



# firmes continuos de hormigón armado

I. J. TAYLOR y W. J. ENEY

ingenieros

514 - 6

Las primeras pavimentaciones de hormigón construidas en EE. UU. se realizaron utilizando bloques de hormigón de unos 55 dm<sup>2</sup> de superficie y 0,15 m de espesor.

Los primeros éxitos obtenidos con estos materiales sirvieron de aliento para ir modificando y perfeccionando estas estructuras y los métodos constructivos. En los primeros pasos se aumentó las dimensiones de los bloques y se reforzaron con armaduras para dotarlas de mayor resistencia. Los revestimientos se apoyaban en una capa granular de piedra que mejoraba el drenaje y el aislamiento.

A medida que la ejecución se iba mecanizando, se lograba mayor celeridad en la construcción por medio de los nuevos modelos perfeccionados que aparecían en el comercio.

Ya en 1935, una gran parte de las nuevas carreteras se revestían con losas de hormigón. En los últimos años las dimensiones de las losas han ido aumentando, siendo corrientes las de 25 centímetros de espesor, 3,60 m de anchura y 30 m de longitud. Las uniones entre losas adyacentes han experimentado también su evolución, tanto formando juntas longitudinales como transversales, con objeto de facilitar la transmisión de cargas y las deformaciones temporales a que dan lugar los cambios de temperatura en cada una de las losas aisladamente.

Aun cuando esta forma de construir se ha mostrado satisfactoriamente—y actualmente se ha normalizado en la práctica de estudios y proyectos de carreteras en los EE. UU.—no se cree que sea un tipo óptimo en la construcción de revestimientos de hormigón armado.

Los ingenieros de caminos admiten que si la cuantía de armaduras hubiera sido apropiada, las grietas salteadas que frecuentemente aparecen en las losas de hormigón armado de mayor longitud no constituirían un problema de conservación. Si bien es verdad que estas grietas se hacen sensibles en los efectos térmicos de expansión y contracción, sus labios no se abren hasta luces objetantes durante períodos de frío o se desgarran bajo la acción de las cargas de la circulación.

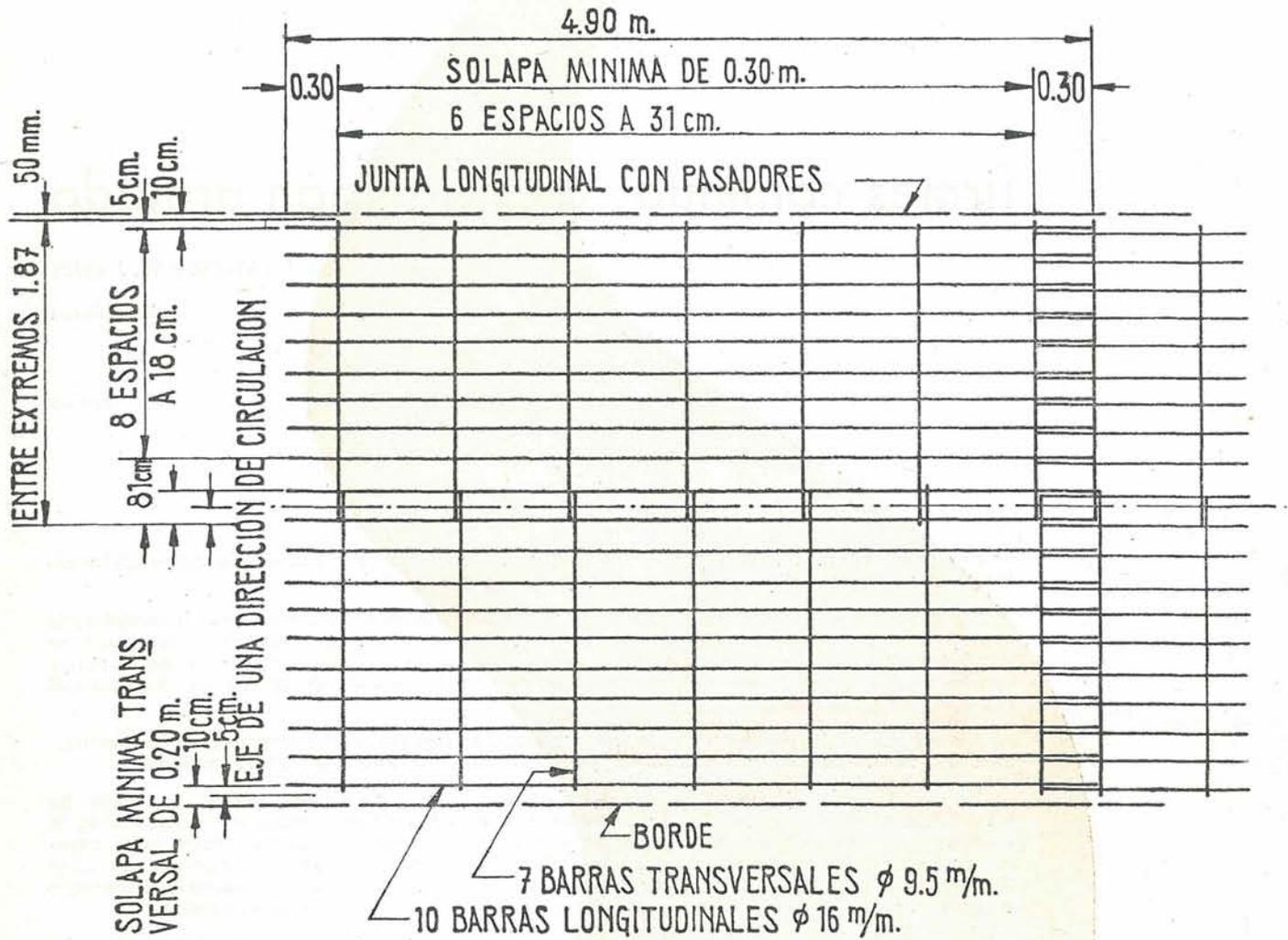
Estas consideraciones han conducido a la teoría, de que las pavimentaciones continuas provistas de una adecuada cuantía longitudinal de acero podrían construirse sin la formación de juntas preestablecidas. La retracción del hormigón y las deformaciones inducidas por los cambios de temperatura podrán ser causa de estrechas fisuraciones que aparecerán en frecuentes intervalos, pero las armaduras se encargarán de mantener la continuidad longitudinal y limitar la luz de las grietas.

Teóricamente, este método constructivo da por resultado una losa semiflexible, capaz de resistir a las condiciones normales de carga debidas a la circulación y meteorológicas. La supresión de las juntas transversales, con frecuencia molestas, reduce el coste de la conservación, a la vez que proporciona superficies más suaves y seguras para los vehículos a motor.

En 1938 se construyeron varios trozos experimentales de revestimientos continuos de hormigón armado en Stilesville, Indiana. En este proyecto experimental, realizado bajo la inspección del Departamento de Caminos de Indiana y el U. S. Bureau of Public Roads, se previó la investigación de un gran número de variables. Se emplearon varios tipos de armaduras longitudinales embebidas en losas de 22 cm de espesor en los dos bordes y sólo 17 cm en el resto, con una anchura de 6 m y, aproximadamente, 5 kilómetros de longitud. La cuantía de acero variaba en ciertas secciones elegidas desde 0,07 hasta 1,82 % de la superficie de la sección.

La losa se apoyaba sobre un terreno natural, previamente consolidado y sin capa alguna de cimiento. En las extremidades de ciertas losas individuales se formaron diferentes tipos de juntas de retracción y dilatación, con objeto de evaluar comparativamente su comportamiento.

## planta de armaduras



En la ejecución se consiguió una gran rapidez, dejando en la losa cuanto era necesario para permitir, posteriormente, medir los cambios dimensionales de la pavimentación.

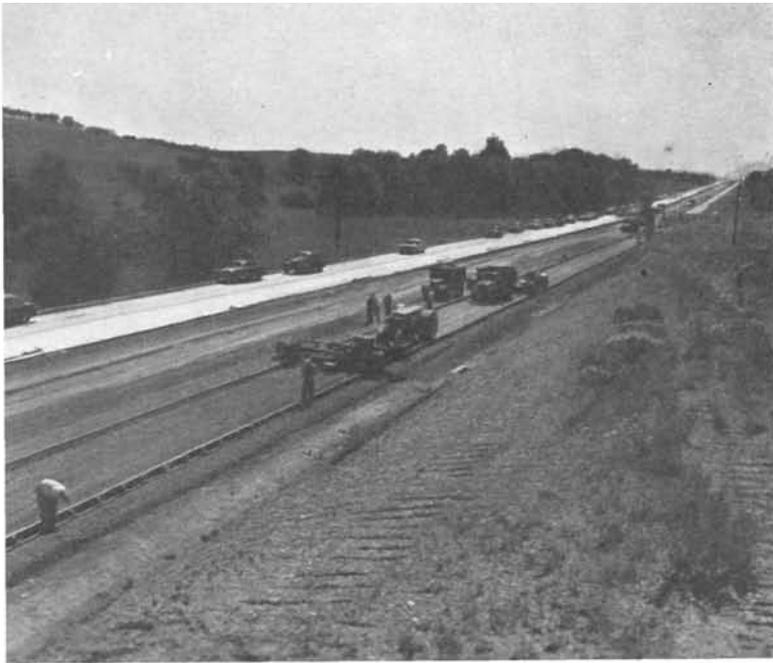
Después de veinte años de servicio, esta pavimentación, de cuatro bandas de circulación, sometida a una fuerte circulación, ha permanecido en buenas condiciones. Los costes de conservación han sido moderados, y la calidad de la superficie es excelente, si se compara con la de las pavimentaciones corrientes provistas de juntas de igual período de explotación.

La persistencia en su buen estado de conservación observada en este primer trozo experimental, fué un factor importante para mantener el interés en el empleo de armaduras continuas como un medio de perfección en la técnica de la construcción de mejores caminos.

Durante la última guerra mundial, la investigación en la construcción de carreteras se halló en un estado mucho más limitado que el que se ha hecho sentir en la postguerra. Muchas de las carreteras existentes en 1946 debían ser reparadas, haciéndose sentir la necesidad de mejorar estas estructuras, dado el gran aumento de circulación, con objeto de cubrir las demandas de los vehículos modernos.

Los Estados de Illinois y New Jersey construyeron, en 1947, cada uno de ellos, estructuras experimentales con armaduras continuas. Trozos similares a éstos se construyeron en 1949 en California, y en 1951 en Texas.

Como es natural, cada uno de estos trozos experimentales se construyó teniendo presente la información obtenida en los ensayos previos. En 1956, al construir el Estado de Pensilvania dos trozos experimentales de pavimentación con losas de hormigón de armaduras longitudinales continuas, se establecieron muchas limitaciones generales en los proyectos.



Trozo experimental de pavimentación continua con losa de hormigón armado.

Caja y cuadro de registros eléctricos.

Armaduras en posición, con banda metálica de debilitación para provocar grietas.

Muchas pavimentaciones con menos del 0,20 % de cuantía para las armaduras longitudinales han experimentado grietas muy abiertas durante los períodos fríos. Bajo las cargas de un fuerte tráfico, las armaduras, en algunas de estas grietas, se han roto en unos pocos años, dando lugar a un excesivo chapoteo en las juntas defectuosas. Donde la cuantía ha sido del uno o más por ciento las grietas eran más numerosas, pero permanecían muy cerradas y no mostraban evidencia alguna de deterioro progresivo.

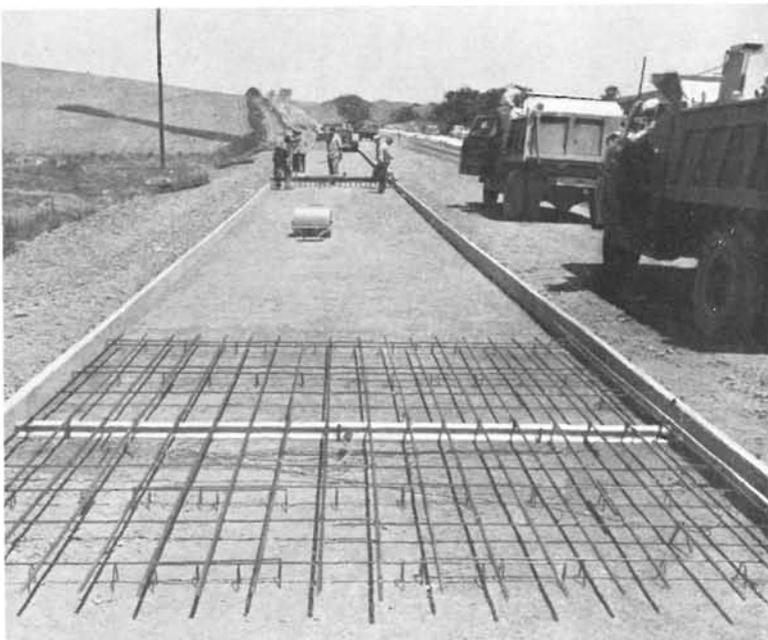
Todos los dispositivos empleados en las juntas de contracción y dilatación han presentado síntomas de cierto grado de debilidad. El tipo de junta con pasadores corrientes no dió buen resultado, ya que las juntas no se comportaron apropiadamente al hallarse sometidas a los movimientos mayores producidos por las losas de gran longitud de las pavimentaciones con armaduras continuas.

El espesor óptimo de la losa no ha sido aún determinado con toda su integridad. Parece ser que la cuantía de armaduras constituye el factor principal para eliminar los desperfectos causados por las grietas de contracción, aún tratándose de firmes de 15 ó 18 centímetros de espesor.

Al proyectar este tipo de experimentación en Pensilvania se decidió que, además de otras tomas de datos y observaciones, debía practicarse una investigación completa del proceso de la fisuración transversal y de los efectos de estas grietas en el acero y hormigón en las inmediaciones de la fisuración. De este estudio se encargaron varias instituciones de reconocida solvencia.

El primer pavimento de losa de hormigón armado continuo en Pensilvania se realizó en un trozo de la carretera U. S. 111, entre Harrisburg, de Pensilvania, y Baltimore, de Maryland, en el otoño de 1956. Este trozo consistía en una calzada de 4 bandas de circulación, de 3,60 metros de anchura cada una, y una separación medianera de cada una de las direcciones, de 6 metros de anchura. Cada una de estas bandas se construyó independientemente, se le dió un espesor de 22 cm y se apoyó sobre una capa de cemento granulador de 15 cm de espesor. Las armaduras longitudinales empleadas, de 4,90 m de longitud, con una cuantía de 0,48 %, se colocaron a una profundidad media del espesor, y constituyeron un reticulado con las transversales, como se puede apreciar en la figura adjunta.

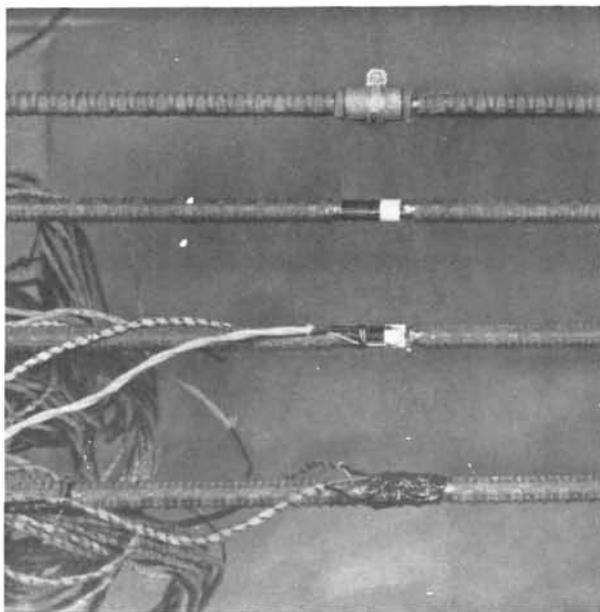
El segundo de los trozos experimentales construido por el Estado de Pensilvania se llevó a cabo, durante el verano de 1957, sobre la carretera U. S. 22 y entre Harrisburg y la ciudad de Nueva York.



El proyecto fué similar al del anterior, diferenciándose de él únicamente en que los espesores fueron de 18, 20 y 23 cm, apoyándose sobre una capa granular de espesor variable de 7,6 a 15 cm. En un pequeño trozo las armaduras se soldaron constituyendo un reticulado de alambre, en lugar de formar el referido reticulado con barras.

Los dos trozos experimentales tenían una longitud aproximada de tres kilómetros, terminando sus extremidades con juntas de dilatación de dientes entrelazados, como se acostumbra en los puentes, permitiendo así una libertad completa de movimiento en los dos extremos de la gran losa.

Con objeto de poder registrar las distintas deformaciones longitudinales se instalaron elongómetros—de resistencia eléctrica—en ciertos lugares cuidadosamente elegidos, que sirvieron no solamente para las armaduras, sino para el hormigón. También se colocaron “transductores”, es decir, dispositivos alimentados con una corriente eléctrica utilizados por ellos como agente para determinar la variación de resistencia en el dispositivo, en la losa, capa intermedia y cimiento, a fin de poder determinar las temperaturas estacionales y el gradiente vertical de la misma.



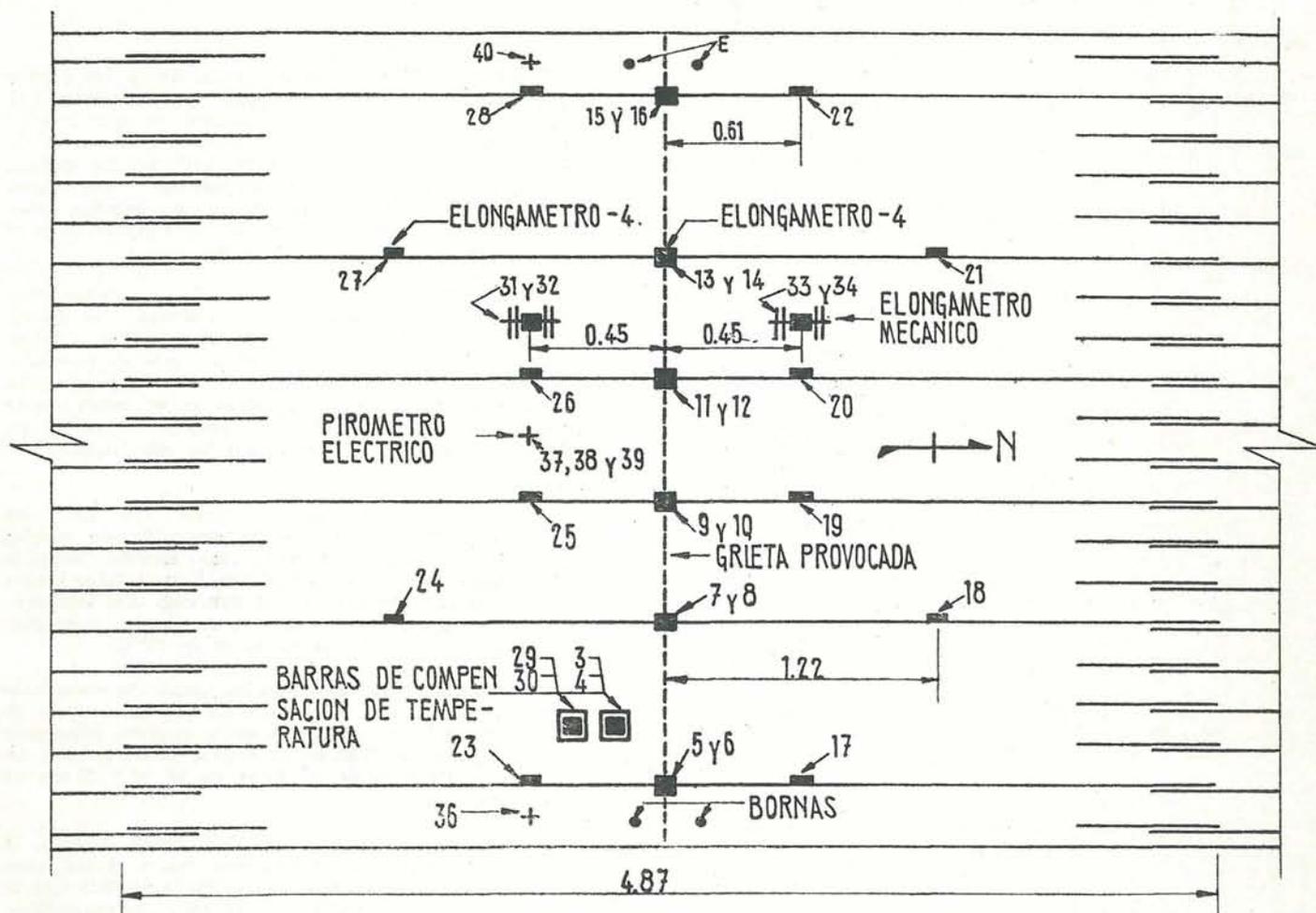
La plasticidad del hormigón se controló frecuentemente durante la colocación del hormigón.

Las armaduras van en el centro de la losa entre dos capas de hormigón de igual espesor.

Durante todo el período inicial de curado, también se tomaron medidas de los elongómetros de resistencia eléctrica.

Unión de los elongómetros, de resistencia eléctrica, a las armaduras.





Se tomaron las debidas precauciones para poder medir la luz de las grietas y la intensidad del alabeo en las proximidades de las mismas. Los conductores de estos dispositivos de medida eléctrica pasaban a través de la losa hasta el borde de la misma, en cuya proximidad se hallaba instalada la caja del cuadro de registros.

Con objeto de poder asegurarse que las grietas aparecerían en ciertos lugares donde se habían instalado los instrumentos, se crearon planos transversales artificiales de menor resistencia en la losa. Esta finalidad se consiguió colocando una bandera delgada de metal, transversalmente, y en la parte inferior del espesor de la losa, antes del hormigonado de ésta. Como es natural, en estas zonas aparecieron las grietas, y no tardaron más de cuarenta y ocho horas, después de hormigonar, en hacerse sentir.

Las medidas obtenidas en los dispositivos eléctricos o mecánicos utilizados para registrar las variantes, realizadas acto seguido de hormigonar, sirvieron de base para las otras medidas subsiguientes.

Durante los dos primeros días después de la construcción, y hasta la aparición de las grietas provocadas, las medidas se tomaban con una intermitencia de dos horas. Después, las medidas se tomaban cada semana durante un mes, y sólo una vez mensualmente hasta la actualidad. Las medidas mensuales se continuarán, probablemente, durante tres años o hasta que la pavimentación se estabilice, dentro de un campo previsto, en ciclos anuales de temperatura.

Aunque la magnitud de las medidas periódicas variaba individualmente en las distintas partes del ensayo, el comportamiento general en todas las grietas investigadas era muy similar. Las tensiones en la losa permanecieron bajas durante los dos primeros días después de haber hormigonado. Al empezar el curado del hormigón y a desarrollarse una mayor adherencia con el acero de las armaduras, las fuerzas de retracción se transmitían a las armaduras. La continuación de la retracción y los ciclos diarios de temperatura dieron lugar a la creación de suficiente fuerza para que aparecieran grietas transversales en la losa: primero en los planos de menor resistencia, y después, al azar, en toda la longitud del pavimento.

## resultados

Las temperaturas bajas invernales abren las grietas más, apareciendo algunas nuevas en las partes que aún no se habían producido. Después de aproximadamente una semana, la temperatura era el factor de mayor influencia en el comportamiento del pavimento, con luces de grietas y deformaciones en las armaduras que correspondían directamente con los cambios estacionales de temperatura. Esta estrecha relación se pone de manifiesto en la figura adjunta.

Después de un año de haber estado en servicio estos pavimentos experimentales en Pensilvania, su estado actual es francamente bueno. De momento no ha habido grietas longitudinales, y las grietas normales transversales no se han abierto excesivamente. Los resultados de estas investigaciones, combinados con la información obtenida de los ensayos corrientes en obra, han servido de base para las conclusiones siguientes:

- 1) Las pavimentaciones continuas con 0,5 % de cuantía dan lugar a la aparición de grietas transversales, espaciadas, como término medio, a unos 4 m, aproximadamente. Estas grietas tienen una luz máxima de 0,76 mm, con una temperatura del aire de  $-18^{\circ}\text{C}$ , y se cierran completamente si la temperatura es de  $27^{\circ}\text{C}$ .
- 2) Las facies que presentan las juntas dependen más de la cuantía de armaduras que del espesor de la losa. No existió en estos ensayos diferencia alguna significativa de dichas facies o luces en las grietas entre las losas, de 18, 20 y 23 cm de espesor.
- 3) De admitir menos del 0,5 % como cuantía, la distancia entre grietas será mayor y las luces aumentarán proporcionalmente a medida que se reduzca la cuantía de armaduras longitudinales. Durante tiempo frío aparecerá algún alargamiento del acero en las grietas, pudiendo traducirse en desperfectos en la pavimentación con las cargas debidas a un intenso tráfico.
- 4) De los resultados de estos ensayos se desprende que una losa de 20 cm de espesor con 0,7 % de cuantía puede constituir un tipo óptimo de firme como base práctica para el proyecto, teniendo en cuenta la duración y economía. El cimientado que parece más apropiado para estos firmes es una capa granular de unos 8 cm de espesor, aplicada sobre un suelo natural, bien drenado y compactado.
- 5) Las pavimentaciones continuas de hormigón armado pueden tener una longitud considerable, pero la continuidad de las armaduras debe mantenerse en todo el trozo considerado. Cuando ha de interrumpirse dicha continuidad, es necesaria la presencia de una junta de dilatación que permita un libre movimiento longitudinal de unos 50 mm en la extremidad.
- 6) Los precios de construcción de las pavimentaciones continuas de hormigón armado se pueden comparar favorablemente con las provistas de juntas ordinarias. Los reducidos costes de conservación durante la "vida" real de estas pavimentaciones, le añade una ventaja significativa económicamente.

Es de esperar que la investigación continuada y la evolución llegará al establecimiento de pavimentaciones continuas de hormigón armado como tipo aceptado para las futuras construcciones de carreteras.

