

# REFUERZO DE FIRMES FLEXIBLES CON CAPAS DE MEZCLA ASFALTICA

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Una de las ventajas de los pavimentos flexibles es la posibilidad de refuerzo o recrecimiento por capas sucesivas, para su adaptación al tráfico creciente que deben soportar. El problema es de muy destacado interés, dada la insuficiencia de secciones en muchos de los tramos de tráfico pesado y la economía que supone remediar a tiempo tal precaria situación de nuestros firmes. Se refiere el autor en el presente trabajo al refuerzo con mezcla asfáltica, describiendo un método experimental de dimensionado y las condiciones óptimas de la mezcla que debe emplearse, integrada por una combinación de áridos y ligante que dé la mayor rigidez posible a la nueva capa, para que el refuerzo sea eficaz y duradero.*

## I. Hacia una política de refuerzo de firmes.

En publicaciones anteriores hemos abordado el tema del refuerzo de firmes, tratando de exponer y comentar la técnica actualizada de esta ineludible operación base de la conservación de las carreteras, de modo que puedan mantenerse a un nivel de servicio aceptable.

Bien conocidas son, por esto y por la profusa literatura extranjera sobre el tema, los fundamentos y práctica de aplicación de los métodos de dimensionado de refuerzo, basados en las deflexiones que ofrecen el mejor sistema por su rapidez y economía, sin efectos destructivos para el pavimento auscultado.

Otra ventaja de estos métodos es que por realizarse las determinaciones *in situ* y reflejando éstas, tanto el comportamiento funcional de la estructura de la calzada, como las condiciones ambientales del emplazamiento, eliminan gran número de factores de difícil estimación en el laboratorio, o de gran inexactitud en los criterios o recomendaciones de base empírica.

Por el crecimiento del tráfico en frecuencia y cargas, es cada vez más necesario poner remedio a firmes deformados con deformaciones plásticas que aumentan con el tiempo, reflejando una insuficiencia de espesores. La estabilidad de un firme que se apoya en un suelo viscoelástico, depende del grado de deformación que producen las cargas del tráfico, siendo el valor admisible de la deformación o deflexión del pavimento función del tráfico y de las características estructurales. El tráfico influye por la cuantía de las cargas y por su frecuencia de aplicación, condicionante de los fenómenos de fatiga.

En las características estructurales interviene el espesor (\*) y composición de las capas integrantes del firme y la naturaleza y capacidad portante de la explanada, factor este último que puede modificarse por las condiciones de humedad ambiente que en todo caso hay que tender a reducir con un eficaz sistema de drenaje.

El dimensionado del refuerzo es un caso particular del cálculo de pavimentos y de la determinación racional y empírica de espesores, considerando las sollicitaciones y demás causas antes apuntadas que afectan de distinto modo al comportamiento de una carretera en servicio. En consecuencia, a la par que se han perfeccionado los métodos de cálculo, como frutos de pacientes estudios teóricos de los sistemas multicapas, investigaciones en modelos de laboratorio y grandes ensayos en verdadera magnitud, se han puesto a punto procedimientos de dimen-

(\*) El espesor del pavimento influye en las deflexiones que pueden admitirse sin temor a que se produzcan fenómenos de fatiga por repetición, que causen la ruina del firme. Cuanto menor es el espesor, mayor es la deflexión límite. Duriez relaciona estos valores por la ecuación:

$$3 \log e + 5 \log d = 1$$

$e$ , espesor del pavimento en centímetros  
 $d$ , deflexión en milímetros.

Para $e = 10$ cm.	$d = 0,4$ mm.
$e = 7,5$ cm.	$d = 0,5$ mm.
$e = 7$ cm.	$d = 0,6$ mm.

Valores que coinciden sensiblemente con las deflexiones críticas de la División de Carreteras de California.

Otra fórmula que da resultados ligeramente diferentes, pero del mismo orden, es la siguiente:  $ed^2 = 1,75$ , expresando los valores en las unidades citadas.

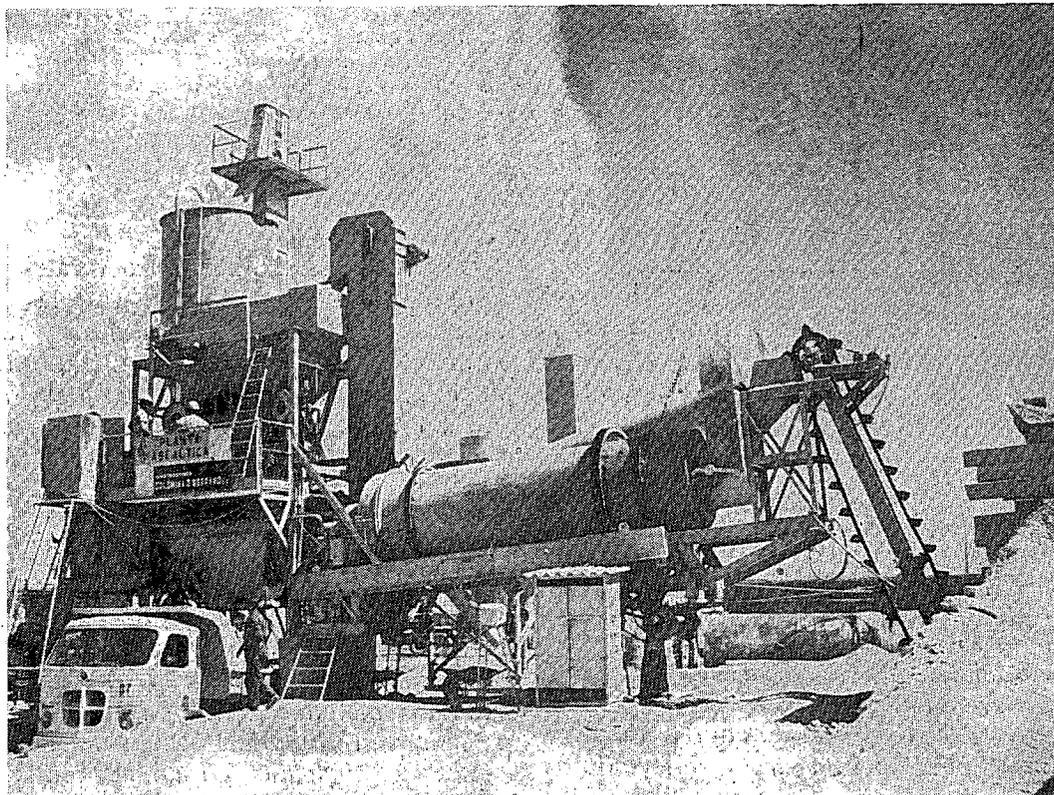
Las capas de espesor inferior a 5 cm. se consideran sin capacidad resistente para que tengan efecto de refuerzo.

sionado de refuerzo para los firmes existentes de precaria estabilidad.

Tales métodos se están aplicando en los proyectos de refuerzo de los firmes ya deformados, o a título preventivo en los tramos que muestran indicios de fatiga, pues siempre es mejor prevenir que curar y el consejo clásico es bien claro en el tema que tratamos, considerando el coste de una reconstrucción y los perjuicios que con

El desmesurado incremento del tráfico, claro efecto de nuestro desarrollo demográfico, industrial y turístico, exige una política de refuerzo sistemático de los firmes en servicio a los efectos de que se programe, con la debida antelación, la mejora de los que lo necesitan y se asignen los fondos necesarios.

En nuestro país se ha iniciado, a buen ritmo, el refuerzo de firme de los principales itinera-



Planta asfáltica con capacidad de 250 toneladas/hora, fabricando aglomerado para capa de refuerzo.

ella, en su período de ejecución, se ocasionan al tráfico.

De aquí la importancia de disponer de métodos simplificados y eficaces que ofrezcan soluciones seguras y económicas para cada caso, por el ahorro que con ellos puede conseguirse, dada su general aplicación en las redes de carreteras de los países desarrollados, sobrecargadas ya en gran parte de su longitud. Es preciso llegar a una resistencia homogénea de los itinerarios, aplicando a cada tramo el refuerzo que le corresponde en una estimación selectiva, con lo que se tienda a la mejor distribución de los créditos presupuestarios que a tal fin se destinen.

rios de la Red Azul, y las campañas de auscultación, llevadas a cabo por los Servicios Regionales de Materiales, dependientes de la Dirección General de Carreteras, prosiguen su labor en la obtención de los datos básicos para el proyecto de refuerzo de los tramos de mayor tráfico.

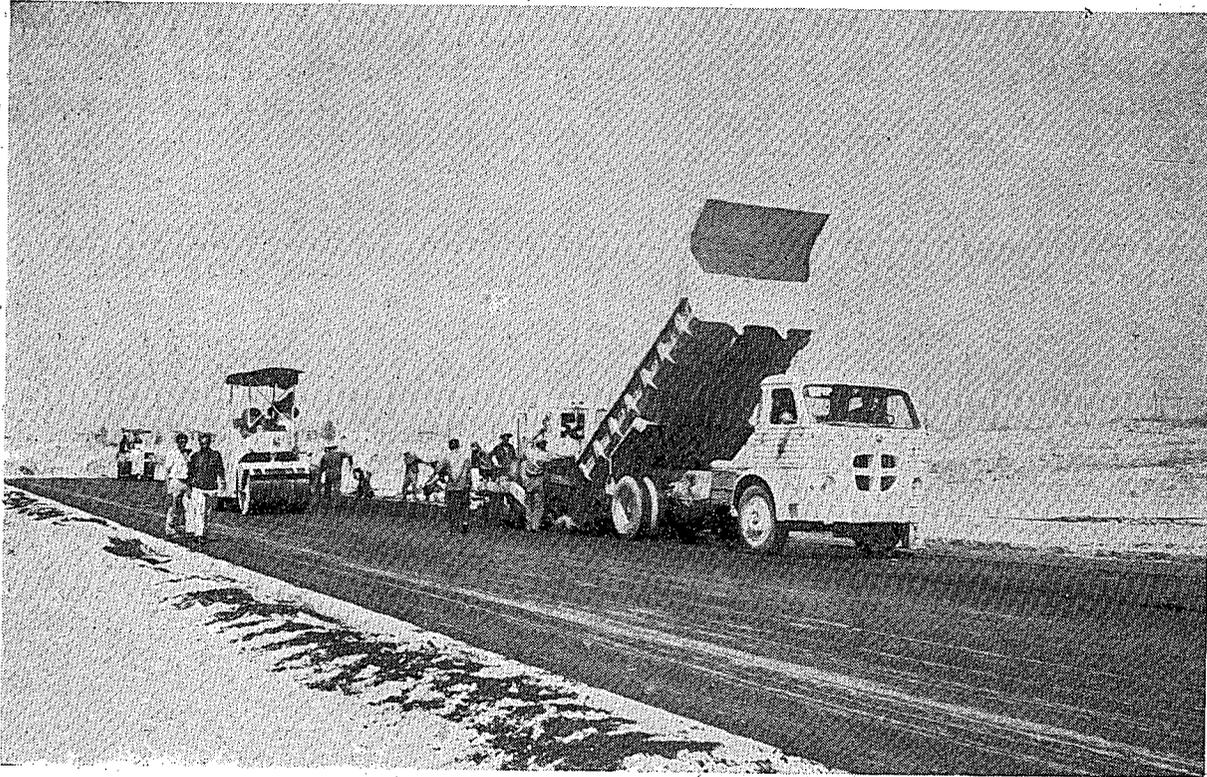
Preocupación dominante de los Servicios, el refuerzo y mejora de firmes se irá acometiendo por sucesivas fases, programadas según un análisis de necesidades que incluirá, también para realizarse simultáneamente con el establecimiento de nuevas capas, la corrección de los peligrosos tramos de pavimento deslizante.

## II. El revestimiento asfáltico como refuerzo.

El refuerzo con capas de mezcla asfáltica, que en todo caso deben constituir las capas superiores de las vías de gran tráfico con pavimento flexible, es la solución ideal para evitar discontinuidades bruscas de módulos de rigidez, lo que resultaría, por ejemplo, con el establecimiento de una base granular sobre el pavimento

conclusiones del ensayo WASHO (\*) (1953-54) fue el descubrimiento del efecto-losa [1], que da una resistencia adicional al firme y es tenido en cuenta a través de un factor reductor de los espesores, característico de la cohesión de la capa en el método de dimensionado de Hveem.

Posteriormente el ensayo AASHO fijó el concepto cuantitativo de equivalencia de espesores [2], por el que puede llegarse a computar a



Extensión y compactación de una capa de refuerzo sobre un firme desgastado y de insuficiente sección estructural.

antiguo. Tal solución quizá sea prohibitiva, como ya se ha visto en algunos refuerzos proyectados por el gran espesor — de 35 a 40 cm. para deflexiones características de 150 a 200 centésimas de milímetro — que hemos obtenido en el cálculo. No obstante, en gran parte de los casos que se presenten y considerando la capacidad portante de las mezclas asfálticas de alta calidad, a las que se ha llegado como consecuencia de una larga experiencia, será válido el refuerzo por revestimiento bituminoso.

La rigidez de los pavimentos, como función de su espesor y de sus características intrínsecas, es tema bien conocido. Una de las principales

efectos resistentes una capa asfáltica por el triple de su espesor geométrico. Un nuevo concepto, en esta línea de definir la capacidad portante de una capa del firme, es la llamada "potencia de refuerzo", fruto de la investigación francesa, del que nos ocuparemos más adelante.

Supuesto el caso de refuerzo con mezcla asfáltica, es preciso determinar el espesor que corresponde al estado mecánico de un firme dado, o sea, a su capacidad resistente caracterizada por la deflexión característica obtenida en un proceso normalizado. En este caso la dificultad

(\*) Western American State Highways Officials.

de fijar una deflexión crítica, o sea la deformación que puede admitirse en cada tipo de pavimento, dependiente principalmente de sus capas superiores, se simplifica en el caso de un firme reforzado con una espesa capa de mezcla asfáltica, ya que después de este refuerzo todas las calzadas son equiparables desde el punto de vista estructural a efectos de deflexión. Para un revestimiento asfáltico de 10 a 15 centímetros, en vías de tráfico pesado, las deflexiones críticas oscilan entre 40 y 30 (\*).

### III. El método experimental Colas.

Recomendamos para el cálculo del espesor de refuerzo el método francés de la "Société Routière Colas", recientemente dado a conocer en España [3].

Este método emplea una fórmula sencilla que relaciona las variaciones en la deflexión de un pavimento, antes y después de aplicarle la capa de refuerzo, con el espesor de ésta. La relación lineal entre el cociente de los logaritmos de las deflexiones y el espesor de la capa se ha deducido del análisis estadístico de los resultados de una larga serie de ensayos. Pero al mismo tiempo se ha comprobado que tal correlación está de acuerdo con las teorías de cálculo racional de pavimentos — métodos de Jeuffroy-Bachelez y de Ivanof — dentro de ciertos límites, que comprenden las deflexiones máximas admisibles y los espesores normales de capas de refuerzo. Asimismo se ha comprobado la correlación con los resultados experimentales del ensayo AASHO. Ambas circunstancias acreditan el método de referencia, que es hoy de gran utilidad y podrá ser perfeccionado en el futuro con el avance de los estudios teóricos y empíricos sobre el comportamiento y dimensionado de pavimentos.

Con este método se simplifica notablemente el cálculo y puede prescindirse de aventuradas hipótesis (módulos de elasticidad de las distintas capas del firme antiguo, espesor de éstas, etcétera), siempre de dudosa realidad. Bastará con medir las deflexiones en el pavimento que se pretende reforzar y en un pequeño tramo testigo — de unos 200 metros de longitud — después de reforzado. El refuerzo del ensayo debe ser de bastante espesor, con el objeto de que

(\*) Como antes se indicó el valor de las deflexiones se expresa siempre en centésimas de milímetro.

para el cálculo puede operarse por interpolación, que es mejor que por extrapolación.

En lo que se delimita como tramo testigo, se hacen una serie de determinaciones de deflexión — a intervalos de 10 metros — con ayuda de la viga de Benkelman u otro tipo de deflectómetro sobre el pavimento antiguo, y se halla el valor medio característico de acuerdo con los métodos estadísticos usuales que corresponden a las funciones de probabilidad de Gauss.

Después de aplicado el refuerzo en el tramo testigo, se vuelven a medir las deflexiones en los mismos puntos, procurando operar en similares condiciones de humedad y temperatura que en las determinaciones anteriores.

Tenemos así tres datos de partida, las deflexiones medias  $\bar{d}_{m0}$  y  $\bar{d}_{m1}$  antes y después del refuerzo y el espesor  $\epsilon$  de éste.

Otros datos serán la deflexión crítica, o sea, la máxima admisible para un buen comportamiento del pavimento en un periodo dado, o sea, la deflexión  $\bar{d}_c$  y la máxima deflexión que corresponde al periodo más desfavorable del año, o sea, normalmente la primavera — cuando es mayor la humedad de la explanada —, representada también por un valor medio característico que llamaremos  $d_{\max}$  (\*).

El espesor de refuerzo en centímetros, que corresponde a los datos definidos, viene dado por la expresión que representa la relación lineal antes mencionada:

$$e = \frac{\log \bar{d}_c - \log \bar{d}_{\max}}{\log \bar{d}_{m1} - \log \bar{d}_{m0}} \epsilon \quad (a)$$

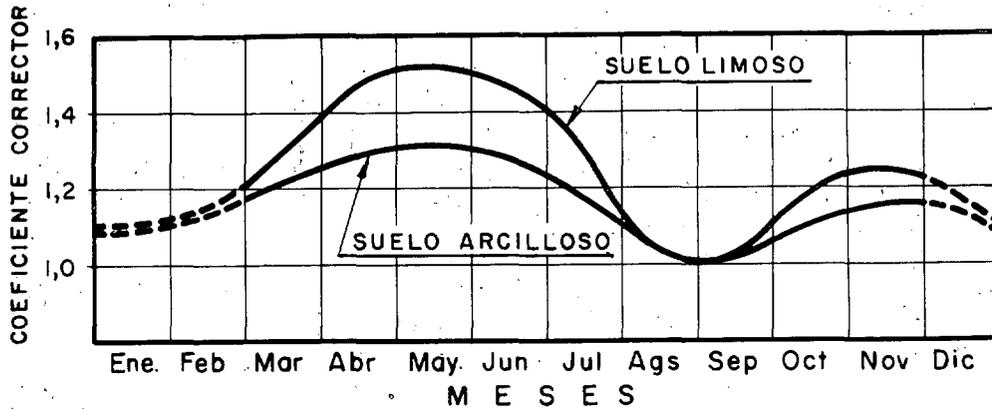
Particularicemos la fórmula para un ejemplo, con los siguientes datos:

— Deflexión media de la calzada existente durante la auscultación, en un periodo que puede equipararse a los más desfavorables por la humedad ambiente  $d_{\max} = d_{m1} = 120$ , que como se ve es inadmisibles para un pavimento de mezcla asfáltica.

— Deflexión crítica que puede admitirse de acuerdo con los valores recomendados por la

(\*) Se han propuesto fórmulas empíricas para definir la variación estacional de las deflexiones. El factor correctivo [4] viene dado por una expresión de la forma:  $F = f(b, A, d)$ , depende del tipo de suelo, y  $A$ , de las condiciones climáticas. En Hungría se han llevado a cabo mediciones a lo largo del año en diversos tramos con explanadas arenosas y arcillosas y dibujado las correspondientes curvas de variación del factor correctivo que llega como máximo a 1,6. En la figura que se acompaña puede verse la variación estacional de las deflexiones definida por el citado factor.

## VARIACION ESTACIONAL DE LAS DEFLEXIONES



División de Carreteras de California [5]  $d_c = 65$ .

— Espesor del refuerzo en la sección testigo,  $\epsilon = 15$  centímetros.

— Deflexión media determinada sobre el tramo reforzado  $d_{mi} = 55$ :

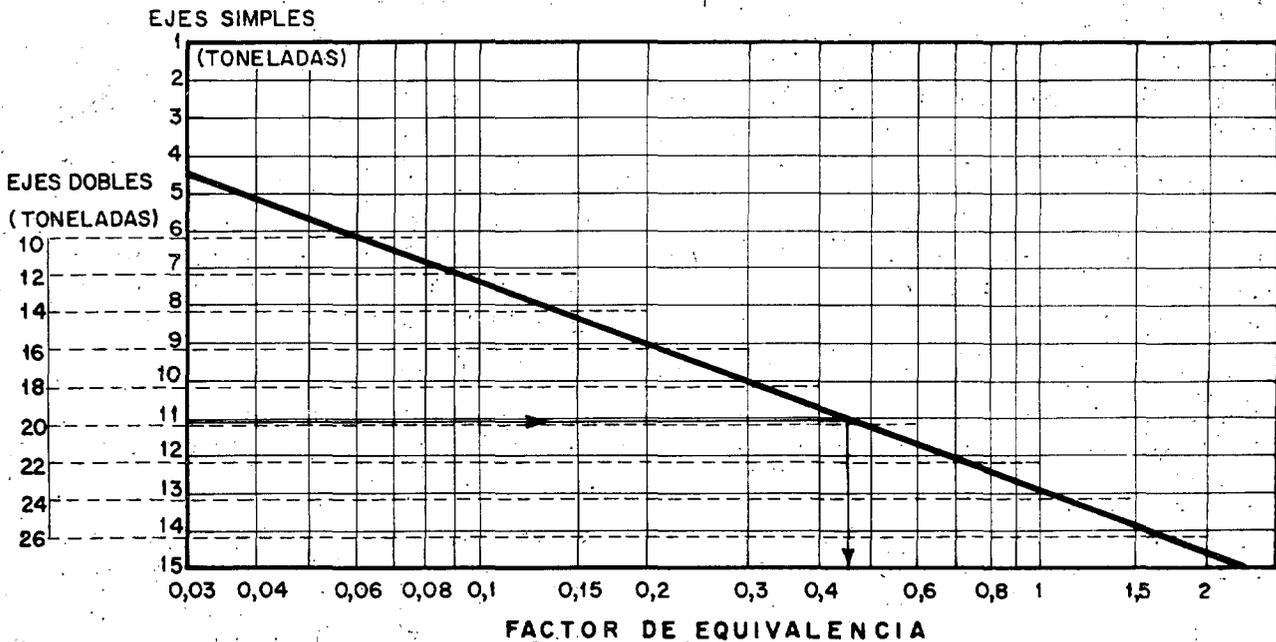
$$e = \frac{\log 55 - \log 120}{\log 65 - \log 120} \times 15 = 1,26 \times 15 = 19 \text{ cm.}$$

Una ventaja para la simplificación del método es que la experiencia, con su acumulación de datos, hará que en el futuro no sea preciso llevar a cabo previamente la medida de defle-

xiones sobre un tramo testigo para cada proyecto de refuerzo, sino que podrán utilizarse los valores característicos obtenidos en carreteras de sección estructural semejante. Asimismo, también se considera la posibilidad de aplicar los resultados de un ensayo testigo sobre un firme de una cierta constitución a otro de constitución diferente, mediante la afectación de los oportunos coeficientes correctores [6].

El método experimental "Colas" ha comprobado su precisión y eficacia durante los tres años últimos, y puede recomendarse como el más adecuado para el dimensionado de refuerzo a base

## CONVERSION DE CARGAS AL EJE DE 13 T



Ejemplo: Un eje simple de 11 t equivale a 0,46 de eje simple de 13 t.

de mezclas asfálticas. Su campo de aplicación se extiende a todos los firmes flexibles, incluso los que contengan en su estructura bases estabilizadas con cemento, con baja dosificación que permita una microfisuración continua.

La medición normalizada de las deflexiones, determinación de la deflexión característica, periodos de duración según el tipo de la vía, pronóstico de tráfico de cálculo y demás datos necesarios para la aplicación del método, figuran en una publicación reciente [7], a la que por su interés remitimos al lector. Para facilitar la aplicación abreviando el cálculo de dimensionado, la Sociedad Colas ha preparado una regla de cálculo.

Para la conversión de cargas al eje patrón de 13 toneladas, se emplea el gráfico adjunto, en el que puede verse cómo varía el efecto destructivo del tráfico con el peso de los ejes.

#### IV. El concepto de "potencia de refuerzo":

Se pide a los pavimentos asfálticos de las vías de tráfico pesado, integrados por las llamadas capas de rodadura e intermedia y a veces apoyadas sobre bases asfálticas, un comportamiento mecánico satisfactorio; o sea, que participen sustancialmente en la capacidad resistente de la sección estructural del firme.

Con el nuevo concepto de "potencia de refuerzo" se estima, de modo cuantitativo, la capacidad portante de las capas asfálticas que se aplican sobre los pavimentos de sección insuficiente para su adaptación al incremento de tráfico.

La potencia de refuerzo viene definida por una fórmula empírica cuya expresión es:

$$P = \frac{333}{\epsilon} \log \frac{\bar{d}}{d} \quad (b)$$

con la siguiente notación:

- $\epsilon$  = espesor de la capa de refuerzo
- $\bar{d}_0$  = deflexión media del firme antes del refuerzo
- $d$  = deflexión media del firme después del refuerzo.

Particularizada esta fórmula para el caso de la reducción de las deflexiones, a la mitad tenemos:

$$P = \frac{333}{\epsilon} \log 2 = \frac{100}{\epsilon}; \quad \epsilon = \frac{100}{P} \text{ (cm)} = \frac{1}{P} \text{ (m);}$$

lo que indica que el espesor necesario — expresado en metros — de un tipo de mezcla asfáltica para reducir a la mitad la deflexión es la inversa de su potencia de refuerzo.

Según los ensayos realizados en Francia esta potencia varía entre 2 y 7, correspondiendo el límite inferior a mezclas con árido rodado, elevada proporción de arena y un betún de penetración 180/200 y el superior a mezclas de árido de machaqueo, incluso la arena en casi su totalidad y betunes de penetración 60/80 ó 40/50, según el clima más o menos frío de la zona de emplazamiento del tramo.

En los proyectos de refuerzo hay que tender a los menores espesores posibles de mezcla, lo que en general será económico, pues si es más caro el precio unitario, es menor la cubrición y, además, una capa de gran espesor y menor rigidez da lugar a mayores deformaciones permanentes bajo las pesadas cargas del tráfico, o sea, a huellas de la rueda por compresión de la propia capa. La tendencia a mezclas más rígidas en los aglomerados asfálticos es general y ello ha motivado una evolución hacia los betunes duros en los tramos de gran tráfico, considerando especialmente la disminución de rigidez de los pavimentos por efectos termoelásticos en los días cálidos y con cargas circulantes a pequeñas velocidades como los vehículos pesados en las rampas, que pueden dar origen a grandes deformaciones e incluso a la degradación total del firme (\*).

Para conocer la potencia de refuerzo de una mezcla dada es preciso hacerlo en la carretera sobre un revestimiento testigo, ya que aún no se han puesto a punto procedimientos de laboratorio — basados principalmente en ensayos de rigidez y de fatiga — que ofrezcan las necesarias condiciones de seguridad y garantía. Se miden con un deflectómetro las deflexiones antes y después del revestimiento y habida cuenta del espesor de éste se deduce por la fórmula (b) el valor de  $P$ .

Quizá cuando exista gran experiencia podrá estimarse este valor con bastante aproximación por una fórmula empírica en que intervengan variables relativas a las características del betún y a la calidad, forma y granulometría del árido. El concepto de "potencia de refuerzo"

(\*) El módulo de rigidez de la mezcla disminuye cuando aumenta la temperatura y se reduce la velocidad de la carga, este módulo puede llegar a ser inferior al de la capa inferior si es de grava-cemento y producirse el fenómeno destructor del llamado "efecto yunque".

es francés y bien conocida es la habilidad francesa para definir por fórmulas características, físicas y mecánicas (factor de carga, superficie específica de los áridos, fórmula logarítmica de Peltier, etc.) de materiales y firmes.

Un betún muy duro en la mezcla da origen a potencias entre 5 y 7, aproximarse al máximo de estos límites puede conseguirse con el esqueleto mineral, árido muy duro y con todas las caras de fractura.

En la disertación de referencia [3] M. Leger puso como ejemplo la siguiente mezcla tipo de gran rigidez y capacidad de refuerzo:

Arido grueso, de machaqueo absoluto		
18/12,5 mm. ....	55	%
Arena de machaqueo .....	28	%
Arena natural .....	15	%
Cal .....	2	%
Betún 40/50 .....	6,5	%
Potencia de refuerzo .....	6,7	%

Como índice de variación consignaremos, según la experiencia que si se emplea betún 80/100, se baja en un 5 por 100 la fracción gruesa del árido y se aumenta en un 15 por 100 la arena natural rodada, la potencia baja a 2,3, manteniendo esta última granulometría, pero con betún 40/50 la potencia aumenta a 4,5.

## V. Conclusión.

En el método operatorio comentado y en el nuevo concepto de potencia de refuerzo quedan sentadas las bases técnicas para el recrecimiento de los firmes flexibles con capas asfálticas para su adaptación al incremento del tráfico.

Con el refuerzo se reduce la deformación elástica del pavimento bajo las cargas y se evita su rotura por fatiga como consecuencia de la repetición de deflexiones superiores a la crítica. Si se consigue que las deflexiones sean inferiores a ésta puede aumentar el número de ciclos de carga y con ello la vida de la calzada.

El refuerzo de firmes cuando se hace a tiempo requiere gastos muy inferiores a los de levantado y reposición a lo que de no hacerse se llegaría indudablemente. Es, pues, indiscutible desde el punto de vista económico llevar una ordenada campaña de auscultación, al menos en la red principal, que permita conocer la necesidad de refuerzo y actuar a tiempo.

En el aspecto económico el concepto de potencia de refuerzo es fundamental, ya que gracias a él podemos acercarnos a la seguridad y a la economía en la mejora de firmes. Un tramo testigo que se establece al iniciar los trabajos permite definir el valor de la potencia, elegir la mezcla óptima y precisar el espesor de la capa que debe aplicarse. Este espesor puede adaptarse a un determinado período de vida del pavimento que estará condicionado por las circunstancias específicas de cada tramo y por las disponibilidades crediticias del Servicio. Sobre la base de coste y duración puede hacerse un estudio económico de la solución más conveniente, un refuerzo a largo o a corto plazo, dada la facilidad que para recrecimiento sucesivo brindan los pavimentos flexibles.

El campo de los refuerzos con mezclas asfálticas es ilimitado y es de esperar que en la próxima década constituya una solución insustituible para la conservación de nuestros firmes. Esto permitirá al mismo tiempo formar una experiencia propia en el proyecto y ejecución que redunde en el mejor aprovechamiento de los créditos presupuestarios destinados a la mejora y conservación de nuestra red de carreteras.

## Referencias.

- [1] The WASHO Road Test-Special Report 22 (1955).
- [2] O. Llamazares: "Sobre el cálculo de pavimentos flexibles". *Revista de Obras Públicas*. Enero 1966.
- [3] M. Leger: *Propiedades mecánicas de las mezclas*. Conferencia del Primer Cursillo Nacional de mezclas bituminosas, fabricación y puesta en obra. Madrid, octubre 1966.
- [4] T. Boromisza y L. Gaspar: "The practical dimensioning of flexible pavements by deflection tests". Road Research Institute of Budapest. Proceeding of the Sixth International Conference on Soil Mechanics. Montreal, september 1965. University of Toronto Press.
- [5] O. Llamazares: "Dimensionado del refuerzo de pavimentos flexibles a partir de las deflexiones determinadas con la viga de Benkelman". *Informes de la Construcción*, núm. 180, mayo 1966.
- [6] J. Lasalle y G. Langumier: "Considerations sur le calcul du renforcement des chaussées souples". *Revue Général des Routes et des Aerodromes*. Mars 1964.
- [7] Ibid. "Quelques exemples d'application de la méthode expérimentale Colas". *Revue General des Routes et des Aerodromes*. September 1966.