad de la adherencia a la base tratada con cemento, cuando se ha contado con la misma en el proyecto. También pueden disponerse sobre una capa de material granular sin tratar o sobre un geotextil de separación.

Los pavimentos continuos de hormigón armado se recubren a veces con mezcla bituminosa drenante para reducir su nivel sonoro.

Continúan despertando interés los refuerzos delgados adheridos a una capa bituminosa, aunque su empleo todavía no está muy extendido.

Las nuevas prescripciones y recomendaciones muestran los avances en el proyecto de pavimentos. Cabe mencionar a este respecto los pavimentos continuos de hormigón armado, las gloriets de hormigón y el reciclado in situ con cemento de firmes deteriorados.

Las vías en placa siguen siendo una alternativa al balasto tradicional debido a sus ventajas, y ello a pesar de su mayor coste de ejecución. Se dispone de nuevos útiles para su cálculo, y la puesta en obra con encofrados deslizantes permite optimizar tanto su diseño como su construcción. ■