

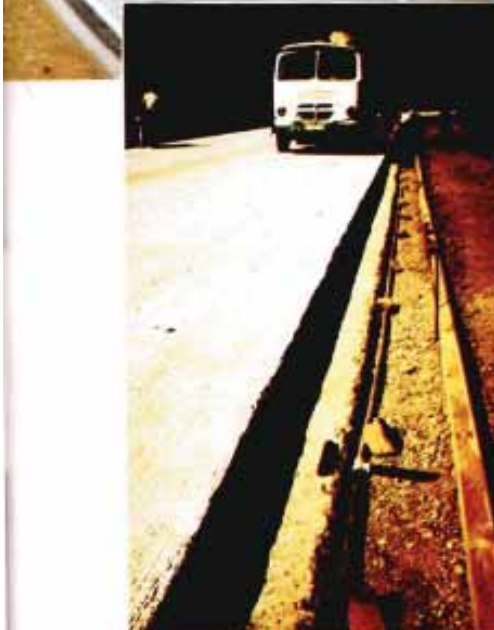


Variante de Albacete

Últimas tendencias en pavimentos de hormigón

(Conclusiones del Congreso de Bruselas)

Por Carlos José Ibáñez
Ingeniero de Caminos
Instituto Español del Cemento
y sus Aplicaciones (IECA)
Madrid



1. Introducción

DENTRO del XVIII Congreso Mundial de Carreteras, celebrado en Bruselas en 1987, los pavimentos de hormigón fueron objeto de una de las seis sesiones generales y de una sesión más restringida, centrada en los trabajos del Comité Técnico de Carreteras de Hormigón, uno de los 12 que tiene actualmente la Asociación.

En la sesión general (Tema III) el presidente del Comité, Prof. Dr. Carlos Kraemer, intervino como ponente general para presentar un informe resumen de las ponencias redactadas por veintidós países. El programa comprendía los siguientes puntos:

1. Proyecto y comportamiento en servicio.
2. Materiales.
3. Construcción y control.
4. Conservación y rehabilitación.
5. Sub-bases y bases tratadas con conglomerantes hidráulicos.

En otra sesión se presentó el informe del Comité Técnico, al que pertenecen 43 miembros de 23 países. Comprende 9 capítulos redactados por comisiones dirigidas por un ponente principal:

1. Lucha contra el bombeo.
2. Refuerzos con hormigón.
3. Carreteras de hormigón. Estado de la técnica.
4. Métodos de auscultación y de reparación.
5. Empleo de hormigones compactados.
6. Fisuración de los pavimentos.
7. 3.ª Conferencia internacional sobre el dimensionamiento y la rehabilitación de los pavimentos de hormigón —Purdue, USA, 1985.
8. 5.º Simposio internacional de carreteras de hormigón —Aquisgrán, R.F. Alemana, 1986.
9. Seminario sobre el dimensionamiento teórico de carreteras de hormigón —Epen, Holanda, 1986.

En ambas sesiones hubo muchas intervenciones cortas (en total más de 40) con aportaciones técnicas no recogidas en los informes ya publicados en francés o inglés.

Otra sesión de trabajo en la que se abordaron temas de gran interés

en relación con las técnicas actuales de pavimentos de hormigón fue la dedicada al Seminario sobre Firmes Semirrígidos, y en particular la parte sobre fisuración de los mismos y los métodos para evitar retrasar la aparición de grietas en la capa de rodadura, los cuales pueden ser de gran aplicación igualmente en los firmes de hormigón compactado recubierto con una capa de mezcla bituminosa.

Asimismo, en la Exposición Internacional Road 87, celebrada en el marco del Congreso, se presentaron alguna novedades en relación con los pavimentos de hormigón.

Del análisis de lo expuesto en el Congreso, se deduce que las conclusiones del mismo están en línea con la práctica española en todos los aspectos relativos al proyecto y a la construcción. En algunos temas, como los firmes de hormigón compactado, se ocupa un lugar puntero a escala mundial; pero en otros (gestión de la conservación; utilización del hormigón vibrado en carreteras ordinarias, con extendedoras adecuadas; pavimentos de adoquines...) hace falta un esfuerzo para ponerse a una altura similar a la de otros países.

Las visitas técnicas realizadas asimismo con motivo del Congreso se complementaron, en el caso de los ingenieros españoles interesados en el tema de los firmes rígidos, con el viaje que realizó un pequeño grupo de los mismos a distintas autopistas de la R.F. Alemana inmediatamente después del congreso, en el que se pudo apreciar la extraordinaria calidad de rodadura de los pavimentos de hormigón construidos en los últimos años en dicho país.

En lo que sigue se ha intentado hacer un resumen del estado actual de la técnica de los firmes rígidos, apoyándose en las conclusiones del Congreso como hilo conductor. Se ha procurado tratar con más detalle algunos aspectos de interés recogidos durante las intervenciones en las sesiones de trabajo y en las visitas técnicas, y que no figuran en la documentación entregada con anterioridad al Congreso.

Fig. 1.—Tubo ranurado para drenaje del pavimento (Despeñaperros)

2. Conclusiones y comentarios

1. Se tiende a aumentar la resistencia estructural y a considerar un período de servicio más largo en el caso de los pavimentos para tráfico pesado y medio. Para ello se sigue alguno o varios de los siguientes procedimientos:

a. Drenaje de la interfaz entre la losa y la base (fig. 1).

b. Mejora de las características mecánicas de la base, especialmente de su resistencia a la erosión (fig. 2).

c. Aumento del espesor de las losas.

d. Ensanche de las losas exteriores (fig. 3) o empleo de un arcén de hormigón atado a las mismas.

2. En los pavimentos de hormigón en masa, esta tendencia se completa con:

a. Disposición de pasadores en las juntas transversales de los carriles que soportan tráfico pesado (fig. 4).

b. Disminución de la longitud de las losas.

El comportamiento de los firmes en servicio sometidos a un tráfico pesado durante un período suficientemente largo ha permitido a muchos países una puesta a punto del proyecto y dimensionamiento de los pavimentos de nueva construcción.

Se advierte en este sentido una tendencia al desarrollo de análisis estadísticos para establecer correlaciones entre ciertos parámetros indicativos de los firmes (p. ej. su fisuración) y una serie de variables de dimensionamiento, de materiales y de construcción. Puede citarse a este respecto el estudio llevado a cabo en Inglaterra, en donde un panel de expertos examinó, entre 1981 y 1983, 36 carreteras con pavimento de hormigón en masa, construidas entre 1970 y 1979. Se observó una fuerte correlación entre la fisuración transversal y las relaciones longitud/espesor de losa y longitud/anchura de losa. El espesor tenía también una gran influencia en el porcentaje de losas fisuradas y presentando grandes deflexiones al paso del tráfico; el factor N/h^6 , en donde N es el número acumulado de ejes patrón soportados, y h el espesor del pavimento, exhibía una significativa correlación en la fisuración. Los movimientos de la losa se veían influidos por la longitud de los pasadores y el espesor de la capa de base.

Un estudio similar ha sido llevado a cabo en Japón.

En este sentido, probablemente el avance más importante lo constitu-



Fig. 2 — Base de hormigón magro resistente a la erosión (autopista del Mediterráneo, tramo Jerez-Óndara).



Fig. 3 — Pavimento con sobrecanto para aliviar las cargas del borde (Francia).



Fig. 4 — Pasadores en una junta final de losa (variante de Aranjuez).



Fig. 5.— Losa gruesa sobre moqueta drenante (autopista A26, Francia)

ya el programa americano COPES (Portland Cement Concrete Pavement Evaluation System), desarrollado en la Universidad de Illinois, en el que se ha puesto a punto cuarenta modelos para predecir la evolución de una serie de índices representativos del comportamiento de un firme rígido (p. ej., el escalonamiento en las juntas o la fisuración de las losas) en función de una serie de parámetros tales como la longitud de las losas o su espesor. Dichos modelos se han desarrollado a partir de datos obtenidos de carreteras americanas; y por ello presenta un gran interés extrapolarlos a ciertas condiciones específicas de algunos países europeos (cargas por eje superiores, losas de sección trapezoidal o con sobrecanchos, losas cortas con separaciones variables entre juntas...). A fin de concretar la colaboración Europa/Estados Unidos en el programa COPES se ha creado en el seno del Comité de Carreteras de Hormigón de la AIPCR un subcomité denominado "Instrumentos de evaluación del comportamiento a largo plazo de las

calzadas de hormigón", entre cuyos fines figura la selección de una serie de tramos testigo para realizar un seguimiento de los mismos y la recogida de datos de acuerdo con un dossier tipo. La integración en este programa de algunos tramos españoles, como la variante de Torrejón, todavía con un excelente comportamiento después de muchos años de verse sometida a un tráfico muy pesado, presentaría indudablemente un gran interés.

Las conclusiones indicadas anteriormente se han plasmado de forma práctica en las recientes modificaciones de las Normas de proyecto de diferentes países, de las cuales se informó en el Congreso: España, Gran Bretaña, R.F. Alemana, R.D. Alemana, Japón, Bélgica, Marruecos...

En Gran Bretaña, el nuevo Manual de Diseño de Departamento de Transportes, publicado en Agosto de 1987, ha extendido las curvas de dimensionamiento hasta 300 millones de ejes tipo de 80 kN para un periodo de 40 años, con una vida efectiva establecida empíricamente. A este

respecto, se citan casos como el de una carretera con firme rígido, en las cercanías de Londres, sometida a un tráfico muy intenso, que se construyó a comienzos de los años 30 y que todavía permanece en servicio. Siguiendo una tendencia a escala internacional, los pavimentos armados con juntas, utilizados tradicionalmente en dicho país, están siendo sustituidos por pavimentos de hormigón en masa, y en algunos casos por pavimentos continuos de hormigón armado. Se han incrementado notablemente los espesores y también la resistencia exigida al hormigón, que ha pasado a ser de unos 50 MPa de resistencia media a compresión simple a los 28 días en probeta cúbica, frente a los 40 MPa exigidos anteriormente.

En Francia, la práctica reciente corresponde en general a las conclusiones del Congreso. Como extrapolación de la tendencia al incremento de espesores puede indicarse la buena experiencia que se tiene en la técnica denominada "dalle épaisse" o losa gruesa, (fig. 5), que ha sido utiliza-

da en el Norte de Francia, en especial en la autopista A 26 Calais-Reims, en la cual hay ya cerca de 200 km. de doble calzada de dos carriles. El pavimento, constituido por losas de sección trapezoidal con espesor variando entre 27 y 37 cm. y juntas cada 4 cm. sin pasadores, reposa sobre una explanada estabilizada con conglomerantes hidráulicos con interposición de una moqueta gruesa de geotextil drenante, con un espesor de 6,5 mm., que al mismo tiempo protege a la explanada frente a una eventual erosión. El geotextil ha reemplazado ventajosamente a las primeras soluciones empleadas, a base de capas granulares sin finos, que creaban bastantes dificultades durante la puesta en obra. En el hormigón del pavimento se utiliza un conglomerante constituido por una mezcla de 275 kg/m³ de cemento y 95 kg/m³ de cenizas volantes. Los áridos de la región son de tipo calizo, por lo que para asegurar una superficie resistente a la abrasión del tráfico se ha recurrido a la técnica del engravillado, incrustación de áridos duros en el hormigón fresco, seguida de un denudado del mismo. Tanto en lo que se refiere a la puesta en obra del hormigón como en la ejecución del engravillado y denudado se han conseguido ritmos de puesta en obra del orden de 1.000 metros/día en calzada de 2 carriles. Desde el punto de vista económico, esta solución parece presentar una serie de ventajas en el caso de tráfico de hasta 1.500 camiones/día y sentido

“E n algunos temas, como los firmes de hormigón compactado, se ocupa un lugar puntero a escala mundial.”

de circulación. Por ello podría ser de interés realizar con la misma algunas experiencias tramos en nuestro país, en donde hasta el momento sólo ha sido utilizada en un tramo de corta longitud en la variante de Benidorm.

La técnica californiana de utilización de losas de hormigón en masa sin pasadores en las juntas, confiando la transmisión de esfuerzos en esta última al engranaje entre los áridos se encuentra hoy en día en franco retroceso en Europa, en lo que se refiere a pavimentos sometidos a tráfico pesado. En estos casos, con alguna excepción, en la que se ha recurrido al empleo de pavimentos armados continuos, se tiende en general a la disposición de pasadores en las juntas. En varios países éstos se consideran hoy en día necesarios para evitar el escalonamiento a largo plazo, incluso aunque se adopten otras medidas tendentes a reducir este fenómeno, tales como la utilización de bases no erosionables, arcenes de hormigón o un drenaje lateral. Ese

superior comportamiento de las juntas con pasadores se ha podido constatar tanto en pavimentos sometidos a tráfico real como en realizaciones experimentales. Así, en los ensayos efectuados en la R.F. Alemana en juntas sin pasadores sometidas a tráfico intensos se ha observado una aparición bastante rápida de escalonamiento; mientras que en la pista de ensayo de Nardo (Italia) los tramos con pasadores han tenido una duración de 4,5 veces superior a la de los tramos correspondientes sin pasadores. Indudablemente el empleo de éstos se ha visto muy facilitado por la aparición de pavimentadoras de encofrados deslizantes capaces de insertarlos en el hormigón fresco sin detenerse en su avance, de las que dispone ya de un buen número en España.

Mientras las juntas con pasadores suelen situarse en general cada 5 m. es conveniente emplear losas más cortas del orden de 4 e incluso menores, en el caso de juntas sin pasadores, particularmente en climas con fuertes gradientes térmicos. Esta recomendación se ha visto avalada por las investigaciones realizadas en España y Chile y confirmadas por la experiencia propia y de otros países (Estado de Washington, Australia). Ya se ha mencionado la fuerte correlación encontrada en Inglaterra entre la fisuración de las losas y la relación longitud/espesor de las mismas. Dentro de esta línea, en la R.D. Alemana se ha construido un tramo de ensayo con losas cortas, de longitudes oscilando entre 1 y 3 m., cuyo comportamiento será interesante seguir.

En lo que se refiere al empleo de arcenes de hormigón, a sus ventajas desde el punto de vista funcional (no aporte de finos a la interfaz losa-arcén, posibilidad de realizar un sellado eficaz de la junta calzada-arcén...) hay que añadir la de su contribución a la capacidad estructural del firme, de forma que tanto en el método de la PCA como en la Guía AASHTO se proponen unas reducciones de espesores en el caso de disponerse arcenes cosidos al pavimento mediante barras de unión. Esta línea también ha sido seguida en el nuevo Manual de Diseño Inglés, que incluso admite disminuciones en el espesor si en vez del arcén completo se emplea únicamente una banda de hormigón de 1 m. de ancho. No obstante, estas reducciones propuestas parecen en algún caso excesivamente optimistas.

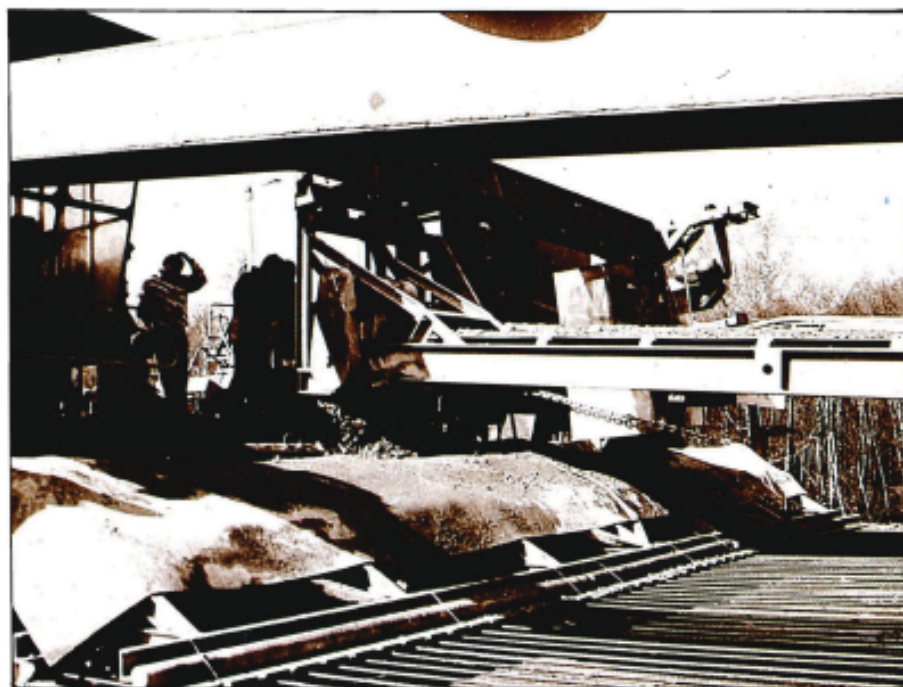


Fig. 6.—Guías para posicionado de las armaduras en un pavimento de hormigón armado continuo (autopista A71, Francia)

3. Los pavimentos continuos de hormigón armado tienen un comportamiento satisfactorio, pero su empleo está limitado por el coste de construcción.

Hay que indicar, sin embargo, que estas diferencias en cuanto a la inversión inicial pueden verse en algunas ocasiones compensadas por las disminuciones en los costes de conservación. A esta conclusión se llegó, por ejemplo, en el caso de una comparación técnico-económica de diferentes estructuras de calzadas para seis proyectos de autopistas francesas, presentada en el Congreso.

No es de extrañar por ello que en Francia se esté empleando cada vez más este tipo de pavimentos para el refuerzo de pavimentos antiguos de hormigón en masa y para la reconstrucción de carriles exteriores de autopistas, así como en calzadas nuevas. Desde 1983 se han ejecutado más de 2.000.000 m² con dicha técnica. Cerca de las tres cuartas partes de esta superficie han sido construidas en autopistas en servicio, con un tráfico muy intenso. Ello ha conducido a hacer evolucionar las técnicas de puesta en obra hacia una mayor rapidez de ejecución (en la actualidad, los ritmos medios de puesta en obra se aproximan a los 800 metros diarios, independientemente de la anchura de construcción) sin por ello sacrificar la calidad del pavimento. Para ello se han introducido una serie de innovaciones, entre las que pueden destacarse las siguientes:

— Colocación de las armaduras: en lo que se refiere a las armaduras

“**M**ientras las juntas con pasadores suelen situarse en general cada 5 m, es conveniente emplear losas más cortas, del orden de 4 e incluso menos, en el caso de juntas sin pasadores, particularmente en climas con fuertes gradientes térmicos.”

longitudinales, se utilizan redondos de $\varnothing$ 16 mm., del tipo Fe E 500 (límite elástico de 500 MPa), con una cuantía del 0,67%. En el caso de obras nuevas o de refuerzos construidos por anchos completos dichas armaduras pueden ser colocadas en su posición definitiva por la propia pavimentadora de encofrados deslizantes, sin necesidad de soportes ni de armaduras transversales.

Para ello, dicha máquina está provista de una plataforma con una serie de guías (fig. 6), regulables por separado en altura y en inclinación, que permite mantener las armaduras a la altura de la fibra neutra de la losa hasta la parte trasera de la zona de vibración del hormigón, delante de la placa extrusora. La precisión obtenida con este método oscila entre +1 y -2 cm. Las armaduras pueden

quedar así agrupadas bien en los laterales o bien en el centro (fig. 7) del espacio a hormigonar, dejando un ancho suficiente para permitir la circulación de los equipos de suministro del hormigón y la descarga de éste delante de la pavimentadora, evitando con ello los problemas de la alimentación lateral.

Las únicas armaduras transversales son las de unión entre carriles adyacentes (1 $\varnothing$ 10 cada metro o bien un mallazo soldado de 60 cm. de ancho) que se introducen por encima de las armaduras longitudinales delante de la placa extrusora. En general, las juntas longitudinales se ejecutan en fresco.

La armaduras longitudinales, que se suministran en barras de 18 m., se empalman a tope in situ, delante de la pavimentadora, por medio de manguitos o de soldadura.

Esta técnica de supresión de los soportes no ha sido utilizada todavía en reconstrucciones de carriles lentos, puesto que entonces la anchura disponible es mucho menor. En este caso se siguen disponiendo las armaduras sobre soportes especiales que actúan al mismo tiempo como armaduras transversales.

— Alimentación del hormigón: se utilizan en general alimentadores automotrices teledirigidos desde la pavimentadora que permiten la descarga simultánea de 2 camiones de 16 toneladas.

— Materiales: además de las economías conseguidas en la puesta en obra se busca también optimizar los dos componentes básicos de este tipo de pavimento, las armaduras y el hormigón.

En lo que se refiere a las armaduras, se han construido algunos tra-



Fig. 7.— Armaduras agrupadas en el centro de la base para permitir la alimentación frontal del hormigón (autopista A71, Francia)

“**E**n Francia se está empleando cada vez más este tipo de pavimentos para el refuerzo de pavimentos antiguos de hormigón en masa y para la reconstrucción de carriles exteriores de autopistas, así como en calzadas nuevas.”

mos de ensayo armados con acero de muy alto límite elástico, con una longitud suficiente (200 a 500 m.) como para poder sacar consecuencias en cuanto al espaciamiento de las fisuras transversales y su abertura. Se han realizado pruebas con los siguientes tipos de armaduras:

—redondos $\varnothing$ 16, del tipo Fe E 650, con una cuantía del 0,54%.

—redondos $\varnothing$ 10, del tipo Fe E 650, con una cuantía del 0,50%.

—barras planas con entallas, de 40×2 mm., del tipo Fe E 700, galvanizadas, con una cuantía del 0,30%.

Estos dos últimos tipos presentan un interés particular en lo que se refiere a su puesta en obra, puesto que las armaduras pueden ser suministradas en bobinas y desenrolladas por la misma pavimentadora, sin provocar obstrucciones a los vehículos de transporte del hormigón.

En cuanto al hormigón, se recurre normalmente a la técnica del denuddado químico para proporcionar una adecuada textura al pavimento. Sin embargo, salvo que se recurra como en el caso de la losa gruesa a complementar la misma con la incrustación de gravillas duras en superficie, esta técnica requiere que se disponga de áridos no pulimentables. En caso de no ser así, se ha recurrido a dos sistemas:

—O bien la utilización de hormigones con áridos mixtos, en los que la arena y la grava 20/40 son calizas o sílico-calizas, y la gravilla 5/20 proviene de rocas eruptivas duras.

—O bien la construcción en dos capas, por ejemplo, para un espesor total de 18 cm., una capa superior de 6 cm. con áridos duros, y una capa inferior de 12 cm. con áridos menos resistentes al pulimento. La dosificación de cemento en cada capa es asimismo diferente, de acuerdo con los distintos tipos de áridos utilizados en ellas. Para la ejecución de este tipo de pavimentos se ha puesto a punto una extendidora compuesta por dos equipos acoplados, con un primer cajón de recepción-vibración, una primera placa extrusora, un segundo cajón de recepción-vibración y una segunda placa extrusora. El suministro de hormigón a cada una de las tolvas se realiza por separado mediante un único alimentador frontal con doble cinta transportadora y doble tolva. Las armaduras longitudinales se introducen en el hormigón por medio de una serie de tubos de guiado, situados al nivel de la fibra neutra delante de la primera placa ex-



Fig. 8.—Duplicación de calzada con un pavimento de hormigón compactado (Valdepeñas-Almuradiel)

trusora, tal y como se ha indicado anteriormente. Por su parte, las barras de unión entre carriles se introducen delante de la segunda placa extrusora.

Un punto delicado en los pavimentos de armadura continua lo constituyen las interrupciones de los mismos, bien en los extremos del pavimento en su confluencia con un firme de otro tipo con una obra de fábrica, o bien por tratarse de juntas de fin de día. En lo que se refiere a estas últimas, se ha ensayado en Francia su supresión por medio de la incorporación de un retardador de

fraguado en los últimos quince metros cúbicos de hormigón. Con una dosificación del orden del 0,6% en peso del cemento, se obtiene un retraso de unas dieciocho horas. Con ello el hormigonado puede proseguirse de forma idéntica a la de una simple parada de corta duración. Sin embargo, se trata de una técnica de ejecución delicada, que es muy sensible a pequeñas variaciones en la dosificación del retardador.

En lo que se refiere a los terminales de los pavimentos, en los que para absorber sus movimientos normalmente se disponen varios estribos de anclaje, se constata actualmente una tendencia a reducir su número e incluso a suprimirlos totalmente en ciertos casos. Así, en Bélgica, el comportamiento de varios tramos de ensayo sin anclajes en los extremos parece indicar que los estribos pueden suprimirse con bases no erosionables presentando una fuerte adherencia con el hormigón del pavimento, y siempre que los movimientos de éste no puedan dañar a las obras de fábrica adyacentes. En cualquier caso, se ha comprobado que el número de estribos puede reducirse de los seis que se disponían corrientemente a solamente tres. También se ha experimentado con éxito el paso sin interrupción del pavimento sobre las obras de fábrica, con la adopción de alguna medida que lo desolidarice del tablero (p. ej. la interposición de una lámina delgada de teflón), si bien en este caso hay que tener en cuenta

“En lo que se refiere a los terminales de los pavimentos, en los que para absorber sus movimientos normalmente se disponen varios estribos de anclaje, se constata actualmente una tendencia a reducir su número e incluso a suprimirlos totalmente en ciertos casos.”

“En cuanto al hormigón, se recurre normalmente a la técnica del denudado químico para proporcionar una adecuada textura al pavimento.”

la sobrecarga adicional que se introduce en el puente.

En las obras de refuerzo francesas se ha seguido una técnica similar, disponiendo hojas de polyane clavadas sobre el pavimento existente; no obstante, en algunos casos, se ha seguido un enfoque distinto, reforzando con fibras de acero (unos 40 kg/m³) el hormigón armado en las proximidades de las obras de fábrica, y colocando una junta elástica capaz de absorber los movimientos diferenciales. Asimismo, en el caso de refuerzos los extremos del pavimento se anclan a la calzada existente por medio de conectores en una longitud de unos 200 m.

En Inglaterra los pavimentos de hormigón armado continuo se vienen utilizando desde hace unos diez años. En el ya mencionado Manual de Proyecto del Departamento del Transporte se han publicado por primera vez en dicho país curvas de diseño para este tipo de pavimentos, deducidas mediante comparación con el comportamiento de pavimentos con juntas de una fuerte cuantía de armadura. Como alternativa se admite una ligera reducción de espesor del hormigón armado continuo, cuando encima del mismo se coloca una capa bituminosa densa de 10 cm. de espesor.

En una línea parecida, puede mencionarse un tramo de la autopista Milán-Nápoles, en la que la capa de hormigón armado continuo ha sido recubierta con un aglomerado drenante.

4. El hormigón compactado es un material bien definido y cuyo empleo se desarrolla en muchos países debido a:

- un coste menor de construcción
- empleo de maquinaria no especializada

— la posibilidad de abrir inmediatamente al tráfico.

Esta técnica ha despertado un fuerte interés a nivel internacional, habiéndose dedicado a la misma uno de los capítulos del informe del Comité Técnico de Carreteras de Hormigón. Aparte de Francia y España, que pueden considerarse líderes en su utilización, el hormigón compactado con rodillo se viene utilizando con regularidad en Estados Unidos, Canadá, Noruega y Suecia, mientras que un gran número de países han construido ya o están próximos a construir sus primeros tramos. En Francia se publicaron a finales de 1985

unas Recomendaciones sobre Hormigón Compactado, así como una Nota Técnica sobre el proyecto y comportamiento de los pavimentos realizados hasta el momento. En España, como es sabido, dentro de la Instrucción sobre Secciones de Firmes en Autovías (1986) se publicaron las primeras prescripciones oficiales sobre esta unidad de obra.

La principal dificultad que presenta la técnica del hormigón compactado es la no muy correcta regularidad superficial que ha sido posible conseguir hasta el momento. España es el único país en el que para mejorar la misma se ha dispuesto encima



Fig. 9a.— Creación de juntas en fresco en una base tratada con cemento para control de la fisuración (R.F. Alemana)

“España es el único país en el que para mejorar la misma se ha dispuesto encima una capa de aglomerado de varios centímetros de espesor; y por ello, también el único en el que el hormigón compactado se ha utilizado en carreteras de tráfico pesado.”

una capa de aglomerado de varios centímetros de espesor; y por ello, también el único en el que el hormigón compactado se ha utilizado en carreteras de tráfico pesado (fig. 8), con la excepción de algunos tramos franceses. Probablemente la construcción en dos capas, que ya ha sido empleada en ciertos casos de pavimentos de fuerte espesor en algunos países (Estados Unidos, Suecia) podría mejorar mucho este problema. No obstante, en general sobre el hormigón compactado no se ha colocado ninguna capa de rodadura, o a lo sumo un tratamiento superficial; por ello sus aplicaciones se han reducido normalmente a pavimentos para tráfico circulando a velocidades no

muy elevadas: áreas industriales o portuarias, o bien firmes para tráfico medios o bajos.

Un aspecto que es objeto de discusión en este tipo de firmes es el de la necesidad o no de disponer juntas en las mismas. Generalmente se han dejado fisurar libremente; pero existe una preocupación, al igual que en los firmes semirrígidos, sobre la evolución bajo tráfico pesado y en diferentes climas de las fisuras reflejadas en superficie. Puede ser interesante destacar a este respecto que, con objeto de controlar esta fisuración, en las recientes (1986) especificaciones alemanas sobre capas de base en carreteras ZTVT-StB 86, se ha hecho obligatoria la realización de juntas en fresco en las capas tratadas con conglomerantes hidráulicos cuando se da alguno de los casos siguientes:

- si tienen un espesor igual o superior a 20 cm.
- si su resistencia a compresión es superior a 12 MPa a los 28 días.
- cuando están situadas bajo una capa de aglomerado con un espesor inferior a 14 cm.

En los dos primeros casos, la distancia entre juntas debe ser inferior a 5 m. En el tercer caso, dicha distancia debe reducirse a 2,5 m.

Como puede apreciarse, en los firmes de hormigón compactado se dan simultáneamente las tres condiciones anteriores, por lo que sería recomendable la realización en los mismos de juntas en fresco a distancia suficientemente próxima. En la R.F. Alemana se han puesto a punto diversos equipos (rodillos y placas vibrantes provistos de una cuchilla) para poder efectuar los cortes de forma sencilla, eficaz y económica (fig. 9).

Puede ser también interesante destacar en este sentido los resultados de un ensayo realizado en Francia en una carretera con firme semirrígido, sometida a un tráfico pesado, en el que se probaron cinco métodos diferentes para evitar disminuir o retrasar la reflexión en la superficie de las grietas de base. Después de cinco años de observación, se obtuvo la siguiente clasificación por orden de eficacia de los sistemas empleados:

1. Capa intermedia de 20 mm. de espesor de mezcla fina con un elevado contenido de betún modificado con elastómeros.
2. Como la anterior, pero empleando un betún normal.



Fig. 9b.— Creación de juntas en fresco en una base tratada con cemento para control de la fisuración (R.F. Alemana)

3. Puenteado previo de las grietas con un mastic de betún modificado con elastómeros.

4. Interposición de un geotextil impregnado con betún.

5. Interposición de una membrana de betún-caucho.

Dentro de las anteriores, la mejor relación coste-eficacia la proporcionó el puenteado previo, técnica que ya ha sido aplicada en alguna reciente realización española con hormigón compactado.

5. El empleo de adoquines de hormigón se incrementa rápidamente para

pavimentos de vías urbanas e industriales.

Además de las elevadas cifras de empleo, próximas al metro cuadrado por habitante y año, que se registran en algunos países (R.F. Alemana, Holanda) en los que dicha técnica tiene una larga tradición, hay que destacar los notables incrementos experimentados en otras naciones; así en la R.D. Alemana la utilización anual aumentó más de un 300% entre 1983 y 1986; mientras que en Gran Bretaña dicho incremento es del orden de un 40% anual.

En Japón, país donde el empleo de adoquines también presenta un fuerte



Fig. 10a.— "Inlay" de hormigón armado con fibras (Bélgica)

crecimiento, se han desarrollado algunas novedades interesantes, como son los adoquines porosos para zonas urbanas; o bien los adoquines de alta resistencia al desgaste, para zonas en donde se utilizan neumáticos de clavos. En su fabricación se emplean hormigones de gran resistencia mecánica, obtenidos bien mediante el uso de super plastificantes de gran eficacia, lo que permite trabajar con relaciones agua/cemento muy bajas; o bien mediante la impregnación con polímeros. En estos últimos casos se han alcanzado resistencias a compresión del orden de 150 MPa, lo que se traduce en una resistencia del desgaste cinco veces superior a la de las mezclas bituminosas ordinarias. Dado el elevado coste de estos adoquines, suelen colocarse únicamente en las bandas donde se concentran las rodadas de los vehículos.

Otra novedad de interés la constituye el hecho de que en la revisión del Catálogo de Estructuras de Firmes de la R.F. Alemana (RStO 86) se han incluido por primera vez soluciones cuya capa de rodadura está constituida por adoquines de hormigón, admitiéndose las mismas para tráfico inferiores a 900 camiones por sentido y día.

Además de los adoquines de hormigón, varios países han informado sobre la utilización de placas o losas prefabricadas: R.D. Alemana, India, Holanda, Japón... En este último se han empleado con éxito losas pretensadas en la reparación de la calzada de un túnel. Las losas, con unas dimensiones en planta de $7,5 \times 1,5$ m. y un espesor de 17 cm., se conectaban entre sí mediante pasadores que se llevaban a su posición final aplicando aire comprimido.

6. La técnica de los hormigones armados con fibras de acero es considerada ya como operativa, pero en carre-

“La dificultad de asegurar una adherencia duradera entre el hormigón nuevo y el existente es una de las causas del peor funcionamiento de algunos de los tramos sobre hormigón. Los mejores resultados en este sentido se han obtenido con el fresado previo del antiguo pavimento.”

teras su utilización sigue limitada a casos especiales.

A pesar de las mejores características mecánicas del hormigón con fibras, esta técnica compite difícilmente con las usuales, tanto por su coste (las reducciones de espesor que es posible obtener no suelen compensar el sobrepeso introducido por las fibras) como por algunos cuidados complementarios que requiere su ejecución.

Los refuerzos delgados con hormigón armado con fibras, en particular en las zonas en donde puede haber problemas de gálibo, son una de las aplicaciones en las que esta técnica presenta un interés particular. Hasta el momento se han ejecutado en Bélgica más de 75.000 m² de refuerzos de este tipo sobre hormigón,

y más de 50.000 m² en pavimentos asfálticos existentes. Los espesores utilizados han oscilado entre 10 y 12 cm., y las dosificaciones de fibras entre 30 y 50 kg/m³. Los tramos construidos sobre capas bituminosas tienen un excelente comportamiento, que en gran parte puede atribuirse a la adherencia entre los dos materiales. Por el contrario, la dificultad de asegurar una adherencia duradera entre el hormigón nuevo y el existente es una de las causas del peor funcionamiento de algunos de los tramos sobre hormigón. Los mejores resultados en este sentido se han obtenido con el fresado previo del antiguo pavimento. Hay que destacar además que en algunos de los tramos asfálticos atravesando zonas semiurbanas con un gran número de accesos se han practicado con éxito la técnica del "inlay", fresando el firme existente hasta la profundidad requerida y sustituyéndolo por hormigón de fibras; con ello se consigue aumentar su capacidad resistente sin que se produzcan elevaciones de cota del pavimento (fig. 10).

7. Se informa sobre nuevos tipos de hormigones empleados en capa de rodadura, como el hormigón de alta resistencia al desgaste bajo la acción de los neumáticos con clavos y el hormigón poroso para mejorar la adherencia y la comodidad acústica.

Los pavimentos de hormigón de alta resistencia se están desarrollando en Noruega, donde de octubre a abril circulan con neumáticos de clavos el 90% de los turismos y el 50% de los camiones. Utilizando dosificaciones de 400 kg/m³ de cemento,



Fig. 10b.— "Inlay" de hormigón armado con fibras (Bélgica)



Fig. 11a y b.— Empleo de hormigón poroso en capa de rodadura (Holanda)



“*E*spaña es uno de los países más avanzados en el empleo de cementos con un elevado contenido de adiciones activas en los pavimentos.”

con una porosidad de hasta un 25% y con coeficientes de permeabilidad in situ que en ocasiones han sido superiores a 5×10^{-1} cm/seg., siendo por tanto muy drenantes. Sus características superficiales son excelentes y su resistencia a flexotracción (2,5 MPa a los 28 días) es suficiente para el tipo de aplicaciones en que se ha utilizado. Generalmente se emplea la siguiente dosificación:

- gravilla $\geq 2,5$ mm 60%
- arena $< 2,5$ mm 20%
- cemento 15%
- agua (con un 8% de látex de caucho) 6%

Las centrales corrientes de hormigón preparado pueden fabricar este tipo de hormigón. Cuando se recurre a métodos de construcción mecanizado, suelen utilizarse para su puesta en obra extendedores de aglomerado.

En Europa las calzadas de hormigón poroso se han utilizado también en vías secundarias y estacionamientos en Francia. Recientemente se ha llevado a cabo una importante investigación en Holanda, a fin de establecer fórmulas de trabajo adaptadas a carreteras para tráficos importantes, y se han construido ya algunos tramos de ensayo (fig. 11). Para evitar el arranque de las gravillas por los vehículos, se recurre a aditivos del tipo polvo de celulosa o similares.

Parece interesante iniciar esta técnica en España, utilizando por ejemplo el hormigón poroso como capa de rodadura de una base de hormigón compactado, extendidas ambas con un desfase mínimo a fin de asegurar la adherencia entre ellas.

8. Las cenizas volantes y el hormigón machacado de pavimentos antiguos se emplean cada vez más en las capas de base y sub base. Varios países han obtenido buenos resultados utilizando cementos con adición de cenizas en los pavimentos.

España es uno de los países más avanzados en el empleo de cementos

con la adición de 20 a 25 kg. de humo de sílice y un contenido relativamente elevado de superplastificante, es posible obtener resistencias a compresión simple a los 28 días, medidas en probeta cúbica, entre 65 y 75 MPa, frente a los 40 MPa exigidos habitualmente. Con ello se espera reducir a 1 - 1,5 mm. anuales los 3 mm. de desgaste que se constatan actualmente en los pavimentos de hormigón sometidos a tráficos del orden de 10.000 vehículos/día. Las roderas que con ello se originan deben ser corregidas mediante fresado, lo cual obli-

ga a aumentar entre 30 y 70 mm. el espesor teórico obtenido en el dimensionamiento. Para la determinación de la fórmula de trabajo de estos hormigones se ha puesto a punto una pista de desgaste circular, de 6 metros de diámetro, sometida a la acción de neumáticos de clavos.

Un especial interés presentan los pavimentos de hormigón poroso que empezaron a emplearse en Japón en 1983. Se trata de pavimentos para aceras (8 cm.), estacionamientos (10 cm.) y vías secundarias (15 cm.), sobre 10-20 cm. de zahorra artificial,

con un elevado contenido de adiciones activas en los pavimentos. Para capas de hormigón vibrado, el porcentaje de las mismas es del orden de un 35%, mientras que para capas compactadas con rodillo (gravas-cemento), hormigones compactados, etc.), dicho porcentaje se incrementa a valores por encima del 50%. En algunas obras asturianas se han utilizado con excelentes resultados cementos obtenidos mediante molienda conjunta de un 20% de clínker y un 80% de cenizas volantes.

El tema del reciclado de hormigones procedentes de antiguos pavimentos presenta un interés especial en numerosos países en donde la disponibilidad de vertederos es cada vez menor. Los áridos obtenidos a partir del machaqueo de dichos hormigones empezaron a utilizarse en subbases y bases, pero en la actualidad son ya varios los países que los emplean también en la construcción de nuevos pavimentos. Así, en Francia se han fabricado hormigones en los que el 75 % de los áridos procedía de reciclado, mientras que el 25% restante estaba constituido por dos are-

nas naturales, una de ellas funcionando como correctora de granulometría. Las resistencias mecánicas obtenidas fueron muy satisfactorias, puesto que a los 28 días se rebasaban los 5 MPa a flexotracción. El inconveniente de la no muy elevada resistencia al desgaste de este tipo de áridos puede resolverse con un engravillado o extendiendo un tratamiento superficial al cabo de un año de ser abierto el tráfico al pavimento. En Holanda también se han obtenido resultados satisfactorios con hormigones en los que el 65% de los áridos procedía de machaqueo de hormigones; por el contrario, la utilización con este fin de escombros de albañilería se ha traducido en un descenso muy acusado de las resistencias tanto mecánicas como al hielo-deshielo, por lo que su empleo debe ser considerado todavía con reservas.

Dentro del capítulo de materiales puede destacarse además que los hormigones superplastificados se emplean de forma habitual en muchos países, particularmente para las reparaciones, permitiendo la apertura al tráfico de las losas el mismo día, si

bien, por su facilidad de puesta en obra, se utilizan también de forma creciente para la construcción de calzadas nuevas. El aumento del periodo de eficacia conseguido con las nuevas generaciones de superplastificantes contribuirá sin duda a la difusión de esta técnica.

9. Hay que señalar la existencia de nuevos productos de curado, que no sólo protegen al hormigón fresco contra la evaporación, sino también contra la lluvia.

Hay productos de curado que pueden ser pulverizados inmediatamente sobre el hormigón fresco y que protegen eficazmente al mismo contra la fisuración plástica (fig. 12). La película impermeabilizante que forman estos productos flota sobre el agua de exudación, pero una vez que esta última es reabsorbida, la película se deposita sobre el hormigón. Para comprobar la eficacia de un producto de este tipo, en Austria se realiza un ensayo consistente en pulverizar el mismo sobre una probeta inmediatamente después de ser confeccionada, y dos horas más tarde sobre una segunda probeta. A conti-



Fig. 12.— Producto de curado resistente a la lluvia (Austria)

“**H**a constituido un gran avance la aparición de dispositivos acoplables a la slip-form, capaces de insertar los pasadores en el hormigón fresco, sin necesidad de detener éstas.”

nuación se determinan en un túnel de viento los dos coeficientes de impermeabilidad, de acuerdo con las condiciones previstas en la normativa austriaca (temperatura del aire: 20.º C.; humedad relativa: 65%, velocidad del aire: 1m/seg). En la primera probeta se debe alcanzar como mínimo un coeficiente de impermeabilidad del 70%, y del 85% en la segunda probeta. Si solamente se consigue el segundo valor, el producto de curado no se considera apto para su aplicación inmediata.

Asimismo en Austria se han puesto a punto otros productos de curado que además de poder ser extendidos inmediatamente, forman rápidamente (unos diez minutos) una membrana lo suficientemente resistente como para proteger al hormigón fresco de la lluvia, haciendo así innecesarios los tejadillos de protección que se utilizan habitualmente con dicho fin. No obstante, dado que en Austria el coste de estos productos es del orden de un tercio superior al de los que únicamente pueden ser pulverizados inmediatamente, se utilizan estos productos que forman rápidamente una membrana resistente sólo en los casos en que sea de temer una lluvia inminente; el resto del tiempo se recurre a un producto de curado normal.

10. Se generaliza el empleo de las pavimentadoras de encofrados deslizantes. Los pasadores pueden colocarse por vibración en el hormigón fresco sin que la maquinaria se detenga.

Varios países hacen en su informe un balance muy favorable de estas pavimentadoras, con las que es posible conseguir una regularidad superficial superior a la obtenida con trenes de encofrados fijos. Para ello es preciso, no obstante, tener una organización de obra eficaz, de forma



Fig. 13.—Insertador de pasadores acoplado a una pavimentadora de encofrado deslizante (La Guardia-Madrilejos)

que se produzca en todo momento un hormigón homogéneo; y que el suministro de éste a la pavimentadora se efectúe con regularidad, a fin de asegurar una progresión constante y a una velocidad adecuada de la misma, funcionando sin paradas. En este sentido, ha constituido un gran avance la aparición de dispositivos acoplables a la slip-form, capaces de insertar los pasadores en el hormigón fresco, sin necesidad de detener éstas (fig. 13). Las obras llevadas a cabo en Alemania, Austria, Suiza e Inglaterra

han confirmado los buenos resultados proporcionados por este método, tanto en lo que se refiere a la correcta posición de los pasadores como a la regularidad superficial del pavimento. Esta última también se ha visto muy favorecida con la incorporación a las slip-form de la maestra oscilante denominada “super-smoother” (fig. 14), que es empleada no solamente en los equipos para autopistas, sino también en pequeñas pavimentadoras trabajando por anchos de un carril, utilizadas preferente-



Fig. 14.—Maestra oscilante para mejora de la regularidad superficial y arpillera para creación de microtextura (Trinqueque-intersección C-204)



Fig. 15. Preextendido del hormigón con extendidora de aglomerado (R.F. Alemania)



Fig. 16a y b. Junta longitudinal formada en fresco mediante una cuchilla fija fijada a la pavimentadora (autopista A32, R.F. Alemania)



mente en la construcción de pavimentos para tráficos ligeros o de arcenes. Puede destacarse a este respecto la reciente aparición de equipos polivalentes capaces de construir pavimentos de hasta 7,5 m. de ancho, pero que pueden ser utilizados igualmente para otras muchas aplicaciones tales como la construcción de bordillos, rigolas, barreras de seguridad, etc.

La utilización de pavimentadoras provistas de servocontroles de tipo "proporcional", con los que es posible asegurar un espesor correcto del pavimento, hace que la calidad de los caminos de rodadura de las orugas sea un factor mucho menos crítico en cuanto a la regularidad superficial de lo que a primera vista pudiera parecer.

Asimismo debe procurar buscarse una homogeneidad lo mayor posible en la descarga del hormigón delante de la pavimentadora. En la R.F. Alemana se considera a este respecto que el preextendido del material por medio de una terminadora de aglomerado es casi indispensable para cumplir con las elevadas exigencias de regularidad superficial impuestas en dicho país (fig. 15).

Actualmente se dispone de equipos con los que es posible trabajar por anchos de hasta 15 m. en una sola pasada. Estas pavimentadoras son muy

utilizadas en la R.F. Alemana, en donde a partir de 1982 las calzadas de autopista suelen construirse conjuntamente con el arcén, lo que supone un ancho de trabajo de 11 m. (2 carriles de 4,25 m. más de un arcén de 2,50 m.)

Un problema que suele presentarse en numerosas ocasiones en la construcción de vías secundarias es el del sobreancho de 0,5 a 1 m. que las orugas de la pavimentadora suelen requerir a cada lado del firme con respecto a la anchura a hormigonar. Para evitarlo se ha desarrollado en Francia un equipo mixto consistente en un molde donde se efectúa la vibración del hormigón, arrastrado por un elemento tractor de ancho igual o más reducido similar al utilizado en las terminadoras de aglomerado.

En lo que se refiere a la ejecución de juntas, se han desarrollado dispositivos para la construcción de la junta longitudinal en fresco mediante el arrastre de una platabanda metálica vertical (fig. 16), que parecen eliminar los inconvenientes de los sistemas anteriores basados en la inserción de una lámina de plástico: rotura o torceduras de ésta, no reposición de la misma al finalizar el rollo en que viene suministrada... Sin embargo, falta todavía por resolver la ejecución automática y precisa de las juntas transversales en el hormigón fresco.

Existen distintas soluciones para carreteras secundarias, pero la regularidad superficial que es posible conseguir con las mismas no resulta adecuada para tráficos importantes. En cuanto al sellado de las juntas, se han desarrollado nuevos tipos de perfiles preformados (de neopreno o estireno-butadieno, con sección circular y estructura interna celular; de caucho a la silicona con sección tubular...).

11. La superficie del pavimento recibe hoy normalmente una textura para conseguir una resistencia al deslizamiento adaptada a las circunstancias de la carretera: tipo de tráfico, trazado, clima, áridos del hormigón, etc. Se dispone de diferentes técnicas para atender a las necesidades de seguridad y de comodidad de los usuarios.

En la actualidad se constata una tendencia hacia la utilización de superficies de rodadura más silenciosas que las obtenidas con las soluciones tradicionales a la mayoría en los países europeos; cepillados estriados o ranurados transversales. Así, además de la reducción en las macrotexturas realizadas con las mismas, se está desarrollando bastante en Bélgica y Francia la técnica del denudado, extendiendo sobre el hormigón fresco un inhibidor de fraguado (p. ej. una disolución de sacarosa en agua) y eliminando posteriormente por medios



Fig. 17a y b— Tratamiento de la superficie del hormigón mediante denudado (autopista A6 Francia)



mecánicos el mortero superficial sin fraguar (fig. 17). En las obras con problemas de áridos pulimentables, esta técnica puede combinarse con el engravillado o incrustación de gravillas duras en la superficie. Con ello se disminuyen notablemente las proyecciones de áridos sueltos que se producían en el caso de utilizar únicamente el engravillado, al poder incrustar más profundamente las gravillas; y por otra parte se reduce también sensiblemente el nivel de ruido.

Otra solución para ello ha consistido en la extensión sobre el hormigón de una capa de rodadura drenante, solución a la que se ha recurrido generalmente en el caso de pavimentos armados continuos. Generalmente esta capa porosa ha sido de naturaleza asfáltica (más de 600.000 metros cuadrados en Bélgica); aunque ya se han mencionado asimismo las experiencias que se están llevando a cabo para conseguir hormigones porosos aptos para capa de rodadura. Finalmente hay que indicar que las soluciones españolas a base de texturas longitudinales son objeto de un interés creciente en otros países. Las tendencias actuales en nuestro país se inclinan por la utilización de cepillos de cerdas plásticas, combinados a veces con arpilleras; o bien al empleo de peines de flejes metálicos. Las texturas más profundas obtenidas mediante el paso conjunto del cepillo y del peine son cada vez menos utilizadas.

12. Se están desarrollando métodos

para un control continuo, simplificado y rápido de la fabricación y puesta en obra, los cuales permiten mejorar la calidad del hormigón y sus características superficiales.

Ya se ha mencionado la importancia que tiene el conseguir un hormigón lo más uniformemente posible para la obtención de una adecuada regularidad superficial. El control continuo de la energía consumida por la amasadora de la central, complementado con un registro gráfico de la misma (fig. 18), viene siendo una gran ayuda para dicho fin. Está experimentado asimismo un importante auge el desarrollo de microprocesadores para un mejor control continuo de todos los parámetros de fabricación los cuales se registran mediante impresora. La pantalla del microprocesador puede señalar de for-

“**H**ay que indicar que las soluciones españolas a base de texturas longitudinales son objeto de un interés creciente en otros países.”

ma instantánea al operador de la central los valores de la dosificación fuera de las tolerancias establecidas (fig. 19).

El empleo de estos equipos de control continuo no se circunscribe únicamente al proceso de fabricación del hormigón, sino que también pueden ser incorporados a las pavimentadoras, registrando variables tales como la potencia de los vibradores, la velocidad de avance, las paradas, etc.

Desde la aparición de los dispositivos para inserción de los pasadores en el hormigón fresco se está tratando de desarrollar sistemas no destructivos para controlar la posición de los mismos en el hormigón endurecido. Entre las investigaciones en este campo pueden mencionarse el pajómetro de gran penetración de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, o el radar de profundidad holandés. A falta de la puesta a punto de un método de este tipo, es conveniente dejar al menos constancia de la posición longitudinal de los pasa-

dores, por ejemplo mediante una marca de pintura que puede ser depositada por la propia pavimentadora al insertar los mismos, permitiendo así serrar las juntas en su ubicación correcta. Para determinar con más precisión el momento de serrado se están investigando en Australia métodos de emisión acústica que permitan evaluar el estado de microfisuración del hormigón. Con un serrado demasiado tardío estas microfisuras, que se desarrollan en paralelo con el proceso de curado, pueden llegar a transformarse en grietas incontroladas.

13. Se reconoce la necesidad de definir unos umbrales de intervención para la conservación de los pavimentos de hormigón y de establecer unas estrategias de conservación.

La auscultación de las carreteras de hormigón y las bases integradas de datos constituyen un objetivo prioritario.

La conservación y rehabilitación de los pavimentos recibe cada vez más atención en varios países industrializados con una red de carreteras prácticamente terminada y pavimentos construidos entre los años 50 y 60. Este interés tiene su reflejo, como es lógico en los congresos, conferencias y reuniones sobre firmes; así las Conferencias Internacionales sobre Proyecto de Pavimentos de Hormigón que cada cuatro años tienen lugar en Estados Unidos, han pasado a denominarse “sobre Proyecto y Rehabilitación de Pavimentos de Hormigón”. Un resumen de los principales temas tratados en la última de ellas, celebrada en 1985, se ha incluido dentro del informe del Comité Técnico de Carreteras de Hormigón, al igual que otro sobre el 5.º Simposio Internacional sobre Pavimentos de Hormigón (Aquisgrán, 1985), uno de cuyos tres temas principales estuvo dedicado a la conservación y rehabilitación. El propio Comité Técnico ha abordado en su informe de forma



Fig. 18— Registro gráfico de la potencia consumida por las amasadoras (autopista del Mediterráneo)

breve, la inspección y auscultación, así como las técnicas de reparación, recogiendo una bibliografía útil.

La gestión de la conservación es cada vez más "racional" o sistemática. En Inglaterra la filosofía actual en este tema es el empleo de estrate-



Fig. 19— Microprocesador para el control de una central de hormigonado (autopista Milán-Nápoles)

gias "activas", con inspecciones e intervalos fijos e intervenciones correctoras cuando se hayan rebasado unos valores predeterminados. Se considera que este tipo de estrategias es preferible a las "reactivas", en las que se procede a las intervenciones a medida que aparecen los defectos. En dicho país se está procediendo asimismo a la elaboración de medidas para evaluar los costes totales durante el periodo completo de servicio de una carretera, para diversas estrategias de conservación. En cualquier caso es necesario optimizar la rentabilidad de las inversiones, teniendo en cuenta el coste de las diferentes opciones y su durabilidad.

Tanto la forma de efectuar las inspecciones como las diversas técnicas de reparación son cubiertas muy detalladamente en el Manual para la Conservación y Reparación de Carreteras de Hormigón (A Manual for the Maintenance and Repair of Concrete Roads) redactado por el Departamento del Transporte y la Cement and Concrete Association ingleses y publicado en 1986.

Pasando ya a las técnicas específicas de reparación para facilitar las labores de inspección se han desarrollado en Inglaterra equipos que mediante un sistema de sensores digitalizan las zonas afectadas por defectos, pudiendo procesarse posteriormente en un ordenador la información obtenida.

Para la sustitución de losas muy fracturadas se emplean, además del hormigón superplastificado de muy alta resistencia inicial, diferentes tipos de losas prefabricadas. En Holanda se han utilizado con éxito losas armadas de 25 cm. de espesor.

Después de demoler el pavimento existente y la base, se prepara esta última con hormigón magro compactado, a fin de permitir una apertura inmediata al tráfico, y a continuación se colocan las losas con ayuda de grúa. Asimismo se ha aplicado este método para la reparación de pavimentos asfálticos. Las losas, con un ancho de 3,6 m. y una longitud de 5,1 m., van provistas de pasadores en un lado y de agujeros para encajar estos últimos en el otro. Una vez colocadas las losas, los orificios con los pasadores se inyectan con mortero de resina. El plazo necesario para completar la reparación es de unas 12 horas, lo que permite llevarla a cabo durante la noche, entre las horas punta, sin interferir al tráfico.

Otra reparación que hay que abordar en ocasiones es la restauración de

“*La gestión de la conservación es cada vez más 'racional' o sistemática.*”

la transferencia de cargas entre dos losas contiguas. Se considera que en un pavimento debe procederse a la misma cuando el cociente entre las deflexiones a ambos lados de la junta al paso del eje de patrón es inferior al 50% en época fría, es decir, cuando las juntas están más abiertas. Para ello se pueden emplear dos técnicas:

- la instalación de pasadores
- la instalación de otros dispositivos (conectores) capaces de transmitir esfuerzos cortantes.

Los conectores se disponen en orificios verticales circulares, uno de cuyos planos diametrales es el de la junta. La ejecución mediante sonda de los alojamientos, con un diámetro de unos 10 a 15 cm., es por ello bastante más sencilla que en caso del método alternativo de instalación de pasadores, los cuales deben disponerse en ranuras serradas.

Los conectores suelen ser de fundición o de acero inoxidable, divididos en dos mitades para no coartar los movimientos horizontales de la junta, y con un elemento compresible capaz de acomodarse a estos úl-

timos. La capacidad de transmisión de cargas se basa en la adhesión del dispositivo a las paredes del orificio; para asegurarla se utilizan pegamentos especiales a base de resinas. Uno de estos conectores, desarrollado en Francia (fig. 20), consta de los siguientes elementos:

- dos semicilindros de fundición huecos y simétricos, provistos de entallas en su cara externa para mejorar la unión con el adhesivo.

- una placa gruesa de acero, que actúa como "pasador"

- un elemento compresible de neopreno colocado entre los semicilindros, que asegura la estanqueidad

Se han desarrollado equipos para la colocación simultánea de cuatro conectores por junta. A pesar de ello, su coste resulta todavía elevado.

Para la restitución de la textura superficial se vienen empleando con éxito tratamientos superficiales con ligantes modificados de suficiente durabilidad. Tanto en Francia como en Bélgica se han constatado duraciones de hasta 8 años para este tipo de reparación, que admite la aplicación de un segundo tratamiento al cabo de dicho periodo.

14. Se acaban de publicar unas recomendaciones para el drenaje de los pavimentos de hormigón nuevos o en servicio. Referencia: "la lucha contra el bombeo de los pavimentos de hormigón" A.I.P.C.R. 1987.

El objeto de este extenso documento es proporcionar tanto a los proyectistas de calzadas nuevas como a los responsables de calzadas en servicio



Fig. 20a y b— Conector para restauración de la transferencia de cargas en las juntas (Francia)



de una serie de recomendaciones que permitan un incremento significativo de la duración de las calzadas de hormigón, luchando contra una de las causas esenciales de su envejecimiento y su degradación como es la modificación de las condiciones de apoyo del pavimento.

Dado que para que se produzca el bombeo se precisa la presencia simultánea de los tres factores siguientes:

- tráfico pesado
- agua en el firme
- material de apoyo de las losas susceptibles de erosionarse el documento se centra en los dos últimos, de acuerdo con las siguientes directrices:

— disminuir en la medida de lo posible, mediante un drenaje adecuado, el tiempo de permanencia del agua en las interfases losa-base-arcén.

— reducir al mínimo los riesgos de formación de cavidades bajo las losas de hormigón, que constituyen "cuerpos de bomba", mediante una mejor resistencia a la erosión de los materiales de la base y el arcén.

Un punto importante a destacar es que cuando no se adoptan precauciones en este sentido en las carreteras sometidas a tráficos pesados, ningún entorno climático permite estar totalmente a salvo de los riesgos del bombeo y de los deterioros asociados al mismo. Este fenómeno ha podido ser observado incluso en zonas con precipitaciones anuales inferiores a 250 mm.

En lo que se refiere al drenaje, se consideran dos opciones principales:

— I. Ejecución de un cordón drenante en el borde de la losa (que en algunos casos se ha extendido a la totalidad del arcén).

— IIa. Capa granular drenante bajo el pavimento (como variante IIb, la capa granular puede ser sustituida por una moqueta drenante prefabricada).

Tanto el cordón lateral como la base drenante suelen complementarse con un dren ranurado, provisto de salidas periódicas a las que es conveniente dar un radio de curvatura adecuado (superior a 0,75 m.) para facilitar su limpieza. Es aconsejable asimismo rodearlos con un geotextil en las zonas de contacto con materiales que puedan liberar finos, a fin de evitar que se contaminen los materiales drenantes.

En la solución con cordón drenante, el material del mismo debe tener una permeabilidad homogénea, con

“En las calzadas con tráficos elevados es indispensable que dicho material esté tratado con cemento (hormigón poroso) o con betún.”

un valor mínimo de 1 cm./seg. En las calzadas con tráficos elevados es indispensable que dicho material esté tratado con cemento (hormigón poroso) o con betún.

Si se recurre a una capa granular drenante bajo el pavimento, debe existir una relación de permeabilidad superior a 1000 entre ella y la capa subyacente. Esta última debe tener una pendiente transversal superior al 2% y si es posible al 4%, de forma que haya realmente un flujo transversal del agua infiltrada en la capa drenante. En los tramos con fuerte pendiente longitudinal deben preverse zanjas transversales drenantes aproximadamente cada 60 m., a fin de evitar que el agua adquiera velocidades excesivas o que las partes bajas puedan entrar en carga. En los casos de explanadas sensibles el agua es conveniente estabilizarlas.

La variante consistente en la sustitución de la base drenante por una

moqueta drenante prefabricada (fig. 21) constituida por un geotextil especial ha sido empleada ya en la R.F. Alemana y en Francia. En este último país, como ya se ha mencionado, se ha utilizado en conjunción con la técnica de la losa gruesa. Se considera necesario que el geotextil tenga las siguientes cualidades:

— una estabilidad dimensional durante un número de ciclos equivalente como mínimo al que deberá soportar la calzada

— una transmisividad hidráulica en el plano del geotextil de 200 l. por m.l. y hora

— una porometría del orden de 250 micras

Para un mejor funcionamiento de la moqueta es conveniente combinarla lateralmente con un dren flexible o con una pantalla lateral drenante.

La elección de uno de los procedimientos de drenaje descritos anteriormente: tipos I, IIa y IIb debe realizarse después de un examen de sus cualidades y límites respectivos, que permita jerarquizarlos de acuerdo con las indicaciones de la tabla n.º 1.

La instalación de un drenaje en las carreteras existentes en las que el mismo no se había previsto inicialmente es un problema delicado, pues si bien en muchas ocasiones ha proporcionado excelentes resultados (caso de la autopista Tarragona-Valencia-Alicante), otras veces se ha producido una aceleración del proceso de degradación, originada por un deslavado rápido y una eliminación de los finos



Fig. 21.— Extensión de la moqueta drenante (autopista A26, Francia)

TABLA 1

CLASIFICACION DE LOS TIPOS DE DRENAJE DE LA INTERFAZ DE ACUERDO CON LOS PRINCIPALES CRITERIOS PARA JUZGAR SU CALIDAD

CRITERIO PARA JUZGAR LA CALIDAD	JERARQUIA DE LOS PROCEDIMIENTOS POR ORDEN DE INTERES DECRECIENTE		
	1.º	2.º	3.º
* Frecuencia de empleo; experiencia; evaluación del comportamiento	I	IIa	IIb
* Conservación, reparaciones localizadas	I	IIa	IIb
* Eficacia hidráulica	IIa	IIb	I
* Eficacia mecánica	I	IIa	IIb
* Seguridad de ejecución (homogeneidad de las propiedades hidráulicas y mecánicas)	IIb	IIa	I
* Costo de la función de drenaje	IIb ó I	I ó IIb	IIa
Tipo I: cordón drenante en el borde de la losa			
Tipo II: capa granular drenante bajo el pavimento			
Tipo IIa: moqueta drenante prefabricada bajo el pavimento			

acumulados en la interfaz losa-base. Por ellos se recomienda abstenerse de instalar un sistema de drenaje a posteriori en las calzadas existentes en las que el proceso de degradación se encuentre en un estado demasiado avanzado (porcentaje de losas fisuradas por erosión superior al 10%, escalonamientos superiores a 3 mm., puntos de sugerencia de finos a intervalos menores de 200 m.); y asimismo abstenerse de la instalación a posteriori de un drenaje en las calzadas existentes que aún encontrándose en buen estado posean una base erosionable (grava sin tratar, gravacemento heterogénea) o bien estén situadas sobre explanadas susceptibles de desprender grandes cantidades de finos (materiales finos sin tratar o incorrectamente tratados).

El drenaje a posteriori debe proyectarse de forma que no se produzca ninguna alteración del sistema de funcionamiento mecánico del firme. Por ello hay que abstenerse de efectuar cortes en las capas tratadas existentes, tanto en el pavimento como en la base. La solución más eficaz consiste en realizar una zanja drenante poco profunda (no afectando en más de 1/8 al espesor de la base) junto al borde de la losa. Al igual que en la solución con cordón drenante en calzadas nuevas, la zanja suele ir provista de un dren ranurado; y es conveniente protegerla con un geotextil.

En lo que se refiere a la caracterización de la erosionabilidad de los materiales en la interfaz losa-base-arcén, se han desarrollado distintos tipos de ensayos: de cepillado rotatorio, de vibración o choque con bolas abrasivas, con mesa vibrante, de chorro de agua, de cizallamiento rotatorio... Incluso la extracción de probetas con sonda refrigerada por agua puede proporcionar de forma muy sencilla una idea aproximada de la erosionabilidad del material de una base existente. Realmente unos ensayos son complementarios de otros, y puede ser más conveniente elegir unos u otros en función del material a estudiar. Probablemente el ensayo de cepillado rotatorio, del que ya se dispone de algún equipo en España (fig. 22) sea el que mejor cumpla los condicionantes de sencillez, rapidez y facilidad de realización en obra.

Los métodos de evaluación de la erosionabilidad han permitido definir una clasificación práctica, dentro de la cual hay aproximadamente como media una relación de resistencia a la erosión (determinada mediante la pérdida en peso en el ensayo de cepillado rotatorio) del orden de cinco entre cada clase.

Por orden de resistencia a la erosión decreciente se pueden distinguir:

- materiales de clase A "muy resistentes a la erosión", como el hormigón magro
- materiales de clase B "resisten-

tes a la erosión", como una gravacemento con un 5% de cemento

— materiales de clase C "resistentes a la erosión si la ejecución es buena", como una grava-cemento con el 3% de cemento

— materiales de clase D "bastante erosionables", como el suelo-cemento, los suelos finos estabilizados in situ y la zahorra artificial

— materiales de clase E "muy erosionables", como ciertas gravas sin tratar o explanadas con un gran contenido de elementos finos que se pueden desprender fácilmente.

En base a la evolución de la práctica de diferentes países a lo largo de aproximadamente una quincena de años se han propuesto las disposiciones constructivas de la tabla y que se incluye en páginas siguientes. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de las experiencias se refieren a calzadas sin pasadores ni arcenes de hormigón. La adopción de estas disposiciones en el caso de firmes con pasadores o de hormigón armado continuo, si bien queda del lado de la seguridad, no se ha demostrado que sea estrictamente necesaria.

Como límites de las diferentes categorías de tráfico se proponen las de páginas siguientes:

15. En cuanto a los refuerzos con hormigón hay dos conclusiones:

a. Los refuerzos gruesos no presentan ningún problema siempre que se



Fig. 22.— Equipo de cepillado rotativo para medir la resistencia a la erosión de materiales con cemento (Instituto Eduardo Torroja)

DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS RECOMENDADAS PARA EVITAR EL ESCALONAMIENTO DE LOS FIRMES DE HORMIGÓN

TRAFICO DE CAMIONES	PESADO			MEDIO			LIGERO		
TIEMPO DE PRESENCIA DEL AGUA EN SUPERFICIE	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS									
DRENAJE DE LA INTERFAZ (TIPO)	I ó IIa	I ó IIa	I ó* IIb	I ó IIa ó* IIb	I ó* IIb	Opcional			—
MATERIAL DE LA BASE Y DEL BORDE DEL ARCAN (CLASE DE EROSIONABILIDAD)	A	A ó B	B	B	B ó C	C	C ó D	C ó D	C ó D
SELLADO DE JUNTAS	si	si	si	si	opcional con B; si con C	opcional			

* a reserva de una comprobación de las tensiones en el hormigón con la moqueta drenante que será realmente instalada sin obra.

	Número diario de camiones en el carril más cargado durante el año de puesta en servicio	
	EJE LEGAL: 13 T.	EJE LEGAL: 10 T.
Calzada de tráfico pesado	> 750	> 2000
Calzada de tráfico medio	150-750	400-2000
Calzada de tráfico ligero	< 150	< 400

respeten las recomendaciones elementales. Los fallos observados en las aplicaciones de estos refuerzos se deben en gran parte a un infradimensionamiento (fig.23).

b. Los refuerzos adherentes son considerados todavía como una técnica delicada y en muchos países están todavía en la fase experimental, requiriendo una serie de precauciones. Los fallos observados de estos refuerzos están relacionados en general con la dificultad de obtener una adherencia duradera.

El tema de los refuerzos con hormigón ha sido objeto de uno de los capítulos del Informe del Comité Técnico de Carreteras de Hormigón de la AIPCR. Es corriente efectuar una distinción entre refuerzos "gruesos" (con un espesor superior a 15 cm.) y "delgados" (espesores entre 3 y 15 cm.). Suele considerarse que los primeros se disponen para incrementar la capacidad estructural del pavimento existente; mientras que en los segundos el objetivo básico es la corrección de alguna característica superficial, si bien varios países consideran que los refuerzos delgados adheridos a pavimentos de hormigón tienen también una contribución resistente.

La técnica de los refuerzos gruesos constituye hoy en día una solución ordinaria junto a la bituminosa. Algunos países poseen ya una experiencia de varios millones de metros cuadrados. Generalmente se utilizan pavimentos de hormigón en masa, con juntas cada 4 ó 5 m., provistas o no de pasadores. Las soluciones con hormigón armado continuo son también usuales en Bélgica, Francia y Estados Unidos.

En el caso de refuerzos gruesos de pavimentos de hormigón existentes que se encuentran en mal estado, en la mayoría de los países se procede a fracturar éstos en piezas del orden de 1 m², que luego se estabilizan mediante el paso de rodillos. Si hay variaciones importantes entre los perfiles del nuevo pavimento y del existente, se procede a la extensión de una capa de nivelación, generalmente de tipo bituminoso. En caso de no emplearse esta última, deben hacerse coincidir las juntas de los dos pavimentos, disponiendo en caso necesario juntas intermedias.

Mientras que en el caso de refuerzos en mas de las variaciones de espesor no parecen tener importancia, siempre que se respete el mínimo re-

querido, en los refuerzos armados continuos deben vigilarse dichas variaciones a fin de que la cuantía de armadura esté siempre comprendida entre el 0,5% y el 0,75%.

Cuando los refuerzos se emplean en autopistas o carreteras principales es indispensable una solución rápida para limitar las molestias impuestas al tráfico. En este sentido hay que destacar los rendimientos obtenidos en algunas obras francesas: 18 Km. de calzada de dos carriles en 6 semanas, y 30 Km. con ensanche a tres carriles en 7 semanas.

El empleo de refuerzos gruesos de hormigón sobre pavimentos asfálticos es considerado hoy en día una técnica estándar en muchos países (fig. 24). Al igual que con los refuerzos sobre hormigón, se han utilizado pavimentos en masa o armados continuos. Sin embargo, en muchos casos puede ser más conveniente recurrir al hormigón compactado que, como es sabido, permite una apertura inmediata al tráfico. Para hormigones vibrados, se han puesto a punto en Francia fórmulas de trabajo con las que se alcanzan resistencias medias a flexotracción de 4 MPa a las 72 horas, siendo así posible el restablecimiento de la circulación en dicho plazo. Por otra parte, se dispone ya de pavimentadoras capaces de trabajar con perfiles transversales a dos aguas, lo que facilita su empleo en calzadas bidireccionales.

Los refuerzos delgados con hormigón constituyen una solución de las que hay numerosos exponentes en Estados Unidos. Sin embargo, en la mayoría de los países se encuentran todavía en una etapa experimental, lo que puede atribuirse principalmente a las dificultades para conseguir una buena adherencia entre el hormigón nuevo y el viejo, que suele requerir una preparación cuidadosa de la superficie de este último. Por el contrario, en el caso de refuerzos delgados

“**L**os refuerzos delgados con hormigón constituyen una solución de las que hay numerosos exponentes en Estados Unidos.”

sobre firmes asfálticos, se ha constatado una buena unión entre ambos, siendo innecesario adoptar ninguna precaución a este respecto.

Sobre hormigón se han utilizado refuerzos delgados en masa, armados continuos, con fibras o bien hormigones con resinas sintéticas. En los refuerzos delgados sobre asfalto se han empleado preferentemente hormigones reforzados con fibras o bien armados continuos.

Como un caso particular de los refuerzos con hormigón de pavimentos asfálticos hay que mencionar la técnica del "inlay", o eliminación por fresado de una o varias capas de firme existente y su sustitución por un espesor igual de hormigón. Esta solución puede ser la más aconsejable en carreteras con problemas de gálibo o de acceso a las zonas circundantes. En este tipo de obras se han utilizado tanto refuerzos gruesos como delgados.

16. En 1987 la AIPCR ha publicado "La carretera de hormigón Guía práctica para la transferencia de tecnología". Hace un balance del estado actual de conocimientos y de recomendaciones útiles tanto para los países en desarrollo como para los industrializados sin suficiente o con reciente experiencia en este tipo de pavimento.

Se trata del primer número de una colección de la AIPCR, destinada a proporcionar una información lo más completa y detallada posible, sobre un cierto número de técnicas seleccionadas, del estado de los conocimientos actuales en los países que las utilizan, centrándose sobre todo en aquellos aspectos en los que se ha alcanzado un mínimo de consenso

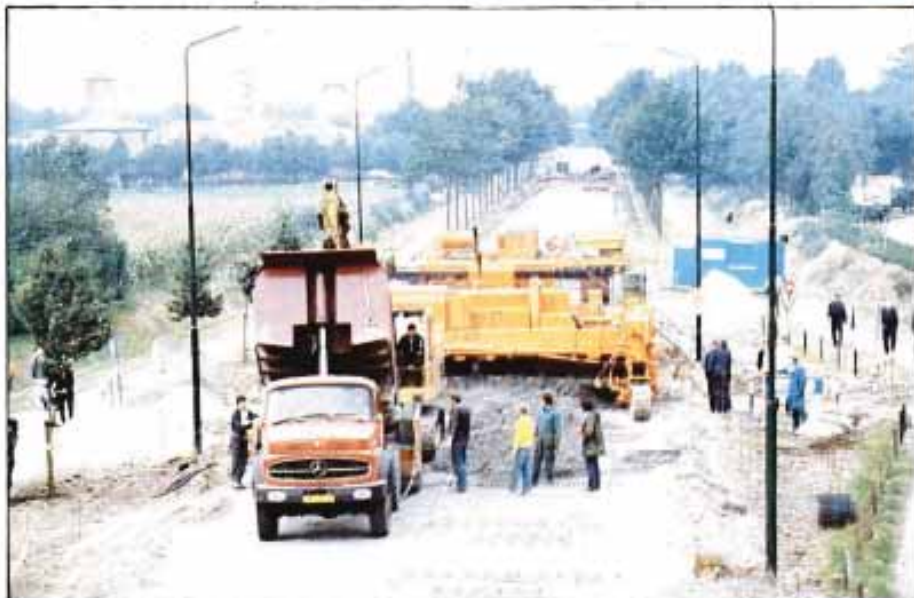


Fig. 23.— Refuerzo con hormigón de un pavimento de hormigón (Holanda)

“Como un caso particular de los refuerzos con hormigón de pavimentos asfálticos hay que mencionar la técnica del "inlay." ”

internacional. Dicha colección ha surgido como resultado de una propuesta realizada en el XVII Congreso Mundial de Carreteras (Sydney, 1983), en la que se destacaba el activo papel que podían jugar los Comi-

tés de la AIPCR en la transferencia de tecnología.

Esta primera guía ha sido realizada por el Comité Técnico de Carreteras de Hormigón en colaboración con el de Carreteras en Regiones en Desarrollo. Se compone esencialmente de cuatro partes:

- la primera está destinada a los administradores de carreteras, para ayudarles a decidir en su marco de condiciones específicas. Analiza los elementos técnicos y económicos que intervienen en la elección de las carreteras de hormigón, tratando de hacer hincapié en las ventajas específicas y en las condiciones favorables a la construcción de tales carreteras, ya sean de tráfico intenso o de poco tráfico;

- la segunda está dirigida a los proyectistas, encargados de adaptar la técnica y de elegir entre varias soluciones. Si contemplan en la misma los principios de proyecto, los métodos de dimensionamiento y la elección del tipo de pavimento;

- la tercera está destinada a los directores y jefes de obra, con recomendaciones sobre los materiales a emplear, la elección de las técnicas de puesta en obra y las operaciones de acabado;

- la última se ocupa de los métodos de inspección y de auscultación, de la conservación y de las técnicas de reparación.

Estos cuatro capítulos se completan con unas conclusiones generales y unas recomendaciones para la introducción de las carreteras de hormigón, y una extensa bibliografía.



Fig. 24.— Refuerzo con hormigón de un pavimento asfáltico (carretera CO-123, Córdoba)