

SECCIONES ESTRUCTURALES Y EXIGENCIAS DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS PARA VIAS DE TRAFICO PESADO (*)

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Los criterios de proyecto de los firmes de carretera se han modificado, tanto en lo que se refiere a los espesores de las capas como a la calidad de éstas, para las que se exige una mayor rigidez como consecuencia del incremento de la magnitud de las cargas y de su frecuencia de aplicación.

En el presente trabajo se definen las secciones estructurales que se adoptan hoy para las vías de tráfico pesado y se estudian las deformaciones del pavimento, considerando sus causas extrínsecas e intrínsecas y los factores que determinan la estabilidad de las mezclas asfálticas. De este estudio se han deducido las prescripciones respecto a los materiales y ejecución que aseguren capas resistentes a las deformaciones termoplásticas y a los fenómenos de fatiga.

NOTA PRELIMINAR

En la resistencia y estabilidad de las secciones estructurales de los llamados firmes flexibles hay que considerar por un lado la respuesta del sólido multicapa, con su efecto de reparto de cargas sobre la explanada, y, por otro, la posible deformación de la parte superior asfáltica, cuando se llegue a condiciones termoplásticas desfavorables.

Los efectos destructivos del tráfico, para los que se conjuga la magnitud de las cargas y su velocidad de aplicación, se ha ido conociendo cada vez mejor, y ello ha motivado revisiones de criterios, tanto en cuanto al espesor total y al de las distintas capas que lo integran como a las fórmulas de dosificación, características de los materiales y compactación de las mezclas.

Las secciones tipo han ido evolucionando por el imperativo de un tráfico creciente en frecuencia y cargas, y actualmente la vigente Instrucción (**), en general, no será válida —o al menos tendrá que aceptarse con reservas y complementarse con un estudio especial— cuando vaya a proyectarse el firme de una vía de tráfico pesado.

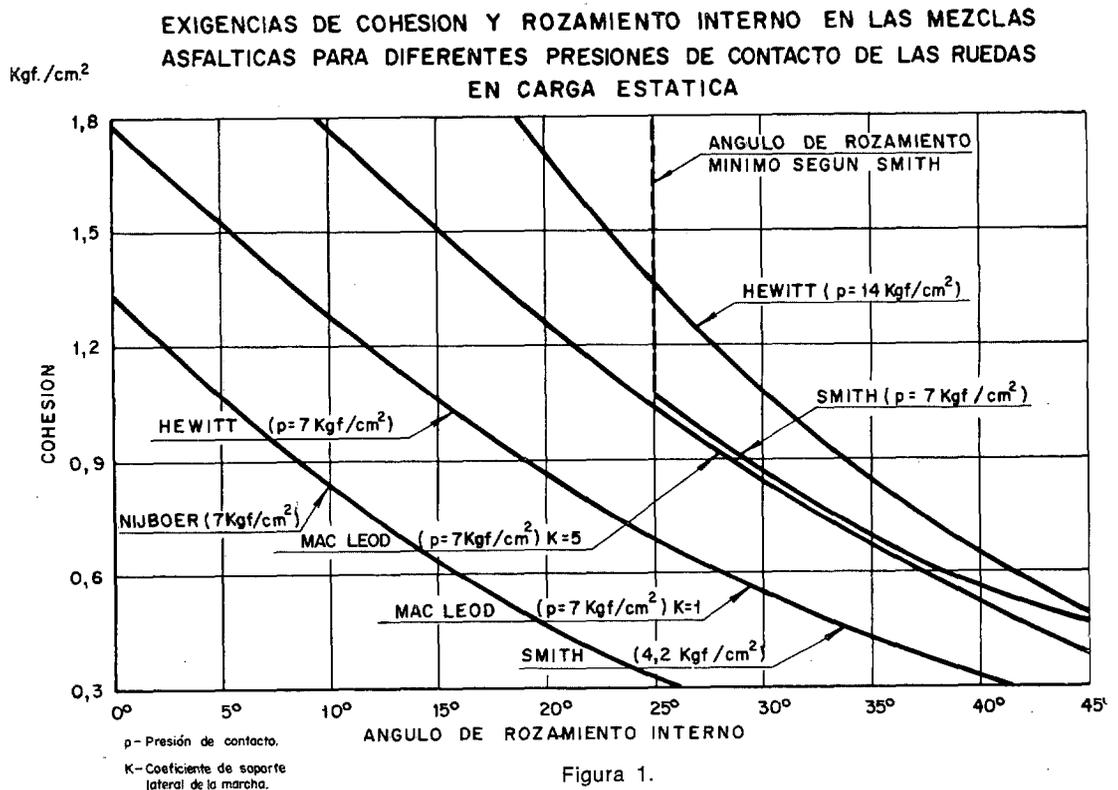
(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de diciembre de 1972.

(**) Norma 6.1.-IC de la Dirección General de Carreteras.

Prescribía la citada Instrucción para estas vías las secciones *tipo P*, constituidas por un pavimento asfáltico de 10 cm, apoyado sobre una base granular, asfáltica o estabilizada con cemento. La clasificación del tráfico era simplista, ya que consideraba *Tráfico pesado* cuando la IMD era superior a 2.000 vehículos, sin entrar en una discriminación de porcentaje de camiones ni en una clasificación de cargas por eje.

Pero tales consideraciones hechas *a posteriori* no pretenden ser una crítica de la Instrucción española de firmes flexibles, ya que sus criterios y previsiones eran suficientes para la época en que fue redactada, y poco más añadían entonces las Normas de proyecto estructural de otros países de mayor adelanto tecnológico.

En los últimos años, como consecuencia de los tramos de ensayo —singularmente el AASHO Test— y la observación de las carreteras en servicio, así como del profundo estudio en laboratorio del comportamiento de las mezclas asfálticas, se



han definido nuevos métodos de dimensionamiento, y gracias a ellos se han proyectado secciones que se adaptan con seguridad y economía a las grandes cargas que deben soportar los nuevos tramos de carreteras y autopistas durante su período de servicio.

SECCIONES TIPO

La experiencia española, sobre todo después de la construcción de 355 Km de autopistas, de los que la mayor parte tienen firme flexible, han permitido ya fijar

unas secciones normalizadas, con una parte superior fija y otra inferior variable, que es un complemento de explanada mejorada o suelo seleccionado, al que, en general, se exige un índice CBR superior a 8.

Naturalmente, el espesor de esta capa inferior dependerá de las características portantes de la explanada natural de apoyo. El espesor de 10 cm de revestimiento asfáltico de nuestra Instrucción es insuficiente y se tiende a adoptar un mínimo de 15 cm, necesario para evitar la transmisión a la superficie de la fisuración de las capas de grava-cemento, que casi con carácter general se han proyectado para los firmes de autopistas. Este incremento del espesor asfáltico es, asimismo, conveniente para reducir la atricción en la capa inferior si fuera granular.

Normalmente hoy la sección estructural tipo de un firme de autopista se adapta al siguiente reparto de capas:

- 15 a 25 cm de mezclas asfálticas (capas de rodadura, intermedia y de base).
- 20 cm de grava-cemento.
- 15 a 20 cm de sub-base granular o tratada con cemento.
- Complemento de suelo seleccionado hasta el espesor de cálculo.

La capa de rodadura se caracterizará por una estructura más cerrada y un árido de gran resistencia al pulido, de modo que mantenga una rugosidad permanente que evite accidentes por deslizamiento en días de lluvia o helada.

Los espesores de la capa de rodadura oscilan entre 3,5 y 5 cm, correspondiendo a estos espesores tamaños máximos de árido de 12 y 18 mm, respectivamente.

DEFORMACION DE LAS CAPAS ASFALTICAS

El problema de la deformación plástica de las mezclas asfálticas se ha estudiado en España exhaustivamente en los últimos años con motivo de la aparición de las llamadas *roderas* o huellas en el pavimento, en sentido longitudinal, según la rodadura de los vehículos, con extrusión lateral.

Estas deformaciones localizadas se han presentado en casi todos los países de Europa, y el fenómeno obligó a la revisión de los criterios de proyecto de mezclas asfálticas a los efectos de llegar a capas de mayor rigidez que puedan resistir las condiciones más desfavorables de tráfico y clima a que vayan a estar sometidos.

Al margen de estos efectos en sus condiciones límites, que en España son muy duras, existen una serie de concausas relativas a la mezcla en sí y a sus materiales integrantes, a los que se deben en parte estas deformaciones plásticas o permanentes. Se señalan las siguientes como más comunes:

- Exceso de ligante, generalmente por contaminación del aplicado con exceso en el riego de adherencia.
- Reblandecimiento del betún por el carburante que gotea de los camiones.
- Esqueleto mineral demasiado cerrado.
- Tamaño máximo pequeño del árido grueso.
- Arido fino natural o con escasa fracción de arena artificial.
- Defectos del *filler* por su clase o dosificación incorrecta.

La resistencia a la deformación plástica de los pavimentos bituminosos bajo las cargas rodantes del tráfico pesado ha sido estudiada por el Profesor Balaguer en el interesante trabajo de referencia (*).

Se caracterizan las mezclas asfálticas por el concepto de *estabilidad* o resistencia a la deformación; a una deformación que se produce por la aplicación lenta de la carga a temperaturas relativamente altas. Colaboran en la estabilidad tres efectos:

- El rozamiento interno.
- La cohesión.
- La inercia de la capa.

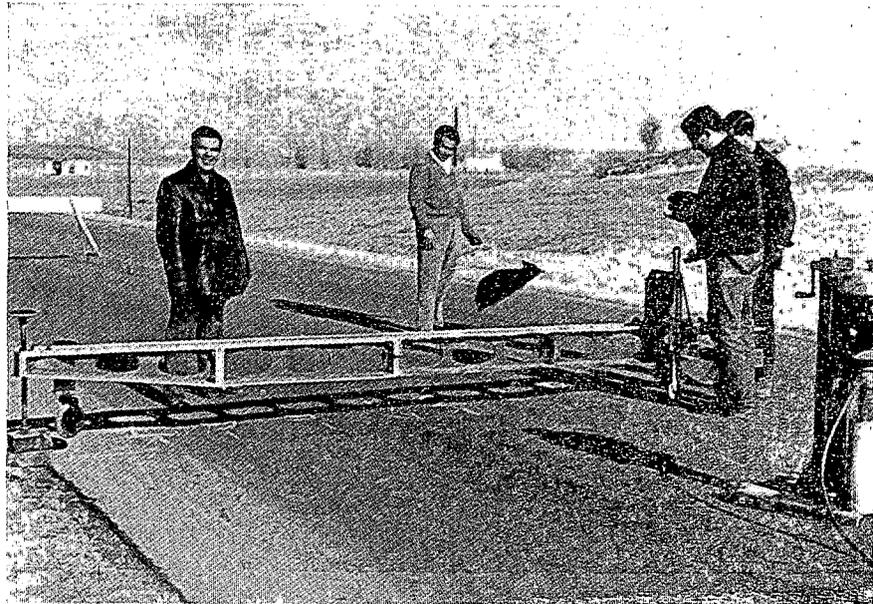


Fig. 1. — Las deformaciones termoplásticas, que se traducen en roderas, en el firme han exigido la revisión de los criterios de proyecto de mezclas asfálticas. En la fotografía puede verse la medición de las deformaciones en una sección transversal de la calzada a efectos del estudio de su comportamiento.

El mayor efecto estabilizador es el del rozamiento interno singularmente en los casos límites de elevada temperatura ambiente y cargas lentas o estacionarias.

El esqueleto mineral presta naturalmente la parte más importante de este rozamiento o fricción, y para ello es básica la forma aristada del árido de machaqueo, su bajo coeficiente de Los Angeles y la aspereza de su textura superficial. Un exceso de ligante reducirá perjudicialmente el contacto interfacial de las partículas pétreas. Por otra parte, con un grado de compactación escaso no se habrá llegado a la imbricación o acodamiento entre estas partículas, y por ambas circunstancias también pueden producirse deformaciones plásticas. El masticque *filler*-ligante también puede contribuir a la fluencia o fatiga plástica de la mezcla.

(*) Balaguer Camphuis, E.: *Informe sobre las roderas existentes en pavimentos de mezclas bituminosas en obras de reciente ejecución*. Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales. División de Materiales. Madrid, febrero 1971.

Un análisis de los factores que influyen en la estabilidad, considerando los tres efectos antes apuntados, nos lleva a considerar las siguientes características y sollicitaciones externas.

Hay que considerar en el rozamiento dos fases distintas: una fase sólida y una fase líquida. En la primera domina la fricción intergranular, y por ello, lo que juega es la forma del árido y su textura, así como el espesor de la película de betún.

En la fase líquida lo que estabiliza es la viscosidad de la masa, y en ello colaboran las propiedades reológicas del ligante, decisivas, asimismo, para la cohesión. En la reología influyen la composición química, la temperatura y la consistencia, variable ésta con la temperatura y con el envejecimiento.

En la cohesión, además de estas propiedades específicas del betún, intervienen la adhesividad árido-ligante y la composición granulométrica del árido.

Respecto a la inercia influyen la magnitud de la carga, la duración de ésta y su velocidad de aplicación, así como la masa afectada.

La caracterización mecánica de las mezclas asfálticas se lleva, generalmente, a cabo mediante el ensayo Marshall, que por ahora parece que no procede sustituir, dada la gran experiencia que de este método tenemos en España (*). Para conseguir mezclas menos susceptibles a la deformación plástica procederá introducir algunas modificaciones en las exigencias del vigente Pliego que en principio pueden concretarse en:

- Aumento de los valores mínimos de estabilidad.
- Reducción de los valores máximos de fluencia.
- Fijación de un límite mínimo para la razón estabilidad/fluencia.

Los valores de la estabilidad y de la fluencia están relacionados con la cohesión y el rozamiento interno y su ley de dependencia ha sido estudiada por diversos investigadores.

LA RELACION COHESION-ROZAMIENTO

Para el estudio de mezclas asfálticas que vayan a emplearse en la pavimentación de tramos críticos por razón de intenso tráfico con grandes cargas, rampas que obliguen a la marcha lenta de los vehículos pesados, puntos de parada y arranque, etc., puede ser interesante realizar ensayos triaxiales.

Este criterio, hacia la seguridad contra la deformación, se ha mantenido en los Estados Unidos, donde para tales casos se recomienda el triaxial fijando unos valores característicos para la cohesión y el rozamiento, de acuerdo con la presión de contacto de las ruedas.

En efecto, al aumentar la presión de contacto, que a su vez es función de la de inflado, modificada por el tipo de cubierta, se necesitan unas características más estabilizadoras conseguidas a base del ángulo de rozamiento interno y de la cohesión. Son éstos valores conjugados, o sea, que para una presión de contacto

(*) Se estudia actualmente la posibilidad de emplear otros métodos: la Giratory Testing Machine del Cuerpo de Ingenieros de los EE. UU. o el método de Hveem de la División de Materiales de California.

dada donde se disminuye la cohesión de la mezcla, debe aumentarse su rozamiento interno, debido principalmente al esqueleto mineral.

Como clara explicación de esto nos ha parecido oportuno reproducir el diagrama que incluye Balager en el trabajo de referencia. Figuran en este interesante diagrama curvas obtenidas por Nijboer, Mac Leod y otros investigadores. Corresponden

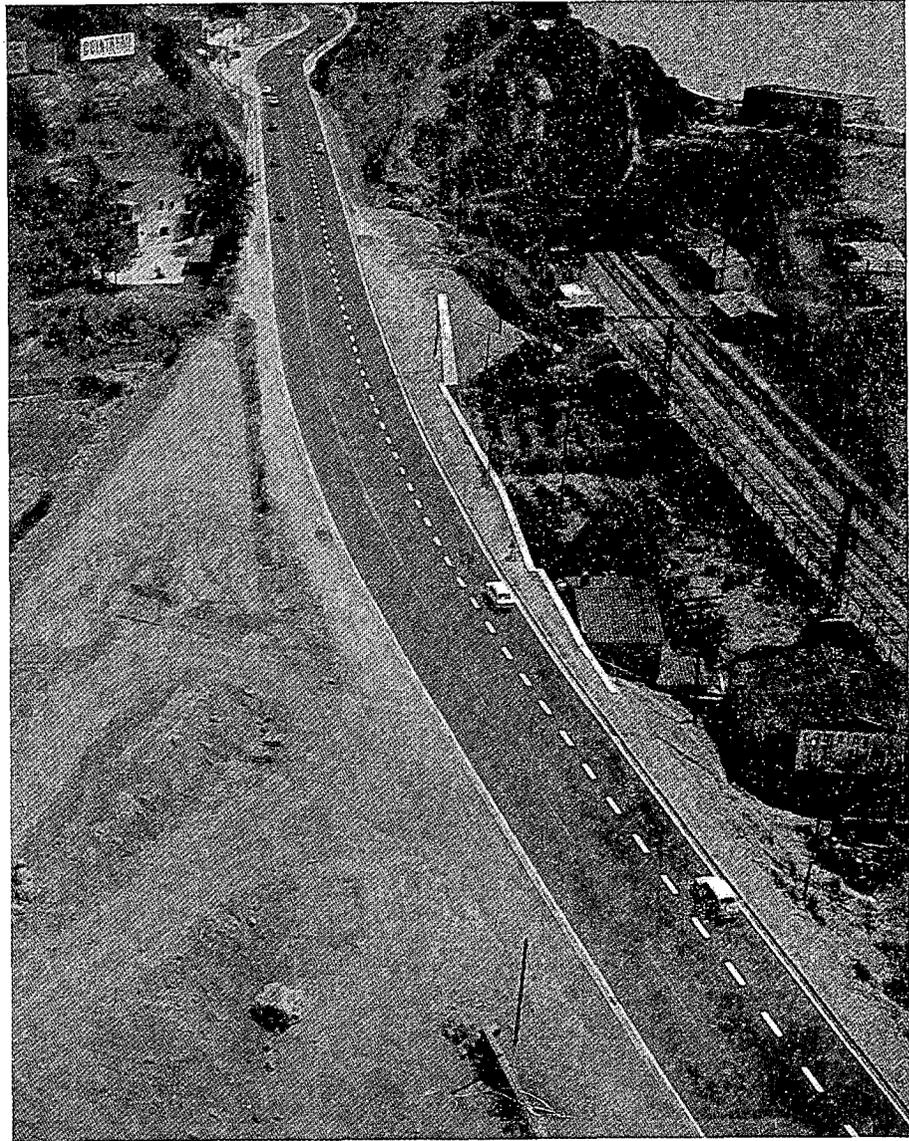


Fig. 3.— Los tramos en rampa exigen mezclas especialmente rígidas, ya que las sollicitaciones más desfavorables corresponden a la aplicación lenta de las cargas.

den tales curvas a diferentes presiones de contacto de las ruedas, y para cada una de ellas quedan definidos los pares de valores cohesión-rozamiento interno que representan condiciones límites para la estabilidad. Este gráfico corresponde a cargas estáticas, que son las más desfavorables para la deformación.

Así, por ejemplo, si la presión de contacto pasa de 7 a 14 Kp/cm², se necesita

para cada valor del ángulo de rozamiento comprendido entre 25 y 40° un incremento de 0,5 Kp/cm² en la cohesión.

Del mismo modo para un determinado valor de la cohesión, dentro del campo de variación normal de las mezclas asfálticas de alta calidad, el mismo aumento de la presión de contacto requiere un incremento del ángulo de rozamiento del orden de 5°. El citado diagrama justifica de modo elocuente la influencia del aumento de la presión de inflado en el trabajo de las capas asfálticas, y en consecuencia, la necesidad de mejorar la calidad de las mezclas para evitar el peligro de deformaciones, si las presiones son altas.

LOS FENOMENOS DE FATIGA

En el comportamiento de los materiales, y, por tanto, en la suficiencia del espesor para un tráfico y un período de servicio dados, juegan un papel preponderante los fenómenos de fatiga.

Se conjugan para estos fenómenos dos efectos distintos: la repetición de las cargas y la alternancia de las condiciones ambientales. Este segundo efecto, de largos ciclos, es muy difícil de cuantificar, ya que no puede definirse bien su esquema de actuación.

No sucede así con el efecto de las cargas repetidas que se ha estudiado a fondo, tanto para las capas asfálticas como para las granulares.

En las capas asfálticas la fatiga se manifiesta por una reducción de la resistencia a la tracción, o sea, del alargamiento unitario elástico que imponen las deformaciones instantáneas.

En las capas granulares la fatiga se produce por fenómenos de atricción, que reducen progresivamente el rozamiento interno por un deterioro de las aristas del árido y modifican la granulometría inicial, aumentando peligrosamente la fracción fina. Estas causas favorecen la acumulación de deformaciones permanentes que, a su vez, originan concentraciones tensionales, agravándose el mal.

Con arreglo a estos esquemas los fenómenos de fatiga no implican, al menos de modo importante, una reducción de la capacidad portante del firme —o sea, la capacidad de soportar una carga dada con una deformación dada—, pero dan lugar a la fisuración de las capas superiores, tanto por una merma de su resistencia a flexotracción, como por un aumento de la deflexión superficial bajo las cargas, con la que se incrementan las tensiones en este régimen de trabajo.

Un peligro grave de la fisuración o agrietado es la filtración de agua que da lugar a la imbibición de las capas inferiores y de la explanada, debilitando su resistencia.

A la vista de las solicitaciones y fenómenos que afectan a un firme de carretera se deduce que en la respuesta mecánica de éste se presentan dos condiciones antinómicas: una, para la resistencia a la tracción, de modo que se evite la fisuración a que antes nos referimos, lo que postula mezclas cerradas, ricas en *filler* y betún, y otra, para la resistencia a la deformación bajo las cargas verticales, que exige mezclas relativamente pobres en ligante, en las que la estabilidad se confía al esqueleto mineral.

El problema cobra especial importancia en nuestro país, donde las carreteras soportan las máximas cargas por eje y es preciso, en consecuencia, llegar a soluciones óptimas para las capas asfálticas, frente a las dos solicitaciones definidas, especialmente frente a la tracción y fisuración por fatiga.

La formulación de las mezclas asfálticas y la elección de sus materiales integrantes, constituye hoy un desafío a los fenómenos de fatiga, en el que hay que contemplar con especial atención: la fabricación, la temperatura de extendido y el proceso de compactación.

Se impone una vigilancia estricta de la fabricación a base de un control continuo de los materiales y de la mezcla en los laboratorios de las Unidades de construcción. Se recomienda el empleo de plantas discontinuas con dosificación ponderal y una báscula independiente para el *filler*.

La puesta en obra ya ha mejorado notablemente gracias a las modernas extendedoras con dispositivo de nivelación electrónica. También se ha perfeccionado el sistema de compactación, llegándose a densidades superiores al 97 por 100 del Marshall, utilizando rodillos neumáticos. En las capas de base pueden compactarse satisfactoriamente espesores superiores a 10 cm.

PRESCRIPCIONES PARA LAS MEZCLAS ASFALTICAS

Las demás solicitaciones a que se ven sometidas las capas asfálticas de nuestras vías de tráfico pesado imponen unas exigencias bien definidas y controladas de las características físicas, mecánicas y reológicas de las mezclas.

CAPA DE RODADURA	CAPA INTERMEDIA	CAPA DE BASE
Espesor de 5 cm con tamaño máximo de árido de 18 mm.	Espesor de 6 a 8 cm con tamaño máximo de 25 mm.	Espesor de 7,5 a 10 cm con tamaño máximo de árido de 25 a 38 mm.
Coficiente Los Angeles < 25.	Coficiente Los Angeles < 30.	Coficiente Los Angeles < 35.
Aumento de la fracción gruesa del árido, llegando a mezclas en la frontera de los tipos III y IV.	Aumento de la fracción gruesa del árido, mezcla tipo III.	Mezclas tipo III o los correspondientes a la frontera de los III y II.
Exigencias de forma en el árido para eliminar elementos lajosos o alargados (*).	Exigencias de forma como en la capa de rodadura.	Arido de machaqueo.
Coficiente de pulido acelerado 0,45.	—	—
<i>Filler</i> de aportación en su totalidad (cemento, polvo de caliza dura) (**).	<i>Filler</i> de aportación en su totalidad.	—
Betún 60-80 o, excepcionalmente, 40-60 en zonas muy cálidas.	Para el betún se seguirán las mismas prescripciones que en la capa de rodadura.	Empleo del mismo ligante que en las capas del pavimento.

(*) La forma del árido grueso puede controlarse por la norma inglesa British Standard, BS-1812.

(**) Se controlará en el *filler* la densidad aparente (ensayo de sedimentación en benceno) y el coeficiente de emulsibilidad.

Hay que tratar de evitar las desfavorables condiciones termoplásticas, debidas a una granulometría demasiado cerrada, *filler* de mala calidad y betunes blandos. Se recomienda aumentar el tamaño máximo del árido —de acuerdo, naturalmente, con el espesor de la capa— y exigir una mayor dureza para evitar la atricción. En la capa de rodadura hay que utilizar áridos no pulimentados para obtener una rugosidad permanente, según se indicó al principio. En la página 692 se incluye un cuadro-resumen con las prescripciones básicas para obtener mezclas asfálticas no susceptibles de deformación.

CONSIDERACION FINAL

En el presente trabajo se ha pretendido dar una breve información sobre las secciones resistentes de las autopistas y carreteras de mayor tráfico, fijando los tipos que, como en todos los países, tienden a una normalización, que es fruto de la experiencia.

Las grandes solicitaciones han impuesto en los últimos años notables aumentos en espesor del firme y calidad de las capas. Se ha generalizado el empleo de bases tratadas con ligantes asfálticos o hidráulicos, y el problema de las roderas, que por razones climáticas y geométricas es de temer en algunos tramos de nuestra Red primaria, ha obligado a la prescripción de mezclas asfálticas más rígidas.

Esperamos que las ideas expuestas puedan tener alguna utilidad para los Ingenieros que proyecten y realicen los pavimentos necesarios para la mejora y ampliación de nuestro sistema vial.