

# EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PAVIMENTO Y COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO DE CAPAS DE REFUERZO ASFÁLTICO

**Por Guillermo Thenoux Z. y Rodrigo Gaete P.**

*Una administración eficiente de una red de caminos requiere de la aplicación de conservaciones oportunas y eficaces. La evaluación técnica del estado del pavimento, tanto desde el punto de vista funcional, como estructural, es el paso fundamental para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas. En especial, la aplicación de capas de refuerzo asfáltico sobre pavimentos deteriorados de asfalto u hormigón, permite solucionar simultáneamente aspectos, tanto de calidad de servicio al usuario (funcionalidad), como de una eventual falta de capacidad estructural. El objetivo del presente trabajo, es el de establecer recomendaciones relacionadas con los diferentes métodos de evaluación técnica del pavimento, y proponer pautas de utilización de las principales metodologías de diseño estructural de capas de refuerzo.*

## **INTRODUCCIÓN**

Una administración eficiente de una red de caminos requiere entre otros aspectos, de la aplicación de acciones de conservación oportunas y eficaces que permitan por una parte mantener el patrimonio vial invirtiendo impidiendo un deterioro no controlado del pavimento, y por otra parte, reducir los costos de operación a los usuarios de estas vías. Toda obra de conservación, especialmente cuando se trata de rehabilitaciones mayores, produce importantes inconvenientes operacionales y de seguridad a los usuarios así como impactos negativos al comercio, servicios, etc.

El problema expuesto, plantea la inquietud de estudiar alternativas de conservación que permitan mantener los pavimentos en un adecuado nivel de servicio al usuario, y por otra reducir a un mínimo los impactos que se producen durante la materialización de estas acciones. Una de las soluciones tradicionales en la rehabilitación de pavimentos está la demolición de la estructura antigua y el reemplazo de esta por una nueva. Alternativamente y más conveniente en muchos casos, están las opciones de diseñar un recapado asfáltico sobre la estructura existente o la reposición parcial o completa de la primera capa estructural a través del frezado. Estas últimas opciones representan grandes ventajas al permitir rehabilitar un pavimento aumentando su capacidad estructural y al mismo tiempo causando un impacto menor en el ambiente y los usuarios al compararlo con una reconstrucción.

El estudio de un proyecto de reconstrucción no presenta la misma problemática que la de un proyecto nuevo ya que no solo se requiere estudiar en detalle la capacidad de soporte del suelo de fundación sino que además se debe analizar las condiciones estructurales en que se encuentra el pavimento antiguo existente. La confiabilidad del diseño de las capas de refuerzo o recapado estructural estará entonces directamente relacionada con el diagnóstico previo de la capacidad estructural presente del pavimento existente y la estimación de su vida remanente.

El presente trabajo tiene como objetivos principales los siguientes:

- a) Presentar un resumen de los principales conceptos que se manejan en proyectos de rehabilitación de pavimentos.
- b) Describir los métodos y dispositivos (equipos) más importantes utilizados para la evaluación del pavimento.
- c) Comparar los diferentes métodos de cálculo de recapado con asfalto tanto recapados sobre hormigón como recapados sobre asfalto.

## **EVALUACIÓN TÉCNICA DE PAVIMENTOS**

La evaluación técnica del estado del pavimento, tanto desde el punto de vista del nivel de servicio que otorga al usuario, como de la capacidad de resistir las solicitaciones de cargas durante un periodo de su vida útil (\*), es el paso fundamental para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas en el pavimento a evaluar. El diagnóstico de las condiciones del pavimento comprende básicamente una evaluación del estado funcional del pavimento y una evaluación de las condiciones estructurales de este.

(\*) Nota: Se entiende por vida útil, el número acumulado de ejes equivalentes que soportará el pavimento en los años de vida de diseño. El número ejes equivalentes de diseño tiene además asociado una coeficiente de confiabilidad que puede ser desde un 50% hasta un 90%, según sea la importancia del camino.

*Guillermo Thenoux Z. obtuvo el grado de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Posteriormente obtuvo el grado de M. Se. en la Universidad de Birmingham, Inglaterra, y el Ph.D. en la Universidad de Oregon State, USA. Actualmente es Profesor e investigador del área de caminos del Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Ha publicado un importante número de trabajos en el área vial. Es Asesor y consultor en diversos proyectos de ingeniería de construcción e ingeniería vial.*

*Rodrigo Gaete P. se recibió de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Posteriormente obtuvo el grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería en la misma Universidad. Actualmente, es Ingeniero Investigador de jornada completa en el Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DICTUC), con especial participación en proyectos e investigaciones realizadas para la Dirección de Vialidad del ministerio de Obras Públicas. Además es Jefe de Proyecto del Servicio de Ingeniería Vial y profesor del curso Diseño Estructural de Pavimentos. Ha realizado viajes de transferencia tecnológica a Sudáfrica y México, y presentado varios trabajos y publicaciones. También ha efectuado diversas labores de consultoría y capacitación.*

---

## **Evaluación Funcional**

La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario. Entre este tipo de deficiencias se encuentran:

- Rugosidad
- Fallas superficiales
- Pérdida de fricción.

### a) Rugosidad:

Se define por rugosidad a las irregularidades presentes en la superficie del pavimento, las cuales afectan la calidad de rodado de los vehículos, y por lo tanto la calidad del servicio brindada al usuario. Uno de los principales esfuerzos para calificar y cuantificar esta calidad de servicio, fue desarrollado durante la prueba AASHO (1). En ella se propusieron los siguientes términos para definir la calidad con que el pavimento sirve al usuario.

i) PSR (Present Serviciability Rating): El juicio subjetivo de un observador respecto a la capacidad actual del pavimento para servir al usuario.

ii) PSI (Present Serviciability Index): Corresponde a una estimación del PSR basada en correlaciones con mediciones objetivas de rugosidad y otros defectos presentes en el pavimento tales como grietas, baches y ahuellamiento.

El PSI fue correlacionado con los parámetros de deterioro del pavimento y de esta forma se originaron las fórmulas AASHO (1) de diseño estructural.

Otra medida de rugosidad corresponde al IRI (índice de Rugosidad Internacional) el cual fuera desarrollado en Brasil para el Banco Mundial como el parámetro de deterioro más importante del modelo HDM III (2).

Para la medición de la rugosidad en el pavimento, se han desarrollado diversos equipos entre los que se pueden mencionar: el CHLOE, APL, Mays Meter, Perfilómetro Óptico y otros, todos los cuales pueden realizar mediciones a velocidades cercanas a las de operación del camino y ser correlacionadas con los índices de rugosidad (2). Este tipo de equipos se encuentran en permanente evolución, desde los que funcionaban principalmente en base a la lectura continua de una respuesta dinámica medida en forma mecánica (CHLOE, APL, Mays Meter) hasta equipos más modernos que emplean lectura óptica (láser) a través de diferentes sistemas electrónicos (Perfilómetro Óptico y otros).

Alternativamente a los equipos más sofisticados se encuentra el aparato Merlin desarrollado en Inglaterra para países del tercer mundo, el cual mide la rugosidad en forma discontinua y manual. Este es un equipo de muy bajo rendimiento por kilómetros pero, con un costo significativamente menor que los equipos antes mencionados.

### b) Fallas Superficiales:

Son aquellos defectos que se manifiestan en la superficie del pavimento, y son medibles sin la necesidad de equipos especiales. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento, sin embargo su detección oportuna es importante debido a que permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan el deterioro. Es

importante por lo tanto, efectuar un adecuado reconocimiento y cuantificación de estas fallas. Esto se realiza mediante una inspección visual empleando fichas diseñadas especialmente para este efecto. Estas fichas según la importancia del proyecto pueden ser elaboradas con diferentes grados de detalle.

Entre los defectos que son convenientes identificar y cuantificar conjuntamente con las medidas de rugosidad se cuentan:

Tipo de Falla	Asfalto	Hormigón
- Fisuras y grietas	X	X
- Baches	X	X
- Asentamientos	X	X
- Fallas en las juntas		X
- Desconchamiento		X
- Desgaste superficial		X
- Escalonamiento		X
- Pérdida de árido	X	
- Peladuras	X	
- Ahuellamiento	X	
- Exudación	X	

c) Pérdida de Fricción:

Este es un defecto que dice relación directa con la seguridad del usuario, particularmente en segmentos de alta velocidad, zonas de frenado (cruce de peatones, colegios, etc.) y curvas de radio pequeño o curvas de radio amplio con peraltes menores a 6%. La pérdida de fricción se produce como consecuencia de una disminución combinada o individual de la macrotextura como de la microtextura superficial del pavimento, lo cual puede originar accidentes, particularmente cuando el pavimento se encuentra mojado. Para medir la resistencia al patinaje en un pavimento existen diversos equipos, entre los de mayor uso en Chile se cuentan: el Ensayo de Mancha de Arena, Péndulo Británico y Mu-Meter. En aeropuertos se emplea también el ensayo de la Mancha de Grasa y Péndulo Dinámico.

Debido a que la pérdida de fricción está asociada a un aumento de la lisura del pavimento, esto contribuye además con otros dos fenómenos asociados a pavimentos lisos:

- i) Aumento del "spray" (nebulización), asociado al paso de vehículos a alta velocidad, reduciendo considerablemente la visibilidad.
- ii) Aumento del reflejo de las luces de noche y aumento del encandilamiento.

Las soluciones típicas asociadas a la restauración de la funcionalidad de un pavimento son las acciones de conservación preventivas tales como:

a) Asfalto:

1. Reparación de baches abiertos.
2. Sellado de grietas mayores a 3 mm.. de abertura.
3. Tratamiento en base a capas sellantes:
  - Sellos de Lechada Asfáltica (Slurry Seal)
  - Sellos de Agregado
4. Frezado superficial y reemplazo del espesor frezado.
5. Recapado funcional: Capa delgada de asfalto la cual no aporta capacidad estructural en forma significativa.

b) Hormigón:

1. Tratamiento y sellado de juntas y grietas.
2. Tratamiento de desconches y relleno con mortero.
3. Inyección de losas para eliminar escalonamiento.
4. Reemplazo de losas puntuales deterioradas (menos del 10%)
5. Bacheo de losas (baches asfálticos en grietas de esquina y deterioros puntuales)

En todo estos casos el pavimento debe encontrarse estructuralmente sano.

### **Evaluación Estructural**

La evaluación estructural del pavimento, tiene por objeto la cuantificación de la capacidad estructural remanente del pavimento. La falta de capacidad estructural de un pavimento genera en este un deterioro progresivo que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, no recuperables a través de la simple aplicación de acciones de conservación preventivas, como las definidas en el párrafo anterior.

Las razones por las cuales la capacidad estructural de un pavimento requiere ser reforzada puede deberse a una o más de las siguientes causas:

1. Pavimento cercano a cumplir su vida de diseño. Los ejes equivalentes acumulados han alcanzado los límites considerados en el diseño original.
2. Se proyectó un espesor de diseño insuficiente. Un espesor de proyecto insuficiente se puede relacionar con algunas de las siguientes causa.:
  - Tránsito de diseño subestimado.
  - Emplear parámetros de diseño no representativos tales como; resistencia subrasante, resistencia capas estructurales, condiciones de drenaje, juntas de traspaso de cargas (hormigón), estratigrafías de carga, etc.
3. Calidad de la construcción. Aún estando bien diseñado un pavimento la mala calidad de la construcción puede minorar substancialmente la capacidad estructural de un pavimento.
4. Conservación. Al igual que el punto anterior, aún estando bien diseñado y construido un pavimento la inadecuada conservación de la estructura y sistema de drenajes del pavimento, pueden provocar el deterioro acelerado de este.
5. Fiscalización: La inadecuada fiscalización de una red caminera trae como consecuencia un mal uso de los pavimentos y un aumento de las sobrecargas.

Los tipos de acciones de conservación que permiten restablecer la capacidad estructural de un pavimento son principalmente las siguientes:

- a) Remoción del pavimento existente y reconstrucción de un pavimento con mayor capacidad estructural.
- b) Construcción de una capa de refuerzo sobre el pavimento existente. Esta alternativa ofrece diversas variantes constructivas entre las que se pueden mencionar.
  - Asfalto sobre asfalto.
  - Asfalto sobre hormigón quebrado en bloques.
  - Asfalto sobre hormigón pulverizado.
  - Asfalto sobre hormigón con control de grietas por medio de aserrado.
  - Asfalto sobre hormigón con el empleo de capa atenuadora de grietas.
  - Hormigón sobre asfalto con empleo de capa base.
  - Hormigón sobre hormigón pulverizado.
  - Hormigón sobre hormigón con el empleo de capa base.
- c) Frezado y recapado. Frezado del espesor parcial o total de la primera capa y reemplazo con un espesor igual o mayor. En algunos casos el material frezado de la primera capa puede reciclarse para ser utilizado en la misma capa estructural.
- d) Frezado profundo. Este tipo de solución es aplicado en pavimentos asfálticos en donde el frezado alcanza también el material de base. Las dos capas frezadas en forma conjunta permiten construir una base estabilizada para el nuevo pavimento de refuerzo.

Para evaluar la capacidad estructural remanente del pavimento existen diversos procedimientos, los cuales se pueden clasificar según sea la metodología a utilizar. La **Figura 1**, muestra un esquema de clasificación de los métodos de evaluación estructural, los cuales se explican con más detalle a continuación.

### ***Métodos no Destructivos***

Se denominan así, debido a que permiten estudiar la capacidad estructural existente de un pavimento sin necesidad de intervenir este en ningún punto. Entre los métodos no destructivos, se reconocen dos clases: Medidas de Deflexión y Evaluaciones Empíricas

a) Medidas de Deflexión: Estos métodos se basan en producir deformaciones elásticas o deflexiones en el pavimento mediante dispositivos especiales, los cuales actúan bajo una sollicitación estática o dinámica. Estas deflexiones desaparecen una vez que deja de actuar el dispositivo de medición. Existen varios equipos capaces de medir deflexiones, destacándose entre los más importantes los siguientes:

i) Viga Benkelman: Es el dispositivo más antiguo desarrollado, el cual ha sido tradicionalmente usado para medir deflexiones. Consiste en una estructura con tres puntos de apoyo (**Figura 2**), de los cuales dos se apoyan en el pavimento en forma de viga simple y un tercero que pivotea en torno a esta bajo la acción de una carga normalizada (Eje simple de 80 kN), con lo cual se registra la deformación relativa entre estos puntos. Este dispositivo tiene la importancia de que es utilizado como el parámetro base para la evaluación estructural de varias metodologías, como ser la del Asphalt Institute (USA) (3), el TRRL (Inglaterra) (4) y el modelo HDM-III (2).

ii) Deflectómetro: Consiste en utilizar una viga de deflexión similar a la Viga Benkelman, pero montada en el chasis de un vehículo especialmente adaptado para tales fines. Los deflectómetros más conocidos, son el Lacroix del LCPC (Francia) y una versión modificada por el TRRL (Inglaterra), y el desarrollado en California. La ventaja de este equipo respecto de la viga Benkelman, es que permite realizar las mediciones en forma continua, pudiendo auscultar un número mayor de kilómetros al día. Además, está correlacionado con la viga Benkelman, por lo cual los valores entregados son fácilmente convertibles a esta última, de acuerdo al método del TRRL (4).

En el caso particular de Chile, en los estudios realizados por la Pontificia Universidad Católica de Chile, se correlacionaron los valores registrados mediante viga Benkelman, con los valores medidos con el Deflectómetro de la Dirección Nacional de Vialidad(S).

iii) Dynaflect: Este dispositivo desarrollado y usado en los Estados Unidos, opera bajo el principio de fuerzas vibratorias, la cual es aplicada en el pavimento por medio de dos pequeñas ruedas metálicas. La magnitud de estas deformaciones, son captadas por medio de cinco geófonos colocados en el centro del eje de las dos ruedas y espaciados a intervalos de 30 cm. desde el punto de aplicación. La ventaja respecto a los anteriores métodos, es que puede registrar además de la deflexión máxima, deflexiones en otros puntos alejados, permitiendo estimar por retroanálisis las características estructurales de las capas del pavimento, especialmente el suelo de fundación. Estas mediciones pueden ser correlacionadas además con las medidas por otros equipos. Este tipo de equipos a quedado paulatinamente en desuso debido al extensivo empleo del Falling Weight Deflectometer (6).

iv) Falling Weight Deflectometer (FWD) (6): El principio de operación es similar al Dynaflect, con la diferencia de que la sollicitación se produce mediante el impacto producido por la caída libre de un peso sobre unos mecanismos con amortiguadores, los que se apoyan en una placa de goma sobre el pavimento (**Figuras 3**). También en este caso, las vibraciones son captadas por medio de sensores sísmicos ubicados a distintas distancias del punto de aplicación. Esto hace posible generar un cuenco de deflexiones a distintas distancias (**Figuras 3**), las cuales son parámetros de evaluación estructural para algunos métodos de diseño, en particular los métodos AASHTO y Shell. Las deflexiones medidas con un FWD pueden ser incorporadas en cualquier modelo mecanicista para la determinación de los espesores de capas de refuerzo. El FWD permite medir además la deflexión relativa entre juntas de una losa de hormigón .

Existen en el mercado varios modelos de FWD, de los cuales los más conocidos son el Dynatest y el KUAB (USA), y el Phoenix (Dinamarca). Entre los modelos FWD también se incluye el HWD (Heavy Weight Deflectometer, modelos de cargas más pesada que se emplea principalmente en aeropuertos.

b) Evaluaciones Empíricas (Vida Remanente): Este método de evaluación no constituye en si un ensayo, corresponde más bien a una evaluación la cual está basada en relacionar directamente la pérdida de capacidad estructural del pavimento con las sollicitaciones de tránsito reales acumuladas. Para estimar esta vida remanente se deben determinar, el tránsito solicitante que ha soportado el pavimento desde la última puesta en servicio a la fecha, y el tránsito total que produce la falla total del pavimento (estimado según el método AASHTO para una serviciabilidad final de 1.5).

Este método de evaluación, no es recomendado por la incertidumbre de la predicción del tránsito acumulado, y por que no considera el efecto del agrietamiento existente, lo cual puede significar una vida remanente bastante menor a la que indicaría este método.

### ***Ensayos Destructivos***

La ejecución de estos ensayos, requiere alterar el pavimento existente en algún punto. Entre los ensayos destructivos más utilizados para la evaluación de la capacidad de soporte de la estructura existente, se encuentran:

- a) Excavación de calicatas para determinar propiedades de los materiales de capas: Este procedimiento corresponde al procedimiento tradicional de recolectar información de diseño y tiene como objetivo la determinación de distintas propiedades de los materiales de las capas que conforman el pavimento, para el diseño y/o evaluación estructural. Entre los parámetros a considerar, se encuentran: espesores de capas, CBR de las capas granulares, clasificación, densidades y humedades. Como complemento de este procedimiento, se debe realizar una inspección visual de la superficie, de modo de detectar posibles fallas (en especial grietas) que puedan determinar un menor aporte estructural de las capas de rodado.
- b) Extracción de testigos: Mediante una extractora de testigos, se obtiene una probeta cilíndrica de las capas superficiales del pavimento. En general solo es aplicable a la extracción de materiales de capas de asfalto y hormigón. Permite medir los espesores y propiedades mecánicas de resistencia de capas cementadas.
- c) Placa de carga: El ensayo de placa de carga sirve para la evaluación de la capacidad portante del material de subrasante, bases, y en algunos casos, del pavimento completo utilizando placas de diámetros relativamente grandes. De este ensayo se determina un módulo de reacción (k). Para aplicar este método en pavimentos existentes, se requiere efectuar calicatas de gran superficie, lo cual resulta poco práctico y costoso. Este ensayo a quedado paulatinamente en desuso.
- d) Penetrómetro Dinámico de Cono: El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) es un dispositivo que permite realizar de un modo expedito, una auscultación in-situ de las capas de suelo de la subrasante y bases granulares. El principio se basa en la acción de una masa dinámica que cae desde una altura preestablecida, lo que produce la penetración de una sonda en forma de cono. Como resultado del ensayo, se encuentra la penetración de la sonda para un determinado número de golpes (PR), el cual está relacionado con las propiedades de CBR.

La **Tabla 1**, muestra la comparación entre las diferentes alternativas de evaluación estructural.

## **MÉTODOS DE DISEÑO DE RECAPADO**

Se presenta a continuación un análisis de cuatro de los principales métodos de diseño de recapados estructurales con asfalto, haciendo énfasis en las metodologías utilizadas. Estos métodos corresponden a:

- Método AASHTO 93
- Método Asphalt Institute, USA Método TRRL, Inglaterra
- Método Shell, Holanda/Inglaterra

### **Método de Diseño de Recapados: AASHTO 1993**

La guía AASHTO para el diseño de pavimentos, es una de las metodologías más difundidas en el mundo, y en Chile es ampliamente utilizada por los organismos encargados de la administración de la infraestructura vial. Esta guía de diseño ha tenido varias revisiones desde su primera versión en 1968 (1), hasta la actualidad en que se cuenta con la reciente versión (1993) (7). La importancia de esta última, es que contiene una serie de nuevos criterios considerados en el diseño de pavimentos, y en especial, una parte dedicada a la rehabilitación de pavimentos. Esto hace que la guía AASHTO 1993, sea una base importante para el desarrollo del presente estudio.

Se presenta a continuación una descripción de las funciones del recapado según AASHTO 1993, para continuar con la identificación de los tipos de recapado que son considerados, los aspectos y limitaciones generales establecidas por AASHTO para el diseño del recapados, y finalmente, se presentan los nuevos criterios utilizados.

La metodología de diseño AASHTO 1993, considera varias combinaciones de recapado, las que dependen tanto del material usado en la rehabilitación, como del tipo de pavimento existente en que se aplique. Los siguientes son los tipos de recapado considerados en el método:

<u>Recapado</u>	<u>Pavimento Existente</u>
AC	AC
AC	PCC Fracturado
AC	JPCP, JRCP y CRCP
AC	AC/JPCP , AC/JRCP y AC/CRCP
PCC	Adherido JPCP , JRCP y CRCP
PCC	No Adherido JPCP, JRCP y CRCP
PCC	AC

Los términos utilizados para la identificación del tipo de recapado tienen el siguiente significado:

AC:	Concreto Asfáltico
PCC:	Hormigón de Cemento Portland
JPCP:	Pavimento de Hormigón con Junta Simple
JRCP:	Pavimento de Hormigón con Junta Reforzada
CRCP:	Pavimento de Hormigón con Refuerzo Continuo
AC/PCC:	PavimentodeHormigón(JPCP,JRCPyCRCP) recapados con AC

En el presente estudio, se dará principal énfasis a los casos de recapado asfálticos sobre superficies de: pavimento asfáltico, pavimento de hormigón fracturado y pavimento de hormigón con junta simple, por ser los casos más usuales que se presentan en la realidad nacional hoy en día.

Para la aplicación de la metodología de diseño propuesta por AASHTO 93, en el diseño de recapados, se deben tener en cuenta en general, los siguientes criterios:

- a) Reparaciones previas al recapado: Como se mencionó anteriormente, el recapado en este método solamente considera un aporte estructural al pavimento, por lo que antes de su aplicación, deben repararse todos aquellos defectos visibles (desprendimientos, grietas, deformaciones, etc.) que pudieran posteriormente afectar el comportamiento de este recapado.
- b) Controlar la reflexión de grietas: El reflejo de grietas desde el pavimento antiguo a la nueva capa, es una de las causas más frecuentes del posterior deterioro del recapado. El espesor de diseño propuesto por el método, no considera este efecto, por lo que se deben tomar medidas adicionales que permitan reducir la aparición de estas grietas de reflexión. Entre estas medidas posibles, se tiene la provisión de capas asfálticas adicionales (generalmente mas abiertas y con menos % de asfalto), fractura previa del hormigón antiguo, uso de geotextiles, empleo de asfaltos modificados y otras.
- c) Estimación de las cargas de tráfico: Se deben determinar en forma adecuada, los ejes equivalentes que solicitan el pavimento durante la vida de diseño. Para esto, los factores de equivalencia se deben calcular considerando las relaciones de diseño de pavimentos flexibles o rígidos según sea el caso. El modelo de pavimento flexible se utiliza para los recapados tipo AC efectuados sobre pavimentos flexibles o de hormigón fracturado. El resto de las combinaciones, considera la estimación de los ejes equivalentes según el modelo de pavimento rígido.
- d) Drenaje: El método supone condiciones adecuadas de drenaje, de modo de prevenir la presencia de agua que pudiera erosionar y reducir la resistencia del pavimento. Dependiendo de las condiciones de humedad y calidad del drenaje, el método ajusta esta resistencia por medio de coeficientes que aumentan o disminuyen la capacidad estructural de las capas granulares.
- e) Materiales del recapado: Estos materiales deben ser seleccionados adecuadamente, para resistir las cargas específicas, condiciones climáticas y deficiencias previas a la rehabilitación que pudiera presentar el pavimento. Esto requiere un conocimiento de los materiales posibles de utilizar, y sus propiedades. Debe tenerse en cuenta además, las propiedades de los materiales de la subrasante y del pavimento existente, lo cual conforma la base de fundación del recapado que se debe aplicar.

f) Nivel de confiabilidad: Debe seleccionarse un nivel adecuado de confiabilidad y desviación estándar para la determinación del espesor del recapado, el cual no necesariamente coincide con el utilizado para determinar el diseño de un pavimento nuevo. La guía AASHTO 1993 entrega algunas recomendaciones al respecto: la confiabilidad a utilizar por la mayor variabilidad de los parámetros en el pavimento existente debe ser superior al 90%, mientras que para el error estimado se recomienda utilizar 0.39 para los pavimentos rígidos y 0.49 para los flexibles.

La metodología para el cálculo de los recapados, se basa en estimar la diferencia entre el número estructural requerido ( $SN_f$ ) para soportar un nuevo período de solicitaciones, y el número estructural efectivo existente ( $SN_{e,ff}$ ). El valor ( $SN_f$ ) se calcula aplicando las fórmulas de diseño propuestas por AASHTO según se trate de pavimentos flexibles o rígidos:



La formula para Pavimentos Flexibles utilizada es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

donde:

W18	=	Ejes Equivalentes Estimados
Zr	=	Desviación normal estandarizada para un nivel de confiabilidad
So	=	Error combinado para la predicción
SN	=	Número estructural del pavimento (pulgadas)
ΔPSI	=	Diferencia entre la serviciabilidad inicial y final
Mr	=	Módulo resiliente.

La formula para Pavimentos Rígidos es:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times p_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c / k)^{0.25}} \right]} \right]$$

donde:

W18	=	Ejes Equivalentes Estimados
Zr	=	Desviación normal estandarizada para un nivel de confiabilidad
So	=	Error combinado para la predicción
D	=	Espesor del pavimento (pulgadas)
ΔPSI	=	Diferencia entre la serviciabilidad inicial y final
S'c	=	Módulo de ruptura del hormigón (psi)
J	=	factor de transferencia de carga
Cd	=	Coefficiente de drenaje
Ec	=	Módulo de elasticidad del hormigón
k	=	módulo de reacción de la subrasante (psi)

Para determinar el número estructural efectivo existente (SN<sub>eff</sub>) del pavimento a rehabilitar, AASHTO 93 propone tres métodos:

- Método visual y extracción de testigos.
- Ensayos no destructivos NDT (Falling Weight Deflectometer, etc.).
- Método de la vida remanente.

De aquí se puede estimar un número estructural de recapado (SN<sub>01</sub>) como:

$$SN_{01} = SN_f - SN_{eff}$$

El espesor requerido de recapado, resulta de dividir este último término por el coeficiente estructural del concreto asfáltico (a<sub>f</sub>), al cual se le asigna un valor medio de 0,44 .

El método visual, junto con la extracción de testigos (en

donde lo más importante es la medición de espesores de capas), permite evaluar metodológicamente el estado presente de la estructura del pavimento y asignarle un coeficiente estructural ( $a_j$ ) a las capas que componen el pavimento y de este modo junto con el espesor de las capas se calcula  $SN_{eff}$ .

En el caso de utilizar ensayos no destructivos (NDT), el método AASHTO utiliza las deflexiones medidas con un Falling Weight Deflectometer para el cálculo del valor  $SN_{eff}$ . A partir de la medición hecha con un Falling Weight Deflectometer, se estima el módulo resiliente de la subrasante como:

$$M_r = C \frac{0.24P}{d_r r}$$

- donde:  $M_r$  : Módulo resiliente de la subrasante, psi  
 $C$  : Factor de corrección (AASHTO recomienda 0.33)  
 $P$  : Carga aplicada, libras  
 $d_r$  : Deflexión a una distancia  $r$  desde el centro de la carga, pulgadas  
 $r$  : Distancia desde el centro de la carga, pulgadas

Posteriormente, se calcula el Módulo de Elasticidad del pavimento existente a partir de la deflexión máxima  $d_0$  en el eje de la carga dinámica.

Finalmente, de estos cálculos se puede determinar el número estructural efectivo  $SN_{eff}$  como:

$$SN_{eff} = 0.0045 D \sqrt[3]{E_p}$$

En el caso de utilizar la vida remanente, el valor  $SN_{eff}$  se determina como del siguiente modo:

$$RL = 100 \left[ 1 - \left( \frac{N_p}{N_{1.5}} \right) \right]$$

- donde:  $RL$  : Vida remanente, %  
 $N_p$  : Ejes Equivalentes acumulados a la fecha  
 $N_{1.5}$  : Ejes Equivalentes que producen la falla del pavimento ( $P_f = 1.5$ )

Con este indicador se puede determinar un factor de condición, que relaciona la capacidad estructural efectiva existente en el pavimento con la capacidad estructural original de diseño:

$$CF = \frac{SC_n}{SC_o}$$

- donde:  $CF$  : Factor de condición  
 $SC_n$  : Capacidad estructural efectiva existente  
 $SC_o$  : Capacidad estructural original

Se puede por lo tanto determinar la capacidad estructural efectiva ( $SN_{eff}$ ) <sup>en</sup> base al número estructural original de diseño ( $SN_o$ ) como:

$$SN_{\text{eff}} = CF * SN_0$$

El factor CF se determina en función del porcentaje de vida remanente RF según el gráfico de la **Figura 4**.

**Método de Diseño de Recapados: Asphalt Institute (U.S.A)**

Esta metodología de diseño, consiste en estimar espesores de recapados asfálticos para la rehabilitación de pavimentos tanto de asfalto como de hormigón, considerando las condiciones estructurales del pavimentos existente.

El método del Instituto del Asfalto Norteamericano (3), considera dos tipos de procedimientos para el diseño de un recapado:

- a) Método de Diseño Empírico por Medida de Deflexión (consta de dos submétodos)
- b) Método de Diseño por Espesor Efectivo

Ambos métodos consideran el diseño de un recapado de asfalto, tanto sobre pavimentos de asfalto como de hormigón.

a1) Método de Diseño Empírico por Medida de Deflexión: Asfalto sobre Asfalto: Para el caso del diseño de un recapado con asfalto sobre un pavimento de superficie asfáltica considera para la determinación del espesor necesario del recapado, la deflexión obtenida mediante el ensayo Viga Benkelman en el pavimento antes de la rehabilitación y el número de ejes equivalentes que solicitarán este pavimento durante el periodo de diseño del recapado. Para esto, se recomienda dividir el tramo de la vía a reforzar en sectores homogéneos, determinar en ellos la deflexión media  $x$ , la desviación  $\sigma$ , y con esto se determina una deflexión característica para el diseño (RRD) como  $RRD = x + 2\sigma$ . Además, se requiere de la aplicación de un factor de corrección por temperatura ( $f$ ) y otro factor de corrección estacional ( $c$ ), el cual es función del período del año en que se realizó la medición de la deflexión. Con esto se determina una deflexión del proyecto como:

$$d = (x + 2\sigma) f c$$

Con este valor de deflexión, y el número de ejes equivalentes que solicitaran el pavimento durante el período de diseño, se determina el espesor necesario del recapado utilizando el abaco de la **Figura 5**.

a2) Método de Diseño Empírico por Medida de Deflexión: Asfalto sobre Hormigón.

En el caso de rehabilitaciones sobre pavimentos de hormigón, el factor predominante que condiciona el diseño del espesor de refuerzo es la posibilidad de evitar el reflejo de las grietas y juntas, en la nueva carpeta asfáltica.

Para estimar este espesor, el método requiere determinar una temperatura diferencial, entendiéndose como tal la diferencia entre la temperatura máxima del mes más caluroso y la temperatura mínima del mes más frío en un año, y además, se debe conocer el largo de losa. Con esta información y haciendo uso de la **Figura 6**, se encuentra el espesor de recapado requerido. Adicionalmente, debe verificarse que la deflexión diferencial entre losas no exceda un máximo recomendado de 0.05 mm., y la deflexión media sea menor a 0.36 mm. El Instituto del Asfalto Norteamericano recomienda las siguientes alternativas para reducir la aparición de grietas inducidas por este esfuerzo de corte:

- Utilizar una capa de graduación abierta para reducir la reflexión de grietas.
- Fracturar el pavimento, de modo de acortar el largo de las losas.

b) Método de Diseño por Espesor Efectivo: Para recapado de asfalto sobre asfalto u hormigón.: Este método consiste en convertir los espesores de las capas existentes en el pavimento, a un espesor efectivo de concreto asfáltico ( $T_e$ ). Para determinar  $T_e$ , cada capa del pavimento existente debe ser convertida a un espesor equivalente de concreto asfalto utilizando factores que se presentan en el método de diseño. Adicionalmente, se requiere conocer el Módulo Resiliente de la Subrasante ( $M_r$ ).

Con los valores de EE para el período de diseño y el Módulo Resiliente de la Subrasante ( $M_r$ ), se determina mediante la **Figura 5** el espesor de diseño requerido en concreto asfáltico ( $T_d$ ). El espesor resultante para el recapado requerido ( $T_o$ ) resulta ser por lo tanto:

$$T_o = - T_e$$

Adicionalmente, en el caso de los recapados sobre pavimentos existentes de hormigón, deben tenerse en cuenta los aspectos relacionados con la posibilidad de evitar el reflejo de grietas.

#### **Método de Diseño de Recapados: TRRL (Inglaterra)**

Este método está basado en estudios realizados en el Reino Unido (4), en el cual se utilizó información completa del comportamiento de caminos en servicio por un período de más de 20 años, contrastándose estos resultados con modelos analíticos estructurales de pavimentos. El método ha sido estudiado para el diseño de un recapado asfáltico sobre un pavimento asfáltico construido sobre bases de distintos materiales (granular, cementada o bituminosa).

Los resultados de estas investigaciones se resumen en abacos, donde se proponen valores admisibles de deflexiones que deberían tener los pavimentos para resistir una determinada solicitación de ejes equivalentes para un período de diseño, con un cierto factor de confiabilidad. El valor obtenido de deflexión admisible, para resistir los ejes equivalentes en el período de diseño, se contrastan con la deflexión observada en el pavimento a evaluar, determinándose el espesor requerido para el recapado. Estos procedimientos finalmente se resumen en abacos, los cuales entregan el espesor de recapado necesario en función de la deflexión existente en el pavimento a rehabilitar, y los ejes equivalentes acumulados de diseño (**Figura 8**). Se recomienda por razones constructivas, la colocación de un mínimo de 40 mm. de espesor de capa asfáltica.

En el método además se establecen correlaciones entre el valor de las deflexiones obtenidas con viga Benkelman y el deflectógrafo Lacroix, cuyos valores deben ser corregidos por efecto de la temperatura.

#### **Método de Diseño de Recapados: Shell (Holanda-Inglaterra)**

El método Shell (8) ha sido estudiado para el diseño de un recapado asfáltico sobre pavimentos asfálticos. Este método está desarrollado en principios mecánicos de comportamiento, para el cual se supone que la estructura del pavimento, se modela mediante capas con materiales elásticos, homogéneos e isotrópicos. Las propiedades mecánicas de los materiales de capas se representan por el Módulo de Elasticidad (E) y coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). En la mayoría de los casos, los pavimentos pueden representarse mediante un sistema de tres capas (**Figura 9**) consistente en una capa de material bituminoso ( $E_1, \nu_1, h_1$ ), una capa de base granular o cementada ( $E_2, \nu_2, h_2$ ), y la subrasante ( $E_3, \nu_3$ , espesor infinito). La carga se supone uniformemente distribuida sobre un área circular.

El módulo de elasticidad de la capa asfáltica se puede estimar a partir de la temperatura y las propiedades viscoelásticas del cemento asfáltico, y las propiedades de los agregados según el tipo de mezcla. Para la mezcla asfáltica se considera un valor medio de coeficiente de Poisson de 0.35. Otro procedimiento, consiste en utilizar las deflexiones mediante el Falling Weight Deflectometer. El indicador utilizado es la razón de deflexiones ( $Q_r$ ) definido como:

donde:  $Q_r$  : Razón de deflexiones a una distancia r

$\delta_r$  : Deflexión a una distancia r de la carga

$\delta_o$  : Deflexión en el centro de la carga

A partir de este parámetro se puede estimar el módulo de elasticidad de la capa asfáltica, según gráficos similares al mostrado en la **Figura 9**.

En el caso de las capas granulares, el módulo está

determinado por su espesor, y la rigidez de la subrasante, de acuerdo a la relación:

Subrasante:

$$N = 6,146 \times 10^{-7} e_z^{-4}$$

donde:

$$E2 = k \times E3$$

$$k = 0,206 h_2^{0,45} \quad (2 < k < 4) \text{ con } h_2 \text{ expresado en mm.}$$

Las capas granulares tienen un valor de coeficiente de Poisson que varía desde 0,3 para el material grueso chancado, hasta 0,5 para el material más fino, con un valor medio de 0,4.

Si la base es de material cementado, en este caso no hay una relación determinada entre E2 y E3, debiendo utilizarse métodos de retroanálisis más sofisticados para determinar E2 para las bases cementadas. Como coeficiente de Poisson se considera usualmente 0,25.

Sobre esta estructura de pavimento se simula una carga de referencia, representada por una fuerza circular uniformemente distribuida de 40 kN (correspondiente a una carga dual en un eje estándar de 80 kN) y una presión de contacto de 600 kN/m<sup>2</sup> (85 psi aproximado).

Una vez modelada la estructura de pavimento que se van a analizar, se deben calcular las tensiones y deformaciones críticas que condicionan el comportamiento, el cual se basa en la falla por fatiga de alguna de las capas. Como criterios básicos de falla se consideran:

- La deformación unitaria de tracción horizontal en el límite inferior de la capa asfáltica, la cual controla el inicio del agrietamiento por fatiga.

- La deformación unitaria horizontal de compresión en el límite superior de la subrasante, la cual controla la deformación permanente en el suelo de fundación.

- En el caso de bases cementadas, se verifica además que la tensión de tracción horizontal en el límite inferior de la capa cementada sea inferior a la mitad de la tensión admisible para prevenir el agrietamiento por fatiga.

Para estimar estas tensiones y deformaciones a partir del modelo multicapa asignado a la estructura del pavimento, se utilizan programas computacionales especiales que resuelven las ecuaciones de elasticidad que gobiernan el problema. Algunos de los programas desarrollados para estos efectos son el BISAR, CHEVRON, ALIZE y ELSYM5. Este último es el que ha utilizado en los proyectos de seguimiento de pavimentos de la Universidad Católica de Chile.

Una vez que se han calculado estas tensiones y deformaciones críticas, se puede estimar los ejes equivalentes admisibles de esta estructura según los criterios de fatiga de la capa asfáltica y deformación permanente del suelo de fundación, utilizando las siguientes relaciones:

Capa asfáltica:

$$N = 8,3521 \times 10^{-8} e_r^{-4}$$

$$\text{Subrasante: } N = 6,146 \times 10^{-7} e_z^{-4}$$

Los ejes equivalentes admisibles por esta estructura serán en definitiva, el menor valor entre los resultantes de la aplicación de ambos criterios. Estos mismos conceptos pueden ser aplicados para efectos de diseñar un recapado sobre un pavimento existente, del siguiente modo:

Si la vida de diseño original esperada era NDI y los ejes equivalentes acumulados a la fecha son NA!, se tiene un consumo de fatiga relativo de:

y por lo tanto una vida remanente relativa de 1 -

Si se analiza un recapado que será solicitado para el período de diseño por NA2 ejes equivalentes, entonces en la vida de diseño esperada ND2, serán consumidos el resto de vida remanente. Esto equivale a:

$$NA2/ND2 = 1 - NAI/NDI$$

$$ND2 = ND1 \cdot NA2/(N_{\text{il}} -$$

Con la vida de diseño Np2 para el recapado, se calcula el espesor de asfalto de la capa 1 que satisfaga los criterios de falla antes mencionados. A este espesor encontrado, se le resta el espesor necesario para el diseño original, lo cual determina el espesor efectivo requerido.

Para el caso en que no hubiera vida remanente, es decir NAI = NDI, ND2 se considera igual a NA2.

### COMPARACIÓN ENTRE METODOLOGÍAS DE DISEÑO

Con el objeto de efectuar una comparación entre los resultados obtenidos por la aplicación de los métodos de diseño presentados anteriormente, se calcularon los espesores de recapado para varios casos de estructuras

tipos de pavimentos, las cuales se diferencian por tener distintos niveles de tránsito solicitante y capacidad de soporte del suelo de fundación. Se consideró para cada una de estas, dos niveles de capacidad portante, CBR 10% y 30%, y para las solicitudes de tránsito, se consideraron distintos valores de ejes equivalentes por pista de diseño (tránsito liviano, medio y pesado), para un período de evaluación del recapado de 10 años:

De los resultados obtenidos del cálculo de espesores de recapado según los distintos métodos, se pueden establecer las siguientes tendencias generales:

El método AASHTO en el caso de evaluar recapados de asfalto sobre asfalto (con bases granulares), da como resultado espesores muy similares a los obtenidos por el Asphalt Institute, por lo que es recomendable la comparación entre ambos, sugiriendo la elección del mayor valor entre ambos.

En el caso de recapados de asfalto sobre hormigón agrietado, los espesores resultantes con el método Asphalt Institute son del orden de dos veces los resultantes con el método AASHTO. Esto puede deberse a que el primer método evalúa de un modo más estricto la posibilidad de evitar el reflejo de grietas por movimientos diferenciales de losas, por lo que en estos casos este método parece ser más recomendable.

Para los recapados sobre hormigón con junta simple, el método del Asphalt Institute no toma en cuenta el efecto del tránsito, considerando sólo espesores mínimos según la temperatura y largo de losa. En estos casos se recomienda diseñar con el método AASHTO, y considerar los espesores mínimos del método Asphalt Institute.

El espesor mínimo de recapado por razones constructivas se recomienda de 4 cm., de acuerdo a los métodos Shell y TRRL. En estos casos, solo es recomendable la aplicación del recapado si la superficie tiene un cierto nivel de rugosidad, de modo de que el recapado regularice la superficie.

En el caso de los pavimentos de hormigón que no estén fracturados o agrietados, los altos espesores de recapado resultantes, los cuales en la mayoría de los casos son incompatibles con las rasantes proyectadas (particularmente en zonas urbanas), sugieren que es más conveniente esperar un tiempo a que las losas se agrieten, al menos en su punto medio, ya que de esta manera se reduce considerable, tanto el riesgo de reflejo de grietas, como de los espesores resultantes. De los resultados obtenidos del cálculo de espesores de recapado según los distintos métodos de diseño, se pueden establecer una serie de ventajas y desventajas para cada uno de estos, las que se resumen en la **Tabla 2**.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El primer paso fundamental para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas en un determinado pavimento, es el reconocimiento del estado que presenta el pavimento, tanto desde el punto de vista del nivel de servicio que otorga al usuario (Condición Funcional), como de la capacidad de resistir las solicitudes de cargas durante un periodo de vida útil (Condición Estructural).

La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie, y que afectan negativamente a los costos y seguridad del usuario. De los defectos superficiales que pueden presentarse en un pavimento, el que más afecta la calidad de servicio al usuario es la rugosidad, y en menor medida otros defectos como ser: grietas, desprendimientos, etc.

La evaluación estructural del pavimento, tiene por objeto la cuantificación de la capacidad estructural remanente presente en las distintas capas que componen la estructura. Para evaluar esta capacidad estructural del pavimento existen diversos procedimientos, los cuales se estudiaron, clasificaron y analizaron. De este análisis, se pueden concluir una serie de ventajas y desventajas que presentan los distintos métodos de evaluación estructural del pavimento.

Las acciones de conservación posibles de considerar dependerán del tipo de restauración que requiere el pavimento. A saber:

a) Si se desea restablecer el índice de Serviciabilidad del pavimento o más general, restablecer su condición funcional, se deberá tener algún grado de certeza respecto de la capacidad estructural remanente del pavimento de modo tal que esta sea la adecuada para el resto de la vida útil que se espera de la estructura del pavimento, Es decir, solo es conveniente restaurar la funcionalidad de un pavimento si existe certeza respecto de la capacidad estructural remanente del pavimento ya que de lo contrario cualquier acción de conservación superficial se perdería en un corto plazo cuando el pavimento comience a deteriorarse estructuralmente.

b) Si se desea restablecer la capacidad estructural de un pavimento, se requiere determinar la capacidad estructural remanente del pavimento existente y además identificar claramente las causas que están dando

origen a las fallas. Conocida las exigencias de carga a futuro en términos de ejes equivalentes y conocidas las condiciones estructurales presentes del pavimento, se puede considerar el empleo de un recapado estructural de asfalto, también conocido como refuerzo o recapado estructural.

De acuerdo a la experiencia chilena en cuanto a la información utilizada para la evaluación estructural (principalmente en base a testigos), los métodos mas aconsejables para el diseño de los recapados corresponden al método AASHTO en su última versión 1993, y el método del Asphalt Institute.

Resultaría altamente recomendable una evaluación de la capacidad estructural por medio de equipos que miden la deflexión del pavimento, en especial el Falling Weight Deflectometer, ya que se podrían calcular los espesores de recapado de un modo más preciso y con un mayor rendimiento. Además que las medidas que entrega este equipo están estandarizadas para su uso por parte de los métodos AASHTO y Shell. También, se puede hacer uso de varios métodos de cálculos que emplean métodos computacionales de análisis de multicapa.

## **REFERENCIAS**

1. American Association of State Highway and Transportation Officials, Interim Guide for Design of Pavements Structures, Washington D.C., 1972
2. Paterson, W., Road Deterioration and Maintenance Effects. Models for Planning and Management, Highway Design and Maintenance Standars Model HDM-III, Volumen III, World Bank, Transportation Departament, Washington D.C., 1987



3. The Asphalt Institute, MS-17 "Asphalt overlays for highway and street rehabilitation", 1983

4. Kennedy C. y Lister N., "Prediction of pavement performance and design of pavement strengthening". TRRL Laboratory Report 833, Crowthorne, 1978.

5. De Solminihac H., Videla C., Echeverría G., Gaete R., Caroca A. y Berrios L. Plan de Control y Seguimiento de Pavimentos Asfálticos, Volumen IX, "Análisis Estructural", Pontificia Universidad Católica de Chile, 1988.

6. Federal Highway Administration. "Synthesis study of

nondestructive testing devices for use in overlay thickness design of flexible pavements", FHWA/RD/83/097, Washington D.C., 1984.

7. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASTHO Guide for Design of Pavements Structures 1993, Washington D.C., 1993

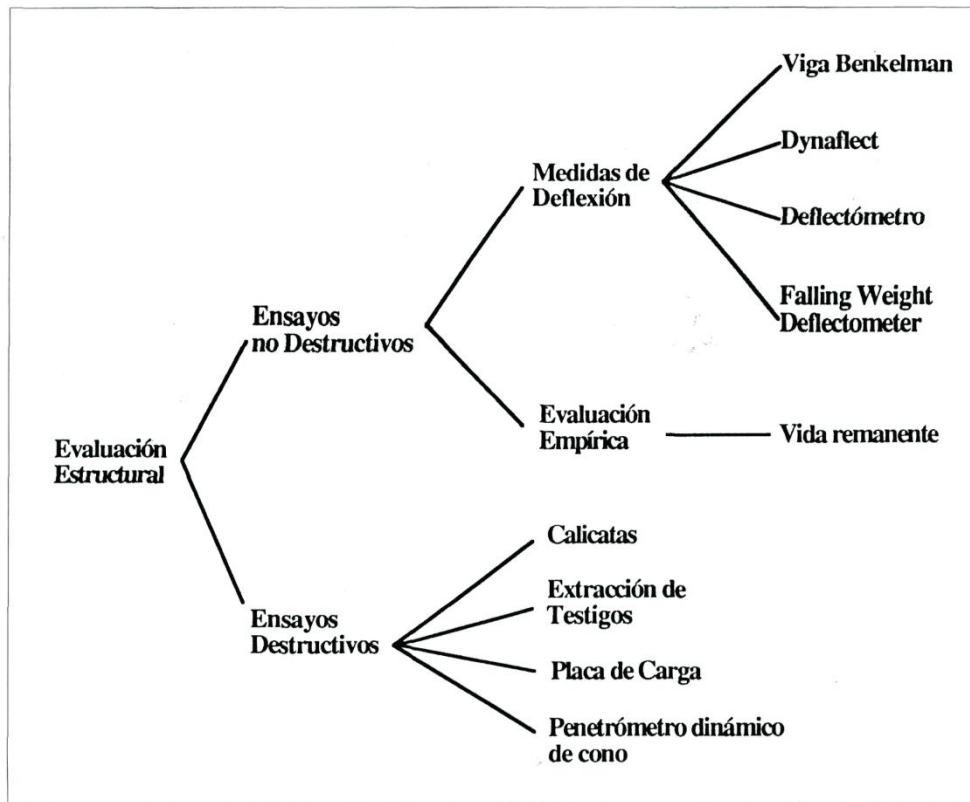
8. Claessen A. y Ditmarsch. "Pavement Evaluation and Overlay Design - The Shell Method", Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, Ann Arbor, 1977.

**TABLA 1 Comparación de Métodos para la Evaluación Estructural.**

Procedimiento	Ventajas	Desventajas
Viga Benkelman	Aparato más simple para medir deflexiones, y de menor costo. No altera el pavimento. Parámetro base de métodos de evaluación estructural.	Bajo Rendimiento. Mide solo deflexión máxima.
Deflectómetro	Alto rendimiento. No altera el pavimento.	Equipo sofisticado de alto costo. Solo deflexión máxima es utilizable como parámetro de evaluación.
Dynalect	Alto rendimiento. No altera el pavimento. Mide deflexiones en varios puntos del cuenco.	Equipo sofisticado de alto costo. Cargas menores y menor precisión.
Falling Weight Deflectometer	Alto rendimiento. No altera el pavimento. Mide deflexiones en varios puntos del cuenco. Parámetro base de evaluación de algunos métodos.	Equipo sofisticado de (FWD) alto costo. Mejor precisión en mediciones.
Vida remanente	Estimación simple y costo mínimo si se cuenta con la información.	Dificultad de estimar tránsito a la fecha. Poco recomendable.
Calicatas	Evalúa en forma real las propiedades de los materiales del pavimento.	Alteración del pavimento. Muy bajo rendimiento.
Extracción de testigos	Evalúa en forma real las propiedades de los materiales de las capas de rodado. Alteración mínima del pavimento. Necesario y recomendable para los métodos de diseño.	Solo aplicable a los materiales de superficie.
Placa de carga	Evalúa en forma real la capacidad de soporte de las capas del pavimento.	Alteración significativa del pavimento a un alto costo. Muy bajo rendimiento.
Penetrómetro (DCP)	Evalúa en forma real las propiedades de los materiales granulares del pavimento. Alteración menor del pavimento.	Solo aplicable a capas granulares.

**TABLA 2 Comparación entre Métodos de Diseño de Recapados.**

Método	Ventajas	Desventajas
AASHTO	Aplicable a pavimentos asfálticos y de hormigón. Simple de aplicar con el método de extracción de testigos.	Más complejo y alto costo mediante el método FWD. No recomendable método de la vida remanente.
Asphalt Institute (USA)	Aplicable a pavimentos asfálticos y de hormigón. Simple de aplicar con el método de extracción de testigos. También es aplicable en forma expedita mediante viga Benkelman.	Para pavimentos de hormigón no fracturado no considera efecto del tránsito, resultando espesores de diseño muy uniformes.
Shell	Evaluación más analítica del pavimento.	Sólo aplicable a pavimentos asfálticos. Definición de parámetros muy compleja. Requiere conocer tránsito a la fecha.
TRRL	Es aplicable en forma expedita mediante viga Benkelman, no pudiendo aplicar directamente método de extracción de testigos.	Sólo aplicable a pavimentos asfálticos. Método desarrollado especialmente para las condiciones inglesas.



**Fig. 1 - Clasificación de Métodos para la Evaluación Estructural de un Pavimento.**

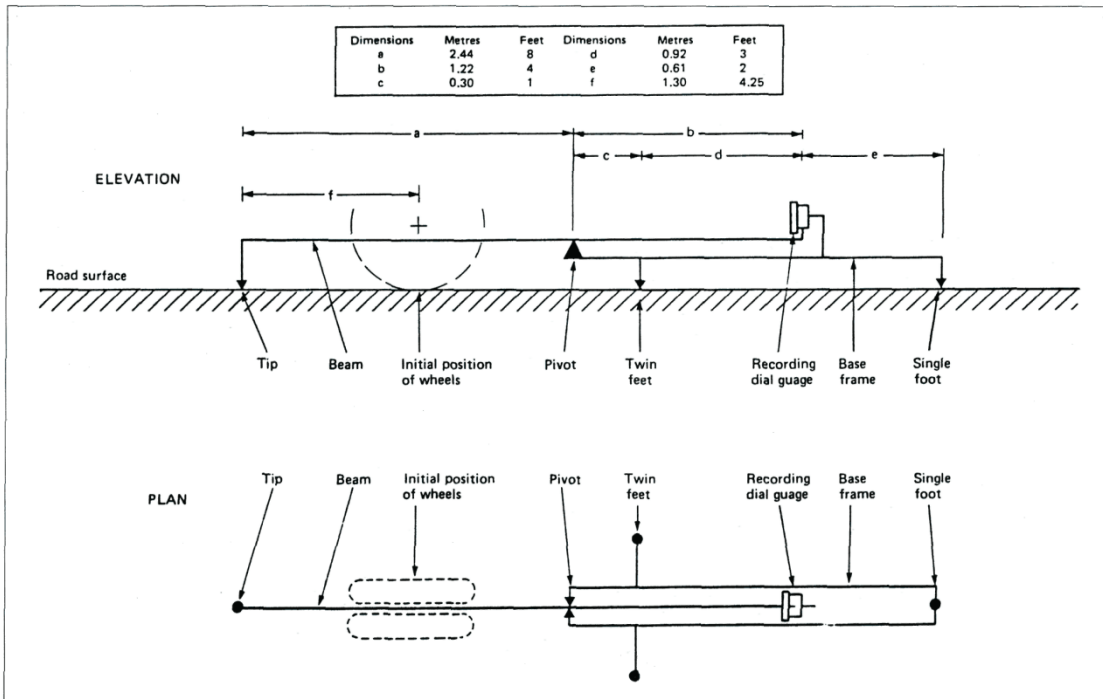


Fig. 2 - Viga Benkelman (Referencia 6).

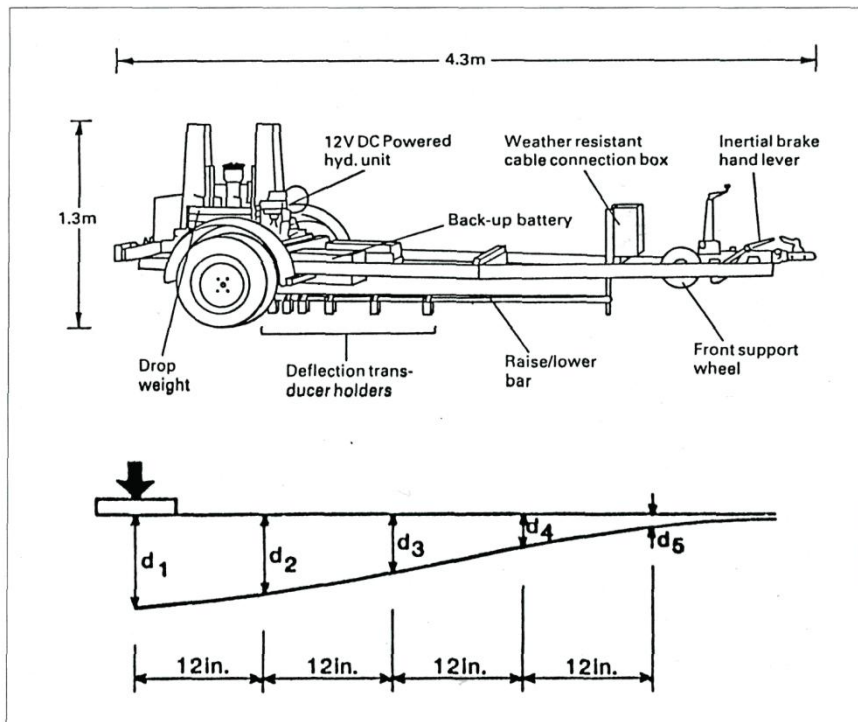


Fig. 3 - Falling Weight Deflectometer y Cuenco de Deflexiones (FWD), (Referencia 6).

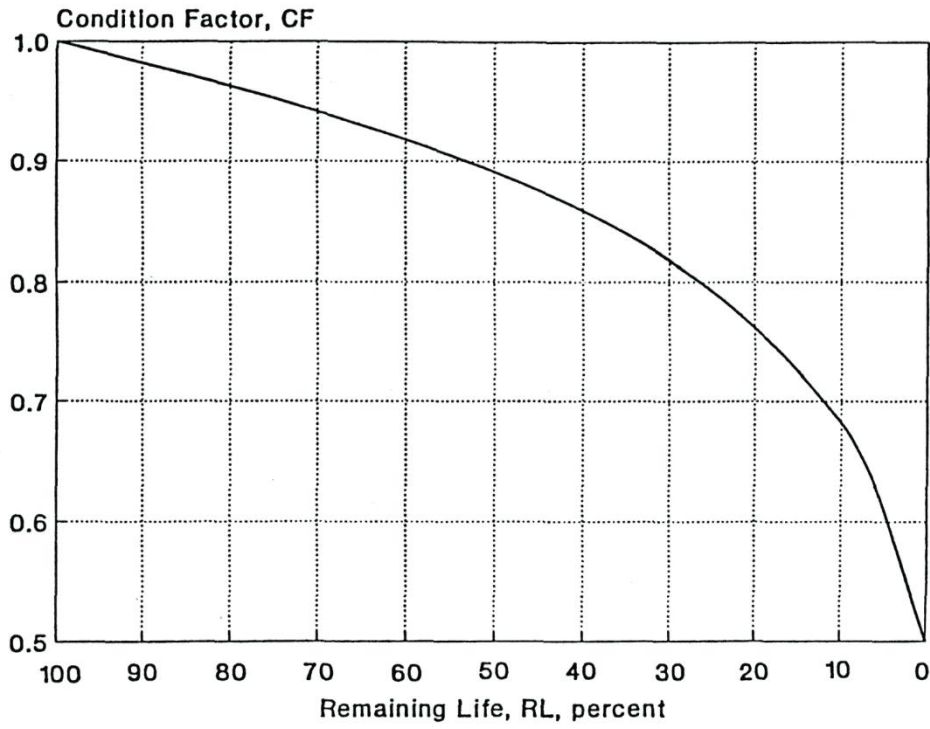


Fig. 4 - Determinación del Factor de Condición (Referencia 1).

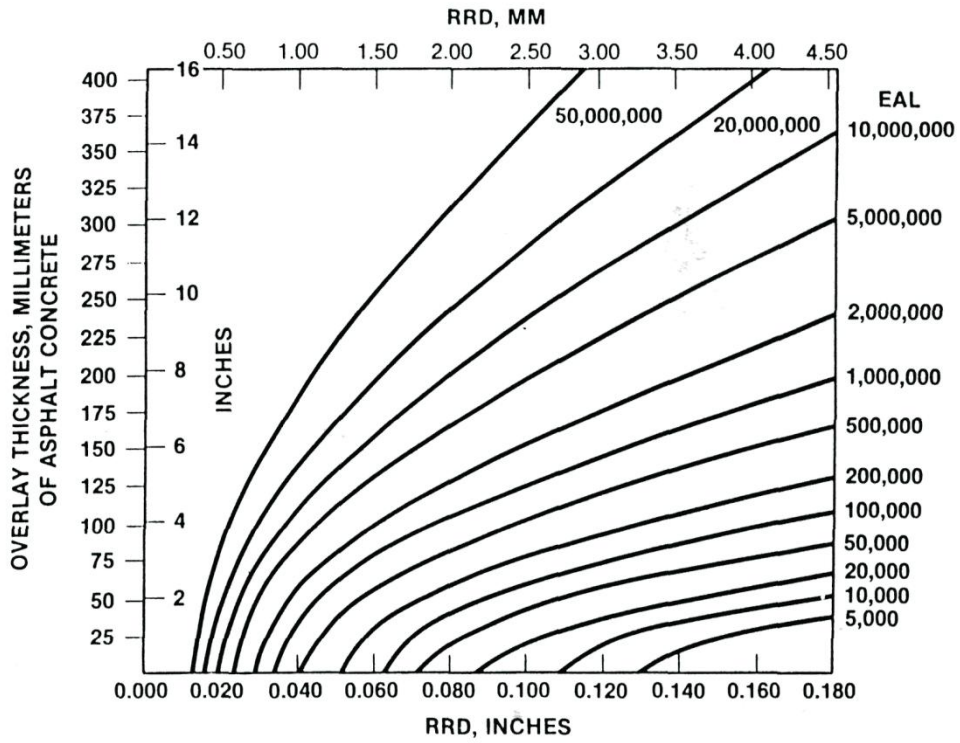


Fig. 5 - Espesor de Recapado, Asfalto sobre Asfalto. Método Asphalt Institute (Referencia 3).

**TEMPERATURE DIFFERENTIAL\* (°F)**

Slab Length (Ft) or Less	TEMPERATURE DIFFERENTIAL* (°F)						Slab Length (m)
	30	40	50	60	70	80	
10	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	3
15	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	4.5
20	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	125mm (5 in.)	140mm (5.5 in.)	6
25	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	125mm (5 in.)	150mm (6 in.)	175mm (7 in.)	7.5
30	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	125mm (5 in.)	150mm (6 in.)	175mm (7 in.)	200mm (8 in.)	9
35	100mm (4 in.)	115mm (4.5 in.)	150mm (6 in.)	175mm (7 in.)	215mm (8.5 in.)	Use Alternative 2 or 3	10.5
40	100mm (4 in.)	140mm (5.5 in.)	175mm (7 in.)	200mm (8 in.)	Use Alternative 2 or 3	Use Alternative 2 or 3	12
45	115mm (4.5 in.)	150mm (6 in.)	190mm (7.5 in.)	225mm (9 in.)	Use Alternative 2 or 3	Use Alternative 2 or 3	13.5
50	125mm (5 in.)	175mm (7 in.)	215mm (8.5 in.)	Use Alternative 2 or 3	Use Alternative 2 or 3	Use Alternative 2 or 3	15
60	150mm (6 in.)	200mm (8 in.)	Use Alternative 2 or 3	Use Alternative 2 or 3	Use Alternative 2 or 3	Use Alternative 2 or 3	18
	17	22	28	33	39	44	

**TEMPERATURE DIFFERENTIAL\* (°C)**

\*Temperature differential ( $\Delta t$ ) is the difference between the highest normal daily maximum temperature and the lowest normal daily minimum temperature for the hottest and coldest months, based on a 30-year average. See Tables VII-1 and VII-2 for maximum and minimum daily temperature at locations throughout the United States.

NOTE: There are several alternatives to the thicknesses in Sections B and C of this chart. See Art 7.05.

Fig. 6 - Espesor de Recapado, Asfalto sobre Hormigón. Método Asphalt Institute (Referencia 3).

**FULL-DEPTH ASPHALT CONCRETE**

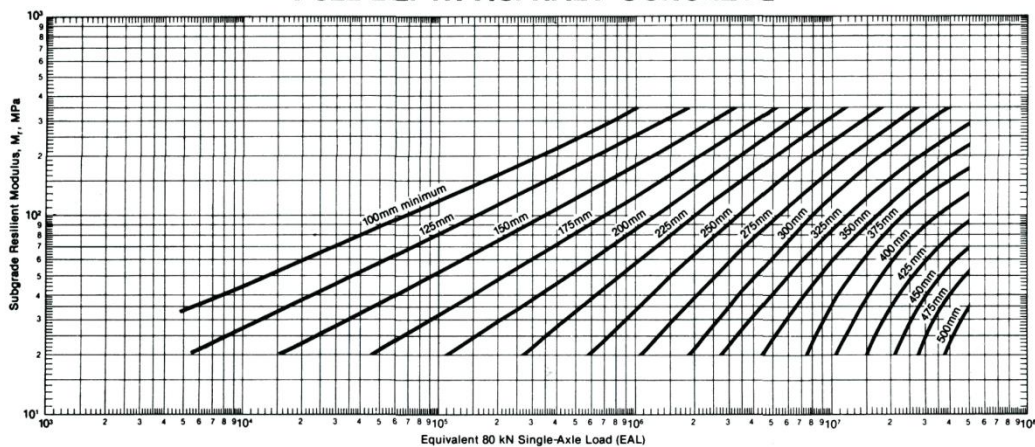


Fig. 7 - Espesor de Recapado por el Método del Espesor Efectivo. Método Asphalt Institute (Referencia 3).

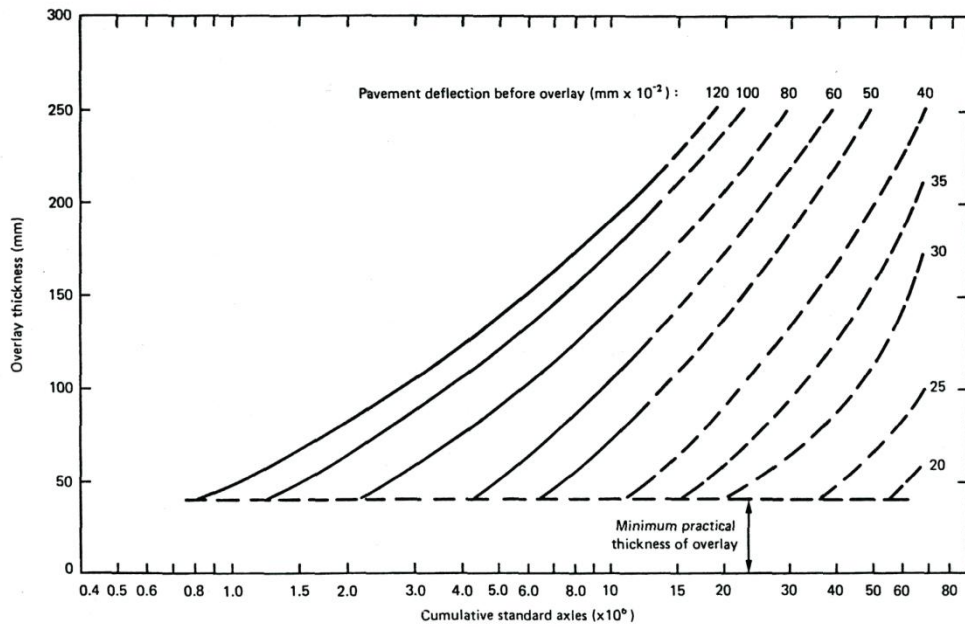


Fig. 8 - Diseño Espesores de Recapado. Método TRRL (Referencia 8).

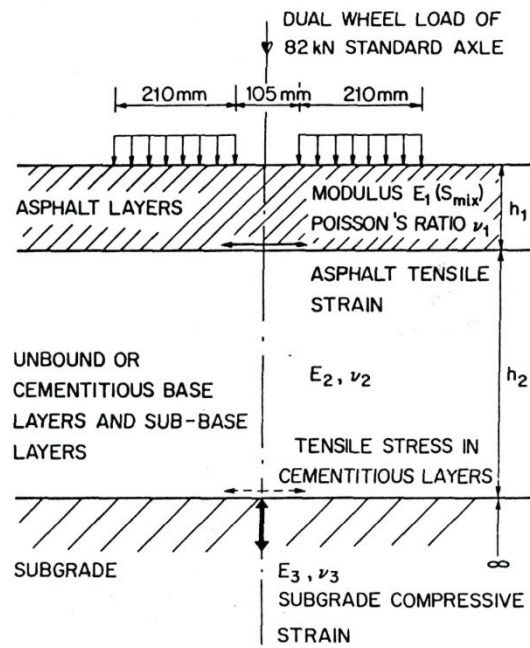


Fig. 9 - Modelo Multicapa de Pavimentos. Método Shell (Referencia 8).