

LA TÉCNICA DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS Y SUS POSIBILIDADES FUTURAS

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Consideramos de gran interés la exposición que hace el autor sobre la técnica de los pavimentos de hormigón, en la que se recogen las últimas tendencias en el aspecto constructivo, con las que se han mejorado notablemente las características funcionales de este tipo de firmes. En este documentado trabajo se considera también el análisis comparativo con las soluciones de firmes flexibles, llegando a conclusiones sobre las ventajas que los pavimentos rígidos ofrecen para los tramos de tráfico pesado, por lo que estarán indicados en muchas de las grandes obras del Plan General de Carreteras.

1. Introducción.

Aún no se ha resuelto el problema de elección de pavimentos de carretera, zanjando la discusión entre firmes rígidos y flexibles, larga y agitada polémica, en la que se defienden dos técnicas diferentes, siempre con algo de pasión desde ambos bandos opuestos, que a veces se aparta de lo puramente objetivo, o sea de lo técnico — que englobaba lo funcional y lo económico —, quizá menos por intereses comerciales que por esa cualidad tan humana que es la fe insobornable en las propias ideas.

La verdad, es que nunca se podrá dar una respuesta general, ya que la solución óptima de cada caso dependerá de circunstancias geográficas y económicas, en la que juegan, naturalmente, los materiales disponibles para las capas de base y de rodadura, las condiciones climáticas y la intensidad y composición del tráfico previsible.

No obstante, con el transcurso de los años, que ha hecho posible la larga observación de tramos en servicio paralelamente a una beneficiosa evolución de la técnica de pavimentos y a la obtención de datos clave en las grandes pistas experimentales, se van perfilando recomendaciones de aplicación basadas naturalmente en las garantías de comportamiento, de decisiva influencia en las condiciones económicas que siempre deben primar.

El creciente desarrollo del tráfico pesado trajo consigo una imperativa necesidad de evolución hacia mayores exigencias en dosificación y calidad de los materiales de las mezclas asfálticas, así como a mayores espesores del revestimiento para evitar fisuras que conducen a la ruina del firme.

El problema de la flexibilidad de los pavimentos asfálticos y de su resistencia mecánica a la fatiga, provocada por la incesante repetición de las cargas, en la que juegan los efectos del aún no muy bien estimado fenómeno de la *resiliencia*, es fundamental para la vida del afirmado. La reducción en ésta, que por esa causa se produce, puede condicionar el

cumpleo de los firmes flexibles en los tramos de tráfico pesado.

Por otra parte, en los últimos quince años ha mejorado mucho la técnica de los pavimentos de hormigón, con cuyo notable desarrollo en algunos países se han ido resolviendo los principales problemas. La mejora en ritmo y calidad conseguida con los procesos de ejecución, a base de una intensa mecanización, han permitido rebajar costes y ofrecer una buena superficie de rodadura al tráfico, con lo que cada día pueden competir más ventajosamente con los firmes asfálticos.

Los estudios económicos que se llevan a cabo en los Departamentos de Carreteras de los Estados Unidos, sobre los costes de construcción, explotación, conservación y vida de los pavimentos, cada vez con más detallada previsión, supuestos más reales y datos más exactos para decidir la elección óptima del tipo de pavimento, han ido poniendo de manifiesto la superioridad de los firmes rígidos para los tramos de tráfico pesado.

En enero de 1963 se dieron a conocer los resultados del gran ensayo de la AASHO — organismo administrativo de coordinación entre los Departamentos de Carreteras de los Estados Unidos —, en el que han participado también otras entidades técnicas y científicas, así como las industrias del automóvil y del petróleo. El fabuloso coste de este experimento vial está justificado, ya que se establece para suministrar una información básica para los proyectos de ampliación y mejora de la red de carreteras de los Estados Unidos, a los que corresponde un plan de inversiones de 100.000 millones de dólares, en un plazo de quince años. La longitud total de los tramos del ensayo AASHO es de 22,5 Km. — con dos vías de circulación —, agrupados en seis circuitos independientes, y en ellos se han sometido al tráfico durante dos años, 368 tipos de pavimentos rígidos y 468 de pavimentos flexibles.

El análisis de los millones de datos obtenidos ofrecerá valiosos resultados, entre ellos los de compara-

ción de diversos tipos de pavimentos, estableciendo equivalencias en cuanto se refiere a resistencia mecánica y duración para iguales condiciones de tráfico y clima, de un firme asfáltico y otro de hormigón. Partiendo de estas equivalencias y de las especiales circunstancias de terreno, materiales, equipos e instalaciones disponibles, etc., que concurren en cada caso, el proyectista podrá elegir la solución más económica.

En el presente trabajo daremos a conocer algunos resultados comparativos del comportamiento de los dos tipos de pavimentos — rígidos y flexibles — bajo el efecto de las mismas cargas y algunas conclusiones que pueden servir como elementos de juicio en el análisis de soluciones. Nuestra información procede de los informes especiales, que se han dado como avance de las esperadas conclusiones del gran ensayo americano.

La evolución de la técnica de los pavimentos de hormigón y los resultados que van obteniéndose de la comparación con los firmes flexibles, parecen indicar un desarrollo de los primeros en las futuras obras de carreteras, especialmente en los tramos de gran tráfico.

Considerando el caso de nuestro país, tenemos, por un lado, el gran desarrollo de la circulación por carretera, y dentro de ella una importante proporción de camiones de gran tonelaje; esto ha dado lugar a tramos de tráfico pesado, a los que convienen los firmes rígidos, o sea los de hormigón hidráulico, ya que los adoquinados o empedrados concentrados — que, además, son soluciones caras — se irán proscribiendo, por no reunir las condiciones de regularidad en la superficie de rodadura que exigen los veloces vehículos de hoy.

Por otro lado, hay que tener en cuenta el incremento en la producción nacional de cemento, que si antes era absorbida por la demanda de la construcción en general (obras hidráulicas, vivienda, etc.), permitirá en lo sucesivo un margen suficiente con destino a los firmes de carretera. Los datos que transcribimos a continuación dan una idea clara del aumento.

Año 1954	3,5 millones de toneladas.		
» 1956	4,0	»	»
» 1958	4,8	»	»
» 1961	5,2	»	»
» 1962	6,6	»	»
Previsión para 1964	8,5	»	»

Las crisis esporádicas que aún se siguen produciendo, al menos en algunas regiones, por las puntas de consumo de los meses de verano, irán desapareciendo con el notable incremento de la producción y es de esperar que la escasez de este conglomerante

no sea un obstáculo para el establecimiento de pavimentos de hormigón en los casos en que las circunstancias lo aconsejen.

2. Evolución de los pavimentos de hormigón.

En los países desarrollados, los modernos métodos de ejecución de pavimentos rígidos, con las grandes instalaciones de fabricación y los equipos de puesta en obra, manejados por personal especializado, juntamente con exigentes normas de inspección y control, han permitido obtener calzadas de hormigón que pueden competir con las flexibles de mejor calidad.

Todo ello ha permitido una notable evolución en lo que se refiere a las juntas, explanadas de asiento, vibración del hormigón, empleo de aditivos que mejoran su calidad, regularidad, rugosidad de la superficie de rodadura, etc.

El fracaso de los pavimentos rígidos, del que hubo muestras con bastante profusión, no se debe a la estructura en sí, sino a la ejecución defectuosa y principalmente a las malas condiciones de la explanada — de resistencia insuficiente y no uniforme — y al gran desarrollo del tráfico que desbordó toda previsión.

2.1. EXPLANADA O BASE DE APOYO.

Por su gran rigidez, las losas de hormigón reparten mejor las cargas del tráfico, transmitiendo a la base de apoyo y terreno subyacente presiones inferiores a las de cualquier otro tipo de pavimento. Por lo tanto, tiene mucha menos importancia la base que en los firmes flexibles; bastará para ella con una capa homogénea, bien nivelada y protegida contra posibles cambios por humedad o hielo, pero sin gran resistencia ni espesor. En muchos casos, o sea para tramos de tráfico no excesivamente pesado, bastará con una explanada mejorada, o sea el propio suelo bien estabilizado mecánicamente o con adición de cemento o betún, si no reúne condiciones de plasticidad o granulometría para conseguir el grado necesario de compactación. Todo ello se traduce en economía de la obra al reducir la importancia de la base, y en el caso de que ésta se cuide por intensa compactación y adición de ligantes, el aumento de capacidad resistente de esta capa permitirá reducir el espesor de las losas hasta en 5 centímetros, con el consiguiente ahorro al reducir el volumen de estos hormigones caros de muy esmerada fabricación y dotaciones mínimas de 350 Kg. de cemento.

El establecimiento de una buena capa de apoyo permite eliminar el fenómeno de *pumping* o surgencia, que da origen a desniveles entre las losas contiguas, agravados con el paso del tráfico hasta producir la ruina del pavimento en las proximidades de las juntas.

El *pumping* se ha estudiado exhaustivamente llegándose a la conclusión que las circunstancias que lo producen son: la presencia de suelos finos en la explanada, la existencia de agua en ésta y el peso repetido de ejes pesados. Las circunstancias definidas deben ser coincidentes, bastando la falta de una de ellas para que el fenómeno no se produzca. Así en una base con abundancia de elementos finos, sobre la que haya agua permanentemente, no se llegará al *pumping*, a menos que se produzca un movimiento continuado de las losas por el paso frecuente de vehículos pesados, bajo cuya acción se eyecta a la superficie el fango formado en la capa de apoyo, dando lugar a una discontinuidad en la superficie de ésta con la subsiguiente rotura del pavimento.

Para fijar limitaciones en lo que puede considerarse como suelos finos a los efectos del fenómeno de sugerencia, diremos que se han considerado como peligrosos los que contienen una fracción que pasa por el tamiz núm. 200 (0.076 milímetros) superior al 50 por 100 (*). Como caso excepcional se indica el posible peligro en bases granulares con finos plásticos para tramos sometidos a un tráfico muy pesado.

Es fundamental que la base no sufra deformaciones plásticas, ni que pueda producirse en ella ningún movimiento interno por hinchamiento a causa de la humedad; tampoco debe ser susceptible a los efectos del hielo, lo que en las zonas de clima frío ha sido causa de la ruina de muchos pavimentos. También cabe el peligro de una compactación excesiva que pueda dar lugar a descompresiones *a posteriori* con levantamiento de la losa.

En definitiva, deben emplearse suelos estables y no heladizos, y conseguir con ellos una capa de superficie perfectamente plana y homogénea. La capacidad resistente que debe tener como infraestructura de la carretera, la hace también apta para el paso de los equipos de ejecución del pavimento.

Cada vez se emplean más las bases de suelo-cemento o simplemente suelo granular modificado con cemento, lo cual es obligado para las vías de tráfico pesado y también puede ofrecer ventajas, en carreteras de menor circulación, pero en las que por las características de la explanada pueda temerse alguno de los peligrosos efectos que acabamos de citar. En esos casos, tratar con cemento los suelos disponibles en el emplazamiento o los materiales granulares de calidad inferior que se encuentran en su proximidad, permite obtener buenas bases a menor coste que si hubiera que recurrir a yacimientos lejanos. La adición de cemento anula la plasticidad de los suelos, consiguiendo una base estable, resistente a las deformaciones y a la erosión por la humedad bajo las juntas;

(*) En el ensayo conocido con el nombre de Maryland Test, llevado a cabo en 1950 y que fué la primera investigación importante que se llevó a cabo en los Estados Unidos, se confirmó lo expuesto, ya que el *pumping* se produjo en toda la longitud del tramo ensayado, excepto en 28 losas apoyadas sobre explanada de material granular.

se elimina así la compactación por efecto del tráfico, pues la capa se densifica desde un principio y conserva siempre ese estado inicial. En muchos casos ha bastado con proporciones de cemento del 3 al 4 por 100 en peso, pero para ello es necesario que el suelo empleado sean zahorras de buena granulometría.

En el Estado de California, precursor indiscutible de la moderna técnica de carreteras, se preconiza ahora sistemáticamente la estabilización con cemento en los 10 centímetros superiores de la base o explanada. Para tramos de tráfico pesado se aumenta a 12 ó 15 centímetros, recomendándose también la aplicación de un riego asfáltico, para alejar más el peligro de *pumping*.

Se obtienen así capas muy resistentes que han permitido suprimir los pasadores de transmisión de cargas entre losas contiguas, tendencia ya muy acusada también en Francia desde que se construyen las nuevas bases, con exigencias rigurosas en compactación y drenaje.

En las autopistas alemanas, se han establecido bases estabilizadas con ligantes asfálticos, que han cumplido a satisfacción su función resistente bajo las grandes y frecuentes cargas del tráfico. En Inglaterra se emplean con éxito las bases de hormigón pobre.

En resumen, vemos que mejorar la calidad de las capas de asiento, muy descuidadas en un principio, ha sido decisivo para el buen comportamiento de los pavimentos de hormigón y prolongará considerablemente su vida útil, habiéndose eliminado los hundimientos y los agrietamientos transversales.

2.2. ESPESOR DE LAS LOSAS.

Hasta hace algunos años se tuvo la creencia de que el espesor de los pavimentos de hormigón exigía un cálculo lo más exacto posible, dadas las múltiples solicitaciones de las losas (cargas del tráfico, efectos de temperatura y humedad) y el reducido coeficiente de seguridad que debe disponerse, por su repercusión económica en una obra de gran volumen como es un tramo de carretera.

Si bien estas circunstancias subsisten y mantienen su vigencia las fórmulas de Westergaard, Picket y Spangler, la realidad es que salvo en casos especiales se ha prescindido prácticamente del cálculo, lo que supone una gran simplificación. Por ejemplo, en los Estados Unidos hay tres espesores normalizados: 20, 22,5 y 25 centímetros, generalmente dos sólo en cada Departamento; así, en California, donde se construyen las bases con mayor exigencia de estabilidad y resistencia, se han adoptado los dos primeros.

Esta normalización tiene la ventaja de que sólo es preciso disponer de encofrados de dos alturas, lográndose así un mayor coeficiente de utilización de

éstos, lo que permite exigirles mejor calidad dentro de la misma economía.

Prácticamente se proyectan ya todas las losas de espesor uniforme. El ancho previsto para las vías de circulación que es como mínimo de 3,50 metros, permite eliminar la dificultad constructiva del aumento de espesor en los bordes: en efecto, las cargas del tráfico insistirán sobre ellos con muy poca frecuencia y por esto no está justificado el aumento de espesor.

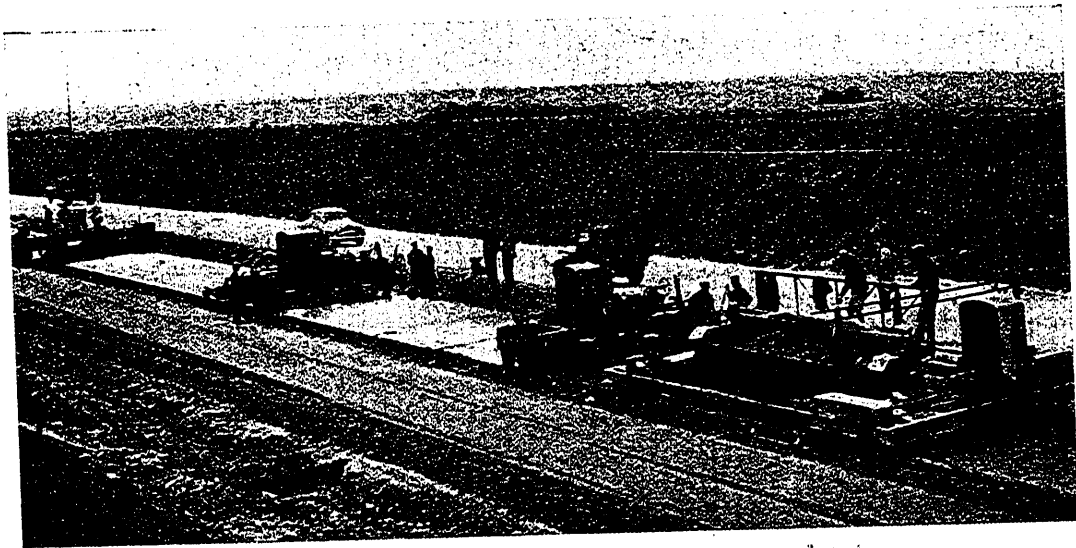
2.3. ESTRUCTURA Y EJECUCIÓN DEL PAVIMENTO.

La tendencia general de los países europeos a emplear hormigones muy secos con vistas a obtener

minuido la necesidad del empleo de armaduras, las que casi la única utilidad que pueden ofrecer es la de mayor separación o hasta supresión de las juntas de contracción. Desde luego, la reducción en el espesor de la losa que puede conseguirse con el armado es antieconómica.

Los pavimentos de hormigón en masa exigen juntas de contracción a distancias máximas de 8 metros. El armado con ligera cuantía, de 1,5 a 2,5 Kg./m.², permite la separación hasta 20 metros. En Inglaterra y Bélgica se ha llegado a 7 Kg./m.² — de los que el 90 por 100 corresponden a la armadura longitudinal — en tramos de tráfico muy pesado.

Una técnica nueva aún en vías de experimentación en América, principalmente en California y algunos



Ejecución mecánica de un pavimento de hormigón.

una mayor resistencia, va desapareciendo para adaptarse en este aspecto a las recomendaciones americanas, que prescriben mayores relaciones agua/cemento, con lo que se consigue un hormigón más dócil, que con los modernos equipos de pavimentación se pone en obra a mayor ritmo y menor coste, consiguiéndose al mismo tiempo una superficie de rodadura perfecta, que puede competir con los revestimientos de aglomerado asfáltico.

La fórmula francesa: $A = 45 + 0,23 C$, para la dosificación normal de 350 Kg. de cemento, da proporciones de agua inferiores a 100 litros por metro cúbico y relaciones agua/cemento del orden de 0,27, cifras muy bajas que están dobladas prácticamente, en las especificaciones americanas, donde se recomiendan valores comprendidos entre 0,47 y 0,64, correspondiendo las menores a los casos en que se vibre la masa del hormigón.

Las mejoras en la estructura y ejecución de los pavimentos de hormigón y de sus bases de apoyo ha dis-

Estados del Norte, son las losas fuertemente armadas, con cuantía de 12 Kg./cm.² y a base de redondo grueso para conseguir una malla amplia que permita la puesta en obra del hormigón en buenas condiciones. Con esto se suprimen totalmente las juntas de contracción, sin peligro de fisuraciones. Se construyen con armadura continua y espesores de 15 centímetros. Esta técnica de losas con alta cuantía de armado se estudia también actualmente por el Instituto de Cemento Portland Argentino (*), pretendiendo llegar a espesores de 10 centímetros, obteniendo soluciones comparables con las antiguas, desde el punto de vista económico.

Por lo que respecta a la ejecución, se da cada vez mayor importancia a los factores que intervienen en la obtención de una gran regularidad en la superficie

(*) Su Director, el ilustre profesor Sr. García Balado, nos ha informado sobre ello en su reciente visita a España, con motivo del IV Congreso Mundial de Carreteras.

de rodadura que exige el veloz tráfico de hoy; pequeñas variaciones en la proporción de agua de amasado pueden ser decisivas para la docilidad y el acabado de esta superficie. En ello también influye la precisión en el montaje de encofrados y carriles. También es fundamental el reparto uniforme del hormigón y el compactado, en lo que si bien la vibración permite ejecutar los pavimentos en una sola capa, aumentando el ritmo de la obra, con la compactación en dos capas es más fácil conseguir mayor regularidad.

La obtención de la necesaria rugosidad superficial que dé seguridad al tráfico en las condiciones más desfavorables, no presente dificultad en los pavimentos de hormigón, con un ligero barrido transversal sobre el hormigón fresco o con el dibujo de la terminadora.

La ejecución de los firmes rígidos ha ganado mucho en ritmo y calidad con los grandes equipos modernos, y si bien no podremos competir con los países más desarrollados, donde los grandes programas permiten una organización diferente en lo que a capacidad de maquinaria se refiere, cabe también la mecanización a escala española, aprovechando todas las innovaciones de interés. Es de esperar que en el desarrollo del Plan General de Carreteras haya lugar para realizaciones de esta técnica mejorada, a la que no dudamos se presten nuestras empresas constructoras.

2.4. PRODUCTOS DE ADICIÓN Y CURADO.

En la mejora de los pavimentos de hormigón han jugado importante papel una serie de aditivos, cuya fabricación bien concebida y controlada debe estimularse en nuestro país.

Tenemos, en primer lugar, los aireantes, agentes generadores de meniscos de agua entre las partículas sólidas de la masa, a la que dan cohesión y estabilidad al mismo tiempo que docilidad para su mejor puesta en obra. La mayor cohesión con ellos conseguida reduce la segregación en el transporte. También les hace menos heladizos, evitando el descascarillado de la superficie y el ataque por las sales que se emplean en los tratamientos contra la nieve helada. Respecto a la resistencia, la adición del aireante permite disminuir sensiblemente el agua de amasado para una misma docilidad y con ello compensar la reducción de resistencia que producen estos aditivos. Todo hace que se usen cada vez más y si en un principio se miraron con prevención, hoy su empleo es obligatorio en 40 de los Estados de Norteamérica, principalmente para evitar la acción del hielo.

Se emplean también productos plastificantes, que permiten rebajar la proporción de agua y con los que se consigue una gran docilidad, especialmente por vibración; facilitan el extendido del hormigón aumentando el rendimiento de los equipos.

Actualmente se tiende al empleo de aceleradores de fraguado, con los que las carreteras podrán abrirse al tráfico a los cuatro días, evitando un largo curado.

Representan otro gran progreso los productos de curado, con los que se ha suprimido prácticamente la microfisuración en la superficie, origen de agrietamientos posteriores y como consecuencia en algunos casos, de la ruina del pavimento. Hemos visto aplicar este producto en las carreteras americanas, como operación final de la obra, o sea, inmediatamente después del acabado de la superficie, distribuido por pulverización antes de que comience la deshidratación y el fraguado. Con este producto que se fabrica a base de resinas, se obtiene una membrana impermeable que protege al hormigón hasta su endurecimiento.

2.5. APLICACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LAS JUNTAS.

La tendencia a separar cada vez más las juntas de dilatación ha terminado en estos últimos años por la supresión absoluta de este tipo de juntas, en las alineaciones rectas y cuando se ejecutan las obras a temperaturas moderadas, o sea superiores a 15°. Así, pues, se establecerán solamente al final de la jornada de trabajo, en puntos singulares (curvas en planta o perfil, pendientes, proximidad de obras de fábrica) o por la circunstancia ya apuntada de bajas temperaturas.

Las juntas de contracción se establecen normalmente a distancias de 6,50 metros, que pueden aumentar si se trata de losas armadas. Con ellas se consigue fijar la grieta natural de construcción por serrado de la parte superior de la losa, con discos de acero y puntas de diamante, o por un cuchillo vibrante que actúe antes del endurecimiento, con rectificación posterior de las aristas e introducción de un fieltro o cartón impregnado de un producto asfáltico.

El aserrado de juntas exige un momento crítico; es preciso que el hormigón haya endurecido, pero no esperar demasiado dando lugar a que se inicie una peligrosa microfisuración. Para el clima de España habrá que hacerlo entre las cinco y diez horas que siguen a la puesta en obra, esto es una recomendación de tipo general, que será preciso contrastar en cada caso. El aserrado tiene el inconveniente de ser caro, sobre todo con áridos duros en que el rendimiento de la sierra es muy bajo. Estas juntas cuestan como mínimo siete veces más que las realizadas con el cuchillo vibrante.

Se recomienda disponer las juntas de contracción con ligera oblicuidad, con lo que son menos notadas por el tráfico.

Respecto a las juntas longitudinales no se considerarán necesarias mientras el ancho de la calzada no exceda de 7 metros, lo que no es probable, pues en el caso de que la IMD, en el tramo, exija mayor sección, se establecerá otra calzada separada por la pre-

ceptiva mediana, claro que generalmente no podrá llegarse a ese ancho por ser menor el de la extendora.

3. Ventajas de los pavimentos de hormigón.

El hormigón, por sus propiedades estructurales y de duración, constituye un material excelente para el pavimento de carreteras de tráfico pesado. Los grandes avances de su técnica durante los últimos años han mejorado las ventajas específicas de este tipo de firmes, que pueden concretarse en las siguientes:

- Gran resistencia, tanto a la rotura bajo las cargas del tráfico como a la acción abrasiva de éste.
- Inalterabilidad a los efectos del calor y el hielo.
- Superficie antideslizante, tanto en estado seco como húmedo, por la rugosidad del hormigón, con permanencia garantizada.
- Larga vida en servicio, estimada ya en cincuenta años y con tendencia a aumentar con el perfeccionamiento de su proyecto y ejecución.
- Conservación muy reducida, lo que es importante, no sólo desde el punto de vista económico, sino también para el normal desarrollo del tráfico, evitando las mermas de capacidad de la vía y las molestias al usuario, que producen los trabajos de regulación. También son mucho más sencillos los equipos de conservación que los que precisan los firmes asfálticos.
- Su color claro que asegura una buena visibilidad, nocturna y diurna, con ausencia de peligrosos reflejos durante la noche.

Esta última es una de las principales ventajas que, en el aspecto funcional, ofrecen los firmes de hormigón. La visibilidad juega un papel decisivo en la seguridad de la carretera y para la visibilidad es muy importante el color del pavimento. El color claro favorece el contraste de los obstáculos fijos y móviles que pueden interferir la calzada; cuanto más oscuro es el pavimento mayor es el mimetismo de los objetos situados en el campo visual del conductor.

4. Comparación con los firmes flexibles.

Un estudio llevado recientemente en 28 Departamentos de Carreteras de los Estados Unidos sobre los gastos de conservación ordinaria en pavimentos asfálticos y de hormigón, durante un período de veinticinco años, a los efectos de un análisis comparativo de ambas soluciones, dió como resultado que el coste en promedio para los firmes rígidos es del orden

del 55 por 100 del correspondiente al de los flexibles con revestimiento asfáltico de alta calidad. Y esto sin haber computado las capas de sellado y riesgos de conservación, o sea los tratamientos periódicos que en los tramos de tráfico pesado es preciso llevar a cabo cada siete años como mínimo. Considerando también estas operaciones en el coste de conservación, el de los pavimentos de hormigón se reduce al 25 por 100 del de los flexibles.

El reducido gasto anual de conservación, juntamente con la larga vida del pavimento son fundamentales en el estudio económico que debe preceder a la elección de un pavimento. Las diferencias en los costes acumulados de conservación, para uno u otro tipo de pavimentos, en las vías de gran tráfico, son sorprendentes como se ha deducido en recientes estudios americanos (*). Se llega a cifras del orden de dos millones y medio de pesetas por kilómetro, para carreteras de cuatro vías de circulación en un período de explotación de treinta y cinco años.

Sobre la comparación de ambos tipos de firmes en el aspecto funcional es interesante la encuesta realizada en una carretera italiana — tramo de Roma a la Via Appia — con pavimento de hormigón. Para conocer la opinión de los usuarios se hizo un muestreo con el mayor rigor de la moderna estadística, obteniéndose los siguientes resultados: muy favorables al pavimento rígido (60,5 por 100), favorables (26,5 por 100), partidarios del pavimento asfáltico (6 por 100), indiferentes (7 por 100). Un 89 por 100 de los automovilistas interrogados se manifestaron en favor de la aplicación del hormigón a toda la red primaria de Italia.

Respecto a las carreteras secundarias, citamos datos de la experiencia belga sobre costes medios de construcción y conservación de afirmados, o sea el conjunto base-pavimento. Para unos anchos de calzada de 6 metros y reducidos a pesetas, resultan:

- 1 700 pesetas la construcción y 12 pesetas la conservación anual para los pavimentos asfálticos.
- 1 540 y 4 pesetas, respectivamente, para los pavimentos de hormigón.

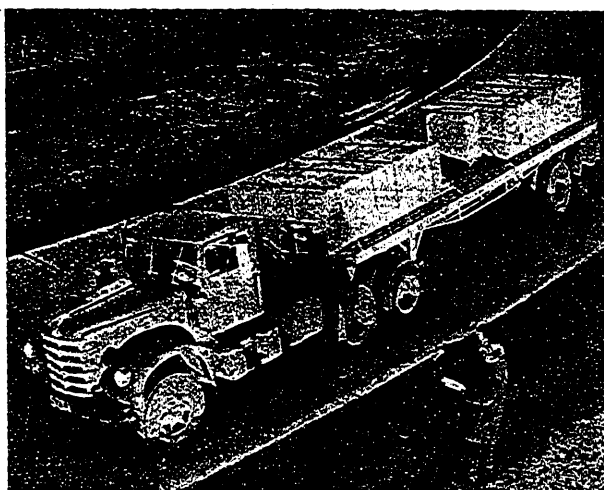
5. Avance de los resultados del ensayo AASHO.

Pendiente aún de terminación, como ya indicamos, el informe del ensayo AASHO (1958-1960) que reunirá una interesantísima y completa documentación de la técnica de carreteras, las publicaciones ya aparecidas con análisis comparativos de resultados, a

(*) "Rendimiento comparativo de los pavimentos de hormigón y de los revestimientos asfálticos en las autopistas norteamericanas", *Informes de la Construcción*, núm. 138, marzo 1962.

modo de avance de la información final (*) permiten fijar con carácter general las siguientes conclusiones:

- Considerando los pavimentos de ambos tipos que se dimensionaron para las mismas solicitaciones del tráfico — en cargas y frecuencias — y fueron sometidos a estas en los circuitos experimentales, los resultados obtenidos fueron francamente favorables a los pavimentos de hormigón.
- Los pavimentos flexibles son mucho más sensibles a la frecuencia de las cargas, en cambio, en los pavimentos de hormigón la frecuencia influye casi solamente para provocar el fenómeno de *pumping* si es que la base es propicia a ello. Con relación a esto debe hacerse constar que en el ensayo AASHO no se observaron rigurosamente las recomendaciones hoy previstas para conseguir bases *anti-pumping*; de haberse hecho así, las ventajas en favor de los pavimentos de hormigón hubieran resaltado aún más.
- En los circuitos ensayados, que comprendían pavimentos de hormigón de los dos tipos: en masa y armado, pero con el mismo espesor en las losas, el comportamiento de ambos fué sensiblemente igual. La distancia entre juntas de contracción era de 4,50 m., para el hormigón en masa, y de 12 m. para el armado.
- El espesor de la base no ha tenido prácticamente influencia en el comportamiento de los pavimentos de hormigón bajo la acción repetida de las cargas. Se ha comprobado que espesores de la base, superiores a 10 cm., no aumentan la capacidad resistente de las losas. De esto y de lo expuesto en la conclusión anterior, se deduce que el comportamiento del firme se debe, casi exclusivamente, a la propia resistencia de la losa, pudiendo reducirse la base a un mínimo y prescindir del armado, circunstancias ambas que repercutirán muy favorablemente en la economía de la obra.
- Parece deducirse de los resultados del ensayo, que para los tramos de tráfico pesado será preciso aumentar los espesores totales para firmes flexibles que dan los métodos empíricos en uso y, especialmente, el de la capa de revestimiento asfáltico.
- Se ha puesto claramente de manifiesto la influencia que en el comportamiento del firme tiene el espesor de esta capa asfáltica,



Vehículo pesado circulando sobre el pavimento de hormigón de un circuito del ensayo AASHO.

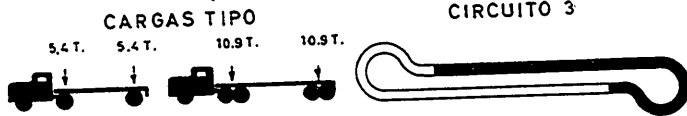
comprobandose, por tanto, el beneficioso incremento de resistencia que se consigue por el llamado efecto-losa. Respecto al comportamiento de los pavimentos en servicio, no hay que olvidar que el ensayo AASHO, ha sido un ensayo acelerado y, si bien el número de cargas repetidas ascendió a 1.100.000, esto tuvo lugar durante un período reducido de tiempo, en el que no se llegó a producir alteración alguna en las propiedades del ligante asfáltico, lo cual puede suceder, a la larga, con la consiguiente pérdida de resistencia del pavimento.

Se ilustra el presente trabajo con unos diagramas en los que se relaciona el *índice de utilidad* para los cuatro circuitos de tráfico pesado, con el número de repetición de las cargas que pasaron sobre ellos. En cada circuito, ambos pavimentos — rígido y flexible — fueron dimensionados para igual capacidad portante, y en cada uno de ellos hubo 56 secciones del primer tipo y 60 del segundo, sometidas todas al paso de 1.100.000 cargas, en un período de dos años.

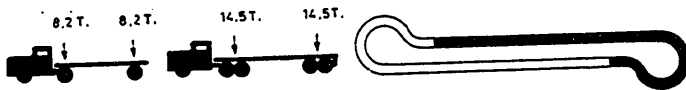
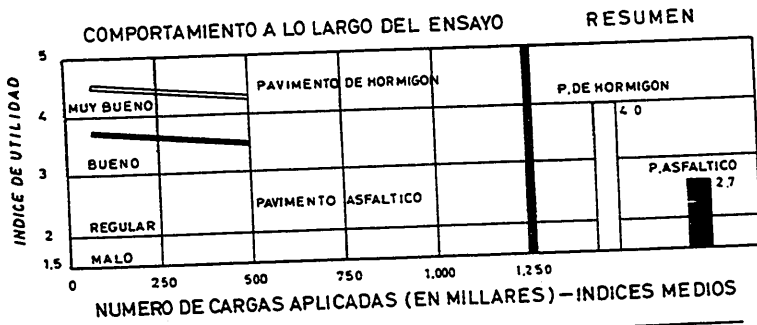
El llamado *índice de utilidad* (serviceability index) es un valor representativo del comportamiento de cada tramo, definido en función de una serie de factores que permiten juzgar la aptitud del pavimento para resistir los efectos destructivos del tráfico y que fueron estimados por un equipo de 12 expertos. La clasificación es la siguiente: de 4 a 5, muy bueno; de 3 a 4, bueno; de 2 a 3, regular; de 1 a 2, malo y de 0 a 1, muy malo. Para índices inferiores a 1,5 se consideró que la sección había fallado, y se eliminó del ensayo.

En los gráficos se indican las cargas circulantes por cada circuito y, además de los índices de utilidad estimados a lo largo del ensayo, un valor medio

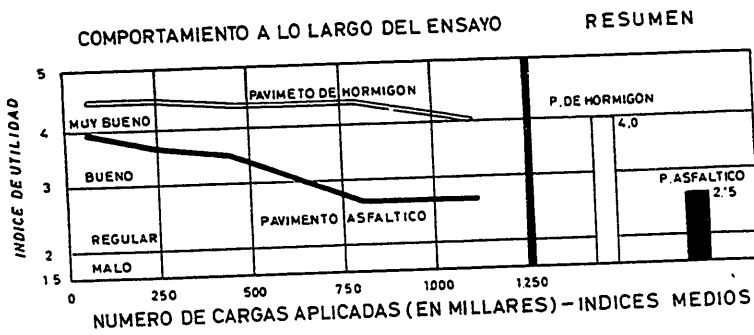
(*) "The AASHO Road Test V. Pavemente Research". Highway Research Board. Special Report 61-E.



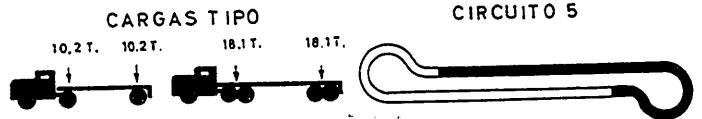
CIRCUITO 3



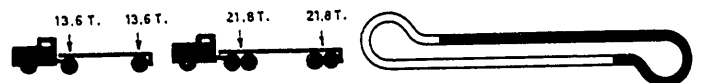
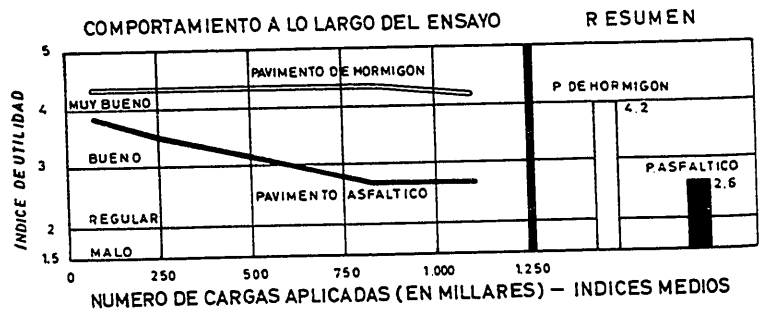
CIRCUITO 4



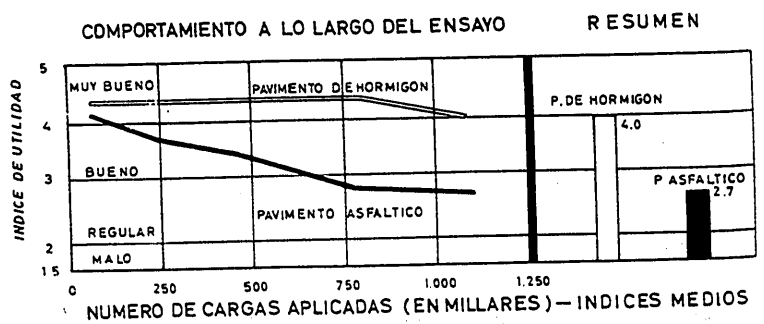
Diagramas que relacionan la repetición de las cargas del tráfico con el comportamiento de los pavimentos de ambos tipos, de hormigon y asfálticos.



CIRCUITO 5



CIRCUITO 6



final. Figura esto también en el siguiente cuadro, en el que se indica el número de secciones de cada tipo de pavimento y las que fueron destruidas por insuficiente resistencia a las cargas y, por tanto, eliminadas del ensayo.

Circuitos	PAVIMENTO RÍGIDO			PAVIMENTO FLEXIBLE		
	Núm. de secciones		Índice medio	Núm. de secciones		Índice medio
	Ensayadas	Destruídas		Ensayadas	Destruídas	
3	56	20	4	60	56	2,7
4	56	18	4	60	50	2,5
5	56	17	4,2	60	49	2,6
6	56	9	4	60	43	2,7

Los resultados expuestos indican que el comportamiento ha sido mucho más favorable para los pavimentos rígidos que para los flexibles, en estos tramos sometidos a un tráfico de grandes cargas y frecuencias. El ensayo AASHO sanciona, pues, el criterio ya sustentado en los Estados Unidos para la elección de pavimento de los 66.000 kilómetros de nueva construcción, planeados para completar la red interestatal de carreteras, y en la que ha habido una decidida orientación hacia los firmes de hormigón.

6. Pavimentos de hormigón pretensado.

Al hablar del estado actual de los firmes de hormigón y sus posibilidades para el futuro, no podemos omitir los pavimentos de pretensado, que, si bien se emplearon en principio para las pistas de aeropuertos, son ya una promesa tangible para la red de carreteras.

Bien conocidos son de nuestros compañeros las ventajas que introduce este tipo de pavimento y los diversos sistemas de pretensado que hoy se emplean en el mundo, principalmente en Estados Unidos y Francia. Las conferencias y publicaciones sobre esta nueva técnica han sido profusas en los últimos años, y no hace mucho que en las páginas de esta Revista (*) se informó detalladamente sobre ello.

Los ensayos realizados han mostrado claramente que el hormigón pretensado para tramos de carretera no presenta grandes dificultades constructivas, puede competir en el orden económico con los pavimentos de hormigón clásico y ofrece indiscutibles ventajas a la comodidad del tráfico, gracias a la supresión de juntas. En la ausencia de las juntas y la desaparición del peligro de fisuración, debida a las car-

(*) "Consideraciones sobre los modernos pavimentos europeos para carreteras y aeropuertos en hormigón y hormigón pretensado", por G. de Navacerrada y C. Kraemer. REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, febrero 1962.

gas o a los efectos térmicos por excepcionales que sean, reside la superioridad del sistema, mucho más que en el aumento de la capacidad resistente de las losas.

Los últimos resultados obtenidos en los tramos de ensayo indican que el sistema que permite soluciones más económicas, quizá las únicas para competir en este aspecto con el tipo tradicional, es el de pretensado longitudinal a base de juntas activas con gatos planos, complementado con un pretensado transversal por cables, que permite la reducción del espesor de la losa.

Es de gran interés que continúen los estudios experimentales, y que participen en ellos los países desarrollados, con ensayos a la mayor escala posible —en España se está construyendo un tramo de 2 Km., incluido en el de la CN-II de Madrid a Francia—, para que las soluciones obtenidas permitan aprovechar pronto las ventajas indiscutibles que este nuevo sistema puede ofrecer a las vías de gran tráfico.

7. Pavimentos mixtos.

La técnica de los pavimentos mixtos, que con la fórmula *negro sobre blanco*, ha empezado a aplicarse recientemente, puede ser interesante por la economía que ofrecerá en ciertos casos. En esencia, la idea es cubrir la losa de hormigón con una capa asfáltica que protegerá a ésta. Con ello, el hormigón empleado como base resultará mucho más barato por una serie de circunstancias:

- Menores exigencias de calidad y granulometría de los áridos.
- Ahorro de cemento, pues puede dosificarse a 250 Kg.
- Mucha mayor tolerancia para el acabado de la superficie.
- Supresión, o al menos gran simplificación de las juntas.

Con este sistema, el hormigón trabajará mucho menos, ya que se evitan las fuertes tensiones por el alabeo de la losa, a causa de las variaciones térmicas e higrométricas; con ello puede reducirse el espesor. Así, una losa de 25 cm. puede sustituirse por otra de 15 cm., revestida con 6 cm. de aglomerado. Este es el espesor mínimo que se recomienda para la capa asfáltica, de modo que se pueda conseguir la protección necesaria para garantizar el buen comportamiento del pavimento mixto.

La solución pueden ser válida para el refuerzo de los viejos firmes rígidos, cuya capacidad resistente se ha agotado después de veinticinco o más años de servicio. La regularización y el revestimiento con una espesa capa de aglomerado asfáltico es, sin duda, más fácil, más económica y más segura que cual-

quier otro tipo de reparación que se intente para conseguir una superficie de rodadura perfecta.

8. Conclusión.

El perfeccionamiento a que se ha llegado en la técnica de los pavimentos de hormigón, permitirá en lo sucesivo que sean competitivos con los firmes flexibles, a partir de una intensidad media diaria que puede estimarse en 5.000 vehículos, como criterio general modificable por las circunstancias especiales de cada caso: proporción de tráfico pesado, materiales disponibles y condiciones climáticas.

Partiendo de los datos del Plan Nacional de Afros y de los índices de incremento previsible de tráfico, fijados en Plan General de Carreteras, puede estimarse que al final del período de vigencia de éste la clasificación de la red estatal, a los efectos de elección de pavimento, será, aproximadamente:

- 80.000 Km. con *IMD*, inferior a 1.200 vehículos, para los que serán suficientes los tratamientos asfálticos superficiales (*).

(*) Se incluyen entre estos 80.000 kilómetros los 13.000 de nueva construcción previstos en los planes antiguos, o sea lo que se ha llamado "déficit legal" de la Red.

— 11.000 Km. con *IMD*, comprendida entre 1.200 y 5.000 vehículos, que exigirán revestimiento de aglomerados asfálticos en frío o en caliente.

— 2.300 Km. con *IMD*, superior a 5.000 vehículos, en los que será, desde luego, rentable el empleo de mezclas asfálticas de alta calidad o de pavimentos de hormigón.

No hay que olvidar que entre los comprendidos en este último grupo, la mayor parte son firmes asfálticos, lo que prejuzga el tipo de refuerzo, siempre que por resistencia de la base no sea preciso desmontar la calzada actual.

No obstante, habrán de construirse muchos tramos de tráfico pesado, como las redes arteriales de las grandes poblaciones, variantes o desdoblamiento de calzadas de la Red Azul con gran densidad de circulación, redes viarias de los polígonos de descongestión industrial o sustitución de afirmados en mal estado e inadecuados al tráfico que soportan. Para estos casos, los pavimentos rígidos pueden ofrecer la solución óptima y, por ello, no hay que olvidarlos a la hora del análisis previo que estas importantes obras exigen. Asimismo, es interesante que las empresas que van a construirlas, así como los ingenieros a quien corresponda su proyecto y dirección, se preparen para la aplicación de esta técnica, que indudablemente aportará seguridad y economía a la planeada mejora de nuestra red nacional de carreteras.