

# EL CALCULO DE FIRMES FLEXIBLES ANTE LA III CONFERENCIA INTERNACIONAL (\*) (LONDRES 1972)

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

*Los métodos de cálculo de firmes flexibles se han perfeccionado notablemente en la última década y se prosigue la investigación mediante el análisis racional del problema y el estudio del comportamiento de los tramos de ensayo. Como consecuencia de ello se tiende a una correlación entre los métodos empíricos y racionales, así como a una caracterización más real de las sollicitaciones y de la respuesta mecánica de las capas del firme. La recopilación de datos y el intercambio de información a nivel internacional es muy beneficiosa para el perfeccionamiento de las técnicas de dimensionado, cuya necesidad es bien notoria dado el actual auge de la construcción vial. A tema tan interesante dedica nuestro colaborador el presente trabajo, en el que anuncia la próxima Conferencia de Londres, donde se darán a conocer los últimos avances en el dimensionamiento y refuerzo de pavimentos.*

## Introducción.

La Conferencia Internacional de Proyecto de Firmes Flexibles, que se celebra con periodicidad de cinco años, constituye un amplio foro mundial en el que se dan a conocer los avances en los métodos de cálculo de espesores, que son sometidos a una fértil discusión entre los especialistas más consagrados.

El problema se estudia desde diferentes ángulos y, según nuestras noticias, las comunicaciones ya presentadas a la III Conferencia, convocada para septiembre de 1972 en Londres, aportarán valiosas experiencias hacia un perfeccionamiento de los métodos de dimensionado del firme.

Un firme de carretera es una estructura tridimensional en la que se producen, bajo el efecto de las cargas, tensiones y deformaciones en todas las direcciones. En el esquema de la figura 1 pueden verse las sollicitaciones de compresión y tracción en las caras del pavimento. La respuesta mecánica a este fenómeno, o sea, la magnitud de tales tensiones y deformaciones depende de las propiedades de los materiales integrantes y del proceso constructivo, o sea, de las características que éste confiera a las capas.

En consecuencia, un firme flexible responde a las cargas aplicadas en forma análoga a cual-

quier otro elemento estructural y, por tanto, su dimensionamiento podría abordarse por los clásicos procedimientos de cálculo de la Ingeniería Civil en el que se consideran las siguientes fases:

- Concepción de la estructura con adaptación a sus exigencias funcionales.
- Estimación lo más aproximada posible de las sollicitaciones durante el período de servicio.
- Análisis de tensiones y deformaciones de acuerdo con las propiedades mecánicas de los materiales a emplear.
- Comprobación de si tales tensiones y deformaciones son aceptables para las exigencias de la estructura y la garantía de su comportamiento en el período asignado.
- Repetición de las estimaciones y análisis definidos anteriormente para llegar por aproximaciones sucesivas a la solución óptima en el aspecto económico-funcional.

No obstante son bien conocidas las dificultades de la aplicación estricta de esta metodología al cálculo de la sección estructural de un firme de carretera, que nacen de la inevitable complejidad del problema:

- Dificultad de estimación de la frecuencia y magnitud de las cargas.
- Influencia de las condiciones ambientales del emplazamiento.

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de julio de 1971.

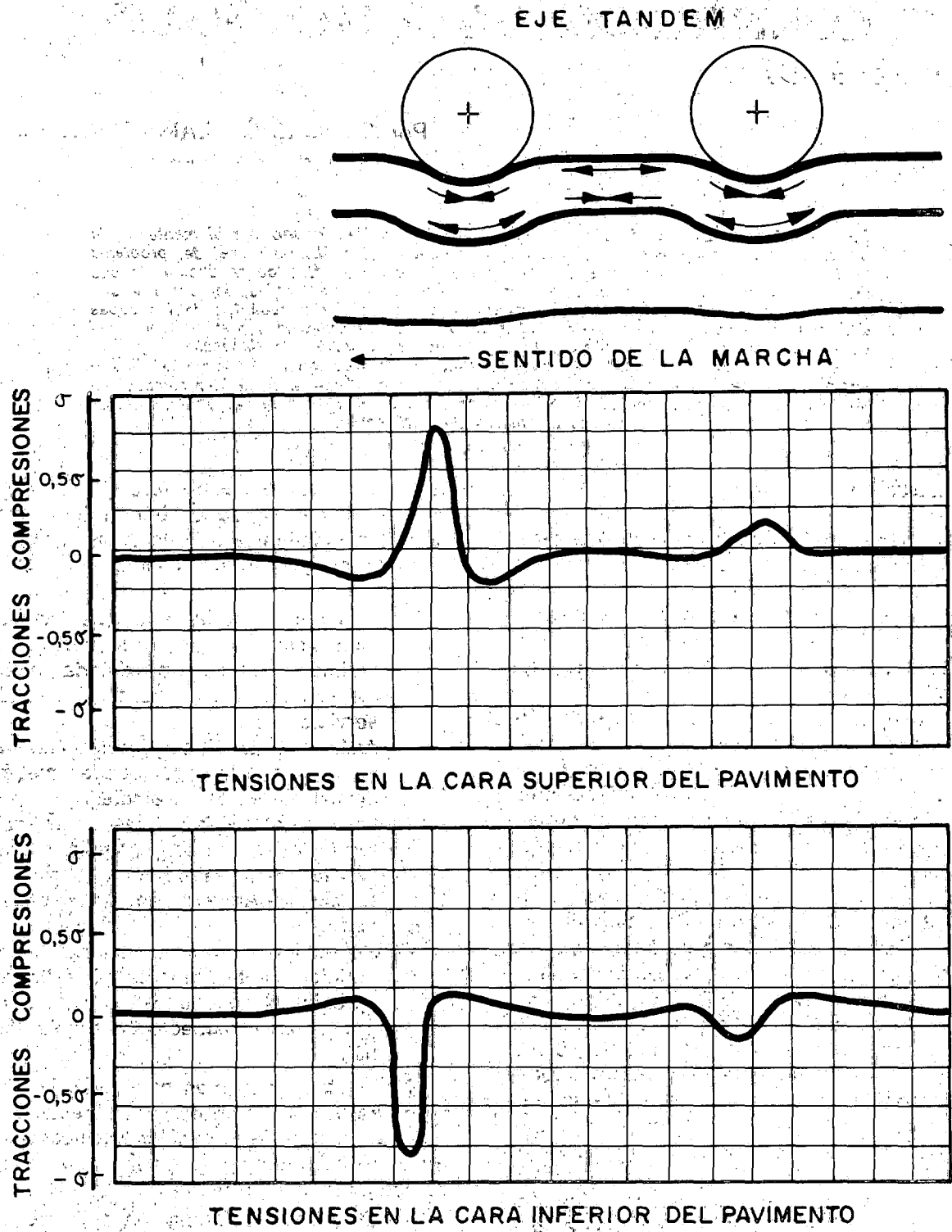


Fig. 1. — Esquema y diagrama de tensiones en las dos caras del pavimento, producidas por el paso de las ruedas de un eje tándem.

- Variaciones en las propiedades mecánicas y reológicas de los materiales y en las capas integrantes de la sección y explanada de apoyo.
- Criterios de comportamiento o índices de estado que se fijen para el pavimento durante el período de servicio.

En consecuencia, hay que recurrir a supuestos y simplificaciones que permitan llegar a soluciones válidas, dentro de la seguridad y la economía. Tales supuestos básicos, las simplificaciones en el planteamiento del problema y los resultados que a partir de ambos se obtienen, deben ser controlados en el comportamiento de la obra —en tramos de ensayo u observación de carreteras en servicio— para que puedan aceptarse con suficiente grado de fiabilidad y constituyan soluciones de aproximación aceptable en las modernas técnicas de proyecto.

De este modo se han ido desarrollando métodos cada vez más perfeccionados que estiman con mayor precisión los efectos de las sollicitaciones externas y la respuesta mecánica de las capas del firme.

Siguiendo el proceso y gracias al cúmulo de información de que se va disponiendo en los países desarrollados y al tratamiento de datos que permite la Informática, es indudable que nos acercamos a métodos de mayor garantía en que el empirismo se reduzca al mínimo, si bien es verdad que no se podrá prescindir del criterio y la experiencia del proyectista que debe juzgar las condiciones específicas que concurren en cada caso.

Al establecer comparaciones entre el dimensionamiento de un firme de carretera y el de un elemento de construcción: viga, arco, pilar, presa, etc., vemos que una diferencia importante radica en que los fallos de cálculo en el firme no tienen las trágicas consecuencias que revisiten en los otros elementos citados. Esto tiene una doble ventaja: se pueden reducir los coeficientes de seguridad y se pueden ensayar sin preocupación los nuevos métodos en vías de servicio público.

### Los métodos de proyecto.

El gran interés del proyecto de pavimentos surge lógicamente del estado actual de esta técnica en evolución hacia una confrontación y

aproximación de los distintos procedimientos, con vistas a un método óptimo de dimensionamiento de esta parte de la carretera de tanta repercusión en el coste de la moderna construcción vial.

La investigación exhaustiva del mejor tipo de superestructura flexible es, desde el punto de vista estadístico y desde el punto de vista económico, una labor ardua y compleja, ya que son múltiples los datos de partida y éstos varían notablemente de las condiciones de un país a otro por circunstancias geológicas, climáticas y de tráfico. El examen de los criterios de proyecto de firmes requiere una gran atención en la comparación sistemática de los resultados obtenidos en cada país; en primer lugar debe observarse que algunos datos, tales como las intensidades medias —diarias u horarias— de tráfico, así como la composición de éste, la naturaleza y capacidad portante de la explanada y las características mecánicas de las diversas capas que integran el firme, se fijan generalmente de acuerdo con hipótesis que no son exactas y que pueden ser en la práctica objeto de variaciones sustanciales respecto a las previsiones del proyecto.

Basta pensar en los cambios estacionales de humedad y temperatura, en la falta de homogeneidad de suelos naturales y en las modificaciones que, respecto a las condiciones iniciales de los materiales, pueden tener lugar durante el período de servicio del pavimento en cuestión.

El conocimiento profundo de una casuística motivada por la variación factorial de elementos que influyen en el estudio y en el comportamiento de la obra es del mayor interés para el perfeccionamiento de investigaciones y procedimientos, y éste es uno de los temas básicos de la investigación que debe examinar métodos, sistemas y fórmulas decisivas para sacar el mayor partido de su adaptación a los casos prácticos correspondientes. Los métodos de cálculo de las secciones estructurales de un pavimento flexible se dividen en dos amplios grupos:

- Los métodos empíricos o semiempíricos, basados sobre ensayos que definen la naturaleza del suelo de la explanada por un índice resistente, de capacidad portante, sin analizar las características mecánicas de los materiales y considerando de manera estimativa la cohesión de las capas superiores.

- Los métodos racionales que estudian cada una de las capas del firme, basándose en las características elásticas o viscoelásticas de los materiales que las integran, según la hipótesis de Boussinesq y su desarrollo por Burmister.

En los últimos años se ha avanzado notablemente en los métodos de dimensionamiento de refuerzo de pavimentos en servicio con sección estructural insuficiente para la frecuencia y cargas del tráfico que deben soportar. Se fundan estos métodos generalmente en la deflectometría o estudio de las deformaciones verticales de la superficie de rodadura, bajo el efecto de cargas en movimiento. Estas deformaciones o deflexiones elásticas, que se miden siguiendo un proceso normalizado (viga de Benkelman, deflectógrafo Lacroix, etc.), son un índice de la capacidad portante del firme y se ha estudiado su correlación con los valores modulares del suelo de la explanada y de las capas de base y pavimento.

En los nuevos métodos de proyecto de firmes flexibles se tienen en cuenta una serie de concausas que inciden en la respuesta mecánica del sólido multicapa bajo las cargas del tráfico:

- Comportamiento reológico de las mezclas asfálticas bajo el tráfico y estudio de su reacción viscoelástica.
- Investigación del efecto de los fenómenos de fatiga en el comportamiento de los pavimentos asfálticos.
- Coeficientes de equivalencia de espesores para las distintas capas integrantes de la sección estructural del firme y su variación con la magnitud de las cargas y la situación de la capa.
- Análisis de deflexiones de tramos experimentales y su interpretación por la teoría elástica. Correlación de la magnitud de las deflexiones con la capacidad portante de los firmes.

Como en otras ocasiones hemos expuesto, existen actualmente dos escuelas en torno al problema de cálculo de firmes. Entre ellas han surgido posteriormente posiciones intermedias en las que se llega a soluciones mixtas que tratan de conciliar los resultados de dos tendencias: la racional o matemática sustentada prin-

cialmente en la Unión Soviética y Francia —estudios de Ivanoff y de Jeuffroy-Bachelez— y la experimental de los EE. UU., donde se han destinado cantidades ingentes a tramos experimentales para comparación de secciones resistentes con variación factorial de sus características bajo los efectos de un tráfico artificial programado. Recordemos, como más importante, el ensayo AASHO, que es cita obligada. Responden estas dos tendencias a posiciones mentales distintas que se reflejan en los procesos de desarrollo y sirven de argumento para el tema en boga de los "desafíos". Por un lado el cartesianismo europeo, con el lento proceso del pensamiento y, por otro, el expeditivo pragmatismo americano, posible por los grandes recursos económicos del país.

Los métodos americanos del Instituto del Asfalto y de la AASHO, el método "Shell" basado en las deformaciones límites de la cara inferior del pavimento y el método francés del Laboratorio de "Ponts et Chaussées" que dimensiona a partir del CBR de la explanada y de un índice de tráfico, deducido por equivalencia de los distintos ejes al máximo legalmente admitido de 13 toneladas, son de sobra conocidos por los especialistas españoles y para su conocimiento somero remitimos al lector a la publicación de referencia [1].

Prosigue la investigación racional y experimental, la literatura sobre el proyecto estructural de firmes es copiosa y llega a las últimas consecuencias del análisis de tensiones y deformaciones con vistas a la determinación de sus valores críticos.

Entre los puntos básicos para el comportamiento de la calzada que requieren todavía un conocimiento más profundo podemos anotar los siguientes:

- Detalle del llamado "loading spectra" o abanico de variación del tráfico, en frecuencia y cargas por eje, durante el período de servicio asignado al tramo.
- Características de deformación de las capas, por el efecto de las cargas dinámicas en distintas condiciones ambientales, especialmente en los suelos de la explanada y capas granulares inferiores que es donde este efecto es menos conocido.
- Correlación entre las tensiones, deformaciones y deflexiones del pavimento bajo las cargas del tráfico.

El Instituto del Asfalto ha puesto a punto el pasado año un nuevo método para el cálculo de espesores en la solución "full-depth" [2], o sea, de firmes integrados en todo su espesor por mezcla asfáltica, apoyados sobre la explanada natural o mejorando ésta si sus características geotécnicas no son apropiadas. Por su novedad y las innegables posibilidades de aplicación nos ocuparemos con detalle de este método en otro apartado.

La tecnología rusa también ha avanzado en los últimos años con el nuevo método de dimensionamiento del "Soyuzdorny" basado sobre un esquema de cálculo más perfeccionado que el anterior. Se considera en este método un modelo elástico complejo con los siguientes criterios y límites que responden a estados físicos reales:

- Resistencias límites a esfuerzo cortante de los suelos o materiales poco cohesivos.
- Tensiones límites a flexotracción en las capas del firme.

Otro nuevo método ruso es el del Instituto Técnico de Kharkov, del que diremos, como característica más relevante, que en el esquema de cálculo adoptado el módulo de elasticidad decrece en el cuerpo del firme según una ley exponencial:

### El problema teórico.

La complejidad del problema teórico del cálculo de firmes —determinación de tensiones y deformaciones producidas por las cargas rodantes en un sistema multicapa— exige la adopción de modelos simplificados que puedan compararse experimentalmente.

Los estudios realizados en los últimos años sobre el tema, en su aspecto puramente racional, han permitido un gran avance en la aproximación al problema, igual o quizá superior al de los trabajos experimentales, con los que obligadamente deben asociarse.

Constituye uno de los importantes avances en el análisis racional de la sección estructural del firme la teoría viscoelástica del comportamiento de los materiales bajo las cargas.

La teoría elástica que ha sido hasta ahora la más usada, a partir de los trabajos origina-

les de Burmister, se basa en los siguientes supuestos:

- Las capas integrantes del sistema están constituidas por materiales homogéneos, elásticos e isótropos.
- La carga de la rueda se aplica uniformemente en el área del círculo de contacto.
- Se parte de una adherencia, generalmente elevada, entre capas contiguas.

Tales supuestos, aceptados por muchos autores, han permitido el desarrollo de las soluciones teóricas basadas en la elasticidad lineal sobre secciones constituidas por capas asfálticas y granulares.

No obstante, existe una evidencia experimental de que bajo las cargas dinámicas del tráfico las capas del firme no se comportan elásticamente (\*). Puede citarse como trabajo interesante sobre el tema la comunicación presentada en la 2.<sup>a</sup> Conferencia de Ann Arbor [3] sobre el estudio de las deformaciones longitudinales en el borde exterior del carril lento, las roderas que tanto preocupan hoy en los Departamentos de Carreteras. En esta comunicación se lleva a cabo un análisis viscoelástico en el que se superpone un concepto de plasticidad al desarrollo de la teoría elástica que es incapaz, *per se*, de justificar el fenómeno.

La rigidez de las capas asfálticas está estrechamente ligada con el carácter viscoelástico de los betunes, y como es sabido, la deformación de un material viscoelástico —con viscoelasticidad lineal— depende del proceso de carga [4]. El período de aplicación de la carga y la temperatura ambiental influyen de manera decisiva en el módulo de rigidez de las capas que por tales circunstancias puede variar entre límites muy amplios.

En recientes trabajos de investigación [5] y [6] se han determinado módulos de rigidez para una mezcla asfáltica que varían desde 27 600 Meganewton/m.<sup>2</sup> (276 000 kgf./cm.<sup>2</sup>) para bajas temperaturas y cortos períodos de aplicación de la carga a 7 Meganewton/m.<sup>2</sup> (70 kgf./cm.<sup>2</sup>) con altas temperaturas y largo proceso de carga. El diagrama de la figura 2 relaciona el módulo de rigidez con el período de aplicación de la carga y la temperatura del pavimento.

(\*) El problema es más grave, para velocidades inferiores a 25 Km./h., o sea, en rampas de carriles lentos y zonas de parada y arranque.

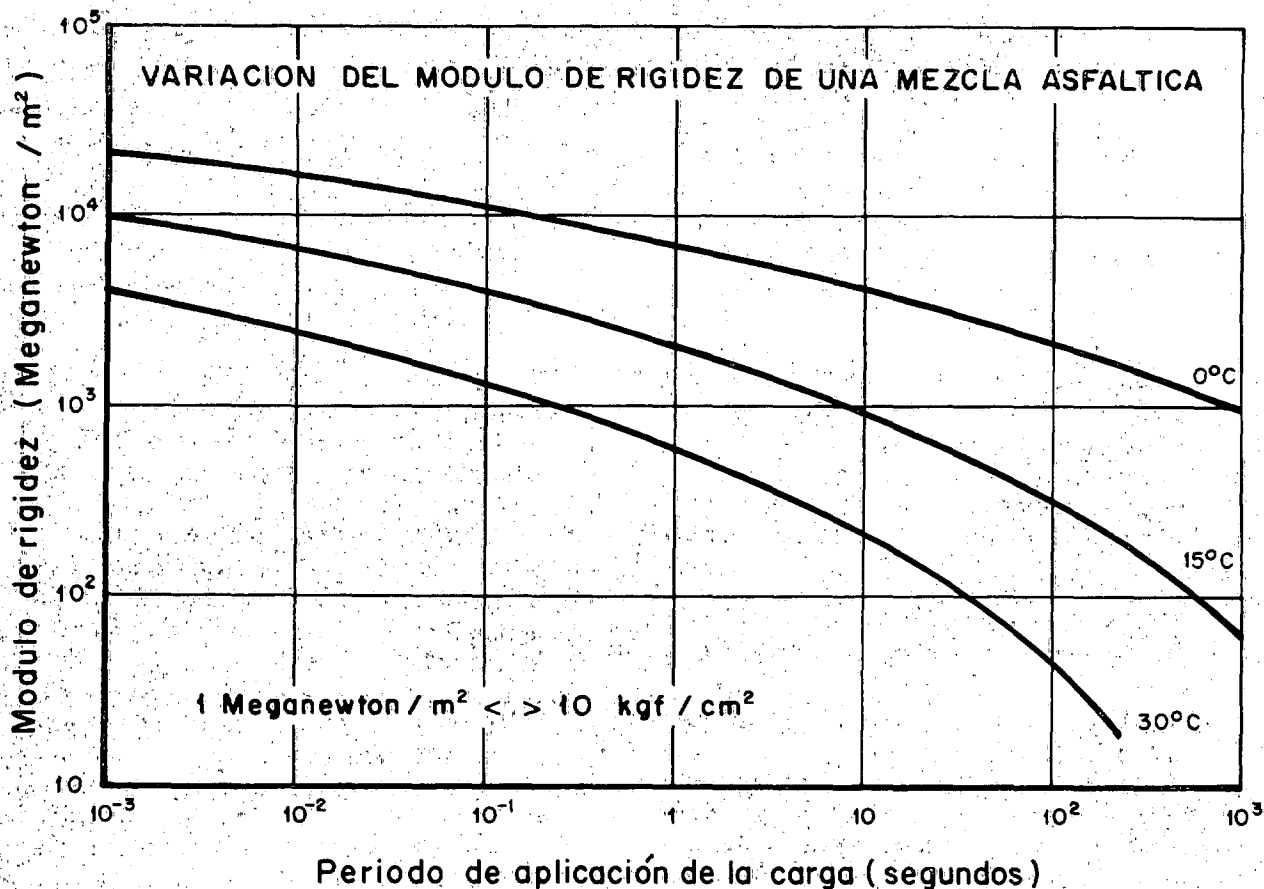


Fig. 2. — Los materiales bituminosos son viscoelásticos y, por tanto, sus características resistentes dependen de la temperatura y del tiempo de aplicación de la carga. En el diagrama pueden verse las grandes variaciones del módulo de rigidez de una mezcla asfáltica típica de pavimento.

### La equivalencia de espesores.

Los métodos empíricos y semiempíricos se perfeccionaron notablemente a partir del concepto de equivalencia de espesores para la comparación de capas del firme de diferente calidad desde el punto de vista de cohesión y resistencia.

Una de las conclusiones del ensayo AASHO, antes citado, fue la definición de *espesor equivalente*. La calidad de las diferentes capas integrantes de un firme hace que puedan computarse por un espesor virtual superior al geométrico, con lo que se modifica el concepto exclusivamente cuantitativo del dimensionado de pavimentos que representaban el método del CBR y otros métodos clásicos.

Ya en el método del estabilómetro de Hveem se consideró el concepto cualitativo, reduciendo el espesor absoluto de cálculo, denominado

*equivalente de grava*, por una escala de valores de cohesión con lo que se tenía en cuenta la resistencia a las deformaciones de las mezclas asfálticas y las bases estabilizadas con cemento.

Este cómputo amplificador de espesor se consideró en las Normas españolas de dimensionado de firmes flexibles (\*) estimándose el coeficiente de equivalencia de las capas asfálticas de pavimento o base en 1,5. También esta equivalencia puede aplicarse para las bases estabilizadas con cemento u otros ligantes hidráulicos, aunque en todo caso se establece una limitación máxima para la reducción del espesor total.

El ensayo AASHO ha aportado una larga serie de resultados, base de una concreción mucho mayor en el concepto de la equivalencia de

(\*) Instrucción 6.1 I.C., de la Dirección General de Carreteras, B. O. del Estado de 8 de mayo de 1965.

espesores. La amplia gama de secciones estructurales que se establecieron en las pistas de Ottawa (Illinois) —234 para los pavimentos flexibles— ha permitido un eficaz análisis comparativo.

El espesor geométrico de una calzada no es sólo función del tráfico que debe soportar y de la capacidad portante de la explanada de apoyo, sino que depende también de la composición del firme en capas de distinta calidad, lo que brinda múltiples soluciones que deben compararse en el doble aspecto económico y funcional.

Cada capa presenta diferente capacidad de resistencia al paso de las cargas, capacidad que es función no sólo de su espesor, sino de su estructura, determinante de la rigidez.

Los resultados del ensayo han permitido introducir la noción de *índice de espesor*, dependiendo de los espesores:  $e_1$ ,  $e_2$  y  $e_3$ , que definen geoméricamente el sólido tricapa (pavimento/base/sub-base) que es el firme.

El índice de espesor viene dado por la fórmula:

$$E = a e_1 + b e_2 + c e_3 \quad (1)$$

siendo  $a$ ,  $b$  y  $c$  parámetros de valor determinado.

Para espesores en centímetros la expresión (1) en las condiciones del ensayo de referencia es:

$$E = 3,14 e_1 + e_2 + 0,78 e_3 \quad (2)$$

que suele tomarse en la forma simplificada de suficiente aproximación:

$$E = 3 e_1 + e_2 + 0,75 e_3 \quad (3)$$

que, en definitiva, expresa que un centímetro de pavimento asfáltico equivale a 3 centímetros de base granular y a 4 centímetros de sub-base.

A estos coeficientes que, como antes se ha dicho, corresponden a las condiciones en que se llevó a cabo el ensayo no se les puede atribuir un carácter general. Para que esto fuera admisible sería preciso tener en cuenta los factores climáticos, la naturaleza de los materiales empleados en cada capa, el grado de compactación de éstas y las características de la explanada. No puede olvidarse que el ensayo ha tenido lugar sobre un terreno subyacente uniforme, que los resultados obtenidos corresponden a un período de dos años, y que las condi-

ciones atmosféricas corresponden a un determinado lugar.

A la vista de estas observaciones, el Instituto del Asfalto, con criterio conservador, ha adoptado la fórmula:

$$E = 2 e_1 + e_2 + 0,75 e_3 \quad (4)$$

Conviene hacer notar que las equivalencias fijadas pueden tener una ligera variación estacional debida a las oscilaciones de humedad y temperatura. También influye que el ligante estabilizador de las capas de base sea bituminoso o hidráulico, habiéndose observado que:

- Los firmes con base de suelo-cemento inician su degradación con deformaciones del perfil longitudinal.
- Los firmes con base asfáltica se deterioran por la aparición de roderas.

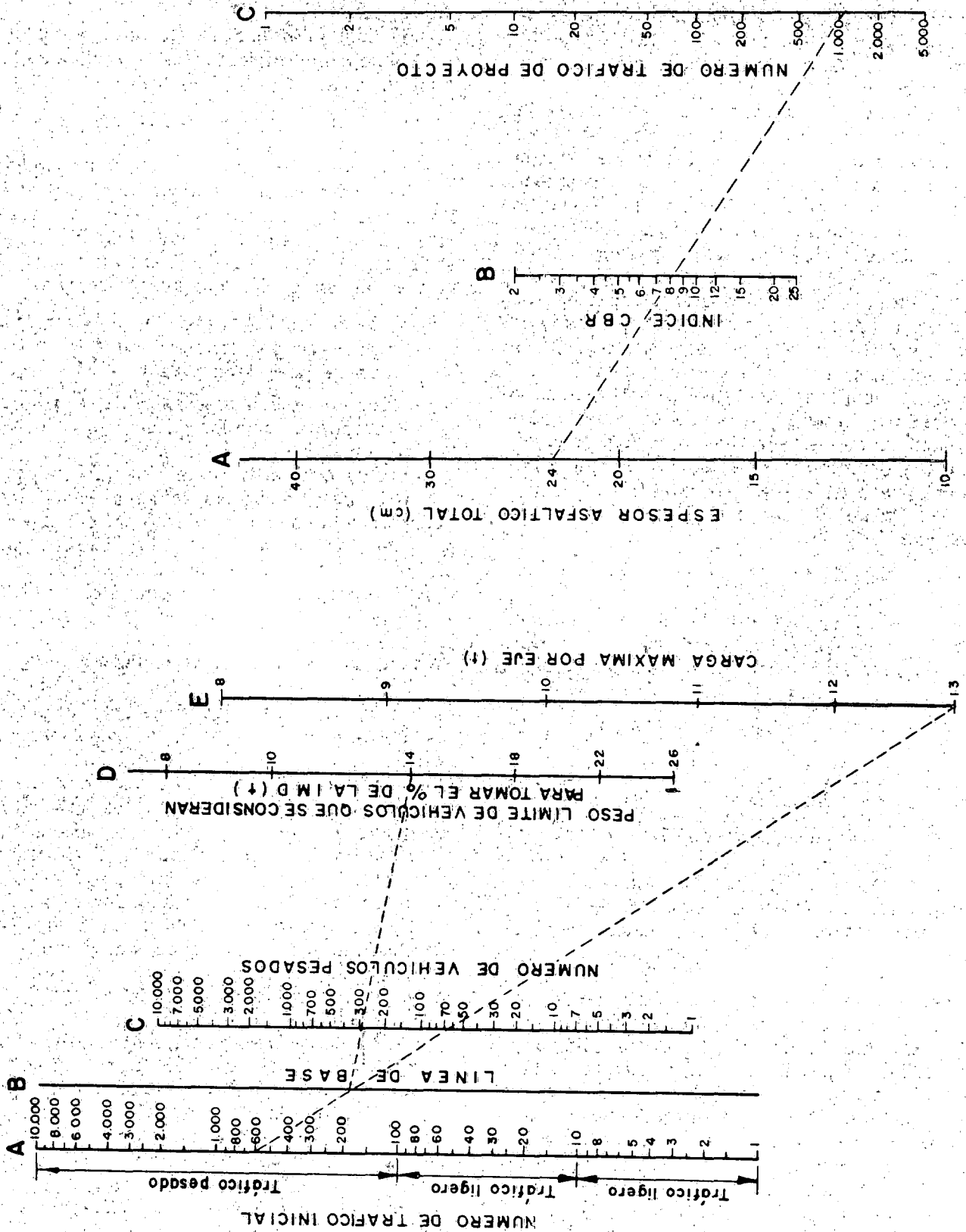
Concluyendo puede afirmarse que un pavimento o base de mezcla asfáltica en caliente puede computarse como mínimo por el doble de su espesor y una base tratada con cemento por el 1,5. Son estas reglas prácticas que responden al concepto de espesor equivalente.

### Proyecto de secciones Full-depth.

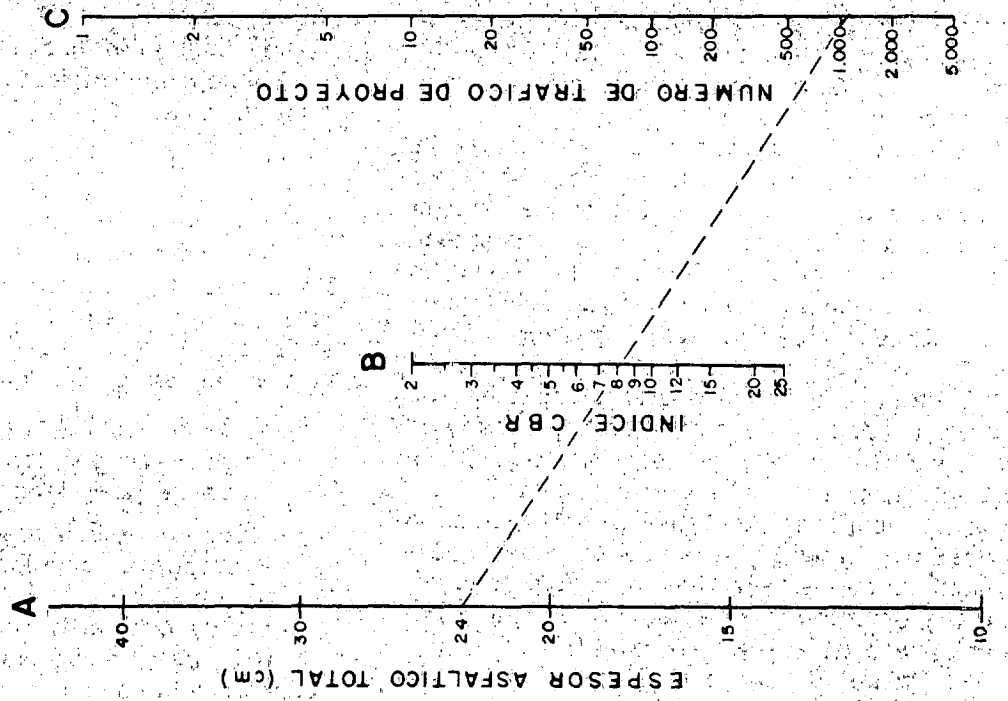
En las secciones tipo *Full-depth*, sobre la explanada natural o mejorada, se establecen generalmente dos capas: la de rodadura, de 3-5 centímetros de espesor, y otra que completa el espesor de cálculo, obtenido por el método antes citado.

En este método se caracteriza el tráfico por la proporción de vehículos comerciales que superan un cierto peso, la carga límite por eje simple y el incremento anual acumulativo para el período de servicio. La capacidad portante se define por el CBR o el ensayo de carga con placa de 30 centímetros.

Por medio de dos ábacos y una tabla que da el coeficiente de crecimiento del tráfico se llega al espesor del firme asfáltico. La prognosis de crecimiento se refiere en general al tráfico total de la carretera; o sea, su IMD como la contabilizamos en España. Si por circunstancias especiales se previeran incrementos diferenciales, entre los vehículos ligeros y pesados, debería hacerse el estudio relativo al crecimiento de los vehículos que pasan del tope fijado.



Abaco I. — Análisis de tráfico.



Abaco II. — Dimensionamiento de espesores.



TABLA I

Periodo de proyecto (años)	Crecimiento anual acumulativo, %					
	0	2	4	6	8	10
1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
4	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23
6	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37	0,39
8	0,40	0,43	0,46	0,50	0,53	0,57
10	0,50	0,55	0,60	0,66	0,72	0,80
12	0,60	0,67	0,75	0,84	0,95	1,07
14	0,70	0,80	0,92	1,05	1,21	1,40
16	0,80	0,93	1,09	1,28	1,52	1,80
18	0,90	1,07	1,28	1,55	1,87	2,28
20	1,00	1,21	1,49	1,84	2,29	2,86
25	1,25	1,60	2,08	2,74	3,66	4,92
35	1,75	2,50	3,68	5,57	8,62	13,55

Para fijar ideas respecto a la aplicación del método, especialmente de la determinación de los parámetros auxiliares, hemos preparado el siguiente ejemplo.

Supongamos el caso de reconstrucción de un tramo de REDIA con grandes deflexiones que no aconsejan el refuerzo. Partimos de los siguientes datos:

- IMD actual: 4 000 vehículos, 2 000 en cada sentido.
- El 15 por 100 son camiones de más de 14 toneladas.
- La carga máxima por eje simple es de 13 toneladas, máxima autorizada según la legislación vigente.
- El incremento anual de tráfico es el 6 por 100.
- El período de proyecto es de veinte años.
- Se prevé apoyar el firme asfáltico sobre una explanada mejorada de CBR = 8 (\*).

A continuación se ordena el proceso operativo en el que se utilizan dos ábacos y una tabla de factores de crecimiento del tráfico.

1. El número de vehículos de peso superior a 14 toneladas por carril en el año inicial será:  $2\,000 \times 0,15 = 300$ .

(\*) Se toma este valor que es el mínimo que se fija para la explanada mejorada en el vigente Pliego de Prescripciones Técnicas de la Dirección General de Carreteras.

2. El parámetro denominado *número inicial de tráfico* se determina con ayuda del *Abaco I, Análisis de tráfico*, uniendo el punto correspondiente a 14 toneladas de la escala *D*, con el que corresponde a 300 de la escala *C*, que es el número de vehículos pesados determinado en 1. Uniendo el punto donde esta recta corta a la *línea base*, con la carga máxima por eje (13 toneladas en la escala *E*), la recta corta a la escala *A* en el punto 600, que es el número inicial de tráfico.
3. A este número debe aplicársele el coeficiente corrector que da la tabla de crecimiento de tráfico; para el 6 por 100 y un período de servicio de veinte años, el coeficiente es 1,84.

$$1,84 \times 600 = 1\,104$$

4. El valor así obtenido es el llamado *número de tráfico de proyecto*. Con éste se entra en la escala *C* del *Abaco II, Dimensionamiento de espesores*, y se une con el 8 (valor del CBR) de la escala *B*. En la escala *A* obtenemos el espesor, 24 centímetros.
5. En consecuencia, el firme se puede proyectar con una capa de 20 centímetros y otra de rodadura de 4 centímetros, con una calidad que asegure impermeabilidad y rugosidad permanente.

#### El temario de la conferencia de Londres.

En lo anteriormente expuesto puede advertir el lector la amplitud y complejidad del problema del cálculo de firmes flexibles: teorías mecánicas de aproximación a la realidad, previsión de solicitaciones, comportamiento físico y reológico de los materiales, etc.

Se ha tratado de que el temario de la Conferencia Internacional de Londres cubra todos estos puntos. Al efecto se han previsto siete secciones para agrupación y discusión de las ponencias correspondiendo la séptima al refuerzo de firmes, tema que se introdujo, creemos que muy justificadamente por la importancia actual del problema, a propuesta de la Delegación española en la anterior Conferencia de Ann Arbor, 1967 [7]. A título informativo se reseñan los guiones de los distintos temas.

### 1. Factores a considerar en el proyecto de firmes flexibles.

Estimación y clasificación de las cargas de tráfico, incluyendo los efectos dinámicos. Efectos higrotérmicos y acción del hielo.

### 2. Propiedades de los materiales.

Propiedades físicas y reológicas de los materiales integrantes del pavimento y de las capas inferiores; determinación de los módulos de elasticidad, medida de deformaciones elásticas y viscoelásticas bajo el efecto de las cargas repetidas. Fenómenos de fatiga. Las mezclas asfálticas y sus propiedades respecto a la respuesta mecánica del pavimento.

### 3. Teoría del dimensionamiento.

Tensiones y deformaciones en las capas del firme. Criterios en las capas del firme. Criterios teóricos y su correlación con el comportamiento en obra. Aplicación de las teorías elásticas y viscoelásticas a los firmes multicapas; comprobación de estas teorías en tramos de ensayo.

### 4. Pavimentos deteriorados.

Definición objetiva del deterioro del firme; tipos de deterioros y ruina de la calzada. Efectos destructivos de las cargas y límites aceptables de servicio en las calzadas.

### 5. Comportamiento del pavimento.

Comportamiento del pavimento en tramos de ensayo y vías o aeropuertos en servicio. Relación de estos comportamientos con las capas del firme y naturaleza de la explanada; condiciones ambientales y sollicitaciones del tráfico. Identificación y clasificación de deterioros y reducciones en el valor del índice de servicio. Criterios de estimación de este índice.

### 6. Proyecto y construcción de firmes.

Análisis de métodos de proyecto y procesos constructivos. Desarrollo de los métodos y supuestos teóricos y prácticos sobre los que se basan. Fases de construcción. Pavimentos económicos para calles y caminos rurales.

### 7. Refuerzo de firmes.

Métodos de estimación del refuerzo de firmes. Determinación de espesores en función del tráfico futuro para mantener las calzadas existentes con buen índice de servicio.

\* \* \*

Los avances realizados a través de los estudios racionales y el tratamiento de los datos de los grandes tramos de ensayo constituyen las bases de la evolución de los métodos de dimensionamiento de espesores de firme.

El intercambio de experiencias que va a tener lugar en la Conferencia de Londres ofrecerá como consecuencia un perfeccionamiento de los métodos hoy en uso y el establecimiento de directrices para proseguir más eficazmente el proceso investigador.

Es, pues, interesante conocer tales avances y contrastarles en lo posible con una experiencia nacional, a los efectos de revisión de las vigentes normas de cálculo, hacia una mejora de métodos de proyecto de nuevos firmes y refuerzo de los existentes, con los que se llegue a secciones estructurales óptimas en el doble aspecto económico y funcional.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. K. KUCERA: "Tendencias modernas en el dimensionamiento de firmes flexibles". Revista de Obras Públicas, febrero 1970.
2. "Thickness Design-Full Depth Asphalt Pavement Structures, Highways and Streets". 8th edition, December 1969.
3. R. D. BARKSDALE and G. A. LEONARDS: "Predicting performance of bituminous surface pavements". Proceedings 2th International Conference on the Asphalt Pavements, Ann Arbor, EE. UU., 1967.
4. M. LEGER: "Propiedades de las mezclas bituminosas". Primer Cursillo Nacional de Mezclas Bituminosas. Asociación Española de la Carretera, Madrid, octubre 1966.
5. S. F. BROWN and P. S. PELL: "Developments in the structural design of flexible pavements". Roads and Road Construction, núm. 569, Londres, mayo 1970.
6. P. S. PELL and I. F. TAYLOR: "Asphaltic road materials in fatigue". Annual Meeting of A.A.P.T. Londres, 1969.
7. O. LLAMAZARES: "II Conferencia Internacional de Pavimentos Flexibles". Revista Informes de la Construcción, núm. 197. Enero-febrero 1968. Instituto Eduardo Torroja, Madrid.