

LA SOLUCION "FULL-DEPTH" PARA PAVIMENTOS DE CARRETERAS Y AUTOPISTAS(*)

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ
Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

Expone el autor los motivos que aconsejan la adopción de esta nueva solución de firmes totalmente asfálticos y las ventajas que presentan sobre las secciones convencionales. La experiencia americana y el resultado de los estudios y ensayos que se han iniciado recientemente en Alemania, permitirán conocer más a fondo las características técnico-económicas de estos firmes y servir de base al proyectista para la elección de la sección estructural óptima en las vías de tráfico pesado.

INTRODUCCION

Con motivo de un reciente trabajo nuestro que vio la luz en estas páginas y en el que se incluía el método de cálculo de espesores de la solución *Full-Depth* para pavimentos flexibles, se puso de manifiesto, en consultas y comentarios, el interés de algunos compañeros por este tipo de sección estructural que en España — y también pudiéramos decir que en Europa — reviste un carácter de novedad.

Tal interés en esta época en que en nuestro país se construyen, con ritmo creciente, pavimentos flexibles en autopistas, carreteras y vías urbanas, nos mueve a escribir sobre el tema con el ánimo de aportar una breve información respecto a las causas que han motivado esta solución y sus posibles ventajas frente a las secciones tradicionales.

Como se sabe, en esta solución el firme está constituido en su totalidad por

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la redacción de esta Revista hasta el 31 de marzo de 1972.

mezcla asfáltica. La definición de los manuales americanos es la que transcribimos a continuación:

Se denomina Pavimento Asfáltico Full-Depth a un pavimento en el que se emplean mezclas asfálticas para todas las capas que se establecen sobre la explanada natural o mejorada. Este pavimento se designa por el símbolo T_A .

Al margen de la posible competencia económica con las soluciones tradicionales, la rapidez de ejecución, la simplificación de equipos de puesta en obra, ampliación del período anual de trabajo, evitación de grandes volúmenes de transporte de áridos que pueden producir congestiones en las vías de acceso o deterioros en sus calzadas — a veces son carreteras locales — pueden anotarse en favor de la solución T_A dos ventajas que se refieren a la estabilidad o capacidad portante, o quizá más bien a la permanencia de éstas a través de los cambios estacionales que en la estructura se producen por fenómenos higrotérmicos.

Las secciones T_A no están sometidas a los siguientes efectos perjudiciales:

- El exceso de humedad en las capas granulares del firme, que reduce la resistencia de éste.
- El peligro de que por el estado termoplástico del pavimento, en días cálidos, se llegue en éste a módulos de rigidez inferiores a los de la base de gravamento u hormigón pobre en que se apoya.

LA HUMEDAD DE LAS CAPAS GRANULARES

Parece que la solución *Full-Depth* se concibió como consecuencia del bien fundado temor de que la humedad retenida por las capas granulares — base y subbase — causara una reducción apreciable de su capacidad portante, lo que daba lugar a deformaciones y otros deterioros del pavimento que terminaban por conducir a su rotura.

Este peligro se fue haciendo cada vez más real con el aumento de frecuencia y cargas por eje de los vehículos comerciales; su paso fue acusando las reducciones de capacidad portante, por humedad de las capas granulares, que hasta entonces no se habían detectado.

Deformaciones y agrietados del pavimento fueron consecuencia de esa reducción de resistencia en la sección estructural, debida a la causa apuntada.

Como también se ha comprobado, la mayor magnitud de las deflexiones elásticas de la superficie de rodadura, que aceleran el efecto destructivo por los fenómenos de fatiga, y que, como es sabido, alcanzan su máximo en primavera, se debe, al menos en parte, al mayor contenido de humedad de las capas granulares.

En cualquier época del año el agua, por infiltración o ascensión capilar, puede acumularse en las capas granulares reduciendo su resistencia a la compresión y al esfuerzo cortante.

Además de las causas citadas en el párrafo anterior que se deben a movimientos líquidos, existen también movimientos gaseosos como los correspondientes a la llamada *hidrogénesis*. Consiste este fenómeno en la condensación de vapor que sube desde el terreno subyacente como consecuencia del enfriamiento producido en las capas superiores durante la noche, al desprenderse el calor absorbido por el pavimento en las horas de radiación solar; por las condiciones extremas de nuestras zonas interiores, la diferencia entre la temperatura máxima y mínima — del pavimento — en un día de verano puede pasar de los 40° C. El vapor, condensado en forma de gotas, contribuye a aumentar la humedad de las capas granulares.

La experiencia americana ofrece casos bien estudiados de incremento de humedad en las capas granulares, a los que se achacan fallos de firmes con espesor correctamente dimensionado para el tráfico del correspondiente tramo y las condiciones ambientales de su emplazamiento. En estos casos la investigación se complementó con diversas catas, en las que se determinó el gradiente de humedad; generalmente, las humedades máximas determinadas correspondían a la zona de contacto de la sub-base y explanada.

El empleo de capas asfálticas, por la impermeabilidad de éstas, reduce tales problemas y se ha comprobado cómo en las explanadas bajo secciones T_A disminuyen las humedades con que se compactaron en su día, mientras que en las secciones tradicionales con capas granulares aumentan, llegándose a registrar variaciones de — 50 a + 25 por 100 para uno y otro tipo, respectivamente.

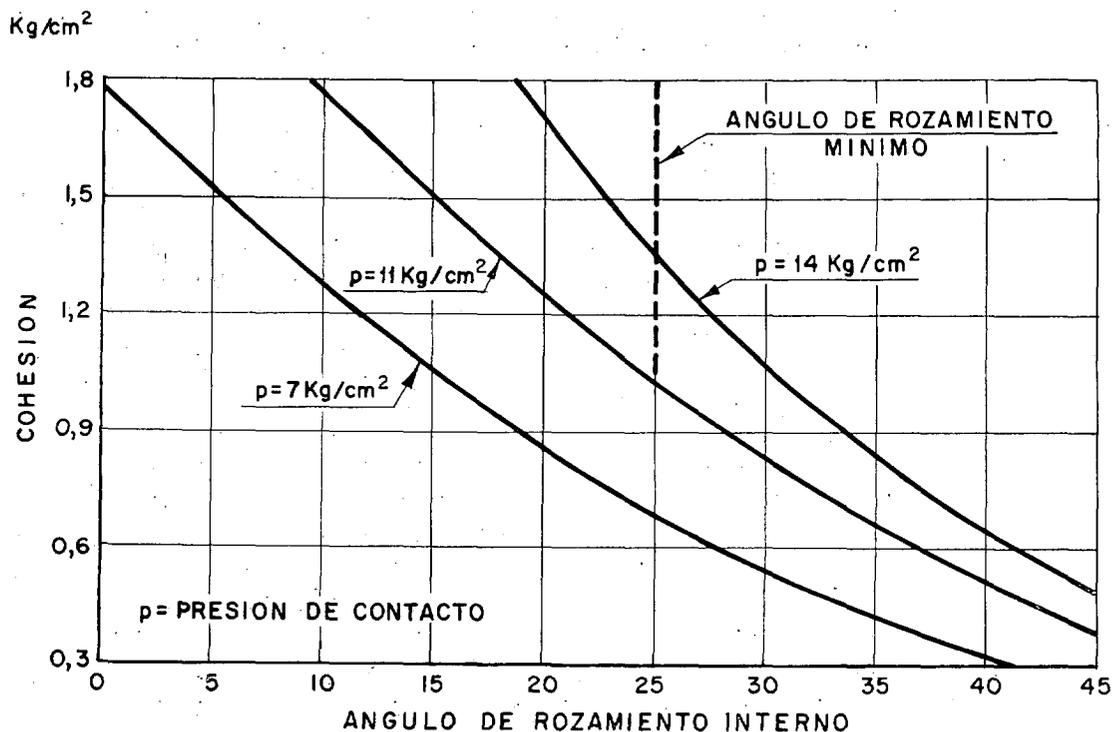


Fig. 1. — Las exigencias de estabilidad en las capas asfálticas, mantenida por el rozamiento interno y la cohesión, crecen con la presión de contacto de las ruedas. El diagrama presenta tres curvas para diferentes presiones.

LA DISCONTINUIDAD DE RIGIDECES

En los últimos años se ha generalizado el empleo de capas de base estabilizadas con cemento, llegando a una solución de pavimentos mixtos — entre rígidos y flexibles — adoptada por motivos de seguridad al considerar las tensiones a que están sometidas estas capas, muy próximas a los puntos de aplicación de las cargas.

Uno de los problemas que presentaron fue el de transmisión o reflexión de las grietas de la retracción a la superficie asfáltica de rodadura, lo que indujo a aumentar espesores de pavimento — pasar de 10 a 15 cm en las vías de tráfico pesado — lo que supone un encarecimiento de la sección.

Otro problema es el de la discontinuidad de rigideces por la que eventualmente, y a causa del comportamiento viscoelástico de las mezclas bituminosas, en lo que juega la temperatura y la velocidad de aplicación de las cargas, se puede dar el caso, como se apuntó al principio, de que el pavimento asfáltico tenga un módulo de rigidez menor que la capa cementada que le soporta.

La acción de las ruedas pesadas, en días de temperaturas altas y en tramos en rampa o zonas de frenado, es especialmente crítica y da lugar al fenómeno destructivo que los franceses llaman *effet enclume* (efecto yunque). La fórmula de los aglomerados densos en caliente que se fabricaban en Francia a precios relativamente económicos debieron ser revisados por esta causa, llegando a mezclas de mayor rigidez y mayor coste, para evitar las deformaciones por la concentración de tensiones debida al efecto citado.

Esta discontinuidad o falta de homogeneidad en un sistema multicapa, que puede ser muy acusado en función de las condiciones climáticas es, desde luego, un motivo de consideración de los firmes totalmente asfálticos.

LA EVOLUCION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

Profundos estudios sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas bajo las cargas han permitido llegar a fórmulas de gran rigidez que permiten el empleo de menores espesores, pero con un valor portante equivalente al de capas más gruesas de mezclas con fórmulas menos críticas; este efecto comparativo de espesor-calidad aparece en el concepto francés de *potencia de refuerzo* ligado con la reducción de deflexiones de un pavimento.

La estabilidad de las mezclas bituminosas, o sea, su resistencia a la deformación plástica, es función del rozamiento interno, la cohesión y la inercia de la capa. El tema ha sido tratado con claridad en un reciente informe [1]. Para las solicitaciones más desfavorables que corresponden a altas temperaturas y aplicación lenta de la carga, lo que tiene un mayor efecto estabilizador es el rozamiento interno. Los nuevos criterios de proyecto de mezclas consideran especialmente el aumento de este rozamiento exigiendo árido de machaqueo, en la fracción gruesa y gran parte de la fina, textura superficial rugosa y finas películas de ligante.

En la cohesión influyen la composición granulométrica, las propiedades reológicas del ligante y la adhesividad. Las grandes presiones de inflado en las ruedas

de los vehículos pesados que circulan por nuestra Red requieren una gran estabilidad en las mezclas que debe conseguirse con el rozamiento interno y la cohesión.

Las exigencias crecen con las presiones de inflado y según puede verse en el diagrama adjunto, que corresponde a cargas estáticas — que es el caso más desfavorable — para un rozamiento dado, la cohesión debe aumentar, en valor importante para que la capa se mantenga estable, cuando la presión de contacto pasa de 7 a 14 Kg/cm². Lo mismo sucede a la inversa, o sea, se requiere un aumento de rozamiento cuando baja la cohesión.

Hemos hablado de presiones de inflado y presiones de contacto, entre las que no se puede establecer una igualdad como en apreciación simplista puede creerse. El tema ha sido tratado en una reciente conferencia [2], donde se dieron unas fórmulas binómicas que relacionan ambas presiones. Parece que con las nuevas cubiertas radiales y diagonales a partir de un cierto valor de la presión de inflado, la presión de contacto o presión efectiva sobre el pavimento es menor que aquella (*). El tema es importante tanto para el proyecto de mezclas como para tener una idea clara para el control de presiones en carretera, pero se sale de los límites de este trabajo, por lo que remitimos al lector a la referencia citada.

Bajo este epígrafe pretendemos sólo dar cuenta de la evolución de las mezclas asfálticas hacia una mejor calidad que permite reducir espesores en las soluciones *Full-Depth*. Otra gran ventaja para éstas es la actual posibilidad de compactar capas de gran espesor por los eficaces rodillos de compactación de que se dispone y el mejor conocimiento de los procesos óptimos de aplicación de éstos.

En los últimos diez años ha cambiado el concepto de espesores de compactación pasando de límites de 10 cm a capas de 30 cm y más [3].

Concretamente en pavimentos con secciones T_A se ha llegado a capas de los espesores que se citan con los equipos que también se indican:

- 30 cm con un compactador triciclo estático de 12 toneladas.
- 45 cm con tres pasadas iniciales del triciclo de referencia y un compactador neumático de siete ruedas y peso total de 25 toneladas.

Como consecuencia de estas posibilidades de compactación las secciones *Full-Depth* están integradas por una capa de rodadura de 4 a 10 cm, con materiales y fórmulas que permitan conseguir la máxima rugosidad permanente, y otra capa compactada de una sola vez que completa el espesor de cálculo.

LA EXPERIENCIA AMERICANA

Los Estados Unidos y Canadá son hasta ahora los únicos países que cuentan con experiencia sobre secciones T_A .

El pasado año se dieron a conocer los resultados de un estudio canadiense [4]

(*) Hasta ahora la idea general era que la presión de contacto superaba a la presión de inflado, a causa de la rigidez de la cubierta que limitaba la superficie de la elipse de apoyo, pudiendo llegar el incremento hasta el 50 por 100.

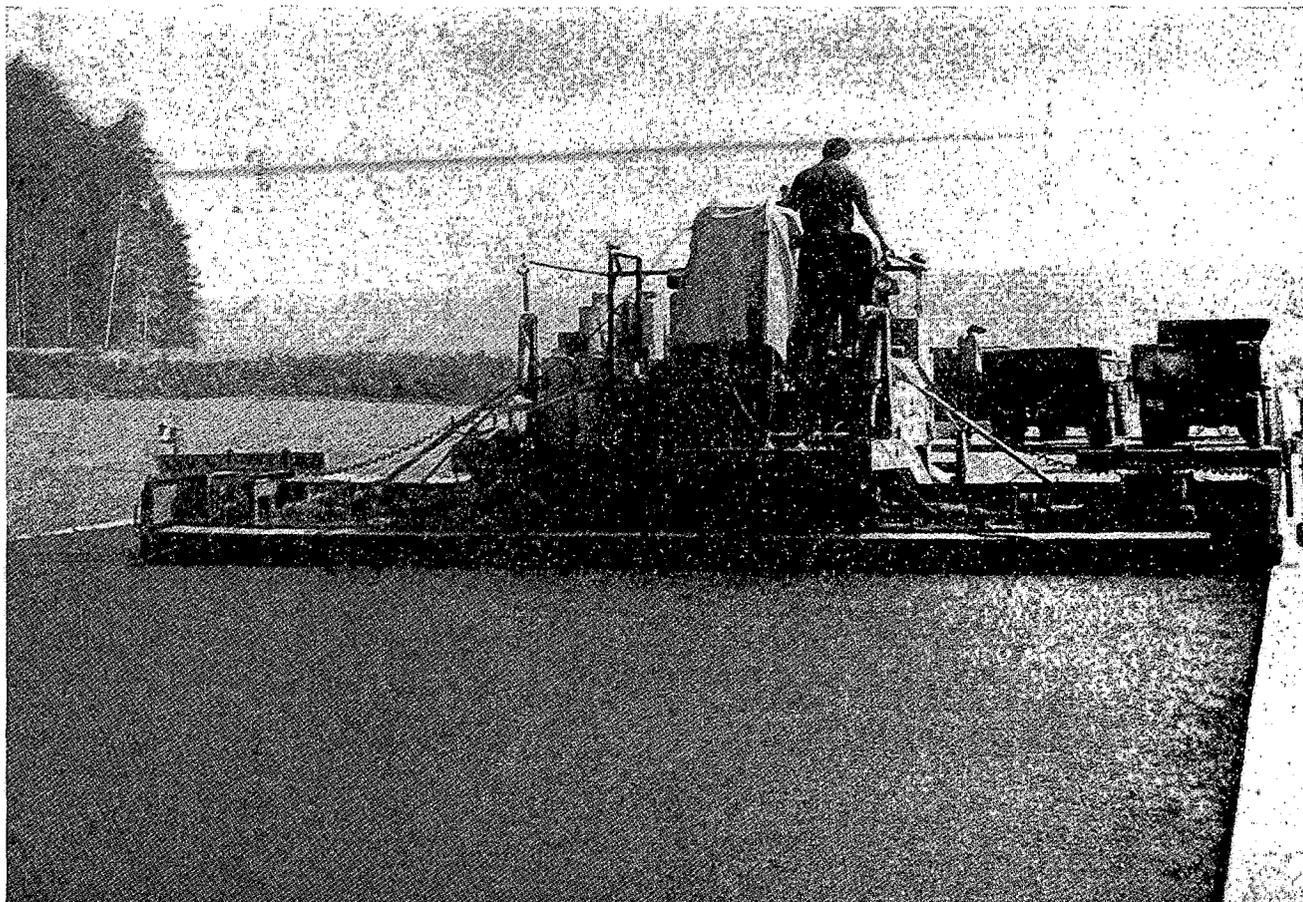


Fig. 2. — Los equipos modernos de extensión y compactación de mezclas asfálticas permiten la puesta en obra de 40 cm de espesor, lo que es una ventaja para la solución *Full-Depth*.

sobre 28 secciones-tipo sometidas a tráfico pesado durante cuatro años (*). Los espesores asfálticos variaban entre 14 y 30 cm, incluyendo la capa de rodadura de 9 cm (**).

Los espesores asfálticos menores se complementaron para obtener el espesor de cálculo con capas de arena y zahorra artificial, teniendo en cuenta los correspondientes índices de equivalencia de espesores.

Considerando secciones equivalentes, los mejores comportamientos han correspondido a los firmes que no llevaban capa granular. Esto parece que ha sido una consecuencia clara del estudio. Las deflexiones elásticas medidas bajo las cargas son también menores para estos firmes en los que no se aprecian deformaciones ni fisuraciones.

(*) Tramo de la Highway 10 en Brampton (Ontario).

(**) En todas las dimensiones se redondea para evitar los decimales procedentes de la transformación de pulgadas.

En el informe se dice que para obtener los mismos resultados con las secciones tradicionales que con las *Full-Depth*, hay que llegar a espesores de la capa granular que oscilan entre 20 y 45 centímetros.

Quizá la experiencia más completa es la que se ha llevado a cabo en San Diego (California) en los carriles de la *Aguadulce Highway*, que tiene una IMD de 16.000 vehículos.

Se establecieron en este tramo de autopista 35 secciones-testigo con solución T_A y espesores entre 16 y 26 centímetros a efectos comparativos con las secciones normalizadas de las especificaciones del Estado, para vías de tráfico pesado, integradas por sub-base, base y pavimento, totalizando un espesor de 50 centímetros.

Después de cuatro años el comportamiento es satisfactorio y en las secciones de mayor espesor comparable a las tradicionales. Incluso en las secciones T_A con espesores de 16 y 20 cm en los que se habían previsto deformaciones y agrietados para el fin del primer año de servicio, no se produjeron hasta después del tercer año.

Otras experiencias americanas se han destinado a comprobar la posibilidad de construir secciones T_A sobre explanada helada y temperaturas ambientes por debajo de 0° C. Los ensayos llevados a cabo el año pasado en el Estado de New Jersey con capas de 15 y 23 cm dieron resultados satisfactorios en los casos en que la temperatura de extendido de la mezcla fue superior a 200° C. [5].

EXPERIENCIAS EN ALEMANIA FEDERAL

Las secciones tipo de los pavimentos flexibles en Alemania están definidas desde hace varios años en las Normas federales y de los *Länder*. El espesor más que por las sollicitaciones mecánicas está condicionado por la penetración del efecto-helada que requiere capas granulares de gran espesor. El árido para éstas debe venir generalmente de yacimientos lejanos, con el consiguiente coste de transporte y la congestión de tráfico y daños al firme que con él se producen en las vías de acceso.

Cobra por tales circunstancias singular valor la adopción de secciones de espesor reducidos que por su mejor calidad puedan soportar con la misma garantía las sollicitaciones mecánicas y climáticas.

Sobre este tema se informó en la XVII Conferencia Internacional de Bad Meinberg [6], en la que pudimos apreciar el interés de la solución *Full-Depth* en los ponentes que trataron el tema de pavimentos flexibles.

La información sobre la experiencia americana despertó en Alemania, a partir de 1969, un interés general por la nueva solución que permitía prescindir de las capas granulares. El intercambio de visitas técnicas y estudio de los resultados americanos, especialmente del tramo Woodbridge [5], fomentó el interés entre las empresas constructoras y Servicios de la Administración.

El principal interés fue lógicamente el conocer la equivalencia, a efectos de capacidad portante, entre las secciones T_A y las definidas en las Normas oficiales.

El análisis comparativo entre estos dos tipos de secciones se llevó a cabo en los

trabajos del profesor Eisenmann [7]. En estos trabajos el espesor del pavimento se determinó de modo que la presión vertical sobre la explanada fuera la misma que en el caso de un pavimento flexible tradicional.

A los efectos de un estudio económico de la solución T_A se dimensionó el firme para tres índices portantes de la explanada.

Para los tipos de secciones definidas se estudiaron las tensiones en la cara de apoyo sobre la explanada, para las secciones T_A y las normalizadas, considerando también los cambios estacionales de humedad y temperatura. Estas tensiones resultaron menores para el caso de las primeras. Para resumir resultados indicaremos sólo el orden de esta reducción en los casos límites contemplados:

- Del 3 por 100 en vías de tráfico ligero y explanada de mala calidad.
- Del 75 por 100 en vías de tráfico muy pesado y explanada de mala calidad.

Una conclusión que se destaca en el estudio de referencia se refiere a que, en los días más cálidos, la presión vertical sobre la base granular (*) en las secciones normalizadas actuales llega a los límites de capacidad portante que se fijan para esta capa, lo cual puede ser origen de deformación y posterior agrietado del pavimento, al ceder, bajo las cargas, la capa sobre la que se apoya.

Con las soluciones *Full-Depth*, por el mayor espesor de las capas asfálticas, y en consecuencia un mejor reparto de la carga, no se presenta este riesgo si el dimensionado es correcto.

Para comprobación de estos favorables resultados del estudio teórico, en noviembre de 1970 se establecieron en el campo de pruebas de la Universidad Técnica de Munich, con la colaboración de la compañía Mobil Oil A.G. unas planchas-testigo de las dos soluciones. Las secciones, que responden a las equivalencias estimadas, tienen la siguiente composición:

Sección tradicional.

- 6 cm de capa de rodadura.
- 12 cm de base asfáltica.
- 60 cm de base granular.

Sección T_A .

- 6 cm de capa de rodadura.
- 26 cm de base asfáltica.

Simultáneamente, con estas planchas-testigo de Munich se han construido dos tramos experimentales de 50 m de longitud en una carretera federal de Baviera. Los resultados de estas experiencias en curso serán estudiados por un Grupo de trabajo (**) creado al principio del presente año para conocer, sobre una doble base

(*) Esta presión aumenta con las temperaturas elevadas que por efectos termoplásticos reducen el módulo de rigidez del pavimento asfáltico.

(**) Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen. Arbeitsgruppe Asphalt und Teerstrassen.

experimental y científica, las posibilidades de la solución *Full-Depth* y definir sus correspondientes secciones normalizadas. A estos tramos experimentales seguirán otros para conocer el comportamiento de las secciones en condiciones variadas de tráfico y clima.

EL PROYECTO ESTRUCTURAL

En el trabajo que citábamos al principio dimos a conocer el método de proyecto de las secciones estructurales *Full-Depth* [8] incluyendo los dos ábacos de *Análisis de tráfico* y *Dimensionamiento de espesores*.

Corresponden al método de *The Asphalt Institute* [9], organismo que prosigue su investigación con objetivos a corto y largo plazo:

- Los primeros se refieren esencialmente a la definición de equivalencias de espesores para capas de mezclas de diferentes tipos: hormigones asfálticos, grava emulsión y grava-cutback, con variaciones en el árido y ligante.
- Los objetivos a largo plazo tienden hacia un perfeccionamiento del método de dimensionamiento sobre bases empíricas y racionales, atendiendo especialmente a la respuesta mecánica del material, para lo que se realizan trabajos de laboratorio incluyendo medidas de tensiones, ensayos de fluencia dinámica, etc.

Simultáneamente se han construido dos tramos experimentales en Colorado y California con diferentes secciones T_A sobre explanada natural, en los que se van a probar 11 tipos de base asfáltica: hormigones asfálticos con tres tipos de áridos, dos morteros, dos grava-emulsión y una grava-cutback.

Un nuevo programa de tipo similar se ha iniciado recientemente, con la colaboración del Instituto del Asfalto, el Bureau of Public Roads y la Universidad del Estado de Wáshington.

CONSIDERACION FINAL

La solución *Full-Depth* por sus ventajas de rapidez de ejecución, simplificación de equipo, eliminación de grandes volúmenes de áridos, etc., está ganando adeptos para su empleo en carreteras y vías urbanas.

Las experiencias en curso, especialmente en América y Alemania Federal, aportarán nueva información sobre tipos óptimos de secciones T_A y su comparación, en el aspecto económico-funcional, con los tradicionales de base granular.

Es interesante, por tanto, seguir los resultados de estas experiencias para conocer las posibilidades del nuevo sistema en nuestro programa de construcción de nuevos firmes o en el refuerzo o sustitución de los tramos de nuestra Red principal con más precaria estabilidad.

En todo caso debe llegarse a soluciones duraderas con tipos de mezclas as-

fálticas bien estudiadas para soportar, sin roturas ni deformaciones, las cargas del tráfico en las condiciones más desfavorables de aplicación lenta y elevada temperatura ambiente. La capa superior o de rodadura se diferencia del resto por las características que impone su función, o sea, una rugosidad permanente que evite los peligrosos accidentes por deslizamiento en días de lluvia o helada.

Con esta combinación de una capa superior antideslizante y una base de elevada resistencia estructural se pueden obtener secciones T_A apropiadas para nuestras autopistas y otras vías de intenso tráfico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. E. BALAGUER: "Informe sobre las roderas existentes en pavimentos de mezclas bituminosas en obras de reciente ejecución". Dirección General de Carreteras. División de Materiales. Madrid, 1971.
2. CH. FAURE: "Directrices actuales en la evolución de la técnica del neumático". Coloquio nacional sobre cargas de vehículos. Asociación Española de la Carretera. Madrid, 1971.
3. W. J. KAWHOL: "Experience with Full-Depth asphalt pavements in U.S. and their realization in Germany". 17.^a Conferencia Internacional de ABG. Bad Meinberg. Febrero 1971.
4. E. M. JOHNSON: "Full-Depth asphalt pavements". World Meeting of IRF. Montreal, octubre 1970.
5. CH. W. BEAGLE: "Deep lift Full-Depth construction with hot-mix base in Woodbridge". New Jersey (U.S.A.), 1970.
6. J. AGUIRRE y O. LLAMAZARES: "Informe sobre la XVII Conferencia Internacional de Bad Meinberg". Boletín de Información del Ministerio de Obras Públicas. Mayo 1971.
7. J. EISENMANN: "Determination of the thickness and fatigue life of Full-Depth asphalt pavements in comparison with the standardized pavements in Germany". Technical University of Munich, 1970.
8. O. LLAMAZARES: "El cálculo de firmes flexibles ante la III Conferencia Internacional (Londres, 1972)". Revista de Obras Públicas, abril 1971.
9. "Thickness Design-Full-Depth Asphalt Pavements Structures Highways and Streets". The Asphalt Institute. 8th Edition, 1969.