

Consideraciones generales sobre diseño de pavimentos *asfálticos*

Pág. 94 – 110

Juan Pattillo B.

Ingeniero Civil, M.Sc., Profesor Tecnología del Asfalto, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

RESUMEN: en el presente trabajo se presenta un análisis, desde un punto de vista global, de las distintas estructuraciones que existen para el diseño de los pavimentos flexibles. Se analiza la influencia de sus parámetros solicitantes, tránsito y clima, y sus parámetros resistentes. Se indican las tendencias que han seguido, con el tiempo, los distintos métodos de diseño y como ellos han ido variando a medida que se integran nuevos elementos de juicio, posibles de cuantificar con el avance tecnológico actual. Finalmente, se recomienda analizar con mayor detalle el tipo de estructuración más conveniente para utilización en nuestro país, cuando la solución de diseño sea un pavimento flexible.

I. INTRODUCCION

Se denomina pavimento a la estructura que recibe a las solicitaciones de tránsito y clima y las traspasa a la sub-rasante, repartidas de manera que éste pueda soportar tales solicitaciones sin sufrir deformaciones, durante un período determinado de tiempo (vida útil). En la Figura N°1 se indica esquemáticamente esta definición.

La estructura del pavimento está compuesta de diferentes capas, dispuestas en forma tal, que pueda realizar las funciones para lo cual fue diseñada de manera eficiente y económica. Por esta razón los pavimentos se definen como estructuraciones multicapas.

1.1 Pavimentos rígidos

Son los compuestos por los siguientes elementos:

- losa de hormigón de cemento hidráulico de un espesor importante, que absorbe la carga del tránsito traspasándola a la sub-base y al terreno natural. Su repartición es aproximadamente uniforme en la parte inferior de ella,
- juntas con o sin traspaso de carga y
- sub-base sobre la cual se apoya la losa (1).

1.2 Pavimentos flexibles

Son aquellos en que sus capas constitutivas tienen bajos valores de resistencia a la flexo-tracción, absorbiendo las solicitaciones mediante su resistencia al esfuerzo de corte, dependiendo del espesor y calidad de estas

capas, la distribución de la carga superficial hacia el terreno natural. En general la calidad resistente de las capas disminuye a medida que aumenta su distancia (profundidad) de la rasante (plano que recibe las sollicitaciones de tránsito). En los pavimentos flexibles se distinguen tres tipos generales de estructuración:

- pavimentos flexibles con capas estructurales de mezclas asfálticas que aportan capacidad de soporte al total de la estructura.
- pavimentos flexibles cuyas capas asfálticas (tratamientos asfálticos) no aportan capacidad de soporte a la estructura.
- pavimentos flexibles compuesto sólo por capas granulares.

Por lo general, estos pavimentos están formados por una carpeta de rodado, base, sub-base y material sub-rasante.

El presente trabajo abordará en una forma general los conceptos que rigen la estructuración de un pavimento flexible, sin entrar a profundizar la descripción de los distintos métodos de cálculo que actualmente se encuentran disponibles para los Ingenieros especialistas en este tipo de diseño.

II. CAPAS ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

De las tres modalidades de pavimentos flexible, las dos modalidades de estructuración con pavimento asfáltico son de igual calidad técnica para resolver la problemática de un pavimento flexible y la tercera modalidad es sólo para caminos de bajo tránsito. Si las ordenamos según su costo para nosotros, tenemos:

Modalidad 1 Pavimentos estructurados en base a capas granulares.

Modalidad 2 Pavimento estructurado en base a capas asfálticas que no aportan estructuras.

Modalidad 3 Pavimento estructurado en base a capas asfálticas con espesor importante.

2.1 Pavimentos estructurados en base a capas granulares

Esta estructuración, es básicamente utilizada en caminos de bajo tránsito y representa la estructuración más económica. Su vida útil termina cuando su costo de mantención excede al costo de elevar su estándar a la estructura siguiente (2). Básicamente queda representada por el esquema indicado en la Figura N°2.

2.2 Pavimento estructurado en base a capas asfálticas que no aportan estructuras

Esta estructuración considera, de arriba hacia abajo, un tratamiento superficial asfáltico, base estabilizada, sub-base granular y material de sub-rasante. En la Figura N°3 se indica esquemáticamente esta estructuración (3). El total del aporte estructural está dado por las capas granulares. El tratamiento superficial permite un buen comportamiento de ellas, evitando su erosión debido al tránsito e impermeabilizándolas de las aguas superficiales. Evitar que las capas granulares sean influenciadas por la humedad, permite mantener en mejor forma su estabilidad (módulo resiliente). En definitiva, esta estructuración se puede considerar la más estable a los efectos climáticos.

2.3 Pavimento estructurado en base a capas asfálticas de un espesor importante

Este tipo de estructuración ha sido divulgado ampliamente en todo el mundo y su uso está generalizado en nuestro país. Tuvo un gran avance tecnológico después de los estudios obtenidos en la pista de prueba de la AASHTO en Illinois U.S.A. (4). En la Figura N°4 se indican las capas que forma esta estructuración.

Se menciona en este grupo una estructuración que ha sido propuesta y patentada por el Instituto de Asfalto Norteamericano, llamada "Full Depth". En ella se contempla sólo capas asfálticas sobre el terreno natural, considerando un concreto asfáltico para rodado y mezclas de base asfálticas directamente sobre el suelo de fundación (5). En Figura N°5 se esquematiza esta estructuración.

2.4 Comentarios generales sobre pavimentos flexibles

La utilización de cualquiera de las estructuraciones descritas, involucra consideraciones de orden técnico y económico. Técnico por cuanto todas ellas resuelven en forma satisfactoria el traspaso de las cargas inducidas por el tránsito al terreno natural en respuesta a una misma solicitud. El criterio económico queda definido por la mejor utilización de materiales adecuados para su uso en carreteras y que sean de fácil obtención en una determinada zona. Debemos considerar que el comportamiento de las capas granulares, difieren fundamentalmente de las carpetas asfálticas en cuanto a su respuesta a la temperatura y humedad. El uso de ambas estructuraciones han sido desarrolladas de acuerdo a la importancia que el diseñador asigna a los conceptos antes mencionados.

Es así, como países que producen crudos de base asfáltica o que disponían de asfalto a un precio bajo con relación a los precios de obtención del árido, usan preferentemente la modalidad 3. Entre los grupos de países que usan este sistema tenemos a Norte América y Europa. Como se puede apreciar están prácticamente todos los países desarrollados y como una consecuencia de ello es que la mayor parte de la investigación que

actualmente se realiza corresponde a este tipo de solución. En igual forma se puede apreciar que en los congresos sobre pavimentos flexibles de mayor relevancia en el mundo y cuya bibliografía está a nuestro alcance, tratan preferentemente de sistemas y métodos aplicables sólo a este tipo de soluciones.

La modalidad 2 se está usando preferentemente en Australia y Nueva Zelandia, que han desarrollado una alta tecnología en su diseño, construcción y conservación (6,7). Se utiliza en otros países como una solución económica para caminos de bajas solicitaciones de tránsito, dado a que no han desarrollado la tecnología de estos dos países mencionados anteriormente.

Por último, la solución planteada utilizando sólo capas asfálticas sobre la rasante, fue ideada y patentada por el Instituto del Asfalto de Norte América y estimamos que sólo se debe utilizar en casos muy especiales como sería una carencia de materiales granulares gruesos o restricciones de cota que obliguen a una mayor estabilidad con capas asfálticas que absorben rápidamente los esfuerzos inducidos por el tránsito (solución similar a la que se obtiene con el uso de pavimentos rígidos).

Las estructuraciones indicadas en 2 y 3 son tendencias de carácter general y cada una de ellas tiene métodos de diseño de probados resultados, pero pueden efectuarse modificaciones en cualquiera de sus distintas capas cuando se presente un caso especial que así lo requiera. Como un ejemplo de estas singularidades podemos mencionar las estabilizaciones con aglomerantes como cal o cemento que han sido ampliamente divulgadas (grava-cemento fue estudiada en las pistas de prueba de la AASHTO). Conformando la agrupación denominada "Pavimentos semi-flexibles". Los pavimentos semi-flexibles combinan en forma armónica las características relevantes tanto de los pavimentos rígidos como de los flexibles, siendo su comportamiento más asimilable a la estructuración flexible (4) (de aquí su nombre de semi-flexible).

En todo caso debemos insistir en que cualquier estructuración o modificación de ella que se use, debe estar firmemente respaldada por el método de cálculo correspondiente y este método debe estar claramente refrendado por su buen comportamiento del pavimento en la carretera. En otras palabras no se trata de tener una buena imaginación de lo que uno cree que va a suceder, sino más bien debe tenerse un cabal conocimiento del comportamiento y de las limitaciones que tienen los diferentes tipos de materiales a usar y como es su respuesta a las solicitaciones del clima y del tránsito, cuando estos materiales son agrupados en capas y a su vez las capas deben trabajar combinadas formando el pavimento.

III. SOLICITACIONES DE CLIMA Y TRANSITO

Todos los métodos de diseño consideran estas dos solicitaciones, razón por la cual se hará una breve reseña de su influencia en el diseño de un pavimento flexible.

3.1 Solicitación clima

Para los efectos de diseño de un pavimento flexible debemos considerar todos los aspectos que inciden en forma prioritaria en su estructuración, éstos son:

a) Régimen de agua caída: como es de conocimiento general no puede existir un buen diseño, cualquiera que éste sea, si no se tiene un correcto drenaje y evacuación de aguas lluvias. Como regla general podemos indicar que una vez resuelto, el escurrimiento superficial, debe mantenerse la napa freática a una distancia mínima de 1,5 m de la superficie del pavimento.

De acuerdo a esta condicionante, se debe proceder a evaluar cuidadosamente los datos estadísticos entregados por las diversas instituciones nacionales que se han especializado en las mediciones pluviométricas para las distintas zonas del país. Se deberá analizar los antecedentes en forma apropiada para los distintos usos que estos cálculos sean necesarios. Por ejemplo se necesita conocer el total de agua caída máxima por hora, día o mes, según se trate de diseñar cunetas, fosos, obras de arte, sub-drenes, etc. Antecedentes, que pueden estudiarse en el Manual de Carreteras de uso obligatorio por la Dirección de Vialidad (2).

Otro punto que debe estudiarse en relación al agua caída, es la calidad de los terrenos naturales y capas estructurales, ya que el efecto de capilaridad puede hacer variar la humedad de las capas (material de sub-rasante, base y sub-base), más allá de sus límites de humedad óptima, pudiendo ésta aumentar (zonas lluviosas) hasta la saturación o disminuir (zonas desérticas) hasta perder la totalidad de ella. Como puede fácilmente comprenderse, la pérdida o aumento de la estabilidad en un pavimento flexible, estará directamente ligado al régimen de agua caída. Debe tenerse en mente al proyectar un pavimento asfáltico que la carpeta asfáltica impide la evaporación superficial, aumentando con ello la posibilidad de saturación por capilaridad. Por último debemos mencionar la caída de nieve y posteriores heladas. Este tipo de precipitaciones lo tenemos en ciertas zonas del país como las regiones XI y XII y zonas cordilleranas. Las precipitaciones a baja temperatura afecta a los pavimentos superficialmente (pavimentos resbalosos) y en su resistencia estructural por la penetración de heladas en las distintas capas componentes del pavimento. El efecto destructor se manifiesta durante el período de deshielo (4).

b) Efectos producidos por la temperatura: la temperatura es el segundo factor climático que afecta en forma relevante a un pavimento flexible con capas asfálticas.

Los cambios de temperatura afectan al comportamiento de las capas asfálticas ya que éstas varían su estabilidad de acuerdo a las variaciones que producen los cambios de temperatura en la viscosidad del asfalto. Por esta razón las capas asfálticas se denominan termoplásticas y viscoelásticas.

Así tenemos que el Módulo de Elasticidad de una capas asfáltica de rodado puede variar entre 10.000 kg/cm² a 150.000 kg/cm² de verano a invierno y la capa asfáltica de base de 20.000 kg/cm² a 100.000 kg/cm² para las mismas condiciones (8).

Los efectos de temperatura obligan a una buena elección del material asfáltico, para que éste pueda tener un comportamiento adecuado bajo las condiciones imperantes. En general podemos afirmar que el uso de cementos asfálticos de baja penetración se tornan quebradizos con temperaturas muy bajas y que la utilización de cementos asfálticos de alta penetración pierden estabilidad (cohesión) con altas temperaturas.

De lo dicho anteriormente, se puede apreciar la enorme dificultad que significa el estudio del comportamiento de un pavimento de modalidad 3 ya que en su estructuración inciden en forma importante las estabilidades que presentan las mezclas asfálticas debido a su comportamiento termoplástico y viscoelástico.

- agua v temperatura: el efecto combinado de agua y calor se traduce en un deterioro de la parte asfáltica superficial por oxidación del asfalto. La oxidación del asfalto significa la pérdida de su poder cohesivo y su elasticidad, llegando finalmente a manifestarse como un fenómeno de agrietamiento en la superficie de la carretera. Este agrietamiento conducirá a una destrucción más acelerada al pavimento según sea el régimen de agua caída de la zona. Es así como en la zona desértica norte, tiene poca relevancia; en cambio en la zona lluviosa sur, el agua se infiltra por las grietas disminuyendo el soporte de bases y sub-bases.

El efecto del agua y baja temperatura (bajo 0°C) producen un rápido deterioro en bases y sub-bases, motivo por el cual en las zonas que se espera tener penetración de heladas deben considerarse capas granulares drenantes, en forma especial, para evacuar en forma expedita el agua, evitando de esta manera que dichas bases y sub-bases sean dañadas por el hielo.

1. efecto del agua en el rodado: la lluvia, al escurrir sobre una superficie asfáltica, forma una delgada película de agua. Esta película de agua tiende a producir resbalamiento en la superficie de la carretera, razón por la cual se deberá considerar el tipo de textura superficial para evitar este fenómeno (aqua planning). Especial cuidado se deberá tener para evitar exudaciones de asfalto hacia la superficie del camino, por cuanto este defecto tiende a aumentar el resbalamiento por lisura superficial y que en la presencia de agua hace poco seguro el tránsito en la carretera, llegándose a límites de peligro, si las velocidades de éste son altas (3).

2. efectos del clima en la construcción de un pavimento flexible: existen dos aspectos que deben considerarse con relación al clima que inciden en la construcción de un pavimento asfáltico. El primero de ellos es el referente a la imposibilidad de efectuar mezclas asfálticas por limitantes de temperatura y humedad. Estas limitantes están indicadas en todas las especificaciones, de manera que no se hace necesario volverlas a repetir. En todo caso, es conveniente cumplirlas fielmente, si se quiere obtener un resultado satisfactorio (2). El segundo aspecto se refiere al tiempo de duración de las limitantes mencionadas. Al diseñar un pavimento

asfáltico se deberá conocer previamente las posibilidades de su construcción, evitando con ésto los errores tan comunes, de tener que efectuar un pavimento asfáltico bajo condiciones adversas sólo para cumplir con el plazo indicado para un determinado contrato.

Citaremos como ejemplo, si en una determinada época del año se quiere construir un tratamiento asfáltico simple, se deberá contar con por lo menos 20 días de buen tiempo (seco y caluroso) en que este tratamiento simple deberá estar en servicio para obtener un buen resultado. Si no se dispone de este lapso de tiempo, deberá cambiarse el tratamiento simple a uno doble. Este último sólo requiere de 8 días de buen tiempo, dado que el primer riego de gravilla (capa base) tiene un doble recubrimiento lo que le da una mayor sujeción a la piedra en la base estabilizada (6).

De acuerdo a este criterio de tiempo útil trabajable, se ve la conveniencia económica que representa el construir pavimentos de alto rendimiento (tratamientos superficiales, mezclas en frío o capas delgadas de mezclas en caliente) a efectuar diseños tradicionales como el descrito en el punto 2.2, cuando el tiempo apropiado para la ejecución de un pavimento asfáltico es relativamente corto (ej: zona sur de Chile). Desde este punto de vista se hace recomendable hacer un mapa de tiempo disponible para trabajar en mezcla asfáltica para las distintas regiones del país, de esta manera se podrá programar en forma más eficiente el plazo de ejecución de un contrato determinado para una zona en particular.

3.2 Solicitaciones de tránsito

Las solicitaciones del tránsito que recibe el pavimento dependen fundamentalmente de dos factores que afectan a la fatiga del terreno natural y a la fatiga producida en las distintas capas componentes del pavimento.

Estas son:

- volumen del tránsito
- peso por eje de los vehículos comerciales
- presión de inflado

Los dos primeros factores, que son tratados en detalle en el Volumen 3 del Manual de Carreteras (2), deberán ser considerados en todos los métodos de diseño de pavimento, para conocer la respuesta de la capacidad estructural del pavimento y del suelo de fundación con relación al número de pasadas y peso vehicular.

Es de práctica generalizada en todos los países usar la equivalencia del tránsito a un sólo tipo de Eje Estándar. El uso más común, es el propuesto por la AASHTO correspondiente a un eje de 18.000 libras de peso (18 kip, equivalen a 8.193 kg) (4).

Algunos países han preferido usar su eje legal máximo estandarizado de 100 KN por eje simple y 160 a 200 KN para eje tándem, (9). Para, determinar el factor de equivalencia usan la expresión.

$$N = (P/P_0)^4 \quad [1]$$

donde:

n = factor de equivalencia

P = peso del eje cualquiera

P₀ = peso del eje estándar

Esta fórmula es aproximadamente válida para pavimentos asfálticos de la estructuración indicada en la modalidad 3. Algunos autores indican que el exponente puede variar de 3 a 8 dependiendo de la rigidez del total de la estructura. Se considera 4 un valor aceptable para carpetas asfálticas de espesores apreciables (aproximadamente 150 mm) (10).

Con respecto a la presión de inflado de los neumáticos, la carga es transmitida del vehículo al pavimento a través de los neumáticos. Cada neumático reparte la carga que le corresponde a través de su presión de inflado, siendo ésta la presión unitaria que recibe el pavimento.

Para un mismo tipo de neumático dependerá de su presión de inflado la carga unitaria que transmita. Comercialmente, los fabricantes de neumáticos fijan la presión de inflado correcta que corresponde a cada tipo de neumático. La carga unitaria transmitida, por lo tanto, puede ser muy variable dependiendo de la presión de inflado usada en un determinado neumático. La presión de inflado por el área de contacto del neumático da el peso total de la carga sobre el pavimento.

Este peso es el que llega al terreno natural, disminuido de forma tal, que este terreno puede soportar las repeticiones de tránsito estimadas para una vida útil del pavimento. Pero al mismo tiempo las distintas capas del pavimento van absorbiendo esta carga unitaria a través de sus capas componentes. Así tenemos que en la interfase de la primera capa con la segunda capa se producirán las mayores tensiones en la cara inferior de la primera capa y ésta deberá soportarla dentro de su rango "elástico" sin que se produzcan agrietamientos que hagan fallar esta primera capa. Podemos entonces distinguir claramente dos problemas separados.

- la primera capa soporta perfectamente bien la carga directa, por ser ésta muy baja con relación a la estabilidad de dicha capa (calidad de la capa).
- esta primera capa debe ser capaz de absorber las tensiones que se producen en su capa inferior sin agrietarse (espesor mínimo de la capa).

Los criterios aquí planteados indican que cualquier tipo de capa estructural colocado en la parte superior deberá tener un dimensionamiento mínimo que debe calcularse. La presión de inflado del neumático influye directamente a la superficie de la primera capa, siendo su efecto rápidamente disipado en ella, de manera que a

las capas siguientes sólo son influenciadas por el peso total del eje cargado. En todo caso el fenómeno descrito entre la primera y la segunda capa debería en teoría efectuarse en todas las interfases siguientes de manera que pueda comprobar la efectividad del espesor de cada una de ellas.

IV. PARAMETROS RESISTENTES. ESTUDIO DEL TERRENO DE FUNDACION

Una vez estudiados y cuantificados los parámetros solicitantes se deberá estudiar el terreno de fundación para determinar sus cualidades de estabilidad y poder así calcular la estructura del pavimento.

Para realizar este estudio se debe cumplir con dos condiciones. La primera de ellas es que debe ser muy minucioso, dado que la formación del terreno natural es, por lo general, heterogénea. La segunda condición es que se debe reflejar en la forma más aproximada posible a la calidad estructural del terreno, con métodos sencillos de ejecutar y de fácil comprensión. Como se puede apreciar ambas condiciones son opuestas y es en este punto donde se producen las mayores disparidades de criterio y que a la postre hacen la diferencia de tener un buen diseño a tener un diseño deficiente.

Actualmente, se ha generalizado el uso del Ensayo CBR, usado ampliamente en nuestro país desde 1956, y que aunque muy discutido tiene las innegables ventajas de ser un ensayo simple y de fácil implementación.

En las recientes investigaciones para llegar a disponer de un método más racional de diseño (método mecanicista) se está usando los módulos de elasticidad de las distintas capas. El C.B.R. se ha relacionado con los Módulos de Elasticidad (resiliente) del suelo, aceptándose como bueno la relación $E = 100 \text{ C.B.R.}$, para los rangos bajos de C.B.R entre 2% y 10% (11).

V. DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Históricamente se conocen tres diferentes enfoques para resolver el espesor y calidad que debe tener un pavimento flexible.

a) solución matemática: la primera solución que apunta a resolver este problema fue planteada en forma matemática por Boussinesq en 1885 y consideró al pavimento formado por una capa infinita compuesta por un material suelo homogéneo e isotropo, supuesto muy alejado de la realidad.

En todo caso este análisis efectuado por Boussinesq indicó la variación del efecto de las cargas en profundidad, indicando la poca relevancia que se tiene analizar terrenos de fundación más allá de 1 m de profundidad. La comprobación de este primer intento de aproximarse en la solución del complejo problema de un pavimento multicapa, se ha confirmado posteriormente con los métodos de análisis que se efectúan en la actualidad.

Posteriormente Burmister, estudió el problema como un sistema multicapa, planteando las ecuaciones matemáticas que relacionen las diferentes capas de acuerdo a la teoría de la elasticidad. Dada la complejidad de estas ecuaciones trató de resolver un pavimento, compuesto por dos capas (1945) y por tres capas (1947). Las ecuaciones matemáticas resultantes para la solución de este tipo de estructuración, planteadas en 1943, quedaron sin solución y Burmister resolvió su problema con una serie de simplificaciones también alejadas de la realidad.

La solución matemática fue desechada por su poca representatividad dando origen a la solución empírica.

b) solución empírica: este tipo de solución estudia en una pista de prueba diversos tipos de combinaciones de pavimentos bases y sub-bases y de estos estudios se obtienen métodos de diseño, que a lo menos representan los resultados medidos en esa pista de prueba. Es así como primero se construyeron pistas de prueba de Laboratorio para luego pasar a pistas de prueba a escala natural.

La primera pista de importancia fue construida por la WASHO en Idaho U.S.A. en 1954. De los estudios realizados en esta pista se concluyó que era insuficiente por lo cual se programó por la AASHTO una pista en gran escala en Illinois en 1958. De los resultados de esta pista y de consideraciones posteriores se concluyó en un método de diseño que actualmente es usado en nuestro país y que está ampliamente descrito en el Volumen 3 del Manual de Carreteras (2).

Los resultados obtenidos en forma empírica tienen la seria dificultad de la extrapolación, ya que no se conocen las leyes que rigen en definitiva el comportamiento de los materiales. Otra dificultad que presentan estos métodos se refiere a su posible utilización a otros lugares distintos del sitio en que se efectuó la prueba. Diferencias de materiales y climas han dificultado el obtener una buena respuesta del diseño al ser puesto en servicio

La AASHTO trató de solucionar esta dificultad afectando sus valores por un Factor Regional (4). Este Factor Regional debía, en teoría, compatibilizar los resultados obtenidos con el método de diseño AASHTO al ser usado en cualquier otra zona. En realidad el uso de un Factor que compatibilice los resultados obtenidos en Illinois U.S.A. con los resultados que podamos nosotros obtener en Chile, lo convierten en un Factor de una cuantificación muy difícil y es así como a juicio del autor, los resultados de aplicar este método en nuestro medio nos induce a sobredimensionar los diseños. En la actual guía de diseño de la AASHTO (1986) se reemplazó el Factor Regional por otros indicadores que configuran en mejor forma el lugar donde se usará el método indicado en la guía de diseño (1986) (12).

Considerando los problemas involucrados con los métodos empíricos llegamos a un nuevo planteamiento, el método mecanicista.

método mecanicista: este método consiste en resolver la problemática planteada para la solución de una estructuración multicapa de sólidos elásticos por métodos matemáticos y luego calibrar el modelo con mediciones en terreno del comportamiento real del pavimento.

Este método, que actualmente, está siendo analizado a nivel mundial, ha sido posible de implementarse debido a que las relaciones elásticas que rigen a un sistema multicapa ha sido solucionado adecuadamente de dos maneras (10,13):

- solución de las ecuaciones matemáticas basadas en la teoría de la elasticidad.
- método de elementos finitos.

Para ambas soluciones existen diversos programas computacionales que hacen posible su utilización. Debemos destacar, que debido a mayor facilidad de manejo (menor utilización de capacidad computacional) es más factible utilizar (hay en mayor número de programas disponibles) los programas computacionales basado en la solución de las ecuaciones matemáticas de Burmister. Antecedentes de su "modus operandis" han sido planteadas en el seguimiento de pavimentos asfálticos (13).

Debemos dejar establecido que el método mecanicista, que entrega una mejor visión de las complejidades resultantes del estudio de estratigrafías de pavimentos flexibles multicapas, se refiere en lo principal a una comprobación de una estructuración propuesta. En la Figura N°6 se indica un marco conceptual que ilustra los procedimientos que deben considerarse al plantear la solución de un pavimento flexible mediante este método.

VI. COMENTARIOS FINALES

Del análisis de las estructuraciones descritas para distintos tipos de pavimentos flexibles podemos establecer que:

1. las estructuraciones con aporte estructural de mezclas asfálticas (modalidad 3) presentan problemas, tales como: la determinación de módulos de elasticidad, debido a las variaciones de temperatura, espesores mínimos de capas asfálticas, etc, problemas que no se presentan en la estructuración donde las capas asfálticas no aportan estabilidad al sistema (modalidad 2).
2. puede asumirse que el estudio del comportamiento de las capas granulares en el diseño es de menor envergadura que el estudio de las capas asfálticas ya que las primeras sólo son afectadas por el factor humedad.

3. deben estudiarse y cuantificarse las limitaciones constructivas en cada sistema, de manera que su elección responda a los requisitos predominantes en un tiempo y lugar determinado.

Como una conclusión final podemos recomendar una revisión de los modelos de estructuración de pavimentos flexibles usados en nuestro país, ya que disponemos de áridos abundantes y de buena calidad.

REFERENCIAS

1. Yoder, E.J.; Witzak ,M.W. Principles of Pavement Design, John Wiley & Sons, Inc. EE.UU., 1975.
2. Ministerio de Obras Públicas, Manual de Carreteras, Volúmenes 3, 4 y 5, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Santiago, Chile, 1975.
3. Pattillo, J., "Introducción a la Tecnología de los Pavimentos Asfálticos", Instituto Chileno del Asfalto, Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 1985.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, Interim Guide for design of Pavement Structures, EE.UU., 1972 .
5. The Asphalt Institute, Thickness Design-Asphalt Pavements for Highways and Streets, Manual Series N° 1 (MS-1), Tha Asphalt Institute, Maryland, EE.UU.,1981.
6. McLeod, N.W., "A General Method of Design for Seal Coats and Surface Treatments", Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologist, Asphalt Paving Technology, Los Angeles, 1969, Vol. 38.
7. Dickinson, E.J., Bituminous Roads in Australia, Australian Road Research Board, Vermont South, Victoria, 1984.
8. Kraemer, C. y Martínez de Aragón, A. "Análisis de Tensiones y Deformaciones. Estudio de la Fatiga de las Secciones Estructurales de fFrmes Flexibles de la Norma 6.1 I.C.", Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1977.
9. Economic Commision for Europa (E.C.E.), "Effects of heavy vehicles on Roads", Naciones Unidas, Viena, 1985.

10. Monismith, C.L. y Witczak, M.W., Moderator's report, paper in session I, Pavement Design, Proceedings Fifth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, The University of Michigan and the Delfth University of Technology, The Netherlands, August 1982, Vol. II, 2 - 58.
11. Heukelom, W. y Klomp, A.J.G., "Dynamic Testing as a Means of Controlling Pavements During and After Construction". International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, Ann Arbor, August 1962, 667-679.
12. American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO Guide for Design of Pavements Structures, EE.UU., 1986.
13. Pontificia Universidad Católica de Chile, "Plan de Control y Seguimiento de Pavimentos Asfálticos", Informe Anual, 1986, Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Vialidad, Santiago, 1987.

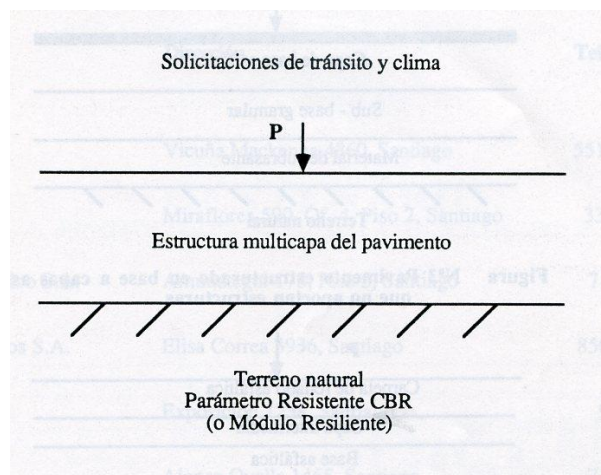


FIGURA N 1 Capas estructurales del pavimento

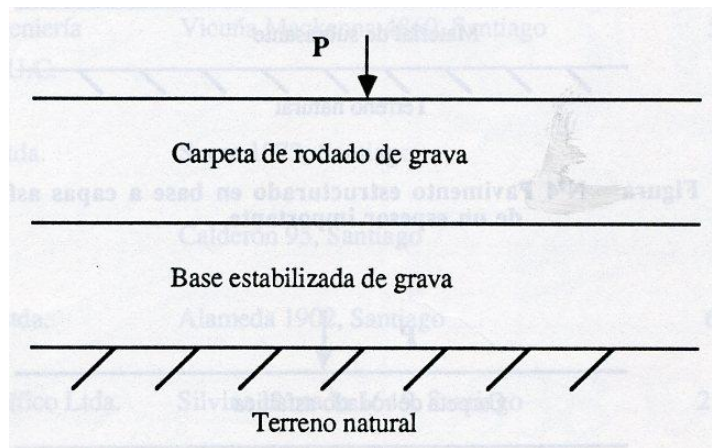


FIGURA N 2 Pavimentos estructurados en base a capas granulares

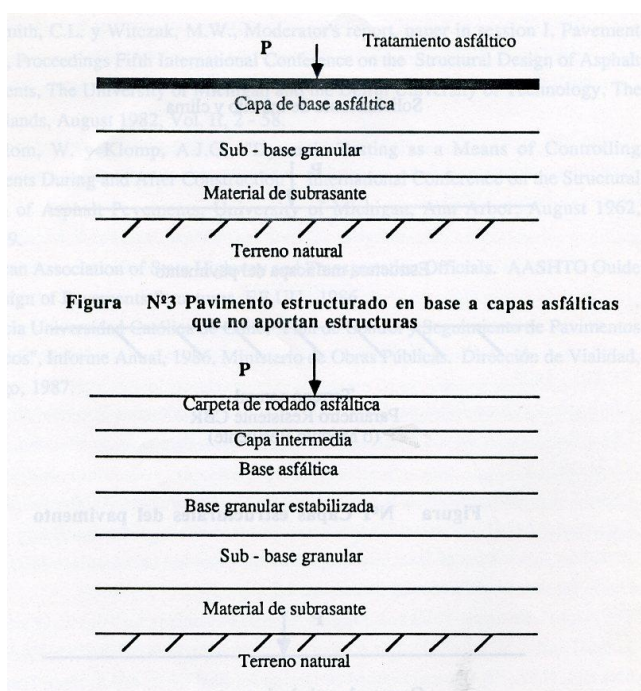


FIGURA N 3 Pavimento estructurado en base a capas asfálticas que no aportan estructuras

FIGURA N 4 Pavimento estructurado en base a capas asfálticas de un espesor importante

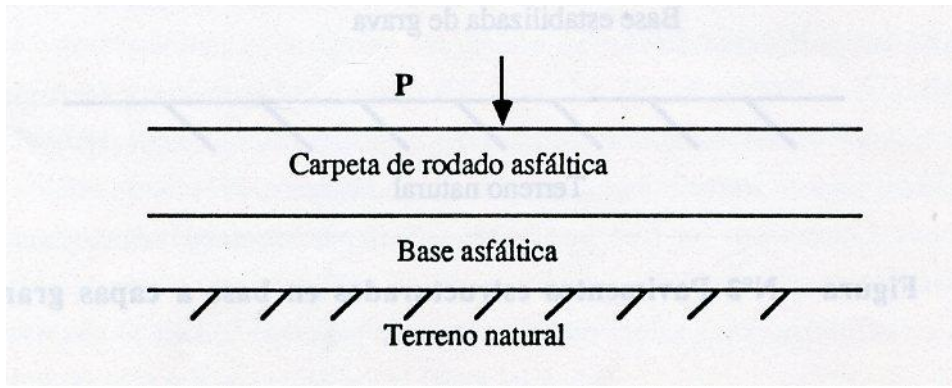


FIGURA N 5 Pavimento estructurado en base a capas asfálticas "Full Depth"