investigación

sobre el dimensionado de firmes flexibles en Checoslovaquia

K. KUCERA, Dr. ingeniero

Jefe de la Sección de Pavimentos del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Civil de Bratislava (Checoslovaquia)

514 - 55

presentación

El dimensionado de pavimentos con su gran importancia en el aspecto económico-funcional, constituye una preocupación dominante en los Departamentos de Carreteras de los países desarrollados. En los últimos años se ha avanzado notablemente en los métodos de proyecto y existe un gran interés en la confrontación de los estudios con los resultados obtenidos en los tramos experimentales, especialmente en el ensayo AASHO, que ha sido el más completo y representativo.

La investigación de los sistemas multicapas a partir de las teorías de Boussinesq y Burmister, se ha proseguido principalmente en Francia y en la URSS, y ya existen referencias españolas (4) y (12) de los trabajos del profesor checoslovaco Kucera sobre la generalización de resultados del citado ensayo, confirmando los valores deducidos del cálculo racional, lo que representa una contribución importante al avance del problema.

El Dr. Kucera, Ingeniero Civil desde 1932 y doctorado en 1948 en Geotécnica aplicada a la carretera, estuvo afecto durante sus diez primeros años de carrera a los Servicios de Construcción y Conservación, donde adquirió una gran experiencia práctica sobre el comportamiento de los firmes. En 1943 fue destinado al Instituto de Investigaciones de Ingeniería Civil de Bratislava, y desde 1955, en que empezaron a aplicarse los nuevos métodos de cálculo de pavimentos con la llegada de las primeras informaciones extranjeras, se dedicó al estudio de las teorías de dimensionado, con amplia investigación de suelos y materiales, así como propuesta y desarrollo de normas de ensayo.

La correlación de resultados en el laboratorio y en tramos experimentales con tráfico artificial programado, así como la auscultación dinámica de pavimentos, han sido objeto de su paciente y fructífero trabajo dado a conocer en más de 80 monografías y comunicaciones de simposios y congresos de técnica vial.

Conocimos al profesor H. Hekela, adjunto de Kucera, en la Conferencia de Bad Meinberg de 1965, y a partir de entonces hemos seguido la interesante labor de estos investigadores checoslovacos sobre el dimensionado de firmes para carreteras y aeropuertos.

Debo hacer constar en estas líneas, con mi agradecimiento, el vivo deseo del profesor Kucera de publicar sus trabajos en España, lo que inicia con el artículo que prologamos, que muy complacidos hemos vertido al castellano, cuidando escrupulosamente de respetar nuestra terminología de la especialidad, en honor a una clara comprensión sin ambigüedad de matices.

sinopsis

Se refiere el presente artículo al método teórico - experimental de dimensionado de pavimentos flexibles, deducido del cálculo racional, resultados del ensayo AASHO e investigación llevada a cabo por el Prof. Kucera, para su adaptación a las condiciones singulares de cada caso.

El autor describe la pista experimental que utiliza actualmente e incluye los ábacos de cálculo a partir del tráfico y características de la explanada y el firme.

El artículo se refiere al cálculo estático del firme recurriendo a una solución experimental en la que se considera el efecto de las cargas del tráfico, las características climáticas de la zona de emplazamiento y las estructurales del firme. La correlación de resultados de laboratorio y tramos de ensayo permite determinar los parámetros de aplicación.

El autor expone la comprobación del método, describiendo con detalle la disposición de la pista de ensayo. Por el interés actual del tema, no dudamos que esta publicación será bien acogida por los ingenieros españoles, que agradecerán la deferencia que el ilustre profesor checo ha mostrado por nuestro país.

OLEGARIO LLAMAZARES
Ingeniero de Caminos.

1 Introducción

La investigación sobre los métodos de dimensionado de firmes flexibles es una preocupación dominante en los Departamentos de Carreteras de los países desarrollados. Algunos gobiernos han invertido cantidades ingentes en ensayos en verdadera magnitud, y entre ellos puede citarse como ejemplo aleccionador y básico en el avance de esta técnica, los Estados Unidos con sus tramos experimentales de Maryland, WASHO y AASHO.

En Europa, principalmente en Francia y la Unión Soviética, se ha preferido seguir el cálculo racional partiendo de las teorías clásicas de los sistemas multicapas. Otros países han optado por la interpretación de los resultados experimentales de los grandes ensayos con vistas a la adaptación a sus circunstancias específicas de tráfico y ambiente.

Finalmente, indicaremos que en la mayoría de los países se dimensionan los firmes con métodos empíricos basados en datos estadísticos y en la experiencia del proyectista.

Este último procedimiento puede ser solamente admisible en caso de tráfico ligero de poco crecimiento, pero de ningún modo para un tráfico pesado con gran incremento de las cargas por eje.

Las ventajas e inconvenientes de la aplicación de uno u otro tipo de métodos son bien conocidos. Los métodos de cálculo racional o teórico tienen la ventaja de su aplicación universal, pero se limitan a la determinación de tensiones. Ahora bien, el dimensionado de un firme de carretera es un problema más completo, que debe resolverse en su integridad, si bien algunos fenómenos pueden estimarse sólo experimentalmente, como por ejemplo las variaciones estacionales de la explanada, el efecto dinámico de las cargas, el período de servicio, etc.

En Checoslovaquia nos ocupamos desde hace muchos años del problema de dimensionado de firmes, que hemos estudiado teórica y experimentalmente: en el laboratorio, con modelos a escala natural sobre el terreno, en los tramos experimentales de las carreteras existentes y, por medio de dispositivos especiales, con los que se imita el tráfico real. El terreno, clima y demás condiciones de nuestro país difieren sustancialmente de los de otros Estados que realizan investigaciones extensas en el campo del dimensionado de firmes, de manera que nos vemos obligados a comprobarlas y adaptarlas a nuestras condiciones ambientales. Esto es lo que se ha hecho especialmente con la aplicación de los resultados obtenidos en los tramos experimentales de la AASHO.

En el presente trabajo nos proponemos informar sobre los problemas más importantes relacionados con el dimensionado de firmes flexibles, el modo como han sido resueltos en nuestro país y la investigación realizada con el fin de comprobar el método de dimensionado adoptado.

2 Criterio de proyecto

En los organismos técnicos de España, gracias a una serie de publicaciones, las más importantes de las cuales se citan en las referencias (1), (2), (3), (4), (5) y (6) se tiene un conocimiento completo de los métodos de dimensionado, de manera que puedo tratar directamente del tema sin previa exposición informativa.

Para el dimensionado de firmes flexibles hemos empleado la teoría de deflexiones de Burmister (7) para un sistema multicapa, adaptado para el sistema bicapa por Odemark (8), para el sistema tricapa por Jones (9) y para el sistema de cuatro capas a base de las medidas realizadas en los modelos en el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Civil (IIIC) de Bratislava (10). Los detalles acerca de la aplicación del coeficiente de deflexión para determinar el espesor de las capas, al conocer su calidad expresada por medio del módulo de elasticidad, así como ejemplos prácticos, pueden verse en una publicación española (4).

En este artículo se expondrán solamente las ventajas de este cálculo «estático» del firme flexible. El esquema de aplicación de la carga es claro, teóricamente correcto y expresado por valores que pueden medirse tanto en el laboratorio como en obra. El módulo de elasticidad de los materiales integrantes del firme y de la explanada correspondiente a solicitaciones de poca duración, debidas al paso de un camión, representa, excepto por influencia de la temperatura en caso de mezclas asfálticas, una constante que inequívoca y sensiblemente determina la calidad de la capa y cada desviación de los valores prescritos para la compactación, granulometría, humedad, etc.

Y aun cuando, por cualquier causa, no se usen los módulos de elasticidad determinados, tenemos siempre la «deflexión admisible» del firme bajo el eje-patrón adoptado para el proyecto, como un criterio fidedigno de la capacidad portante del firme que representa, al fin y al cabo, una medida de su resistencia para soportar las repeticiones de las cargas, según se verá más adelante.

Por tanto, no es necesario subrayar la ventaja de un cálculo general y teórico de las capas integrantes del firme.

El inconveniente consiste, sin embargo, en las interpolaciones de los valores del coeficiente de deflexión en los sistemas tricapa y de cuatro capas. Utilizamos en este caso una interpolación gráfica. Para la aplicación práctica se reproduce aquí el diagrama de Odemark del sistema bicapa (fig. 1). En la literatura pueden hallarse tablas completas indicando valores del coeficiente F para los sistemas de cuatro capas (10) y tricapa (11).

A pesar de haber sustituido en el cálculo estático los módulos de elasticidad para una carga de poca duración que corresponden a una pasada lenta del vehículo, no se resuelven de esta manera cuestiones complejas relativas a la dinámica del tráfico de vehículos que corresponden al concepto de «dimensionado dinámico del firme». El estudio se refiere al comportamiento del firme durante el período de servicio, o sea, su resistencia al paso de las cargas repetidas, con los correspondientes fenómenos de fatiga. El problema no se puede, por ahora, resolver de modo teórico o racional y recurrimos en este caso a una solución experimental. Trátase de problemas como son: presión de contacto, presión equivalente, efectos de los vehículos de ejes múltiples, efectos dinámicos, equivalencias para la reducción de los efectos de diferentes vehículos al vehículo patrón o de proyecto —por lo que se refiere a las cargas— y además de esto, los cambios estacionales, la calidad de las capas integrantes del firme y la explanada, o sea, su capacidad portante, cir-

Fig. 1. Diagrama que define el «coeficiente de deflexión», en función de los parámetros de forma y calidad dependientes del espesor y de los módulos de elasticidad de las capas.

Fig. 2. Diagrama para la determinación del «coeficiente de deflexión», en función del tráfico a soportar durante el período de servicio y la capacidad portante de la explanada. Para el cálculo se considera también el índice de servicio (PSV).

cunstancias atmosféricas regionales y sus influencias sobre el firme y, por fin, el crecimiento y composición del tráfico, frecuencia y reparto de los vehículos en la sección transversal de la vía, etc. El ensayo AASHO constituye una respuesta exhaustiva a todas estas cuestiones y ha sido descrito con todo detalle en una serie de informes y monografías. No obstante, el resultado de este costosísimo ensayo es sólo aplicable para las condiciones específicas de su caso, es decir, una cierta explanada, condiciones climáticas, cierta composición estructural del firme, cierto tráfico, etc. Solamente los tipos de vehículos ofrecen un amplio muestrario. Si las condiciones del firme de la AASHO pueden tomarse como medias en el aspecto geotécnico y climático para un determinado caso, entonces obtenemos del gráfico resultante los siguientes datos: índice de espesor-número de pasadas de tráfico, reducciones del efecto de un tipo de vehículo a otro, y podemos estimar las correlaciones válidas con bastante exactitud. En nuestro estudio adoptamos el vehículo que se presenta en la mayoría de los casos —o sea, el que tiene una carga en el eje posterior de 10 Mp (*)— como el de proyecto, y a éste reducimos el efecto de otros vehículos, según la composición del tráfico.

En la literatura de referencia (4) y (12) ha sido descrita la manera de cómo ha sido sustituido el «índice de espesor, D », del firme AASHO por el «coeficiente de deflexión, F », según la teoría de Burmister para un sistema multicapa.

En nuestro caso hemos obtenido una relación del coeficiente de deflexión, F , entre el número de pasadas del vehículo de proyecto y la carga por eje de 10 Mp. Nuestro gráfico (fig. 2) muestra la relación básica: calidad de firme-número de pasadas de tráfico, calculada para las diferentes capacidades portantes de la explanada, expresadas por el módulo de elasticidad medio anual, según la fórmula general siguiente:

$$F_n = F \frac{E_{n-\text{primavera}}}{150} \quad [1]$$

(*) Siguiendo la notación del trabajo original, las presiones y cargas se expresan en kilopondios (Kp) y miriapondios (Mp).

con la siguiente notación:

F_n = coeficiente de deflexión para una explanada con capacidad portante media anual n ;

F = coeficiente de deflexión según la ecuación básica de la curva de proyecto:

$$\log N = 18,528 - 5,788 \log (1,000F);$$

$E_{n-\text{primavera}}$ = módulo de elasticidad de la explanada, en primavera, que es naturalmente inferior.

La curva básica de proyecto, cuya expresión se ha transcrito arriba, no representa en el fondo más que la curva de proyecto para las circunstancias de la explanada del ensayo AASHO, es decir, un módulo de elasticidad medio anual de 200 Kp/cm² y el módulo con valor mínimo de 150 Kp/cm² que corresponde a la primavera. Ciertamente es que el diagrama (fig. 2) vale para las circunstancias centroeuropeas de los suelos de explanada comprobadas por estadística, y para la reducción de la capacidad portante de la explanada a un valor mínimo que corresponde a la primavera, indicado entre paréntesis en el gráfico. En caso de que los suelos de la explanada tengan módulos de elasticidad medios diferentes a los que figuran en el diagrama, hay que calcular el coeficiente correspondiente, es decir, el coeficiente de deflexión, F_n , aplicando la fórmula [1]. Normalmente, se determinará el valor F_n con ayuda del diagrama (fig. 2) para el tráfico dado y la capacidad portante media anual de la explanada. Debe recordarse que la figura 2 es válida para una carga por eje de 10 Mp y para un índice de servicio PSI (Present Serviceability Index) de 1,5.

Las ventajas del método indicado son evidentes. Podemos dimensionar un firme para cualquier tráfico y para cualquier tipo de explanada. El coeficiente de deflexión, F , representa un parámetro dependiente del tipo y espesor de las capas. Una solución satisfactoria se halla en las tablas de las deflexiones para los sistemas trípica y de cuatro capas, donde podemos elegir los módulos de elasticidad según la composición geológica y estructural del firme. De esta manera se relaciona el cálculo racional para un sistema solicitado por cargas estáticas con los resultados experimentales para un tráfico dado y un período de servicio del firme. El método descrito incluye automáticamente la deflexión admisible en el período más desfavorable de la primavera que corresponde a las deflexiones del pavimento en los tramos del ensayo AASHO y que oscila entre 0,65 y 1,05 mm, según tipo estructural y categoría de la carretera. Anotemos que se trata de una deflexión causada por un efecto de poca duración (hasta 1 s) de una carga por semi-eje de 5 Mp y presión de inflado de 6,5 Kp/cm². Las desventajas se tratarán en el epígrafe siguiente.

3 Comprobación del método de proyecto

Aun cuando el método de proyecto es un método general, las relaciones entre el firme y el tráfico durante el período de servicio han sido derivadas de las condiciones del ensayo AASHO. Las características de los tramos que tengamos que proyectar no serán las mismas. La variación de la capacidad portante a lo largo del año (la llamada «función estacional») será sustancialmente diferente, el tráfico regular y programado para los dos años del ensayo AASHO no corresponderá al tráfico medio durante el período de servicio del firme (15-20 años), etc. En otros términos, el método requiere más investigación y comprobación práctica.

El Instituto de Investigaciones de Ingeniería Civil de Bratislava lleva a cabo la comprobación del método descrito mediante investigación experimental en el laboratorio y en el campo. Esta prospección en el terreno se efectúa simultáneamente auscultando los tramos experimentales de las carreteras de tráfico pesado en servicio y en una pista circular experimental, en la cual se mantiene un tráfico pesado artificial.

La pista circular, que tiene un diámetro de 32 m en el eje de la calzada, fue construida en el patio del Instituto en el año 1963. La longitud de la pista, medida en su eje, es de 100,5 m, lo que permite establecer 6 u 8 trozos de diferente sección estructural. El suelo de la explanada puede sustituirse hasta la profundidad de 1,5 m bajo la rasante del firme, habiéndose dispuesto un sistema de drenaje longitudinal para la evacuación de las aguas infiltradas.

El ancho útil de la pista es de 9 m, 6 m para calzada y el resto para arcenes, bermas y cunetas, lo que se adaptará para cada programa de investigación. En la figura 3 se ofrece una vista general de la pista experimental, junto con el edificio de mando, desde el cual se realiza el control a distancia. En esencia, la maquinaria de la pista consiste en un bastidor, brazo, espiga y cable conductor con una caja de mando y cuadro de control. El bastidor es un chasis de trolebús, acondicionado y reforzado al efecto. En la parte delantera y trasera del chasis se han dispuesto ruedas auxiliares para que el equilibrio del bastidor esté asegurado aun cuando tenga montado sólo un eje, como en nuestro caso. Huelga decir que pueden montarse también dos ejes o todo el bastidor del camión. El brazo giratorio que lleva el bastidor se compone de dos tubos de acero de 10 mm de diámetro, ajustables longitudinalmente mediante las correspondientes juntas para cubrir por completo el ancho de la calzada. Todo el ancho de la sección puede estar cubierto por el tráfico, como es el caso de un firme real. El brazo giratorio lleva un dispositivo que ajusta automáticamente su longitud, sirviéndose del principio de servomotor (tornillo sin fin-tuerca-husillo). La espiga del brazo giratorio está fijada a una placa de apoyo de 1.100 mm de diámetro, que se encuentra anclada por medio de 8 tornillos en una base de hormigón.

La espiga lleva un cojinete de bolas, reversible, de doble fila, de 200 × 340 × 112 mm de diámetro, facilitando así la pasada sobre roderas y otras irregularidades del pavimento. La corriente derivada de la línea de transporte pasa a la caja de distribución en el edificio de mando, y desde ésta, por conducción enterrada, sigue al brazo y bastidor. El cuadro de mando, que se encuentra en el edificio, está dotado de todos los pulsadores e interruptores necesarios. En el panel del cuadro están los instrumentos de control y medida, y desde este punto puede verse toda la pista.

Fig. 3. Pista experimental y edificio de mandos del Instituto de Ingeniería Civil de Bratislava (Checoslovaquia).

Contigua a la cabina con el cuadro de mando hay otra cabina, donde se alojan los dispositivos de medida necesarios para la investigación realizada en la pista. La conducción desde los instrumentos de medida, colocados en la explanada y en el firme (termómetros, higrómetros, deflectómetros, indicadores de tensión, cajas de presión, etc.), se concentra en pequeñas cámaras y están conectados por medio de los correspondientes cables al cuadro de instrumentos. Este cuadro es accesible por ambas partes del lado posterior con el objeto de facilitar la conexión de los instrumentos, y del lado anterior para maniobrar y hacer las lecturas. No obstante, la mayoría de los instrumentos están dotados de registro automático.

Los detalles pueden verse en las figuras 5 y 6.

En cuanto al servicio de la pista, es interesante indicar que puede alcanzarse una velocidad de marcha de hasta 65 km/hora, de manera que, por ejemplo, un programa de un millón de pasadas de tráfico puede resolverse en un servicio de dos turnos en un período de diez meses, y sobra tiempo para reparación, verificación y limpieza de los mecanismos.

Un millón de pasadas de un eje de 10 t es equivalente al tráfico de diez años en una carretera real, de intensa circulación.

Actualmente, en la pista se ensaya un pavimento de hormigón asfáltico de alta calidad sobre tres clases de base (base asfáltica, base de suelo-cemento y macadam de penetración con tres diferentes espesores), y el programa de investigación prevé hasta dos millones de pasadas de un eje de 10 Mp. Por ahora se estudian: el PSI del firme, capacidad portante por medio de varios métodos (viga de Benkelman, deflectómetro óptico, auscultación por vibración, etc.), las propiedades del pavimento, de las capas de base y de la explanada (humedad, granulometría, grado de compactación, estabilidad, etc.). A base de estos valores se sigue la evolución de PSI, variaciones estacionales y otras variables de manera que será posible al terminar el ensayo, quizá con destrucción de algunos tramos, determinar algunos coeficientes y parámetros del método de proyecto.

Sin embargo, esto no constituye el camino único hacia el conocimiento detallado del comportamiento del firme que debe soportar un tráfico pesado. Simultáneamente, en el marco de una amplia investigación de laboratorio se estudia el fenómeno de fatiga del pavimento de hormigón asfáltico sujeto a la acción de cargas repetidas. De acuerdo con el análisis de la capacidad portante de los firmes dimensionados según la teoría del sistema tricapa y de cuatro capas resulta que con el cre-

Fig. 4. Carretón de carga con un eje de 10 toneladas.

Fig. 5. Cuadro de control en el edificio de mando.

cimiento progresivo de la resistencia de las capas de abajo hacia arriba, es la capa de mayor resistencia estructural la que de manera más eficaz contribuye a la capacidad portante, o sea, en este caso, el pavimento asfáltico. Al fin y al cabo, esto es bien conocido después del análisis de los resultados del ensayo AASHO. Hemos formulado una teoría que puede enunciarse del siguiente modo: «El periodo de servicio del firme, expresado por el número de pasadas del vehículo de proyecto, representa un cierto

Fig. 6. Dispositivos de control y medida de resultados del ensayo en la pista experimental.

múltiplo del número de los ciclos necesarios en el laboratorio para romper la vigueta extraída del pavimento y sometida a un esfuerzo de flexión repetida». La expresión matemática de esta teoría será:

$$N = \delta \cdot N_0 \quad [2]$$

con la siguiente notación:

N = número de pasadas del vehículo tipo hasta conseguir la destrucción del firme;

N_0 = número de ciclos necesarios para romper una vigueta extraída del pavimento y sometida a un esfuerzo de flexión en el laboratorio;

δ = coeficiente de transformación.

La medición de la fatiga en el laboratorio se hace de tal modo que una vigueta de $5 \times 5 \times 30$ cm se somete a un esfuerzo de flexión regular con la misma deformación, ϵ , que en el firme bajo la carga del vehículo. Los resultados son muy interesantes.

En el gráfico de la figura 7 se han llevado todos los datos disponibles de mediciones de fatiga en mezclas asfálticas. Se ha empleado la representación de Pell (13), es decir, llevando el número de las cargas repetidas en escala logarítmica al eje de abscisas, y la deformación, ϵ , al eje de ordenadas. Solamente en dos casos fue posible establecer la comparación de la rotura de la vigueta con el efecto del tráfico (líneas 6 y 7). Las mediciones 6 fueron llevadas a cabo por Lucas, Bazin y Saunier (14) en los ensayos de la Shell; en una pista de laboratorio de 3 m de diámetro sobre una plancha de acero sometieron la misma mezcla al efecto de las cargas rodantes hasta conseguir su destrucción. El coeficiente de transformación en este caso resultó aproximadamente:

$$\delta = 80.$$

De las mediciones realizadas en el laboratorio de nuestro Instituto y en la pista circular (líneas 7) se obtuvo el coeficiente de transformación:

$$\delta = 3.$$

Este coeficiente es válido para un firme real, sobre una explanada de poca capacidad portante —en el tiempo del ensayo, el módulo de elasticidad del suelo de explanada era $E = 100 \text{ Kp/cm}^2$ (suelo arcilloso con alto contenido de humedad), mientras en el caso del ensayo de la Shell se trataba de hormigón asfáltico, colocado sobre una plancha de acero.

El sistema de determinar en el laboratorio el período de servicio de un pavimento a base de mediciones de fatiga de la mezcla, en la forma que acabamos de describir parece muy prometedor. El coeficiente de transformación, δ , será dependiente de la rigidez del firme, capacidad portante de la explanada, condiciones climáticas y otros factores, estimando que oscilará entre 2 y 10, según las circunstancias que concurren en el caso. No obstante, el problema requiere todavía una mayor investigación y a ella se dedica en nuestro país la atención que merece.

4 Conclusión

En el presente trabajo, en cuanto permite la forzosa limitación de un artículo, hemos tratado de exponer brevemente la investigación que en el campo del dimensionado de firmes flexibles se ha llevado a cabo en Checoslovaquia.

La base racional del cálculo estático de las capas integrantes del firme según la teoría del sistema multicapa ha sido complementada con la investigación experimental realizada en los tramos del ensayo AASHO, estableciendo una mutua correlación de resultados. Este método de dimensionado se comprueba en la actualidad en el laboratorio, tramos de ensayo y pista circular experimental con tráfico artificial, aplicando una carga de 10 Mp por eje. De esta manera se determinan algunos parámetros de las curvas de proyecto y se descubren y aproximan las relaciones existentes entre la calidad del firme y su resistencia a las cargas repetidas del tráfico con vistas a fijar el período de servicio para unas sollicitaciones externas y unas condiciones estructurales del firme y su infraestructura.

referencias

- (1) LLAMAZARES, O.: "Refuerzo de firmes flexibles". Revista de Obras Públicas. Abril 1960.
- (2) LLAMAZARES, O.: "El dimensionado de firmes flexibles en la moderna técnica de carreteras". Revista de Obras Públicas. Enero 1962.
- (3) VELÁZQUEZ, M.: "Un nuevo método para la determinación de espesores de firmes asfálticos". Revista de Obras Públicas. Mayo 1964.
- (4) LLAMAZARES, O.: "Sobre el cálculo de pavimentos flexibles". Revista de Obras Públicas. Enero 1966.
- (5) LLAMAZARES, O.: "Dimensionado del refuerzo de pavimentos flexibles a partir de las deflexiones determinadas con la viga de Benkelman". Informes de la Construcción. Mayo 1966.
- (6) LLAMAZARES, O.: "Proyecto de firmes flexibles por el método AASHO". Revista de Obras Públicas. Julio 1966.
- (7) BURMISTER, D. M.: "The general theory of stresses and displacements in layered systems". Journal of Applied Physics, 1945.
- (8) ODEMARK, N.: "Investigations as to the elastic properties of soils and design of pavements according to the theory of elasticity". Meddelande, 77. Stockholm, 1949.
- (9) JONES, A.: "Coeficiente de deflexión del sistema tricapa en el artículo de: Ph. LEGER: "Resumé sommaire des différentes méthodes actuellement en vue du dimensionnement des chaussées". Bull. de Liaison des Ponts et Chaussées. París, 1965, Sepc. No. B.
- (10) KUCERA, K.: "Die Ausnützung der Ergebnisse des AASHO — Tests für mitteleuropäische Verhältnisse". Der Strassenbau. Julio 1965.
- (11) KUCERA, K.: "Die Genauigkeit der Belastungsprüfung bei Strassenbefestigungen mit einer Kreisplatte". Der Strassenbau. Febrero 1966.
- (12) LLAMAZARES, O.: "La conferencia internacional de Bad Meinberg". Carreteras. Mayo 1965.
- (13) PELL, P. S.: "Fatigue characteristics of bitumen and bituminous mixes". Proc. Int. Conf. Ann. Arbor. Michigan, 1962. S. 310.
- (14) LUCAS, M.; BAZIN, P., y SAUNIER, J.: "Essais de fatigue sur enrobés bitumineux". Revue Général des routes et des aérodromes. 1965. No. 404.

Recherche sur le dimensionnement des revêtements souples en Tchécoslovaquie

K. Kucera, Dr. ingénieur

Cet article se rapporte à la méthode théorique expérimentale du dimensionnement des revêtements souples, déduite du calcul rationnel, des résultats de l'essai AASHO et de la recherche réalisée par le Prof. Kucera, pour son adaptation aux conditions singulières de chaque cas.

L'auteur décrit le tronçon routier expérimental actuellement en service et inclut des abaques de calcul à partir du trafic et des caractéristiques du terrain de base et du revêtement.

Research on the design of flexible pavements in Checoslovakia

K. Kucera, Dr. eng.

This paper deals with the theoretical and experimental methods of designing flexible pavements, based: on rational calculation; on the ASSHO test results and on the research carried out by professor Kucera, to adapt these results to particular circumstances.

The author describes the experimental pavement which he uses currently, and there are also sets of charts to determine the design in terms of the amount of traffic, and type of ground.

Untersuchung über die Dimensionierung von elastischen Strassendecken in der Tschechoslovakei

K. Kucera, Dr.-Ing.

Vorliegender Artikel bezieht sich auf die theoretisch-experimentelle Dimensionierung von elastischen Strassenbelägen, abgeleitet von der rationalen Berechnung, den Resultaten des AASHO-Versuches und der von Prof. Kucera durchgeführten Untersuchung zu ihrer Anpassung an die besonderen Verhältnisse eines jeden Falles.

Der Autor beschreibt die Versuchsbahn, die er gegenwärtig benützt, unter Einschluss der aufgrund des Verkehrs aufgestellten Rechentafeln und der Merkmale der Applanierung und der Strassendecke.