

RESULTADOS DEL PRIMER ENSAYO EFECTUADO EN LA PISTA DEL CENTRO DE ESTUDIOS DE CARRETERAS

(1.ª PARTE)

RECAREDO ROMERO AMICH (*)

AURELIO RUIZ RUBIO (**)

RESUMEN. En el año 88 se inauguró la pista de ensayo de firmes a escala real del CEDEX. Esta pista, de configuración oval, está constituida por dos tramos rectos de 75 m cada uno enlazados por otros dos curvos de la misma longitud. La zona de ensayos, delimitada por una cubeta de hormigón, tiene 8 m de anchura y 2,6 m de profundidad. El carretón de carga es de características análogas a un vehículo convencional. El primer ensayo se refiere a 6 secciones distintas constituidas por capas granulares y mezclas bituminosas. Después de aplicar 800.000 cargas, las principales conclusiones son: 1) La sección compuesta por 15 cm de mezclas bituminosas sobre 50 cm de material granular constituye una solución técnica mejor que la formada por 18 cm de mezclas bituminosas sobre 25 cm de zahorra artificial. 2) La segunda sección mencionada no es adecuada para las condiciones de trabajo previstas en la Instrucción 6.I y 2.I.C.

ABSTRACT. *The test track built by the CEDEX, came into operation in January 1988. The track is oval in shape, with two straight sections and two curves each one of approximately 75 m long. Test sections stands on concrete boxes, 8 m wide and 2.60 m deep. The load cart has similar characteristics to the heavy vehicles. The six sections tested in the first test have granular materials and asphalt mixes. After 800,000 applications of load, the main conclusions are: 1) Sections with 15 cm of asphalt mix over 50 cm of granular material constitutes a better technical solution than 18 cm of asphalt mix over 25 cm of crushed rock. 2) This second section is not suitable for the working conditions envisaged in the Spanish Design Catalogue 6.I and 2.I.C.*

1. INTRODUCCION

Por el contrario a lo que sucede en otras ramas de ingeniería ampliamente estudiadas y con los métodos de dimensionamiento bien consolidados, el proyecto de los firmes de carreteras ha transitado fundamentalmente dentro del terreno del empirismo. Los métodos analíticos han tardado en incorporarse a la técnica y, por lo tanto, se ha venido recurriendo básicamente a materiales y secciones estructurales sobre las que se disponía de alguna experiencia anterior. Con el crecimiento desmesurado del tráfico en los últimos años, el encarecimiento de los materiales y la aparición también de nuevos materiales y técnicas, el problema ha cobrado otra dimensión y los métodos basados en la experiencia se han encontrado con un vacío difícil de cubrir.

Se ha comprobado que el contenido teórico de los métodos analíticos de dimensionamiento y el apoyo de los ensayos de laboratorio son insuficientes para predecir con una exactitud aceptable la vida de servicio de los firmes de carreteras debido, entre otras razones, a que es prácticamente imposible simular con el modelo teórico o en laboratorio el modo de trabajo de los materiales utilizados, del conjunto de capas o de las cargas aplicadas, contemplando todas las variables.

De aquí ha surgido la necesidad de apoyar este tipo de estudios con otros a escala real, a modo de tarado de los procedimientos anteriores. Evidentemente el tratamiento más directo de estos ensayos a escala real son los tramos de ensayo en carreteras abiertas al tráfico, pero su utilización presenta dos problemas fundamentales: exigen mucho tiempo hasta que puedan obtenerse resultados (en general varios años) y no permiten independizar todas las variables (no puede, por ejemplo, estudiarse la influencia del cambio de carga legal por eje). Estos inconvenientes se intentaron solucionar con circuitos diseñados exprofeso, en los que se construían de forma convencional las secciones a ensayar, y se aceleraba el tráfico mediante el paso continuo de camiones

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Coordinador de Programas de Ensayo a Escala Real del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Director del Laboratorio de Infraestructura Vial del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

conducidos por personas contratadas al efecto (el ejemplo más típico es el ensayo A.A.S.H.O. que marcó los principios fundamentales que se manejan actualmente en el dimensionamiento de carreteras). Sin embargo, estos ensayos se desecharon rápidamente por el coste de la circulación de un tráfico basado en camiones con conductores y por la larga duración de los trabajos.

El paso siguiente fue tender a las pistas de ensayo con carga automatizada, como herramienta para obtener resultados de forma acelerada y con un control total o casi total de las variables que intervienen en el dimensionamiento de firmes. Actualmente existen más de 20 pistas de ensayo en el mundo, ocho de ellas construidas en el último decenio.

2. LA PISTA DE ENSAYO DEL CEDEX

En el año 1977 el CEDEX tomó la decisión de abordar el diseño de una pista de ensayo y comenzó a trabajar en el proyecto actuando desde el primer momento en estrecha colaboración con la Dirección General de Carreteras del M.O.P.U.

En el año 1981 se inicia la construcción de la pista y se aborda el proyecto del vehículo simulador de tráfico. Dada la complejidad que lleva consigo, el proyecto tarda cuatro años en materializarse, quedando terminado el año 1985. En este tiempo se realiza también el proyecto del sistema de adquisición de datos. Los años 1985-87 se dedican a la construcción de un prototipo del vehículo con el objetivo de probar su funcionamiento en un primer ensayo de firmes y, realizando las oportunas modificaciones, construir varios vehículos más en los siguientes ensayos. En enero de 1988 se inaugura oficialmente la pista de ensayo y se empieza realmente la explotación.

La pista de ensayo de firmes del Centro de Estudios

de Carreteras (foto 1 y figura 1), está descrita en el artículo «La pista de ensayo a escala real del Centro de Estudios de Carreteras», publicado en las revistas Carreteras (número 29, mayo-junio 1987) e Ingeniería Civil (número 63, 1987). Aunque no es el objeto de este artículo describir la instalación, sí parece conveniente destacar sus aspectos fundamentales, que son los siguientes:

A. Una configuración oval constituida por dos tramos rectos enlazados por dos tramos curvos. Cada uno de ellos tiene una longitud aproximada de 75 m, con 304 m de longitud total en el eje central de la zona de rodada. Se pueden ensayar seis secciones distintas utilizando únicamente los tramos rectos (figura 1).

B. Las dimensiones existentes permiten efectuar ensayos a escala real sin que haya restricciones, en la construcción o explotación, debidas al contorno que delimita la calzada de ensayo. Las zonas para la colocación de los firmes tienen 8 m de anchura y 2,6 m de profundidad, lo que hace posible la construcción con equipos convencionales de carretera, y la simulación de un firme y su terraplén en la profundidad necesaria para que el efecto de la losa de hormigón en el comportamiento del conjunto sea mínimo.

C. Su concepción permite el aislamiento total de las secciones de ensayo respecto al terreno circundante, al estar dispuestas en un cajón de hormigón de forma que su comportamiento a lo largo del ensayo no venga influido por la variación de las condiciones de humedad del terreno sobre el que se apoyan (figura 1).

D. El carretón de carga del vehículo simulador de tráfico, de características análogas a un vehículo convencional que circula por carretera, está dotado de neumáticos y suspensión usuales en los vehículos pesados, transmite la carga al firme por gravedad y lleva ruedas tractoras (foto 2).



FOTO 1.
Vista general de la pista de ensayo de firmes del Centro de Estudios de Carreteras.

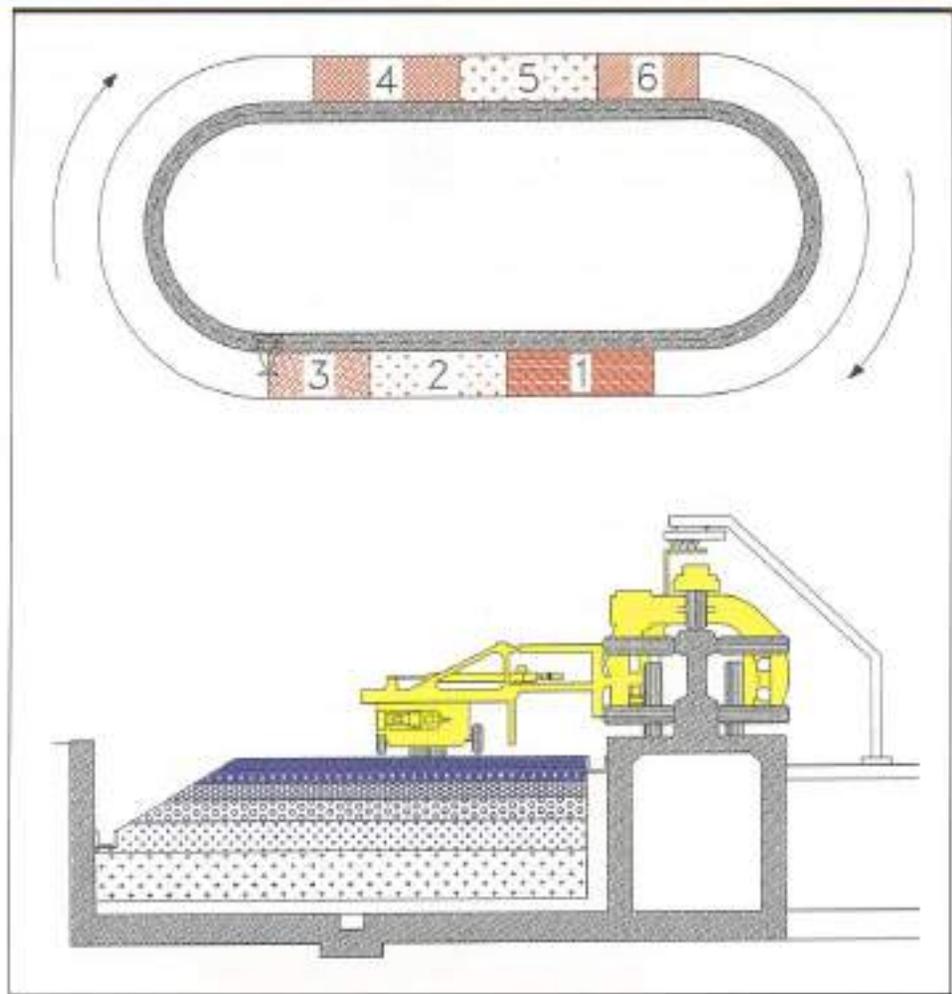


FIGURA 1. Plano y sección transversal de la pista de ensayo.



FOTO 2. Vista general del vehículo simulador de tráfico.

E. La instalación dispone de un sistema automático de gobierno del movimiento del vehículo, mediante un programa diseñado especialmente, y transmisión por radio de las órdenes de puesta en marcha, parada, cambio de velocidad o cambio de pista de rodada.

F. La velocidad máxima de circulación en régimen continuo de explotación es de 50 km/h, con una velocidad media de régimen durante los ensayos de 30-45 km/h.

G. El sistema automático de adquisición de los datos de instrumentación posee una capacidad máxima de 500 sensores en cada ensayo, toma de datos en tiempo real y almacenamiento de los mismos en base de datos.

Es importante resaltar que toda la instalación, y especialmente el vehículo y su sistema de gobierno, son prototipos, contruidos ex profeso. Por último conviene destacar que la pista española es en la actualidad la más automatizada del mundo. Esta automatización permite su funcionamiento en jornada continua, sin ser necesaria la presencia de operarios.

3. EL PRIMER ENSAYO. SECCIONES Y MATERIALES

Las secciones adoptadas para el primer ensayo están constituidas por capas granulares no tratadas, apoya-

das en una explanada E2 y sobre las que se ha dispuesto un pavimento bituminoso.

Fundamentalmente se contemplan dos soluciones distintas para una misma situación de dimensionamiento. En una de ellas se dispone un gran espesor (50 cm) de material granular bajo un espesor medio (15 cm) de mezcla bituminosa, y en otra se disminuye considerablemente el espesor de la capa granular (25 cm) aumentando el de la mezcla (18 cm). Ambas secciones se contemplan en la vigente Instrucción 6.I y 2.IC con la denominación 321 y 322.

En los restantes cuatro subtramos situados en los tramos rectos se ubicaron secciones en las que se mantiene el mismo espesor y tipo de las capas inferiores que en las anteriores, cambiándose únicamente el espesor de mezcla bituminosa (ver figura 2). Con esto último se abordaba también en el primer ensayo uno de los problemas más discutidos en la técnica de carreteras en nuestro país en los últimos años, el de los firmes con capas granulares y espesores de mezcla comprendidos entre 8 y 12 cm, eliminados en la última revisión de la Instrucción 6.I y 2.IC.

Los tramos curvos no han sido objeto de ningún tipo de experimentación en este primer ensayo. En ellos se

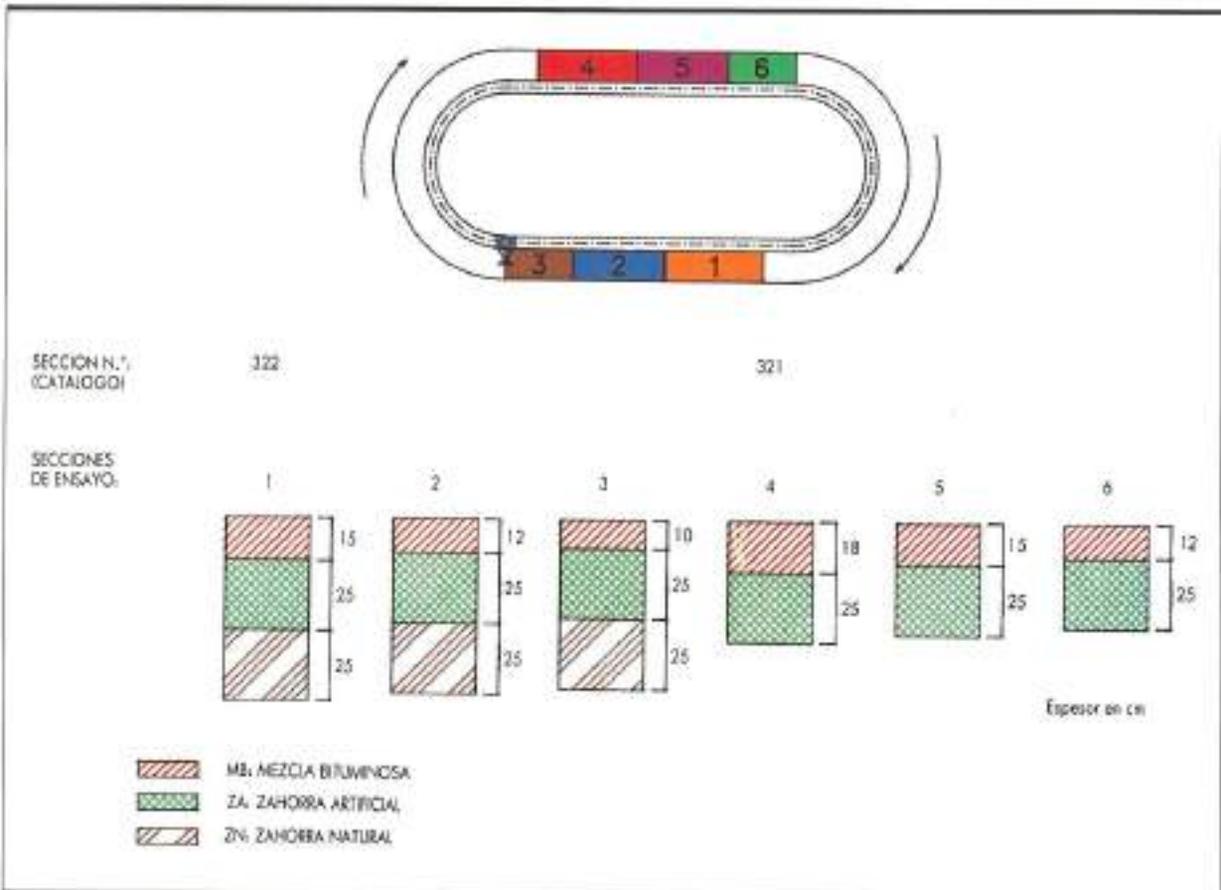


FIGURA 2. Secciones de firme ensayadas en la pista.

ha dispuesto un conjunto de subbase y base rígidas, constituidas por hormigón en masa y hormigón armado, respectivamente, y un pavimento bituminoso.

En la tabla 1 se resumen los distintos materiales utilizados. Las prescripciones del proyecto fueron las del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG3/75. Por otro lado, se permitió a la empresa constructora, con amplia experiencia, el desarrollo de su práctica usual, con el objetivo de construir un firme según el estado actual de la técnica en nuestro país.

CAPA	MATERIAL	TIPO
RODADURA	MEZCLA BITUMINOSA	5-12
INTERMEDIA	MEZCLA BITUMINOSA	5-20
BASE	ZAHORRA ARTIFICIAL	ZA-25
SUBBASE	ZAHORRA NATURAL	ZN-25
EXPLANADA	SUELOS	SELECCIONADO (CORONACION TOLERABLE (NUCLEO))

TABLA 1. Materiales utilizados en las secciones de ensayo.

En la tabla 2 se presentan los espesores obtenidos en la capa de mezcla bituminosa, en las tablas 3 y 4 las densidades y deflexiones (las deflexiones se obtuvieron con distintos grados de humedad en las secciones por lo que, aunque dentro de la misma columna pueden compararse los distintos niveles, no es válida la comparación entre ambas columnas) en las distintas capas de las secciones ensayadas, y en la tabla 5 los resultados de los ensayos de caracterización de las mezclas bituminosas.

SECCION	ESPESORES (cm)		
	INTERVALO DE VARIACION	MEDIA	ESPESOR UTILIZADO EN EL ANALISIS
1	15,0-15,9	15,6	15,5
2	12,1-12,9	12,6	12,5
3	9,2-11,4	10,6	10,5
4	17,5-18,9	18,1	18,0
5	14,9-17,1	16,1	16,0
6	13,0-16,2	14,3	14,5

TABLA 2. Espesores de mezcla bituminosa.

MATERIAL	DENSIDAD MEDIA (%)
SUELO SELECCIONADO	103
ZAHORRA NATURAL	98
ZAHORRA ARTIFICIAL	98
MEZCLA INTERMEDIA	97
MEZCLA RODADURA	94

Todos los valores están en porcentajes de la densidad Proctor Normal (suelos), Proctor Modificado (zahorras) y Marshall (mezclas), y han sido obtenidos por el método de la arena (capas granulares) o en testigos (mezclas).

TABLA 3. Densidad de los distintos copos de las secciones ensayadas.

MATERIAL	DEFLEXIONES (1/100 mm)			
	SECCION 1		SECCION 4	
	INTERVALO VARIACION	MEDIA	INTERVALO VARIACION	MEDIA
SUELO SELECCIONADO	136-224	171	115-172	135
ZAHORRA NATURAL	83-130	108	—	—
ZAHORRA ARTIFICIAL	61-90	73	35-85	57
MEZCLA INTERMEDIA	29-37	33	20-34	27
MEZCLA RODADURA	20-28	25	11-18	15

TABLA 4. Deflexiones medidas con el deflectómetro de impacto (carga de 5 t) en los distintos copos de las secciones tipo ensayadas.

ENSAYO	RESULTADO SOBRE TESTIGOS
ESTABILIDAD MARSHALL (60tN)	700
RESISTENCIA A COMPRESION 20 °C (MPa)	3,0
PISTA DE LABORATORIO (10 ⁻³ mm/min)	31
TRACCION INDIRECTA (20 °C) (MPa)	1,1
MODULO DINAMICO (MPa)	6.000 * a 0 °C * a 25 °C
LEY DE FATIGA Log ₁₀ t =	-2,55-0,24 log ₁₀ t ²

TABLA 5. Resultado de ensayos de laboratorio sobre mezcla bituminosa.

Las tablas y datos expuestos anteriormente son un somero resumen de los más de 1.000 ensayos efectuados durante la construcción. Del análisis de estos valores se deduce que los materiales puestos en obra y los firmes construidos cumplen en general los objetivos del ensayo, siendo además representativos en cuanto a tipo, proceso de ejecución y calidad de los que se obtienen con el estado actual de la técnica de carreteras en nuestro país.

La construcción de las secciones de ensayo y de los tramos curvos fue realizada en los meses comprendidos entre julio y diciembre de 1987, ejecutándose también una primera puesta a punto de los distintos componentes del equipo. En enero de 1988 comienza el ensayo propiamente dicho. En este ensayo la carga tipo elegida ha sido la máxima legal permitida en nuestro país, es decir, ejes de 13 toneladas. En enero de 1991 se alcanza la cifra de 1.000.000 de cargas aplicadas, dándose por finalizada la experimentación. Este primer ensayo ha sido realizado con el patrocinio de la Dirección General de Carreteras del M.O.P.U.

4. CRITERIOS DE EXPLOTACION DE RESULTADOS

El objetivo fundamental del ensayo realizado en la pista es comparar diferentes secciones estructurales sometidas al paso controlado de una carga.

La comparación se lleva a cabo determinando el número de aplicaciones de carga que soporta cada una hasta que se produce el fallo. Como la pérdida de calidad del firme por el paso de las cargas afecta a varias de sus funciones, ha sido preciso definir qué tipos de deterioros se van a incluir en la comparación, cómo se evalúan éstos, y qué se entiende por fallo de una sección. Estos aspectos no están normalizados en nuestro país, y ha sido necesario definir criterios, considerando además varios, para su comparación.

Los deterioros considerados han sido:

- La pérdida de regularidad superficial.
- El agrietamiento de la superficie de rodadura.
- El aumento del nivel de deflexiones.

Para cada uno de los deterioros estudiados se definen uno o varios parámetros numéricos representativos del deterioro en cuestión (por ejemplo, en la regularidad superficial un parámetro es el valor de la profundidad de rodadura). Estos parámetros, de relativamente fácil cálculo, son los que se utilizan para estudiar la evolución del deterioro en una sección a lo largo del tiempo (es decir, bajo la repetición de las cargas), y para efectuar, por medio de estas curvas de evolución, la comparación entre las secciones ensayadas.

El objetivo final es obtener una clasificación cuantificada de las secciones de ensayo. Estableciendo, además, criterios de fallo basados en el valor de los parámetros se obtienen resultados sobre la durabilidad de las secciones.

La definición de los parámetros empleados para cada deterioro, así como los resultados específicos obtenidos,

se incluirán más adelante en las sucesivas partes en las que se divide este artículo.

5. CONCLUSIONES GENERALES DEL PRIMER ENSAYO

A lo largo del ensayo se han realizado en las secciones de la pista más de 13.000 tomas de datos en la superficie de los firmes. Con estos datos se ha procedido a realizar un análisis, que se presentará en los próximos números de esta revista, exponiéndose aquí las primeras conclusiones referentes al comportamiento relativo de las secciones. Estas últimas se basan en los resultados obtenidos en los primeros 800.000 ciclos de carga.

Las principales conclusiones generales relativas a las dos secciones estructurales normalizadas en la vigente Instrucción de Carreteras y estudiadas en el ensayo han sido las siguientes:

1. La sección 322, compuesta por 15 cm de mezclas bituminosas sobre 50 cm de material granular (25 cm de zahorra artificial y 25 cm de zahorra natural) constituye una solución técnica mejor que la 321, compuesta por 18 cm de mezclas bituminosas sobre 25 cm de zahorra artificial. Esta conclusión se basa en dos hechos, manifestados en el ensayo:

- La sección 322 ha soportado 800.000 ciclos de carga sin haber mostrado deterioros significativos, mientras que la sección 321 tenía un 16 % de longitud fisurada en el ciclo 500.000 y un 25 % en el 800.000.
- La sección 322 es menos sensible a las disminuciones de espesor de las capas de mezcla bituminosa. Las secciones ensayadas con las mismas capas inferiores que las anteriores pero con 2 cm menos de pavimento han tenido un comportamiento muy distinto. La semejante a la sección 321 alcanzó el fallo, según alguno de los criterios empleados, a los 500.000 ciclos de carga. La análoga a la sección 322 mantiene un buen nivel de servicio con las 800.000 aplicaciones de carga dadas hasta el momento.

2. La sección 321 no es adecuada para las condiciones de trabajo previstas en la Instrucción 6.1 y 2-IC. Esta sección ha llegado prácticamente al fallo en este ensayo con 800.000 ciclos de carga. En consecuencia su durabilidad, en unas condiciones climáticas similares a las de Madrid, tiene una gran probabilidad de encontrarse entre 12 y 15 años para un nivel alto de tráfico dentro del intervalo de variación previsto para su tipo en la Instrucción de Carreteras (ver tabla 6). Para un nivel medio de tráfico dentro de este intervalo si cumpliría las condiciones de proyecto. No obstante, con 500.000 aplicaciones de carga (13 años de servicio para dicho nivel medio), el porcentaje de longitud fisurada en el ensayo supera el 15 %. En la práctica esto quiere decir que esta sección estructural puede requerir frecuentes labores de conservación y rehabilitación.

3. En las secciones con 25 cm de capa granular de base colocada directamente sobre la explanada, los espesores de mezcla iguales o inferiores a 15 cm pueden

IMVDP	AÑOS DE SERVICIO				
	1	5	10	15	20
50	7.000	40.000	80.000	150.000	220.000
120	17.000	90.000	200.000	350.000	530.000
200	30.000	160.000	350.000	590.000	910.000
300	40.000	240.000	540.000	910.000	1.320.000
400	50.000	320.000	720.000	1.200.000	1.750.000
NUMERO DE APLICACIONES DE CARGA (*)					

IMVDP = Intensidad Media Diaria de Vehículos pesados.
 (*) = Tasa de crecimiento del tráfico del 2%.

TABLA 6. Relación entre número de aplicaciones de carga lejos de 13 t y años de servicio.

considerarse como críticos, ya que pequeñas reducciones en el espesor de las capas o en la calidad de los materiales originan un fallo rápido del firme. En estas secciones, el superar el espesor crítico pasando de 15 a 18 cm ha duplicado, en el ensayo, la vida de servicio.

4. En las secciones con 50 cm de capas granulares los espesores de pavimento iguales o inferiores a 10 cm pueden considerarse como críticos por las mismas razones anteriores. Aunque no se puede dar cifras definitivas en cuanto al aumento de vida de servicio al superar los 10 cm de espesor ya que algunas de las secciones no han fallado todavía, sí puede decirse que la vida de servicio de la sección con 12 cm ha sido igual o superior al doble de la que tenía 10 cm de pavimento.

5. La sección constituida por 10 cm de mezcla bituminosa y 50 cm de capas granulares es equivalente, en cuanto a vida de servicio, a la formada por 16 cm de mezcla bituminosa y 25 cm de zahorras, habiendo soportado ambas unos 450.000 ciclos de carga (12 años de servicio con tráfico medios y 8 con tráfico altos). Es decir, en este tipo de firmes 1 cm de mezcla bituminosa es equivalente a 4 cm de zavorra natural. Estas equivalencias se han establecido componiendo los criterios de fallo por pérdida de regularidad y por agrietamiento. Considerando individualmente cada tipo de fallo, la primera sección es mejor que la segunda en cuanto a regularidad, y peor en fisuración, estableciéndose las equivalencias en 1:3 y 1:6, respectivamente.

6. Haciendo la comparación con secciones de espesores no críticos (tomando como tales los ya señalados) la relación es distinta, pudiéndose afirmar únicamente, mientras no se finalice el ensayo, que un incremento de 4 cm de zavorra en el firme lleva a una mayor vida de servicio que un incremento de 1 cm de mezcla bituminosa.

Como consecuencia de lo anterior y por las razones expuestas se ha propuesto a la Dirección General de Carreteras lo siguiente:

A. ELIMINAR DE LA INSTRUCCION LA SECCION 321, ya que su empleo podría originar unos gastos excesivos de conservación, o llevar a un fallo total prematuro.

B. MANTENER LA SECCION 322. Aunque el espesor de mezcla bituminosa parece superior al necesario para soportar el tráfico de proyecto, su reducción podría llevar a situaciones críticas.

POLIASFAL

LAMINAS DE BETUN ELASTOMERO S.B.S.



¿QUE ES POLIASFAL?

Es una lámina bituminosa de gran elasticidad para la impermeabilización de edificios, formada por una mezcla de betún asfáltico de penetración unificado por vía química y polímeros de caucho -estireno-butadieno-estireno-(S.B.S.) y una armadura. Posee gran resistencia al envejecimiento y altas cualidades elásticas incluso a temperaturas muy bajas (hasta - 20° C).

Una instalación moderna y precisa controla la mezcla homogénea y la proporción exacta de materias primas. Así, se puede garantizar la elasticidad permanente del producto y aunque éste sea sometido a alargamientos repetidos, retorna a su forma inicial en un tiempo breve.

ASFALTOS DEL SURESTE S.A.

LAMINAS ASFALTICAS Y PRODUCTOS BITUMINOSOS

Departamento Comercial y Administración: C/ Pacheca de Abajo n.º 1 (Ctra. La Romero Km. 1,5).
Apartado de Correos, 41 - Telfs. 180402 - 181965. Telex 67772 FVM E. 30749 SAN PEDRO DEL
PINATAR (Murcia) - España

Factorías: ASFALTOS - La Pacheca (Murcia)
ADITIVOS - La Raya (Alicante)

