

## V Jornadas sobre pavimentos de hormigón



Mesa inaugural de las jornadas.

### POR LA REDACCIÓN

**L**os días 2 y 3 de diciembre de 1999 tuvieron lugar en Alicante estas jornadas que fueron patrocinadas por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, la Generalidad de Valencia y la Excma. Diputación Provincial de Alicante, y organizadas por el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA) y la Asociación Técnica de Carreteras (ATC).

### Acto inaugural

Éste comenzó con la intervención de **D. Ángel Lacleta**, Presidente de la ATC, que afirmó que los pavimentos de hormigón "era un tema que hoy parece un poco en regresión, por lo menos en la red principal", pero que estas jornadas nos darían su verda-

dera situación y sin duda les servirían de impulso. Además, "en España hay magníficos ejemplos de comportamiento bueno de los firmes de hormigón, sobre todo en presencia de tráfico agresivos". Finalizó su intervención agradeciendo a instituciones, empresas y asistentes su presencia.

A continuación, intervino **D. Carlos Jofré**, Director Técnico del IECA, dando la bienvenida a los asistentes y afirmando que estas Jornadas eran "un eslabón más de la larga serie que se inició en 1981 y que esperamos que continúe en los próximos años". Tras explicar el entusiasmo de los organizadores y la elección como sede de Alicante, al ser ésta "una provincia con gran tradición cementera" y una de las que tiene "un mayor porcentaje de pavimentos de hormigón", dio una calurosa bienvenida a los colegas portugueses asistentes.

**D. Carlos Kraemer**, Direc-

tor Técnico de las Jornadas, comenzó dando la bienvenida a los presentes y haciendo una breve historia de estos pavimentos en España desde 1915, citando, entre otras, algunas realizaciones destacables como la variante de Torrejón de Ardoz (Madrid), "que es probablemente una de las carreteras del mundo que más tráfico está soportando, con una IMD de pesados mayor de 5 000 vehículos, y que ha aguantado 30 años". También citó, entre otras, la Sevilla-Cádiz, que inició otra etapa con la utilización de las primeras terminadoras de encofrados deslizantes, y "Ondara-Geresa" con la técnica de losas sin pasadores.

Terminó su alocución citando algunas obras más, haciendo una breve historia de las jornadas y enunciando los temas que se iban a tratar en el evento.

El acto finalizó con las palabras de **D. Julio de España**, Presi-



dente de la Diputación Provincial de Alicante, quien insistió en que la carretera era y debía ser "objeto de cuidadoso interés que se ha ido acrecentando en los últimos años", explicando la composición de la red vial de carreteras dependiente de la Diputación -que asciende a 1 050 km-, y agradeciendo a todos la elección de Alicante como sede.

## Desarrollo de las Jornadas

**D. Carlos Kraemer**, de la Universidad Politécnica de Valencia, expuso el "**Estado actual de la técnica de los pavimentos de hormigón**". En ella y entre otros asuntos, afirmó que los pavimentos de hormigón en masa, de losas cortas de hormigón vibrado, con o sin pasadores en las juntas transversales, siguen siendo los más utilizados por su economía y adaptación; que los pavimentos continuos de hormigón armado sin juntas transversales son cada vez más utilizados para tráfico pesado y muy pesado en obra nueva, refuerzos, etc.; que se han perfeccionado notablemente los pavimentos de hormigón compactado con rodillo y que los compactados por extendidora están próximos a superar la etapa experimental. Además, que la afinidad entre hormigón y aglomerado ha sido fecunda y ha dado lugar al desarrollo de refuerzos delgados y muy delgados y, en general, a una nueva tipología de los firmes compuestos.

Tras destacar las aplicaciones de los pavimentos de hormigón poroso, el aumento del empleo de pavimentos de adoquines y de pavimentos de hormigón sobre las obras de paso, definió las características funcionales del pavimento de hormigón. Más adelante, afirmó que la elección del firme deberá fundarse no sólo en los condicionantes técnicos, sino también en las repercusiones económicas asociadas a las operaciones de

conservación y explotación y citó algunas técnicas utilizadas en entornos urbanos de gran valor estético. Sobre el dimensionamiento, afirmó que se siguen dos caminos paralelos: el análisis teórico y modelización del comportamiento de los pavimentos, y el desarrollo y puesta al día de los catálogos de firmes. Sobre las bases, su proyecto depende del tráfico y está relacionado con el eventual drenaje de los pavimentos y los arcenes, destacando que las bases para el tráfico pesado deben ser no erosionables o drenantes, con una explanada estabilizada. Sobre el drenaje del pavimento, cuando no se emplean arcenes de hormigón, el que tiene forma de zanja o cuña drenante o base permeable ha demostrado su eficacia.

En cuanto a los materiales, subrayó que hay progresos, destacando la utilización de áridos gruesos calizos, el uso de áridos procedentes de hormigón reciclados, los cementos con adiciones de cenizas volantes, los hormigones con baja relación agua/cemento, etc.

Por lo que se refiere a las juntas, siguen disponiéndose según el tipo de pavimento. Sobre este tema, algunos países han aumentado recientemente el diámetro de los pasadores, así como el uso de las barras de unión en las juntas longitudinales de más de 12 mm de diámetro.

El estado de la normativa vigente, así como el informe sobre la futura norma general europea, dieron paso al apartado de la construcción, citando algunos avances, como que ya se dispone de plantas continuas mejoradas, que la técnica de encofrados deslizantes se ha generalizado, que con altas temperaturas conviene hormigonar por la tarde o noche, la conveniencia de serrar lo antes posible todas las juntas en días de grandes cambios térmicos y la tendencia general a dar un mayor protagonismo y responsabilidad al contratista, lo que conlleva un plan de aseguramiento de la calidad.

La conservación ordinaria se realiza de forma sistemática y con procedimientos normalizados, siendo las reparaciones más frecuentes el sellado de grietas y juntas, la corrección del drenaje y la sustitución parcial de losas en las que se utilizan hormigones de alta resistencia. Los métodos para las renovaciones superficiales, los refuerzos en las rehabilitaciones y el interés suscitado por las soluciones delgadas y muy delgadas sobre pavimentos bituminosos o de hormigón, realizadas con hormigón ordinario de calidad o "fast track", finalizaron esta extensa, amena e interesante intervención.

A continuación, **D. Carlos Jofré**, del IECA, presentó las "**Innovaciones en pavimentos de hormigón**", citando tres técnicas de pavimentos de hormigón que han despertando un considerable interés en los últimos años. Por lo que se refiere a los refuerzos ultradelgados adheridos de hormigón, con un espesor de hormigón inferior a 100 mm, comenzaron a desarrollarse en los EE.UU. a principios de los años 90, como una nueva alternativa para rehabilitar pavimentos bituminosos con deterioros no estructurales y con un espesor de mezcla suficiente (del orden de 75 mm). La técnica se basa fundamentalmente en dos principios: la consecución de una adecuada adherencia entre el hormigón y la mezcla bituminosa, y una separación entre juntas reducida, para minimizar los movimientos verticales del hormigón, los cuales tenderían a despegarlo de la capa inferior. Por ello, la superficie bituminosa existente suele fresarse, aunque en muchos casos se ha visto también que una limpieza cuidadosa de ella puede ser también suficiente. Por otra parte, se recomienda que la separación entre juntas en cada dirección sea del orden de 12 a 15 veces el espesor del refuerzo, lo que supone unas longitudes de losa entre 0,8 y 1,5 m, según los casos.

Los Estados Unidos y México son los países más activos en su



utilización, con un comportamiento satisfactorio. Este hecho, junto con la facilidad de ejecución y la posibilidad de una apertura rápida al tráfico, utilizando fórmulas de trabajo del hormigón de las denominadas "Fast Track", hacen pensar que el empleo de los refuerzos ultradelgados adheridos se irá extendiendo cada vez más en vías de baja intensidad de tráfico.

También explicó que se está estudiando la aplicación a tráfico más importantes en los EE.UU. y en Francia.

En cuanto a los pavimentos de hormigón compactado con extendedora, se obtiene una elevada precompactación del material que puede conseguirse sin el paso posterior de rodillos, y hormigones compactados de elevadas resistencias *in situ*, con un contenido de cemento del orden de 300 kg/m<sup>3</sup>. Además, todavía no se conoce con precisión el valor del espesor que puede ser compactado de una vez por estos equipos, y aunque existen experiencias positivas con pavimentos de 23 cm, parece que estos casos se están en unas condiciones muy críticas, lo que limitaría dicha técnica a tráfico T2 - T3, en el caso de pavimentos ejecutados en una sola capa.

Para obtener una buena regularidad superficial, es indispensable que la consistencia del hormigón sea lo más homogénea posible, lo que hace necesario fabricar el material en plantas discontinuas con un control ponderal de todos los componentes, así como de la humedad de las arenas. La velocidad de avance de la extendedora no debe ser superior a 1 m/min.

Por lo que se refiere a la textura superficial, pueden conseguirse unas características antideslizantes adecuadas mediante un denudado de la superficie, dejando los áridos gruesos al descubierto.

Por todo lo expuesto, la técnica del hormigón compactado con extendedora presenta aspectos muy prometedores, ya que consigue pavimentos de una gran re-

sistencia y regularidad superficial correcta con un coste reducido.

Finalmente, los pavimentos compuestos polifuncionales constituyen una alternativa, de la que se tiene ya una amplia experiencia de más de 11 años. Su principal y casi único inconveniente es su elevado coste, aunque ello no puede hacer olvidar su elevada capacidad estructural y excelentes características funcionales, con un riesgo mínimo de deterioro de estas últimas por reflexión de grietas del hormigón en la mezcla drenante. Se trata, por tanto, de una solución que debería ser probada en la red de autovías españolas.

El "**Balance del comportamiento de los pavimentos de hormigón en algunas autovías españolas**", fue presentado por **D. Tomás Prieto Martín**, del Ministerio de Fomento, quien, aparte de su experiencia profesional, presentó cuatro obras de hormigón realizadas por la Demarcación de Valencia (variantes de Albacete y de La Roda, Circunvalación de Alicante y La Roda-Albacete), con sección estructural R-011 de la antigua norma 6.2.IC para un tráfico T0 y explanada E-1.

Tras enumerar sus características, consideró la evolución, comportamiento en cada caso y el fruto de la inspección visual llevada a cabo por la Unidad de Carreteras de Alicante a los 3 años de puesta en servicio de su circunvalación. De ella, explicó su proceso de fisuración, con los resultados obtenidos en 1993, y las reparaciones efectuadas.

Posteriormente, de la variante de Albacete y con relación a su comportamiento estructural, afirmó que, en general, no existe escalonamiento de losas ni bombeo de firmes, a pesar de no disponer de pasadores, presentando la situación y evolución de roturas y fisuras existentes entre las 10 019 losas de la variante de Albacete y las 8 778 de La Roda-Albacete.

Más adelante y en relación con los estudios realizados por el

CEDEX en 1996, presentó los siguientes resultados: variante de Albacete, comportamiento estructural malo; abierta al tráfico en 1987, presenta un 48,3% de sus losas con deterioros estructurales; La Roda-Albacete, comportamiento estructural regular, con un 28,5% de sus losas con deterioro estructural. Tras explicar las actuaciones realizadas, tanto antes de su puesta en servicio como después, explicó los distintos procedimientos llevados a cabo para ensayo de reparaciones de fisuras; y, apoyándose en un informe del CEDEX, concluyó que el mejor método de cajeado fue con una sierra de diseño especial y 18 cm de diámetro, que hay que evitar reconstruir bordes con resinas epoxi y destacó el buen comportamiento de los productos de sellado polisulfuros y poliuretano.

A continuación, explicó la experiencia en la variante de La Roda, con 3 658 losas, y que, según el seguimiento hecho por el CEDEX, su comportamiento estructural se califica de aceptable, a pesar de que el 12,5% de sus losas presentan algún tipo de agrietamiento.

**D. Julio José Vaquero García**, del IECA, trató el tema de la "**Prefisuración de bases tratadas**", tras una breve introducción histórica de esta técnica, barata y sencilla según el autor, y citar algunas conferencias internacionales, actividades de investigación y seguimiento del hormigón compactado que realiza el IECA, se centró en la reflexión sobre las causas y control de la fisuración de las bases tratadas, la importancia de la reflexión de fisuras y los factores que influyen en ella, así como sus métodos de control, destacando una serie de ventajas que trae la prefisuración de la capa de base.

Posteriormente, presentó la experiencia española con las técnicas de la prefisuración, centrándose en las capas de hormigón compactado, exponiendo en primer lugar los casos de Valdepeñas-Almuradiel y Villaverde-Sese-





Vista parcial de la sala y de los asistentes a estas V Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón.

ña, cuya experiencia hizo que la Instrucción 6.1 y 2-IC del año 89, recogiera la obligatoriedad de disponer de juntas de contracción en las capas de hormigón compactado, espaciadas entre sí no más de 7 m y con un esviaje 1:6 cm respecto al eje longitudinal de la calzada. Posteriormente, explicó los casos de la autovía Sevilla-Granada y el caso de la variante de Archidona, en donde se ejecutaron las juntas en fresco. Siguió con el tramo Sanchidrián-S. Pedro del Arroyo donde fracasaron algunos de los intentos para evitar la reflexión de fisuras.

Tras plantear su resolución, presentó el caso Alcálá-Meco, calificando de excelente sus resultados, así como los de la variante de Irurzun, Jaén-Torredonjimeno, etc. Como resumen de lo antedicho, destacó que en los tramos con juntas de contracción a 10 ó 15 m, las fisuras se reflejaron en la superficie del firme con gran rapidez —antes de que hubiesen transcurrido dos años desde su apertura al tráfico—, habiendo continuado la aparición de fisuras intermedias propiciada por la existencia de un tráfico pesado y fuertes variaciones de temperatura, tanto diarias como estacionales.

Además, al contrario que los anteriores, los tramos con juntas transversales próximas, 2,5-4 m, sin ningún tratamiento antirreflexión de fisuras, han dado hasta el

momento un resultado excelente.

Así mismo, en los casos intermedios, con juntas a 6 ó 7 m de distancia, se ha producido en general la reflexión de una de ellas de cada dos o tres. No obstante, el tráfico pesado no produce movimientos en las losas, ni se aprecian hasta el momento degradaciones en ellas, aun en el caso de no estar protegidas mediante panteo.

En cuanto a la evaluación española de la prefisuración de capas tratadas con cemento, se podría afirmar que la prefisuración a distancias cortas (2,5 a 4 m) es una medida muy recomendable, que debería aplicarse a todo tipo de firmes semirrígidos.

En cuanto a las técnicas de prefisuración, subrayó el sistema de creación de entallas en la superficie y, por su menor coste, mayor sencillez y eficacia, la ejecución de juntas en fresco.

Tras explicar el funcionamiento de diversos equipos (Olivia y el Sistema de Juntas Activa), se detuvo en el método Craft, que practica una entalla en todo el espesor de la capa de material extendido, aplicando en ambos lados de ella un riego con emulsión catiónica de rotura rápida, tras lo cual se procede a la compactación del material, quedando la superficie perfectamente cerrada.

**D. Jesús Díaz Minguela**, del IECA Noroeste, presentó el **"Reciclado in situ con cemento de firmes"**, siendo esta comuni-

cación un resumen del recientemente editado por el IECA, **"Manual de Firmes Reciclados in situ con cemento"**. En ella presentó las ventajas e inconvenientes de esta técnica: entre las primeras, que permite rehabilitar un firme fatigado, deformado e inadaptado, puede realizarse simultáneamente con la ejecución de un ensanche, reduce el incremento de rasante que el refuerzo produce y permite un ahorro importante y respetuoso con el medio ambiente; en cuanto a las segundas, la posibilidad de aparición de fisuras en superficie. Más adelante, afirmó que el dimensionamiento consiste en la determinación del espesor del reciclado y del total de la mezcla bituminosa de refuerzo. Sobre el dimensionamiento de un firme reciclado con cemento, afirmó que depende básicamente de la categoría de tráfico pesado de la carretera y del tipo de material obtenido tras el reciclado, ofreciendo a continuación algún ejemplo, según categorías de tráfico, y pasando a presentar los equipos para la ejecución de obras de reciclado con sus objetivos y operaciones. Posteriormente, expuso el proceso de ejecución de una obra de reciclado *in situ* y subrayó que la apertura al tráfico de la superficie reciclada debe retrasarse hasta que se produzca la rotura de la emulsión.

Tras ello, se detuvo en el control de calidad y en el estudio de costes; y, para finalizar, afirmó que el reciclado con cemento es una técnica sencilla y experimentada que permite recuperar la capacidad de soporte de un firme degradado y asegura buenos resultados.

El aprovechamiento de los áridos existentes, sin necesidad de préstamos ni vertederos, consolida además esta solución ecológica, por lo que auguró un prometedor porvenir a esta técnica de rehabilitación total del firme.

El **"Empleo de firmes de hormigón en vías de baja intensidad de tráfico"** fue presentado por **D. Iñaki Zabala Zuazo**, de la Zona Norte del IE-



CA, que introdujo el tema aclarando el concepto y delimitando su denominación, en la que pueden incluirse las carreteras secundarias, las vías urbanas y los caminos rurales sin un excesivo tráfico pesado, así como los aparcamientos para vehículos ligeros y las zonas peatonales. Sobre el tema presentó algunas de las realizaciones más destacadas en Guipúzcoa, Vizcaya y Navarra y, entre sus conclusiones, se destacan que todas las administraciones que han utilizado estos pavimentos en vías de baja intensidad de tráfico están muy satisfechas y consideran que esta solución tiene una excelente relación calidad-precio, por lo que resultan totalmente competitivos frente a otras soluciones alternativas, considerando el mismo periodo de proyecto y su coste total.

Además, que su durabilidad es una de sus características más destacables, pues aumenta su resistencia con el tiempo, no se produce un envejecimiento del ligante, como en los pavimentos bituminosos, ni hay pérdida de material y desgaste, como en los firmes no revestidos. Mientras los firmes bituminosos se proyectan para 20 años y necesitan un refuerzo cada 5-15 años, los pavimentos de hormigón se proyectan para 30 años; y, si se construyen correctamente, suelen superar ampliamente este periodo. Esto implica que su conservación es prácticamente nula.

La adaptabilidad/flexibilidad es otra de sus grandes ventajas, ya que el hormigón es un material usual en construcción y familiar a los operarios; su control de calidad es sencillo, ya que, en obras de este tipo, se reduce a una ejecución correcta y a una comprobación de resistencias y espesores.

**"Las aplicaciones de los pavimentos de hormigón en puertos"** fueron expuestas por **D. José Llorca**, de Puertos del Estado, quien comenzó informando sobre los 65 000 Mpts invertidos en obras portuarias entre 1994 y 1998 y del intento de "fidelización a los explotadores de las

terminales para que inviertan también en infraestructuras portuarias", asegurando que "lo que hemos tenido en nuestros puertos tradicionalmente son pavimentos o firmes de muy mala calidad"; los cuales "han sido dimensionados como firmes de carretera o sobredimensionados exageradamente", pues hay un gran desconocimiento o falta de consideración de los criterios y condiciones operativas y de explotación de las instalaciones portuarias, cuyos pavimentos son complejos según las cargas y exigencias, en nada comparables a las carreteras, y cuyo diseño estructural va unido a las condiciones de explotación. La mala cali-

das: almacenamiento o manipulación.

Por otra parte y dentro de las pequeñas innovaciones, subrayó la terminal de contenedores de Las Palmas, en la que se han aplicado algunas ideas nuevas respecto a algunos tipos de juntas.

Tras afirmar que la norma es básicamente un esquema general de dimensionamiento estructural de firmes, pero que sufre de algunas indefiniciones, incumplimiento de hipótesis y, además, la interrelación proyecto-condiciones de explotación no la trata, también afirmó que hemos de diseñar pavimentos fácilmente reparables, en caso de que haya blandones en



En la foto, mesa de la tarde del día 2 con alguno de los ponentes.

dad de los materiales de relleno que impiden construir firmes definitivos se suma a lo ante expuesto. Tras citar la "Recomendación general del año 94", subrayó que, con ella, se pretende llegar a un esquema general de dimensionamiento portuario y tender hacia normalización de las secciones estructurales del firme, es decir, disponer de un Catálogo.

Posteriormente subrayó la necesidad de dividir las instalaciones portuarias según los usos, lo que exigirá un cierto tipo de pavimentos según su función, considerando sus cargas posibles diferencia-

los rellenos, destacando, también, la línea de investigación abierta en el campo de los pavimentos para zonas de depósito y manipulación de contenedores, incluyendo las distribuciones medias de los pesos de los contenedores en España, alcanzándose la conclusión de que, prácticamente, todo del peso del contenedor iba a las patas y se podía aliviar poco. También citó la experiencia llevada a cabo en Las Palmas para probar algunos tipos de junta que permitirían aligerar el espesor de losas en terminales de contenedores. Tras citar los trabajos del CEDEX en pavimentos



portuarios, concluyó en que realmente el modelo teórico que sirvió para fijar el catálogo se ajustaba bastante bien a la realidad.

Las **"Experiencias en pavimentos de aeropuertos"** fueron presentadas por **D. Ramón Santa**, de AENA, quien afirmó que la parte de la obra que origina mayores precauciones es el proceso de adecuación de los terrenos de apoyo de los pavimentos del aeropuerto, en los que deben conseguirse unas condiciones uniformes. Tras ello, afirmó que en aeropuertos se utiliza el sistema unificado de clasificación de suelos de acuerdo con la ASTM D2487. Con excepción de algunos casos, el terreno debe compactarse para incrementar su densidad y resistencia al corte y prevenir asentamientos excesivos bajo el tráfico. Su capacidad de resistencia se determina mediante placas de 762 mm de diámetro de acuerdo con la norma ASTM D1196.

Más adelante analizó el drenaje subterráneo como causa fundamental del deterioro de los pavimentos, junto las cargas, precisando las razones que justifican la instalación de este sistema.

También dijo que el diseño del pavimento requiere conocer la resistencia del hormigón y la del terreno de fundación, la aeronave y el tráfico de diseño y el cálculo del pavimento, cuyo espesor es función del módulo de rotura del hormigón, resistencia del terreno, peso bruto de la aeronave y tráfico equivalente de diseño.

Posteriormente, fue analizando los materiales y el proceso de construcción de los pavimentos de hormigón en los aeropuertos españoles, que han sido en masa vibrado, pormenorizando el sistema de extensión que se realiza mediante el sistema de encofrados fijos; el curado que se realiza pulverizando sobre la superficie del pavimento un producto filmógeno de gran poder de cubrición; las juntas; el sellado, especificando que las características del material

obturador serán compatibles con el material sellante y que proporcionará el factor de forma especificado; el acabado y sus fases; y la regularidad superficial, en la que no se permiten desviaciones mayores de 6 mm medidas con regla de 5 m colocada en cualquier dirección; finalizando con la evaluación de pavimentos y explicando el método ACN/PCN.

Finalizó su intervención presentando varios ejemplos, como el proyecto de la pista 18R-36L en el aeropuerto de Barajas (Madrid) y la demolición de la plataforma norte del aeropuerto de Gran Canaria y su reposición, así como la



D. Herman Sommer en un momento de su intervención.

instalación del sistema de luces, iluminación y abastecimiento de combustibles.

**"La experiencia austriaca con los pavimentos de hormigón"** estuvo a cargo de **D. Herman Sommer**, del *Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie*. En ella, y tras explicar la tradición austriaca con este tipo de pavimentos y la técnica de pavimentación en ese país (siempre en masa, sin armaduras, con juntas, pasadores y barras de unión en juntas longitudinales), se detu-

vo en el concepto de reconstrucción para las autopistas de hormigón, la mejora de la subbase, hormigones antiguos y nuevos, así como el contenido bituminoso del árido reciclado y la experiencia. Posteriormente, expuso los antecedentes, desarrollo de la técnica austriaca del árido visto y su experiencia, así como sus tendencias, la pavimentación de apertura rápida al tráfico, antecedentes y recomendaciones en cuanto al hormigón, requisitos de resistencia y plazos de apertura al tráfico.

En resumen, en Austria, durante 50 años han estado construyéndose ininterrumpidamente pavimentos de hormigón, y desde 1990 la situación se ha caracterizado por la necesidad de rehabilitar las autopistas de hormigón existentes y de conseguir superficies de bajo nivel sonoro.

Se han reconstruido unos 200 km de calzada usando un concepto de reciclado y estabilización con cemento de la subbase granular existente y de cualquier material con alquitrán, y el empleo del primitivo pavimento de hormigón (después de su machaqueo) como árido para la capa inferior del nuevo pavimento de hormigón.

En la capa superior se suele utilizar un hormigón de granulometría fina, con superficie de árido visto. En 240 km de calzada, este tipo de superficie ha demostrado ser de bajo nivel sonoro y resistente al deslizamiento, y también se está empleando actualmente en zonas no sensibles al ruido. La tendencia actual es aumentar el tamaño máximo del árido de 8 a 11 mm y la profundidad de textura de 1,0 a 1,3 mm.

**D. Oscar Gutiérrez-Bolívar**, del Centro de Estudios de Carreteras (CEDEX), presentó la **"Gestión de pavimentos de hormigón"**, en la que tras una introducción, justificó su utilidad, pasando a definir el inventario de firmes y trasladando datos como el que la longitud de las calzadas con rodadura de hormigón vibrado en España representaba el 4% del to-



tal, según el inventario actualizado de 1998. Tras ello, clasificó los pavimentos según las tipologías de sus firmes y expuso, entre otras, las inspecciones visuales que viene haciendo el CEDEX con este tipo de firmes, cómo se realizaron y cómo afectan a los usuarios y la modelización del comportamiento, así como las actuaciones que deben asegurarse en función del deterioro del firme que hay que arreglar. Tras ello y a modo de conclusiones, afirmó que es necesario introducir de un modo efectivo los firmes de hormigón en los sistemas de gestión, cuya dificultad hasta la fecha podría estribar en que ese comportamiento, en términos generales, ha sido bastante satisfactorio, no planteando graves problemas de conservación. Y, por otra parte, existe también una cierta dificultad en modelizar el comportamiento de estos firmes, debido a su relativa juventud y escasez, especialmente en número de tramos en carreteras españolas.

Tras resaltar el esfuerzo que se están haciendo en Puertos del Estado y AENA para un mejor conocimiento de los firmes de hormigón, subrayando que iniciativas como la de Puertos del Estado de implantar un sistema de gestión de pavimentos portuarios pueden ser un hito en la mejora tecnológica y en la racionalización de la gestión patrimonial, afirmó que los pavimentos de hormigón están desempeñando un papel muy destacado en la intermodalidad del transporte de mercancías.

Concluyó pidiendo que la realidad virtual no impida ver las necesidades reales de conservar unas infraestructuras que cada vez son más necesarias y críticas especialmente en el proceso de globalización en que estamos inmersos.

**D. Enrique López Gámiz**, de AUMAR, presentó la **"Evaluación y gestión del firme de hormigón hidráulico en la autopista del Mediterráneo"**. En ella informó sobre los tipos de firme y tráfico, la necesidad de los "indicadores" que forman

el conjunto de datos de la auscultación, que puede ser visual y mecánica. En la primera, que se realiza anualmente sobre todo el firme, sus parámetros principales son: el Índice de Fisuración Absoluta (IFA), que es la relación en tanto por ciento entre el número de fisuras y el de losas existentes; Índice de Fisuración Relativa (IFR), la misma relación pero entre el número de losas fisuradas y las existentes; Índice de Movimiento (IMOV), que es el Índice de Fisuración Relativa aplicado a las losas con roturas de grados 2 ó 3; Grado Medio de Rotura (GMR), valor medio de la gravedad de las roturas en las fisuras; Índice de Deterioro (IDET), que es resultado de multiplicar el IFR por el grado medio de rotura y dividir por 3; y el Índice Crítico (ICRI), porcentaje de losas que teniendo dos o más fisuras, una al menos es de grado 3. Gracias a ellos, se definió el Índice de estado como una función lineal dependiente de los IFA, IFR, IDET, IMOV e ICRI, cuya fórmula es:

$$I_e = 100 \frac{C_1 \times IFR + (IFA - IFR) \times C_2 + IDET \times C_3 + IMOV + ICRI \times C_4}{(C_1 + C_2 + C_3 + C_4)}$$

Si el valor 100 supone el estado perfecto del firme, el valor 40 significaría el valor límite y nivel de deterioro que marca la frontera entre la acción patológica y la meramente curativa.

Esa auscultación visual, aplicando toda una base de datos mediante un programa adecuado, nos revelaría si las reparaciones son urgentes, prioritarias, necesarias o convenientes.

En cuanto a la auscultación mecánica, se utiliza principalmente el Dynatest, cuyo resultado es un conjunto de  $3 \times 3 \times 7 = 63$  deflexiones que caracterizan un aspecto de la respuesta de la losa a las solicitudes. Posteriormente y a través de gráficos, explicó la explotación de las medidas y su interpretación, así como el modelo de cálculo empírico-matemático que integra, sobre la teoría de Westergaard, las experiencias y ensayos realizados por AUMAR sobre deformaciones medidas en losa. El modelo se basa

en establecer las condiciones de compatibilidad entre las deflexiones medidas y las que se producirían en unas determinadas condiciones del hormigón de la losa, gravacemento sobre la que se apoya y subbase.

Posteriormente, subrayó la importancia de la carga crítica, la deflexión residual, el coeficiente de transmisión de carga en sentido de avance y en sentido opuesto y el hueco existente bajo la losa.

En cuanto al proceso final de la gestión, la asignación final de una valoración objetiva se realiza utilizando por un lado los resultados de la evolución previsible deducida de la auscultación visual, y, por otro, aplicando las conclusiones sobre la valoración del Índice de Estado Estructural.

**D. Carlos Fernández Otero**, de Sevia, intervino con la ponencia **"Conservación de firmes rígidos"**, centrándose en la exposición de cómo podemos reparar nuestro firme con garantías, y vencer ese temor de que el hormigón hidráulico es complicado de reparar. Tras subrayar lo fundamental del tratamiento preventivo, siguió su exposición con las reparaciones de bordes y esquinas: las que aparecen en una esquina de losa formando una media luna y las paralelas a su borde. En cuanto a las primeras, destacó la necesidad de limitar la zona de reparación que debería ser lo más regular posible; su demolición mediante martillos neumáticos y de una profundidad hasta la zona sana; su limpieza con cepillo de púas de acero y aire a presión; la imprimación homogénea y en tiempo apropiado; la aplicación de mortero de resina mezclado: epoxi, cuando la reparación necesita de una puesta a punto en servicio rápida; acrílica, especialmente indicada cuando la reparación no es profunda (3 - 4 cm); y de brea epoxi, con mayor flexibilidad que las primeras, indicadas para todo tipo de reparaciones, aunque su puesta en servicio varía entre 20 y 24 horas. En cuanto a la segun-





La cantidad y calidad de los asistentes subrayaron el éxito de las jornadas.

da, tanto el procedimiento como los materiales son similares, aunque la anchura de la reparación tiene que estar en consonancia con la longitud.

Tras ello, habló de la renovación del sellado de juntas que se divide en dos fases: a) eliminación del sellado existente, mediante su raspado con riper articulado o mediante paso de discos de diamante; y b) Aplicación del material sellante (brea poliuretano, que necesita una imprimación previa, y silicona), del que explicó su proceso.

Posteriormente, se detuvo en la reparación de grietas con anchura variable o constante, siendo esta medida la que determina la actuación y reparación (cajeado y sellado) si el árido es de 0,5 mm a 2 cm, pasando al grapado (cuando la anchura de la grieta es superior a 10-15 mm), o a la restitución de la losa, si supera estas medidas. Entre los selladores, se citaron como más usuales el betún caucho (no necesita obturador), brea poliuretano y silicona.

Tras referirse al grapado, afirmó que para la regeneración superficial es normal utilizar mezclas de cementos modificados con polímeros. Para la regeneración del coeficiente de rozamiento, se sue-

le utilizar el cepillado con discos de diamante y el granallado.

Finalmente, la reparación total de la losa centró la última parte de su exposición, explicando su proceso (corte longitudinal, demolición por medios mecánicos, reposición de pasadores, vertido y vibrado del hormigón, curado -aconsejando con arpillera y agua- textura con rodillo o peine o cepillo, cajeo y sellado de la losa).

**D. Carlos Bartolomé Marín**, del Ministerio de Fomento, presentó los **"Criterios de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento para la rehabilitación de firmes con pavimentos de hormigón"**, afirmando que la Norma 6.3-IC/1980 permite la rehabilitación estructural con pavimentos de hormigón, pero será su revisión la que recogerá los criterios y especificaciones que se deben seguir.

Tras referirse extensamente a la rehabilitación estructural con pavimentos de hormigón de firmes con pavimentos bituminosos, de la que hizo una densa exposición, pasó a la **rehabilitación estructural de firmes con pavimentos de hormigón**, la cual puede ser: de eliminación y reposición del pavi-

mento de hormigón o de recrecimiento con mezclas bituminosas o con pavimentos de hormigón. Partiendo de la base de que se repararán todas las zonas del firme que presenten deterioros atribuibles a fallos de explanada, la eliminación y reposición del pavimento consistirá en la demolición y retirada por medio mecánicos del hormigón que constituya el pavimento, así como la de otras capas del firme, si fuere necesario, para posteriormente reponerla con materiales de características análogas.

Si el agotamiento estructural del firme existiese pero no afectase a la explanada, se procederá a demoler y a sustituir la capa o capas agotadas por otras de características similares a las originales; si afectase, se procederá a su reparación, tal y como se realiza con pavimentos bituminosos, y se responderá el firme. Por lo que se refiere al recrecimiento con pavimento de hormigón, consiste en la extensión de un pavimento sobre otro también de hormigón, bien en masa, bien continuo de hormigón armado. El tipo de recrecimiento adherido sólo podrá ser utilizado sobre pavimentos en buen estado de conservación.

En todo caso, se ha de proceder a la reparaciones previas, debiendo repararse todos los desperfectos graves que se encuentren en avanzado estado de deterioro y en especial, los derivados de un mal funcionamiento del drenaje o de la falta de apoyo estable de las capas subyacentes. La capa de separación puede ser de mezclas bituminosas, cuando sea necesario disponer de una capa de regulación para corregir escalonamientos entre losas, o láminas de polietileno u otro producto que impida la adherencia del pavimento existente con el recrecimiento.

Tras defender las actuaciones de rehabilitación preventivas y la necesidad de la sustitución de los productos de sellado, afirmó que los desportillados y grietas en las proximidades de las juntas se co-



regirán mediante reparaciones de espesor parcial de la losa.

Si el firme está muy deformado, será necesario reperfilarlo antes de la rehabilitación; y se aprovechará, en caso necesario, para regularizar la superficie de la calzada y conseguir, como mínimo, los valores del índice de regularidad internacional (IRI) exigidos.

La última parte de su exposición la dedicó a los arceles, según las diversas categorías de tráfico.

### Conclusiones y acto de clausura

Al final, **D. Carlos Kraemer** se encargó de hacer una serie de reflexiones, haciendo un pequeño balance de las jornadas, a las que calificó como de muy útiles y satisfactorias, porque *"todos hemos aprendido y contrastado nuestras ideas con los demás"*. Como primera observación, subrayó que hay un 4% en la Red del Estado de pavimentos de hormigón, casi un 15% en las autopistas de peaje y otro 4% aproximadamente en las redes autonómicas, más de hormigón compactado que del vibrado, destacando algunas realizaciones muy notables ejecutadas en Navarra, Andalucía, etc. Ello le dio pie a expresar que *"había un deseo general, que trasciende a nosotros, de que se utilicen estos pavimentos de hormigón"*, invitando a proyectar más pavimentos de hormigón para no perder unos años preciosos con respecto a otros países.

La segunda de las conclusiones es que se han visto nuevas oportunidades, la técnica ha avanzado y se ha comprobado la mayor utilización de pavimentos continuos de hormigón armado, las posibilidades de los refuerzos, adheridos o no, y las de las *"fast track"*, así como las del hormigón compactado por rodillo, con su prefisuración, y otra solución prometedoras, como es la del hormigón compactado por extendidora.

La tercera observación que hi-

zo el Sr. Kraemer fue subrayar las notables diferencias entre las necesidades de carreteras del tipo de autovías y las de las de baja intensidad de tráfico, vías urbanas o pavimentos de pistas y aeropuertos.

Más adelante, subrayó el tema muy importante de la gestión, faceta que ha evolucionado favorablemente en los últimos años, ya que ¡por fin! se ha empezado a hacer bien, destacando también la necesidad de una conservación preventiva, que es lo más rentable. Después, también destacó el continuo crecimiento de la experiencia española en reciclado de firmes

ra de estas conclusiones, intervino **D. Ángel Lacleta** agradeciendo a la Dirección General de Carreteras y la Diputación Provincial su patrocinio y generosidad, al Director Técnico de las Jornadas su dedicación y sus esfuerzos, a los participantes su asistencia, y a los ponentes el interés demostrado por ellas, informando que esos trabajos aparecerán próximamente en un libro publicado al efecto.

Tras solicitar que se pierda ese "miedo" a la utilización de firmes de hormigón, afirmó que la ATC está dispuesta a seguir con estas



Las jornadas despertaron un gran interés por parte de los asistentes.

in situ con cemento y el esfuerzo realizado por todos, especialmente el IECA, para ayudar a proyectistas, constructores, etc.; de hecho, el manual editado por el IECA es una buena guía y muy útil para los próximos años.

Siguió su intervención analizando la del Dr. Sommer y la necesidad del reciclado puesto que, además de ser más rentable, cada vez es más difícil llevar firmes a vertedero. También habló de la exposición del citado Sr. Sommer sobre la técnica del denudado y de la normativa, algo que hace mucha falta.

Finalizó su intervención esperando la posible celebración de las VI Jornadas y agradeciendo la atención a los presentes.

Posteriormente y tras la lectu-

jornadas por el progreso de la técnica, ya que cree que el firme de hormigón es una solución muy válida y muy conveniente.

El congreso finalizó con la intervención de **D. Eduardo La-brandero**, que clausuró el evento en nombre del Ministerio de Fomento, pero que no quiso hacerlo sin recordar algunas experiencias personales con este tipo de pavimentos 30 años atrás y, precisamente, con el Sr. Kraemer.

Prosiguió subrayando el irregular desarrollo de los pavimentos de hormigón y congratulándose del éxito del evento.

Tras desear ver más firmes de hormigón en nuestra red de carreteras, clausuró estas fructíferas V Jornadas. ■