

ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA DE LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EN EE. UU. (*)

EXPERIENCIAS Y TENDENCIAS DE INTERÉS PARA ESPAÑA

Por CARLOS KRAEMER

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

El I Congreso Internacional sobre el proyecto de los pavimentos de hormigón celebrado en Purdue (Indiana), una jornada informativa en la Portland Cement Association y la visita de varias obras recientes y antiguas en California, han permitido al autor analizar los aspectos más interesantes de la práctica actual americana.

1. Presentación.

Del 15 al 17 de febrero de 1977 tuvo lugar en la Universidad de Purdue (Lafayette-Indiana) el Primer Congreso Internacional sobre el proyecto de los pavimentos de hormigón, al que se presentaron 35 trabajos y al que asistieron más de 350 personas, entre ellas el autor, enviado en misión por la Dirección General de Carreteras. Por celebrarse en Estados Unidos, es natural que la componente americana fuera predominante tanto en comunicaciones como en asistencia, aun cuando la técnica europea tuvo también sus calificados portavoces.

A beneficio de los asistentes extranjeros, la Portland Cement Association, en colaboración con el Cembureau, organizó después del Congreso una jornada, presidida por Gordon K. Ray, en la sede de Skokie (Illinois), en la que se presentaron y discutieron las últimas tendencias en pavimentos de hormigón, visitándose a continuación los laboratorios de investigación.

Por último, el pequeño grupo de ingenieros españoles se desplazó a California para ver algunas obras recientes y antiguas y discutir con los colegas californianos determinados aspectos de la técnica. Quede aquí constancia de nuestro agradecimiento a J. Woodstrom, del Departamento de Transporte del Estado de California, por la acogida que nos dispensó. Esta visita tenía especial interés debido a que varias obras

de autopista recientemente construidas en España siguen esta técnica (Sevilla-Cádiz, Tarragona-Alicante).

En este artículo se pretende informar sobre algunos aspectos de la técnica americana de pavimentos de hormigón que, por su novedad o por su peso empírico, pueden tener interés para su eventual aplicación a las carreteras españolas.

2. Empleo de los pavimentos de hormigón en Estados Unidos.

Se utilizan fundamentalmente en autopistas y carreteras sometidas a un tráfico intenso y pesado, y también en pistas de vuelo y de rodaje de aeropuertos.

Aproximadamente, el 60 por 100 de la longitud de las autopistas incluidas en la red inter-estatal (65 000 Km) tiene pavimento de hormigón. El coste de construcción de estas autopistas se cubre en un 90 por 100 con fondos federales, corriendo a cargo de los diferentes estados los gastos de conservación. Precisamente, la mayor durabilidad y el menor gasto de conservación de estos firmes son factores importantes para su selección. Hay que destacar que los precios de los materiales básicos en USA son muy diferentes a los españoles y favorecen la utilización de firmes flexibles. El precio de la tonelada de cemento (unas 3.000 ptas.) es del orden del doble que en España, en tanto que el betún asfáltico (unas 5.000 ptas./Tm) no llega a alcanzar el precio español.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de septiembre de 1977.

Se utilizan cuatro técnicas:

1. Pavimentos de hormigón en masa, con juntas sin pasadores (HM).
2. Pavimentos de hormigón en masa, con juntas dotadas de pasadores (HMP).
3. Pavimentos de hormigón armado, con juntas dotadas de pasadores (HAP).
4. Pavimentos continuos de hormigón armado, sin juntas transversales (CHA).

Muchos estados sólo utilizan una de estas técnicas, como California (HM); otros permiten el uso alternativo de dos, tres e incluso de los cuatro tipos de pavimentos. En cuanto a la distribución geográfica de estas preferencias se pueden hacer las siguientes observaciones:

Si se considera al país dividido en cinco regiones climáticas como propone la Portland Cement Association, existe una región que engloba a 10 estados del oeste y del sur, desde Washington hasta Texas, pasando por California y Arizona. El clima en esta región se caracteriza por veranos relativamente cálidos, con temperaturas que oscilan normalmente entre 13 y 30° C, e inviernos relativamente suaves, entre — 10 y 13° C. Las precipitaciones son muy variables. Pues bien, en esta región, en la que podría englobarse España, usan HM 8 de los 10 estados. Las excepciones son: Oregón (CHA) y Texas (HMP, HAP, CHA).

Los pavimentos de hormigón armado (HAP y CHA) se utilizan más en los estados del nordeste, de clima más extremado, especialmente en invierno, y donde se encuentran los centros productores de acero. Los pavimentos CHA se utilizan sólo en autopistas y carreteras importantes.

El coste medio de construcción de los diferentes tipos de pavimento, con un espesor de 23 cm, es el siguiente:

Tipo de pavimento	Coste medio pta/m ²	Coste relativo	N.º de estados que lo especifican o permiten
HM	675	1,00	20
HMP	800	1,19	13
HAP	860	1,28	21
CHA	1.040	1,54	23

Los pavimentos de hormigón en masa (HM) ofrecen así unas claras ventajas económicas.

Más adelante se discute su comportamiento a largo plazo y las ventajas e inconvenientes de los pasadores en las juntas transversales (HMP).

3. Proyecto y construcción de pavimentos de hormigón.

3.1. La normativa española y la práctica norteamericana.

En términos generales, puede afirmarse que tanto el artículo 550 (*Pavimentos de hormigón*) del Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes PG-3 (1975), como la Norma 6.2 IC, *Firmes rígidos* (1975), de la Instrucción de Carreteras, están de acuerdo con la práctica actual americana.

En los apartados que siguen se comentan con más detalle algunos aspectos relativos al proyecto y construcción de los pavimentos de hormigón.

3.2. Periodo de proyecto.

Según los diferentes estados, suele oscilar entre veinte y cuarenta años. Asombra, sin embargo, que la mayoría de ellos adopten un período de sólo veinte años, y únicamente seis especifiquen treinta o más años. Hay que tener en cuenta que la vida media de los pavimentos construidos en el pasado ha sido de veinticinco años (diecisiete para los firmes flexibles) y, que las mejoras introducidas en los últimos años hacen esperar que aumente este plazo. Por otra parte, un período del orden de los treinta años no supondría más que un ligero aumento del espesor de la losa (2-3 cm), con una incidencia inferior al 10 por 100 en el precio de construcción.

3.3. Espesor del pavimento. Sección transversal. El firme "todo-hormigón".

Se marca una tendencia clara a un ligero aumento del espesor en todos los tipos de pavimentos de hormigón, lo que de algún modo compensa el período de proyecto admitido. Con ello mejora además el comportamiento del pavimento al reducir las deflexiones en el borde longitudinal con el arcén y al aumentar la sección de contacto en las juntas.

En las autopistas el espesor medio suele ser de 23-25 cm.

Hay tendencia a que el espesor sea variable transversalmente, de forma que los carriles por los que circulan los vehículos pesados tengan un mayor espesor que los carriles interiores. Esto puede conseguirse mediante una variación continua, con una sección en forma trapecial, o por escalones, como en una obra de autopista en California con calzadas de cuatro carriles: los dos interiores de 21 cm y los dos exteriores de 24 cm.

Un nuevo tipo de firme que está ahora en fase experimental es el que está constituido únicamente por una losa de hormigón en masa de gran espesor. Las dos capas usuales, pavimento de hormigón y base de grava-cemento, pasan a ser una sola capa de hormigón de 35-40 cm de espesor, extendida en una pasada. Se argumenta que esta concepción permite una construcción más rápida, económica y duradera, y que la mayor rigidez de las losas conduce a menores deflexiones en los bordes y a un mejor engranaje en las juntas sin pasadores, con lo que se espera un mejor comportamiento al reducirse el bombeo de finos y el eventual escalonamiento. En Francia se está ensayando, por ejemplo, un firme de este tipo con sección trapecial para una calzada de dos carriles, con 25 cm de espesor en el borde interior y 40 centímetros en el exterior. Como novedad suplementaria, todo el árido utilizado es calizo, resolviéndose la resistencia al deslizamiento con un tratamiento superficial con ligantes modificados y gravillas de alta calidad.

La aplicación generalizada de esta nueva técnica requiere, sin embargo, una serie de comprobaciones:

- Si es necesaria o no la estabilización de la explanada, particularmente para el paso de la pavimentadora, pues en caso de que fuera precisa se mantendría la capa de base en otra cota.
- Si al extender la losa de gran espesor en una pasada, se consigue una regularidad superficial análoga a la obtenida actualmente.
- Si el comportamiento a largo plazo de la losa de gran espesor es realmente el previsto, pues pudiera ocurrir que los problemas actuales de erosión de las bases de grava-cemento y de los arcones se mantengan al nivel de la explanada.

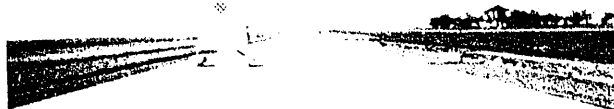


Fig. 1. — Textura longitudinal rugosa en una nueva carretera californiana.

3.4. Junta longitudinal. Barras de unión.

Las juntas entre carriles se hacen en fresco o por serrado. En general, se disponen barras de unión, que se colocan en cunas o se introducen en el hormigón fresco. Dado que el coste de este dispositivo supone menos de 3 pesetas/m², no parece conveniente suprimirlas. En California es usual prescindir de ellas, y es posible ver algunos pavimentos con juntas muy abiertas, que requieren conservación y pueden terminar escalonadas.

3.5. El problema del escalonamiento del pavimento en las juntas transversales. Medidas para evitar el fenómeno.

El defecto más importante de los pavimentos de hormigón en masa (HM) a medio y a largo plazo es el escalonamiento en las juntas transversales (*faulting*). Se afirma que un 25 por 100 de los pavimentos con cinco a doce años de vida tienen un escalonamiento moderado o severo.

En California consideran como aún admisible un escalón de 2,5 mm (3/32"), e inadmissible uno de 6 mm. Estos valores no parece que puedan aceptarse en España, pues sólo el sistema de amortiguación de los coches americanos permite que el usuario no sienta nada hasta un valor de 4-6 mm: a lo sumo el escalón se nota acústicamente. Con la mayoría de los coches españoles, los escalones de 2-4 mm son, en cambio, perfectamente perceptibles, por lo que un proceso de escalonamiento incluso li-

gero en un tramo de autopista o carretera de cierta longitud supondría una incomodidad para el usuario.

Como es sabido, para que se produzca el fenómeno es necesario que concurren tres factores:

1. Tráfico pesado e intenso. El carril afectado sería sólo el exterior.
2. Bases y arcenes erosionables.
3. Agua libre en exceso en juntas transversales y borde longitudinal exterior del pavimento.

La Portland Cement Association americana fija un umbral para el tráfico pesado de 150 camiones por día y medio y carril. Teniendo en cuenta las características de los camiones americanos, con menores capas por eje que los españoles, esto viene a corresponder a nuestras categorías de tráfico T-0 a T-2 (tráfico muy pesado a tráfico medio alto).

Al cruzar un eje pesado una junta transversal sin pasadores, la losa 2 se ve solicitada bruscamente y si, como suele ser frecuente en zonas de clima lluvioso, hay agua libre bajo las losas en la zona de la junta y bordes adyacentes longitudinales, se produce un bombeo hacia la losa 1, ya descargada, con arrastre de partículas finas de la superficie de la base y del material del arcén. Con el tiempo, estos depósitos de finos bajo la losa 1 llegan a *levantar* esta losa respecto a la 2, formándose un escalón irreversible.

Los diversos tipos de bombeo (*pumping, blo-*

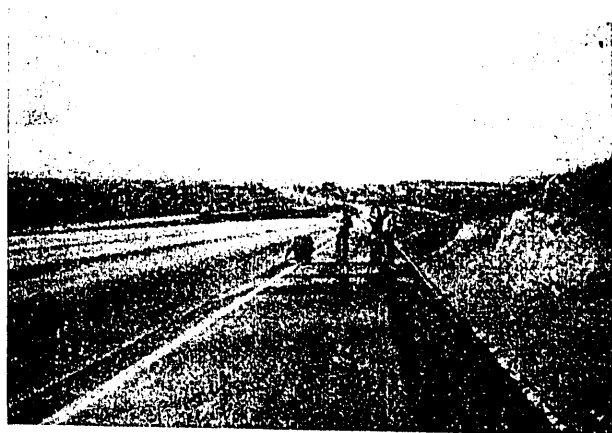


Fig. 2. — Problemas de drenaje que han producido un ligero escalonamiento del pavimento.

wing) de hace años, en los que estaba involucrada la explanada o una base (llamada sub-base) granular, fueron evitados con la adopción de bases estabilizadas con cemento o con un ligante bituminoso. Actualmente se observan, sin embargo, erosiones de la superficie de algunas bases de grava-cemento y del material del arcén, en las que intervienen como factores importantes el agua libre y las características de resistencia y permeabilidad de los materiales que rodean a la losa.

Para evitar el eventual escalonamiento se han empezado a tomar diversas medidas:

1. Utilización de bases menos erosionables superficialmente:

En California se ha aumentado un poco el contenido de cemento de las bases de grava-cemento (*cement treated bases*), de forma que se pueda asegurar una resistencia a la compresión simple a los siete días de 77 Kp/cm². Por otra parte, hay un renovado interés en las bases de hormigón pobre, para las que se utilizan los mismos áridos de la grava-cemento con un contenido de cemento del orden del 8 por 100, una relación agua-cemento de 1,5-2 y adición de un aireante. Su resistencia a la compresión simple es análoga a la de la grava-cemento, aunque al parecer más uniforme.

Este material puede extenderse con las pavimentadoras usuales de encofrados deslizantes, evitándose el reperfilado (*trimming*) considerado nocivo para la resistencia a la abrasión de las gravas-cemento, y asegurando una buena compactación.

A pesar de que el espesor de estas bases es un 10 por 100 menor y que la fabricación y la puesta en obra tienen lugar con la misma planta y maquinaria del pavimento, son todavía un 10 por 100 más caras que las bases de grava-cemento, esperándose igualar los precios de subasta en un futuro próximo. Las bases de hormigón pobre tienen una distancia entre grietas de 15 a 60 m, pero estas grietas no se transmiten al pavimento. El hormigón del pavimento se extiende pasados como mínimo tres días desde la construcción de la base.

En Francia se ha realizado también un tramo experimental con base de hormigón pobre, que tiene una resistencia a flexotracción a los siete días de 25 Kp/cm², medida en probetas prismáticas con cargas al centro de la luz. El

hormigón utilizado tiene por metro cúbico: 160 Kg de cemento y 70 Kg de cenizas volantes.

2. Sobreancho del carril exterior de 0,75 m:

Tiene por objeto alejar las cargas del borde longitudinal del pavimento y de las esquinas. De esta forma se reducen los movimientos verticales de las losas y sus posibles efectos. Se utiliza en Texas y ha sido también recogido por las normas francesa y española.

3. Mejorar el comportamiento de la zona de contacto calzada-arcén:

Teniendo en cuenta el mecanismo del escalonamiento, las medidas que empiezan a adoptarse tienen por objeto evitar la posibilidad de erosiones y arrastres de finos.

Una medida radical consiste en disponer un arcén también de hormigón, con un espesor que puede ser el del pavimento de la calzada o ir reduciéndose hasta 15 cm en el borde exterior. Puede extenderse al tiempo que la calzada o posteriormente, disponiendo en todo caso barras de unión para mantener bien cerrada la junta.

Otra posibilidad en estudio consiste en colocar una lámina resistente e impermeable, pegada al borde de la losa y apoyada en el borde de la base, o una cuña de mezcla bituminosa colocada con bordilladora.

Más prometedor parece el camino del drenaje del pavimento, preconizado por Cedergren, cuyo objeto es evacuar rápidamente todo el agua infiltrada a través de juntas, bordes y grietas, precisamente en la zona de contacto calzada-arcén. En un tramo de ensayo californiano se ha instalado una tubería de PVC de 5 cm de diámetro con ranuras estrechas transversales en la parte inferior. El dren está apoyado en la base y próximo al borde del pavimento, y tiene tubos de desagüe cada 30 m. En una visita realizada a la obra se pudo comprobar el funcionamiento de estos drenes, que habían sido instalados unas semanas antes. El coste de este sistema de drenaje es del orden de las 350 ptas./metro lineal.

Otra alternativa es la utilización de arcenes drenantes de hormigón poroso o con una mezcla bituminosa abierta. En España se han aprobado ya con éxito en la autopista Villalba-Adanero unos arcenes de grava-cemento porosa, y

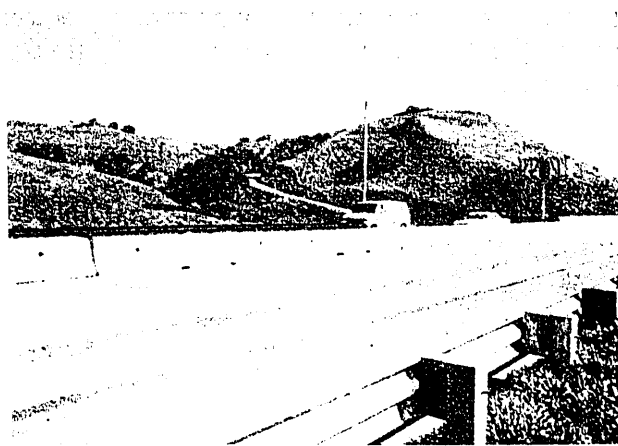


Fig. 3. — Barrera prefabricada de hormigón utilizada como separador de seguridad en una calzada de cuatro carriles, utilizada provisionalmente con doble sentido de circulación.

que en esencia consiste en eliminar la arena 5/0 y elevar ligeramente el contenido de cemento. La capacidad de drenaje de estos arcenes es muy grande, pero hay que asegurar en todos los casos la evacuación lateral en la cuneta o talud, o mejor aún, disponer un tubo de drenaje. Suelen estar impermeabilizados superiormente con un pavimento bituminoso delgado.

3.6. Sobre la necesidad de los pasadores y del sellado de las juntas.

En el apartado anterior se han examinado las medidas que pueden adoptarse para eliminar o reducir el riesgo de escalonamiento en los pavimentos de hormigón en masa con juntas transversales sin pasadores (HM). Cabe volver a plantear una vez más la vieja cuestión de si no es mejor disponer pasadores en las juntas como es práctica usual, por ejemplo, en Alemania.

Algunas razones esgrimidas en California para continuar con la técnica HM son las siguientes:

1. Todavía no está del todo resuelta la introducción automática de pasadores trabajando con pavimentadoras de encofrados deslizantes, y no se considera deseable dejar de utilizar estas máquinas de elevado rendimiento, y con las que se obtiene un buen acabado superficial.

2. Pasar de pavimentos HM a HMP encarceraría el pavimento (como media del orden de

un 19 por 100). Consideran preferible seguir con la práctica actual, mejorada con alguna de las medidas indicadas, que no suponen un incremento de coste comparable. En el caso, ya poco probable, de que al cabo de muchos años se produjera el escalonamiento de algún tramo, se procedería a su corrección por cepillado o fresado (*grinding*). Este procedimiento se ha utilizado ya con éxito, y la reciente aparición en el mercado de una nueva máquina de perfilado, descrita más adelante, promete abaratar y acelerar considerablemente esta operación.

Paralelamente a esta opción californiana de mejorar la técnica de los pavimentos HM, de indudables ventajas económicas, se hacen esfuerzos paralelos para abaratar los pavimentos HMP. Se está investigando actualmente la posibilidad de introducir automáticamente tubos (en lugar de barras), más cortos y más espaciados, o bien concentrados únicamente en las rodadas del tráfico pesado.

Las juntas transversales suelen estar selladas con productos bituminosos especiales o con perfiles extruidos de polícloropreno. Estos últimos requieren una ranura adecuada y una instalación muy cuidadosa; aun así, su durabilidad no es tan grande como se pensaba hace años.

En California es frecuente que las juntas transversales, formadas por serrado de una ranura delgada, se dejan sin sellar inicialmente. En algunas zonas se ha podido observar, sin embargo, que estas juntas se sellan unos años más tarde, no para impermeabilizarlas, lo que se considera ilusorio, sino para evitar la entrada de finos que pudieran contribuir al escalonamiento. La operación de sellado se realiza por la mañana temprano en días de primavera-verano, cuando las losas están combadas bordes arriba.

3.7. Juntas en fresco.

Aun cuando esté más generalizada la construcción de juntas longitudinales serradas, es todavía frecuente que se realicen mediante la inserción de una tira de plástico. En California se han realizado algunas obras con juntas transversales de este último tipo, habiendo surgido problemas con la regularidad superficial en rampas.

3.8. Textura superficial.

Con cierto retraso respecto a Europa, la preocupación de conseguir una textura superficial adecuada a las velocidades de circulación, es también compartida por los ingenieros americanos. El tradicional arrastre de una arpillera, que provoca una microtextura rugosa suficiente para pequeñas velocidades, se completa o se sustituye en carreteras con velocidad específica superior a 60 Km/h. por un ranurado longitudinal o transversal. En la actualidad el ranurado más usual es el obtenido con flejes de acero de 2-2,5 mm de anchura, menos de un milímetro de espesor y 10-18 cm de longitud. Las ranuras tienen una profundidad de 4-6 mm. Tanto en Europa como en Estados Unidos han aparecido recientemente algunos prototipos de máquinas que pueden moldear en fresco las ranuras.

El ranurado longitudinal en fresco ayuda a controlar la dirección del vehículo en las curvas, habiéndose demostrado su eficacia en la reducción estadística de los accidentes con pavimento mojado. La distancia entre ranuras es de unos 20 mm.

El ranurado transversal aumenta la resistencia al deslizamiento, reduce las salpicaduras y el deslumbramiento con lluvia y facilita el drenaje transversal, al menos mientras subsistan las ranuras en las rodadas. La distancia entre ranuras suele ser variable, oscilando entre 12 y 25 mm.

Todavía no está totalmente clara la opción entre ambos tipos de ranurado. Entre los factores a considerar están el régimen de precipitaciones y el trazado. En zonas críticas no hay inconveniente tampoco en utilizar los dos tipos.

Por otra parte, los pavimentos deslizantes se ranuran sistemáticamente por serrado en sentido longitudinal. Las ranuras tienen una anchura algo inferior a 2,5 mm, 3-4,5 mm de profundidad y están distanciadas 20 mm.

Se citan costes medios de 0 a 7 pesetas por metro cuadrado para el ranurado en fresco y de 60 a 120 ptas./m² para el ranurado por serrado.

4. Novedades y tendencias en maquinaria de construcción.

No hay grandes novedades en la maquinaria de construcción. Las pavimentadoras son nor-

malmente de encofrados deslizantes. Se empiezan a utilizar cada vez más pavimentadoras pequeñas, de un carril, junto con plantas de hormigonado móviles, de menor capacidad. Naturalmente, estos equipos se utilizan en obras pequeñas de carreteras, que por sus características no permiten la utilización económica de la maquinaria normal en autopistas.

Se puede señalar también que, bajo la presión de las ordenanzas y leyes de protección ambiental, es cada vez mayor el número de plantas dotadas de colectores de polvo. Aunque su coste es del orden de tres millones y medio de pesetas, se amortizan en unos tres años gracias a la recuperación de cemento.

Dentro del campo de la conservación, tanto de firmes rígidos como flexibles, hay que destacar la aparición muy reciente de una escarificadora-perfiladora de especiales características (Roto-mill. CMI Corporation).

Se trata de una máquina de gran estabilidad por su elevado peso (25-32 Tm), con un bastidor apoyado en tres orugas y con un tambor dotado de dientes de acero especial que, al girar a gran velocidad (80-100 r.p.m.), golpean puntualmente al pavimento. Está dotada de sistemas automáticos de control de altura, inclinación y dirección, pudiendo trabajar sobre hilo o patín. Según la cota de trabajo, esta acción puede ser sólo superficial o desmenuzar la capa de rodadura en una profundidad que puede llegar a 7 cm, aunque, en general, suele ser más conveniente dar varias pasadas de menor espesor. El producto escarificado es retirado automáticamente de la carretera y enviado mediante cinta a un camión.

El campo de aplicación de esta máquina es el siguiente:

1. Escarificación y retirada en una cierta profundidad de un pavimento defectuoso de hormigón o de mezcla bituminosa. Los materiales extraídos pueden eventualmente ser tratados de nuevo y empleados en la pavimentación de esa carretera o de otras de menor categoría.

2. Reperfilado muy preciso de la superficie de la calzada, dejando una textura rugosa de elevada resistencia inicial al deslizamiento. Por supuesto, puede utilizarse también solamente para dar macrorrugosidad a una superficie lisa deslizante.

Respecto a las máquinas utilizadas hasta la fecha y que trabajan fundamentalmente por fresado o por calentamiento (para pavimentos bituminosos), parece ofrecer las siguientes ventajas:

1. Un rendimiento mucho mayor a menor coste. La velocidad de escarificación en 25 milímetros de un pavimento bituminoso puede llegar a 15 m/min., siendo corriente valores de 3-5 m/min. o 1.600 m de carril por jornada. Con pavimento de hormigón (por ejemplo, para nivelar un firme escalonado o para renovar una superficie deslizante) se citan velocidades de 7,5 m/min. para 6 mm de profundidad, o avances de 4,5 m/min. en la nivelación de un carril con hormigón de árido granítico, con escarificado comprendido entre 0 y 12 mm.

Aunque el prototipo trabaja en un ancho de 2,8 m (dimensiones exteriores de la máquina: 14,7 x 3,2 x 3,2 m), se ha previsto también su construcción en anchos diferentes, tales como 1,8 y 3,6 m.

El coste de adquisición de la máquina es algo superior a 25 millones de pesetas. Con un trabajo anual del orden de unos 100 Km de calzada de dos carriles, el coste medio total de la escarificación no debería superar las 15-20 pesetas por metro cuadrado y pulgada de espesor. Estas cifras aproximadas son sensiblemente diferentes a las conocidas hasta la fecha con otros tipos de maquinaria.

2. Un perfilado muy preciso, gracias al sistema de guiado y también al peso y potencia de la máquina. Se citan tolerancias en la cota de ± 3 mm.

3. Un trabajo limpio, sin humos, polvo o ruido exagerado, lo cual es particularmente deseado en zonas pobladas.

4. La textura superficial rugosa es adecuada y permite dar al tráfico la nueva superficie siempre que el firme tenga una resistencia estructural suficiente.

5. Aplicabilidad a todo tipo de firme, tanto bituminoso como de hormigón, e independencia climática.

Si se ha descrito con cierto detalle esta máquina escarificadora-perfiladora no es sólo por su novedad, sino también como ejemplo de los progresos que se pueden esperar en la construcción y conservación de los firmes, con in-

cidencia en el proyecto de los mismos. Así, por ejemplo, el riesgo de que un pavimento de hormigón con juntas sin pasadores se escalone al cabo de varios años de servicio es ahora mucho más admisible. En este sentido, un ligero sobreespesor del pavimento no sólo supone un notable coeficiente de seguridad en su resistencia, sino también una reserva para eventuales correcciones superficiales.

5. El reciclado de los firmes y el "econocrete".

Se trata de dos tendencias que parten de una misma idea: la utilización más racional de los recursos disponibles.

El reciclado de los firmes consiste en la reutilización de los materiales que componen un firme antiguo o defectuoso. A las tradicionales razones económicas en zonas desprovistas de áridos adecuados, donde el coste del transporte es cada vez más gravoso, hay que añadir otras relacionadas con el medio ambiente. Se habla, por ejemplo, de la conveniencia de no malgastar los recursos existentes, siempre limitados, o de las dificultades de encontrar vertederos adecuados en zonas urbanas. Lo cierto es que se han ejecutado ya varias obras con materiales procedentes de la rotura y machaqueo de firmes antiguos, tanto rígidos como bituminosos. Con frecuencia los áridos obtenidos se destinan a capas de base.

El *econocrete* (de economical concrete, hormigón económico) es un término que se aplica a un hormigón de cemento proyectado específicamente para una aplicación y un entorno determinados, haciendo uso en general de áridos locales producidos comercialmente. Es esencial destacar que estos áridos pueden no cumplir las especificaciones convencionales para áridos de firmes. Se trata, pues, de introducir una mayor flexibilidad —de ahí la economía— en la selección de los áridos, sin menoscabo de la resistencia necesaria o de la durabilidad del firme en cuestión. Así, por ejemplo, se vuelve a considerar la construcción del pavimento en dos capas: una inferior, de *econocrete*, y otra superior, con áridos de calidad resistentes al pulimento. Otros campos de aplicación del *econocrete* son las bases, los arceles y las vías urbanas.

6. El hormigón armado con fibras de acero.

Desde hace años se estudian en laboratorio los hormigones armados con fibras de acero. Un tipo de fibra comúnmente utilizado en Estados Unidos tiene una sección de $0,25 \times 0,56$ mm y una longitud de 25,4 mm. El contenido de fibras dispersas aleatoriamente en la masa del hormigón está comprendido normalmente entre 0,5 y 2 por 100 en volumen.

El interés de este nuevo tipo de hormigón se basa en un aumento de la resistencia a flexotracción y en la capacidad de coser las microfisuras iniciales.

Se considera que el recubrimiento o refuerzo de los pavimentos de hormigón es un campo idóneo para esta técnica, y ya existen realizaciones de este tipo.

Hoy en día no está claro, sin embargo, el futuro del hormigón de fibras en carreteras y aeropuertos, pues aunque un 2 por 100 de fibras pueda aumentar en un 20 por 100 la resistencia a flexotracción y disminuir enormemente la propagación de las fisuras en rotura, cuesta el doble que el hormigón ordinario, ya que además del acero requiere mayor pasta de cemento para mantener la trabajabilidad. En pocas palabras, parece que los beneficios obtenidos no están en proporción con el aumento de coste.

7. Estado actual de la técnica de los pavimentos continuos de hormigón armado.

Se emplean en 23 estados norteamericanos en firmes de nueva construcción y, más recientemente, en refuerzos de firmes rígidos o flexibles.

En firmes nuevos, el espesor del pavimento suele estar entre 20 y 23 cm, excepcionalmente 25 cm. Es interesante destacar que la excepción corresponde al estado sureño de Texas, que es el que tiene mayor experiencia, y que hace poco modificó sus normas igualando el espesor de estos pavimentos al de los pavimentos con juntas dotadas de pasadores.

La cuantía geométrica de las barras longitudinales de acero varía entre 0,5 y 0,7 por 100, siendo con frecuencia 0,6 por 100. Se utilizan terminales de nervios de hormigón o con una viga en doble T de acero y durmiente de hormigón. El tipo de base que se exige varía mucho,

desde materiales granulares tipo subbase hasta grava-cemento o mezcla bituminosa. La construcción tiene lugar en general con pavimentadoras de encofrados deslizantes, y con frecuencia se omiten las barras de atado transversales.

No hay, por tanto, novedades. En todo caso, señalar un menor ritmo en la utilización de esta técnica debido probablemente no sólo al aumento de coste del acero, sino también a la comprobación de que estos firmes pueden tener problemas de conservación como los demás, aunque de otra índole.

Uno de los defectos más corrientes es la fisuración agrupada (*cluster cracking*) o secuencia de tres o más grietas transversales separadas menos de 45 cm. La distancia media entre grietas suele ser en los pavimentos de buen comportamiento de 1,80 m, oscilando en general entre 0,60 y 3 m. El defecto mencionado suele ser la primera fase de la rotura por perforación del pavimento (*punchout*), en que se forman también grietas próximas longitudinales con división del pavimento en bloques que el tráfico mueve y hunde, obligando a un bacheo de la zona. Aun cuando un mayor espesor del pavimento y una base estabilizada disminuyen la probabilidad de este tipo de fallos, suele ser responsable de los mismos un defectuoso proceso constructivo: compactación insuficiente de la base o de la explanada, falta de drenaje, escasa vibración del hormigón, etc.

En cambio, la utilización de los pavimentos CHA en refuerzos está en estos momentos pasando de la etapa experimental a la aplicación ordinaria. La primera obra data de 1959 (Texas), y en 1975 había en Estados Unidos más de 2 millones de metros cuadrados de refuerzos con este tipo de pavimentos. En Europa tiene todavía un carácter experimental.

El refuerzo o recubrimiento puede estar unido parcialmente con el pavimento existente de hormigón o ser independiente de él. En el primer caso, el hormigón se extiende directamente sobre el pavimento existente, previamente limpiado. Este procedimiento es adecuado si el firme antiguo no está excesivamente fragmentado, con trozos de losa que se mueven bajo tráfico. En la solución independiente hay entre los dos pavimentos una capa de separación (polietileno, papel) o de nivelación de la superficie existente (mezcla bituminosa). Esta última solu-

ción es la empleada en el acceso al Valle de los Caídos (Madrid, 1968).

Los refuerzos directos o con unión parcial tienen un espesor normal de 15 cm, llegando en ocasiones a los 18 cm.

8. Barreras de seguridad de hormigón.

Aunque se trate de elementos auxiliares de la carretera sin relación con los pavimentos, parece conveniente dar aquí noticia del desarrollo que han alcanzado en los últimos años.

Este tipo de barreras empieza a ensayarse en los años 40, pero es a partir de 1955, en el estado de New Jersey cuando se crea empíricamente el perfil conocido por el nombre de dicho estado o como perfil de seguridad (*safety shape*). A finales de 1975 había instalados en Estados Unidos unos 3.500 Km. En España se ha utilizado como separador de los dos sentidos de circulación entre Madrid y Aranjuez (1971), pero por falta de espacio la barrera está demasiado próxima a los carriles interiores.

Partiendo desde la calzada, el perfil está constituido por:

1. Una cara vertical como bordillo, de 5 ó 7,5 cm de altura, que es el primer obstáculo que encuentran las ruedas, en muchos casos suficiente para enderezar al vehículo.
2. Una superficie inclinada 55° respecto a la horizontal, de 30 cm de altura. Permite que el vehículo se suba a la barrera. La energía del impacto es absorbida por las ruedas y la suspensión, sin afectar el chasis del coche.
3. Una superficie casi vertical, enlazada con la anterior mediante una transición circular de 30 cm de radio que, en caso de ser alcanzada, corrige la dirección de la rueda y endereza la trayectoria del vehículo.

Una barrera con perfil simétrico para mediana estrecha tiene una anchura de 60 cm en la base y de 15 cm en la coronación, con una altura total de 80 cm.

El campo de aplicación de estas barreras se va extendiendo, con pequeñas variaciones del diseño original como separador de calzadas. Así, por ejemplo, puede servir como base de muros, de pantallas antirruído, puede dividirse para proteger pilares o báculos, soportar pantallas antideslumbrantes, etc.

Existen varias máquinas de encofrados deslizantes (2 a 5 millones de pesetas de coste) para su puesta en obra y también se realizan barreras prefabricadas. Este último tipo es el adecuado para separadores temporales, con piezas de hasta 6 m de longitud simplemente apoyadas sobre el firme y unidas entre sí para asegurar la necesaria estabilidad lateral. Las construidas *in situ* son de hormigón en masa y requieren juntas cada 6 m; han llegado a hacerse hasta de 1,15 m de altura sin problemas.

Entre las ventajas que se citan para explicar su creciente empleo están las siguientes:

1. Efectividad demostrada con ángulos de incidencia pequeños (10-15°), que constituyen la gran mayoría de las desviaciones de trayectoria. La dirección de la marcha se rectifica sin daños para el usuario, el vehículo o la barrera.
2. Economía de construcción y conservación, en comparación con las barreras flexibles de doble onda. Los gastos de conservación son prácticamente nulos, constituyendo un factor importante a su favor.
3. Al no producirse daños por el impacto, se evitan las demoras usuales al tráfico en caso

de accidente. Permiten un barrido cómodo de sus márgenes. Como se ha visto, pueden adaptarse fácilmente a distintos elementos auxiliares de la carretera.

BIBLIOGRAFIA

- EDWIN C. LOKKEN: "Concrete Safety Barrier Design". Proceedings. Purdue University, 1977.
- EDWIN C. LOKKEN: "Concrete Safety Barrier Design". *Transportation Engineering Journal*. February 1974.
- "Continuously Reinforced Concrete Overlays". 1975 Condition Survey. Portland Cement Association, 1976.
- AMIR N. HANNA: "Steel Fiber Reinforced Concrete Properties and Resurfacing Applications". Portland Cement Association, 1977.
- "Guideline for re-texturing and restoring surface profile on existing portland cement concrete highway pavements". American Concrete Paving Association, 1976.
- Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes PG-3 (1975). Artículo 550: "Pavimentos de hormigón".
- Instrucción de carreteras. Norma 6.2-IC: "Firmes rígidos". 1975.