

Pavimentos flexibles

Comparación de diseños de pavimentos flexibles nuevos según el método de diseño AASHTO 93, la Normativa Chilena vigente y la guía de diseño de pavimentos empírico-mecánica NCHRP 1-37A

Ing. Carlos Wahr Daniel
Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile
carlos.wahr@usm.cl
Ing. Christian Montenegro Araya
Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile
cmontenegroaraya@gmail.com

Resumen

Se presenta una comparación de diseños de pavimentos flexibles nuevos según el método de diseño AASHTO 93, la normativa vigente en Chile y la Guía de Diseño de Pavimentos Empírico-Mecánica NCHRP 1-37A. Ésta, a su vez, se realiza para pavimentos situados en la Región de Valparaíso, Chile.

En la guía de diseño del proyecto NCHRP 1-37A se introduce un nuevo concepto en cuanto a los datos de tránsito se refiere: el espectro normalizado de carga por eje en reemplazo de los ejes equivalentes. Para obtener esta nueva variable se aplica la metodología propuesta en la guía utilizando la información de plazas fijas de pesaje localizadas en la Región Metropolitana. La variable asociada al clima se incorpora al diseño mediante la utilización de una estación climática que se ajusta a la región en estudio, creada a partir de datos de temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación y humedad relativa. Con respecto a la estructuración del pavimento se escogen diseños que cumplen con las especificaciones nacionales y a partir de las propiedades de las mezclas asfálticas se desarrollan Curvas Maestras, según el Nivel 2 de la guía de diseño norteamericana. Para la caracterización de éstas se emplean seis ligantes asfálticos CA 60/80 de las principales industrias asfalteras del país y cinco diseños de mezclas asfálticas empleadas actualmente.

A partir de los resultados obtenidos por los tres programas puede comentarse, como resumen, que la estructuración no varía sustancialmente, existiendo sí una diferencia en los diseños basados en los programas AASHTO 93 y PAVIVIAL: éstos no predicen el comportamiento en cuanto a los deterioros se refiere, contrastando con las predicciones obtenidas mediante la guía norteamericana. A modo de comentario, cabe destacar que, en el empleo del procedimiento empírico-mecanicista, los modelos de deterioro no han sido calibrados para la realidad nacional, lo cual incide en los resultados obtenidos en este estudio.

Palabras clave: diseño de pavimentos, AASHTO 93, NCHRP 1-37A, pavimento, diseño.

Abstract

This research presents a new flexible pavement designs comparison between the design method presented in AASHTO 93, the valid regulations currently in Chile and the Empirical-Mechanistic Pavements Design Guide NCHRP 1-37A. This work was made for pavements of Valparaíso Region, Chile.

The NCHRP 1-37A design guide introduced a new concept for the traffic data: the load normalized spectrum by axles in replacement of the equivalent axles. To obtain this new variable is necessary to apply the proposed guide methodology, using the information of fixed weigh located in the Metropolitan Region. The variable associate to climate is incorporated to the design through the use of weather stations that are adjusted to the study region, created from temperature data, wind velocity, cloudiness, rainfall and relative humidity. Regarding to the pavement structure, this research choose designs that comply with the national specifications and based on asphalt mixtures properties it develope Master Curves, according to the Level 2 of the Empirical-Mechanistic Pavements Design Guide NCHRP 1-37A. To do these characterization, were employed six asphalt binders CA 60/80 from the main asphalt industries of the country and five asphalt mixtures designs actually employed.

From the results obtained by three programs, as a summary, is clear that the structure does not vary substantially, although it is a difference between the designs based on AASHTO 93 and PAVIVIAL: these do not estimate distress development, contrasting with the predictions obtained by the Empirical-Mechanistic Pavements Design Guide NCHRP 1-37A. It's important to emphasize that in the empirical-mechanistic procedure, the distress models have not been calibrated for the national reality, which impacts in the results obtained in this study.

Keywords: pavements design, AASHTO 93, NCHRP 1-37A, pavement, design.

1. Introducción

El diseño de pavimentos flexibles nuevos mediante un modelo empírico-mecanicista requiere de una aproximación práctica e iterativa de parte del diseñador. Éste debe seleccionar un diseño preliminar para luego analizarlo en detalle y así determinar si éste se ajusta a los criterios de desempeño establecidos por el profesional.

En este estudio se presenta una comparación de diseños de pavimentos flexibles nuevos según AASHTO 93, la normativa vigente en el país y la aplicación de la Guía de Diseño de Pavimentos Empírico-Mecánica NCHRP 1-

37A. Esta comparación se efectúa para diseños situados en la Región de Valparaíso de Chile, empleándose el método de diseño AASHTO 93, el programa PAVIVIAL y el software *Design Guide, Pavement Analysis & Design System* (versión preliminar).

Para diseñar pavimentos mediante el software de la guía norteamericana se deben ingresar ciertos *inputs* que agrupan variables y parámetros de diseño, siendo éstos los siguientes: tránsito, clima, estructuración del pavimento y propiedades de los materiales.

Estos datos de entrada se detallan a lo largo de este documento, los cuales, siendo ingresados al software permiten la aplicabilidad de modelos de deterioro y la obtención de la progresión del desempeño en el tiempo. Para pavimentos flexibles, los deterioros posibles de analizar son los siguientes: deformación permanente, grietas por fatiga (de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo), grietas térmicas y verificación de la regularidad superficial (IRI).

El procedimiento de diseño contempla que si el diseño inicial no satisface los criterios de desempeño, éste se modifica y reanaliza hasta que satisfaga todos los criterios. El diseño que se ajuste a los criterios citados es considerado confiable desde el punto de vista estructural y funcional.

2. Métodos de diseño de pavimentos a comparar

2.1. Método de Diseño AASHTO 93 [1]

Este método no se describirá en este documento debido a su gran conocimiento en el medio.

2.2. Normativa Vigente en el País [2]

La metodología vigente en Chile para el diseño de pavimentos flexibles se describe en el Manual de Carreteras Volumen N°3: Instrucciones y Criterios de Diseño – Junio 2002 y corresponde a un procedimiento basado en el método AASHTO 93 adecuado a nuestra realidad. La modificación principal al método AASHTO es en lo que se refiere al espesor de la carpeta asfáltica, en que se reemplaza la verificación por capas por una aproximación basada en las curvas de diseño del manual de SHELL 1978, lo cual asegura que un porcentaje adecuado del número estructural total se coloque en

mezclas asfálticas. El procedimiento de diseño emplea el programa PAVIVIAL incorporado en el Manual de Carreteras anteriormente citado.

2.3 Guía de Diseño de Pavimentos Empírico-Mecanicista NCHRP 1-37A [3]

La metodología de diseño de la guía norteamericana es del tipo empírico-mecanicista y requiere de una aproximación práctica e iterativa de parte del diseñador, el cual debe seleccionar un diseño preliminar para luego analizarlo en detalle para determinar si éste se ajusta a los criterios de desempeño establecidos.

2.3.1 Datos del Proyecto [4]

Se describe el ingreso de los datos de entrada, los que permiten iniciar el procedimiento de diseño para pavimentos flexibles mediante el software *Design Guide, Pavement Analysis & Design System* [5]. La figura 1 muestra el procedimiento a seguir en el diseño de pavimentos flexibles.

2.3.1.1 Información General

Los siguientes datos de entrada definen el período y tipo de análisis: vida de diseño, mes de construcción de la base y de la subrasante, mes de construcción del pavimento (MAC), mes de apertura al tránsito y tipo de pavimento (flexible).

2.3.1.2 Identificación del Lugar y del Proyecto.

Este grupo de datos de entrada incluye lo siguiente: ubicación del proyecto, identificación del proyecto y clase funcional del pavimento a diseñar.

Procedimiento general de diseño para pavimentos asfálticos (3)

Figura 1

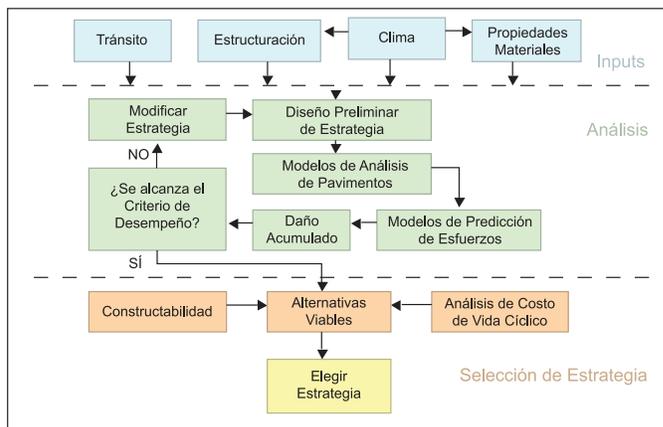
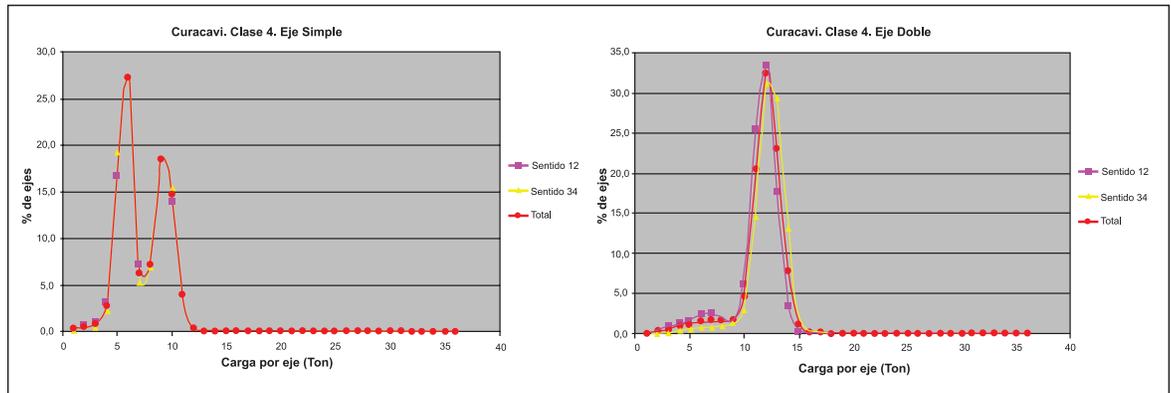


Figura 2

Espectros de vehículos clase 4, ejes simples y dobles del punto de control Curacaví (6)



2.3.1.3 Parámetros de Análisis.

El diseñador debe seleccionar el nivel de confiabilidad y el límite admisible para cada deterioro en el período de diseño seleccionado, además del valor inicial para el IRI.

- *IRI Inicial*: se define como la regularidad del pavimento recién construido. Este parámetro es altamente dependiente de las especificaciones de regularidad del proyecto y tiene un impacto significativo en la calidad del pavimento. Los rangos típicos van desde 0.8 a 1.6 metros por kilómetro (50 a 100 pulgadas por milla).

- *Criterio de Desempeño*: el diseño de pavimentos flexibles considera los siguientes modelos de deterioro:

- Deformación permanente para todas las capas (asfáltica, granulares y subrasante)
- Agrietamiento por fatiga de arriba hacia abajo en la mezcla asfáltica
- Agrietamiento por fatiga de abajo hacia arriba en la mezcla asfáltica
- Agrietamiento térmico de la mezcla asfáltica y
- Regularidad (IRI) del pavimento.

2.3.2 Datos de Entrada.

2.3.2.1 Tránsito [6].

Los espectros normalizados de cargas por eje fueron generados a partir de datos del pesaje selectivo obtenidos de las plazas fijas de pesaje localizadas en la Región Metropolitana, siendo éstas:

- Curacaví, ubicada en la Ruta 68 Santiago-Valparaíso;
- Lampa, ubicada en la Ruta 5 Norte; y
- El Monte, ubicada en la Ruta 78 Santiago-San Antonio.

Estas estaciones de control de peso, que se encuentran situadas a lo largo de todo Chile, tienen por objetivo controlar la circulación de vehículos con sobrepeso, a fin de evitar el deterioro y daño prematuro de los caminos. El pesaje selectivo de las estaciones de pesaje permite controlar el peso de cada eje de un vehículo pesado mientras éste se encuentra en movimiento.

La administración de las plazas de pesaje corresponde a la Unidad Nacional de Pesajes, dependiente de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile.

En esta investigación se calculan los espectros normalizados de cargas por eje para los siguientes puntos:

- Plaza de pesaje (Nivel 1) y para el Área Metropolitana (Nivel 2);
- Sentido de circulación (sentido saliente de Santiago o sentido 12 y sentido entrante a Santiago o sentido 34) y considerando ambos sentidos (Total);
- Tipo de vehículo pesado (para las clases FHWA 4 a la 13);
- Tipo de eje (eje simple, doble o triple).

Los años de observación considerados para el análisis para cada estación de pesaje, son:

- Estaciones de pesaje Curacaví y Lampa: desde 1999 - 2002;
- Estación de pesaje El Monte: desde 2000 - 2002.

La información de tránsito requerida por el *software* es la siguiente: información del volumen de tránsito para el año base, factores de ajuste del volumen de tránsito (factores de ajuste mensual, distribución de vehículos por clase, distribución horaria y factores de crecimiento del tránsito), factores de distribución de cargas por eje y datos de entrada de tránsito generales (ubicación media de la rueda, desviación estándar del desplazamiento lateral, ancho de la pista de diseño, número de tipos de ejes por clase de camión, configuración de ejes y distancia promedio entre ejes-porcentaje de camiones)

| |
|--------------------------|
| 2001010100,60,1,100,0,94 |
| 2001010101,60,5,100,0,91 |
| 2001010102,60,1,100,0,92 |

A modo de ejemplo, en la figura 2, se muestran los espectros de vehículos clase 4, ejes simples y dobles del punto de control de Curacaví.

2.3.2.2 *Clima [7].*

Las condiciones medioambientales son importantes en el desempeño de los pavimentos flexibles, siendo compleja la interacción de los factores climáticos con los materiales y las cargas. Factores como la precipitación, temperatura, ciclos hielo-deshielo y profundidad de la capa afectan el contenido de humedad del pavimento y de la subrasante, incidiendo directamente en la capacidad de soporte de las capas del pavimento y finalmente en el desempeño del mismo.

Es necesario recordar que los aspectos climáticos no fueron una variable de importancia durante el procesamiento de datos obtenidos de la prueba de rodadura AASHTO (*AASHTO Road Test*), hecho que dificultó la evaluación de aspectos tales como la influencia del clima en las características mecánicas intrínsecas del material, su relación con las cargas provenientes del tránsito y la interpolación del método hacia otras realidades climáticas.

El Modelo Climático Integrado Mejorado (*Enhanced Integrated Climatic Model, EICM*) que trae consigo el *software* de la guía se encarga de elaborar perfiles de humedad y de temperatura. Para ello se debe especificar la ubicación del lugar en que se desarrolle el proyecto a través de un archivo de tipo climático con extensión *.icm* (*input climate model*).

Para incorporar una estación climática al *software* se debe crear un archivo con extensión *.hcd* (*hourly climatic database*). Este tipo de archivos debe poseer sus datos estructurados de la siguiente forma:

Los primeros cuatro dígitos de este esquema corresponden al año de medición; los cuatro dígitos siguientes corresponden al mes, día y hora de medición. Posterior a éstos se separan con coma los datos de temperatura [°F] y velocidad del viento [mph], el porcentaje de nubosidad, la precipitación [in] y el porcentaje de humedad relativa.

Como puede apreciarse del párrafo anterior, la creación de una estación climática requiere de la recolección de datos cada una hora, por un periodo de tiempo no inferior a dos años, de los siguientes datos: temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación y humedad relativa.

En este estudio se emplean los datos de la Región de Valparaíso, los cuales son posible de emplear dada la similar condición climática entre esta región y la Metropolitana.

La mayoría de los datos se recogen del Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Técnica Federico Santa María, en donde se realizan mediciones, cada diez minutos, de temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento y otros parámetros de radiación solar; los datos de nubosidad se obtienen de la Estación Meteorológica de Valparaíso, perteneciente a la Armada de Chile.

Para que el programa reconozca este archivo se debe modificar una estación existente en la lista de estaciones climáticas del *software*; debido a que no se puede ingresar una nueva estación. Se debe elegir alguna que sea similar en cuanto a latitud, de modo que los cálculos de balance de energía realizados internamente por el EICM sean representativos. Además se realiza un estudio de los datos climáticos de las estaciones que mejor representen la Región de Valparaíso, siendo la estación de Santa Bárbara del Estado de California (archivo 23190.hcd) la elegida. Este archivo se modifica cambiando los datos que contiene por los recolectados para la estación climática de Valparaíso, teniendo en cuenta de que las estaciones del año entre ambos países se encuentran desfasadas 6 meses. Como el *software* opera con los datos de Norteamérica, los datos recolectados en Chile se deben ingresar desfasados.

A través del software se escoge entre las dos opciones que existen para especificar este tipo de archivos: importar un archivo de tipo climático previamente generado (.icm) o a través de la formación de un archivo con extensión .icm, el cual emplea los datos de tiempo disponibles en el *EICM* para varias estaciones climáticas de Estados Unidos.

A partir de la primera opción y luego de ingresar el valor del nivel freático en pulgadas para Valparaíso, se escoge la estación climática de Santa Bárbara (cuyos datos se encuentran cambiados, como se mencionó anteriormente), generándose un archivo nuevo, al cual se le da el nombre de *Valparaíso.icm*. Este archivo puede ser empleado directamente, previa elección, en cualquier otro proyecto que se emplace en la Región de Valparaíso.

2.3.2.3 Estructura del Pavimento y Propiedades de los Materiales [8].

La predicción correcta del desempeño de los pavimentos asfálticos es reconocida como una de las más importantes, compleja y difícil de estudiar. La metodología para predecir el desempeño se puede optimizar a partir de la selección adecuada de los materiales y los espesores de capas de la estructura del pavimento.

Los datos de los ligantes asfálticos se ingresan a partir de ensayos convencionales, efectuados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Control de Obras LEMCO (perteneciente a la Universidad Técnica Federico Santa María), empleándose seis asfaltos tradicionales de las principales industrias asfalteras de la nación. Para datos de diseño volumétricos se consideran cinco mezclas asfálticas empleadas en nuestro país.

A partir de estos datos el *software* desarrolla el modelo de envejecimiento de los ligantes asfálticos y es posible determinar las curvas maestras del módulo dinámico de las mezclas asfálticas.

2.3.2.3.1 Sistema de Envejecimiento Global.

La caracterización del ligante asfáltico y su relación con el comportamiento del pavimento son una de las mayores preocupaciones en el desarrollo del sistema de envejecimiento de los pavimentos asfálticos. Entre los diferentes factores usados en la caracterización del ligante, las propiedades de durabilidad y endurecimiento son factores claves.

En el desarrollo del sistema de envejecimiento global se emplean mediciones de consistencia para estudiar el comportamiento del asfalto en función del tiempo. El cambio en las principales propiedades se estudia en dos fases:

- Cambio en las propiedades originales en la etapa de mezclado y compactación (corto plazo); y
- Envejecimiento a largo plazo que sufre el ligante asfáltico en el terreno con el tiempo.

De esta manera los resultados de la primera fase se encuentran relacionados con los de la segunda, conduciendo al Sistema Global de Envejecimiento, el que es capaz de predecir las propiedades del asfalto desde la condición inicial en cualquier instante y posición en la estructura durante la vida del pavimento.

2.3.2.3.2 Curvas Maestras.

La guía se basa en principios empírico-mecanicistas y la teoría elástica, requiriendo conocer el Módulo Dinámico E^* de mezclas de asfalto en caliente con el fin de calcular los esfuerzos y deformaciones de los pavimentos en cada incremento de tiempo. El Módulo Dinámico de la mezcla asfáltica es función de condiciones del pavimento tales como temperatura, velocidad de carga, edad y características de la mezcla (rigidez del ligante, graduación del agregado, contenido de ligante y vacíos de aire). Este módulo puede ser determinado a partir de la Curva Maestra, construida a una temperatura de referencia.

Las curvas maestras se construyen usando el Principio de Superposición Tiempo-Temperatura. Primero se selecciona una temperatura de referencia estándar (en este caso 25°C) y los datos a distintas temperaturas se ajustan con respecto al tiempo hasta que la curva se combina en una sola función. La Curva Maestra del módulo dinámico con sus *Shift Factors*, como función del tiempo, es la manera de describir la dependencia del tiempo (temperatura y velocidad de carga) del material.

Para el Nivel 2 de análisis, la Curva Maestra se obtiene directamente de la ecuación de predicción para el Módulo Dinámico (ecuación de Witzac), la cual permite predecir el E^* de las mezclas asfálticas para una frecuencia que depende de la velocidad y profundidad a la que se desee evaluar, además de las condiciones de temperatura y envejecimiento representadas por la viscosidad del asfalto y de las propiedades volumétricas de la mezcla.

3. Resultados [4].

Los resultados que se presentan en este estudio son obtenidos a partir de los tres programas citados en el capítulo anterior. Éstos difieren principalmente entre sí por la cantidad de variables y parámetros que emplean, así como en su forma de operación, siendo éstos: PAVIVIAL, AASHTO 93 y ME-PDG.

A partir de numerosas iteraciones en los mismos, en donde se emplean los datos de tránsito recopilados en la estación de pesaje de Curacaví, del sentido del flujo vehicular más desfavorable (alejándose de Santiago), nivel de confianza igual a 70%, estructuración basada en una subrasante con CBR igual a 10% y seis asfaltos, entre otras variables y/o parámetros, se obtuvieron los resultados que se muestran en las siguientes hojas.

En la Tabla 3-1 se muestran los resultados de las estructuraciones mínimas que se necesitan para cumplir los criterios establecidos para cada programa. Cabe destacar que para la ME-PDG estos valores se obtuvieron mediante numerosas iteraciones, seleccionando finalmente el asfalto que cumpliera de mejor manera todos los criterios de desempeño establecidos.

En las Tablas 3-2 y 3-3 se muestra una comparación de los criterios de desempeño según la ME-PDG para los seis asfaltos en cuestión, para la estructuración de la Tabla 3-1 y para dos tipos de mezclas asfálticas

Estructuración mínima en (mm) que cumple los criterios de cada programa, según sea el caso

Tabla 3-1

| Capa | Asfalto F | | |
|------------------------------------|-----------|-----------|----------|
| | ME-PDG | AASHTO 93 | PAVIVIAL |
| Concreto asfáltico (capa rodadura) | 55 | 50 | 50 |
| Concreto asfáltico (binder) | 75 | 70 | 70 |
| Base asfáltica permeable | 100 | 95 | 95 |
| Base granular | 150 | 150 | 150 |
| Sub-base granular | 150 | 150 | 150 |

para la capa de rodadura (manteniéndose las mezclas de las capas asfáltica intermedia y base), las que se diferencian entre sí por el tamaño máximo de los agregados empleados, siendo 1/2" y 3/4" pulgadas los valores empleados. Los resultados que se obtienen se comparan con los esfuerzos y niveles de confianza críticos impuestos en un comienzo al programa de diseño norteamericano.

El Gráfico 3-1 muestra el comportamiento del módulo de las capas asfálticas estructurales para los distintos meses que conforman la vida de diseño para el asfalto, evaluándose éste a distintas profundidades.

Comparación de criterios según la ME-PDG para distintos asfaltos, estructuración según Tabla 3-1 y mezcla asfáltica para la capa de rodadura tipo 1

Tabla 3-2

| Criterio de desempeño | Deterioro límite | Deterioro predicho según asfaltos | | | | | |
|---|---------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | A | B | C | D | E | F |
| IRI terminal (in/mi) | 172 | 85,5 | 85,8 | 85,6 | 85,6 | 85,7 | 85,4 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Long.) (ft/500) | 1000 | 4,6 | 7,0 | 4,9 | 5,0 | 5,6 | 3,7 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Tipo Cocodrilo) (%) | 25 | 12,2 | 13,3 | 12,3 | 12,4 | 13,1 | 11,4 |
| Fractura térmica del CA (Agriet. Transversal) (ft/mi) | 1000 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Deformación permanente (Sólo CA) (in) | 0.25 | 0,22 | 0,26 | 0,23 | 0,23 | 0,22 | 0,21 |
| Deformación permanente (Pavimento total) (in) | 0.75 | 0,45 | 0,49 | 0,46 | 0,46 | 0,45 | 0,43 |
| Criterio de desempeño | Confiability límite | Confiability predicha según asfaltos | | | | | |
| | | A | B | C | D | E | F |
| IRI terminal (in/mi) | 70 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Long.) (ft/500) | 70 | 94,92 | 92,09 | 94,53 | 94,39 | 93,64 | 96,06 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Tipo Cocodrilo) (%) | 70 | 88,94 | 86,08 | 88,66 | 88,43 | 86,62 | 90,85 |
| Fractura térmica del CA (Agriet. Transversal) (ft/mi) | 70 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 |
| Deformación permanente (Sólo CA) (in) | 70 | 64,61 | 46,17 | 59,05 | 58,17 | 64,41 | 70,41 |
| Deformación permanente (Pavimento total) (in) | 70 | 99,73 | 98,87 | 99,58 | 99,54 | 99,7 | 99,85 |

Tabla 3-3

Comparación de criterios según la ME-PDG para distintos asfaltos, estructuración según Tabla 3-1 y mezcla asfáltica para la capa de rodadura tipo 2

| Criterio de desempeño | Deterioro límite | Deterioro predicho según asfaltos | | | | | |
|---|----------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | A | B | C | D | E | F |
| IRI terminal (in/mi) | 172 | 85,6 | 85,8 | 85,6 | 85,6 | 85,7 | 85,4 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Long.) (ft/500) | 1000 | 5,0 | 7,7 | 5,3 | 5,5 | 6,2 | 4,1 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Tipo Cocodrilo) (%) | 25 | 12,3 | 13,5 | 12,5 | 12,6 | 13,3 | 11,5 |
| Fractura térmica del CA (Agriet. Transversal) (ft/mi) | 1000 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Deformación permanente (Sólo CA) (in) | 0.25 | 0,22 | 0,26 | 0,24 | 0,24 | 0,22 | 0,21 |
| Deformación permanente (Pavimento total) (in) | 0.75 | 0,45 | 0,5 | 0,47 | 0,47 | 0,45 | 0,44 |
| Criterio de desempeño | Confiabilidad límite | Confiabilidad predicha según asfaltos | | | | | |
| | | A | B | C | D | E | F |
| IRI terminal (in/mi) | 70 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Long.) (ft/500) | 70 | 94,33 | 91,34 | 93,92 | 93,8 | 92,96 | 95,56 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Tipo Cocodrilo) (%) | 70 | 88,66 | 85,58 | 88,2 | 87,96 | 86,12 | 90,59 |
| Fractura térmica del CA (Agriet. Transversal) (ft/mi) | 70 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 | 99,99 |
| Deformación permanente (Sólo CA) (in) | 70 | 62,64 | 44,42 | 57,04 | 56,17 | 62,98 | 68,86 |
| Deformación permanente (Pavimento total) (in) | 70 | 99,68 | 98,71 | 99,5 | 99,47 | 99,66 | 99,82 |

Finalmente se presenta la última tabla, la cual muestra los resultados que se obtienen para el asfalto que cumple con todos los criterios de desempeño de la ME-PDG para el nivel 2 del ligante asfáltico (*Conventional binder test data*) y se comparan con los valores que se obtienen empleando el nivel 3 del mismo (*Conventional Penetration Grade, Pen 60-70*).

5. Conclusiones y comentarios

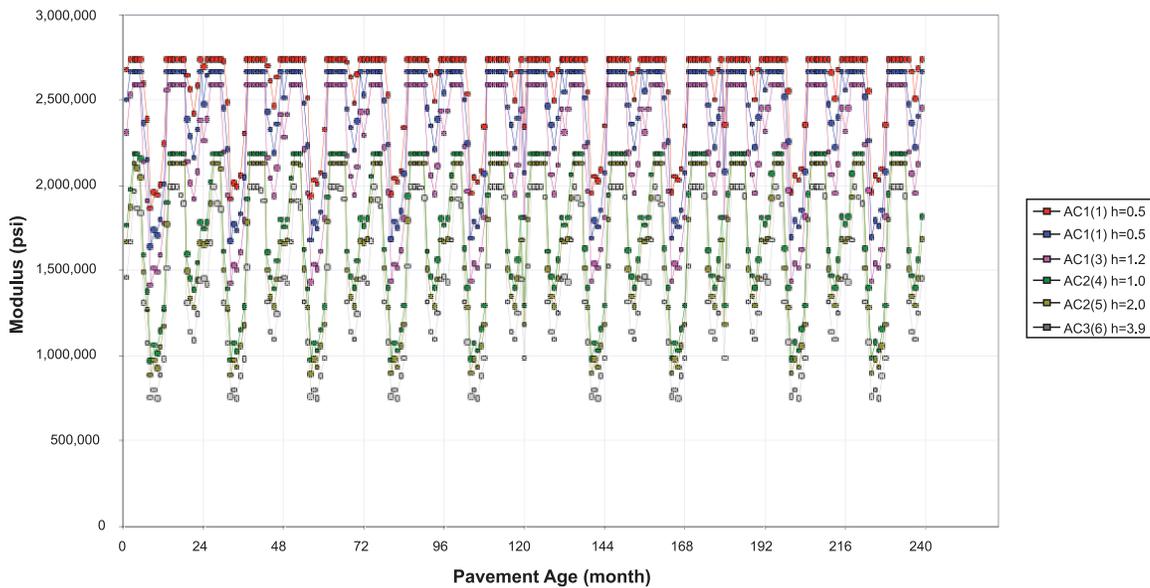
A partir de los resultados obtenidos por los tres programas, los cuales se resumen en la Tabla 3-1, se aprecia que la estructuración no varía sustancialmente, existiendo sí una diferencia en los diseños basados en los programas AASHTO 93 y PAVIVIAL: éstos no predicen el comportamiento en cuanto a los deterioros se refiere, contrastando con las predicciones obtenidas mediante la guía norteamericana; sin embargo, cabe destacar que, en el empleo del procedimiento empírico-mecanicista, los modelos de deterioro no han sido calibrados para la realidad nacional, lo cual incide en los resultados obtenidos en este estudio.

A través de las Tablas 3-2 y 3-3 es posible apreciar que los resultados son sensibles a los tipos de asfaltos y, de menor manera, a la granulometría de las mezclas asfálticas empleadas. Realizando este análisis es posible observar que el asfalto F es el único que cumple con todos los criterios de desempeño que presenta la ME-

PDG, permitiendo escoger de manera fundamentada un asfalto por sobre otro, dado su mejor comportamiento predicho para la vida de diseño escogida. Cabe destacar que el criterio de desempeño *Fractura Térmica del CA (Agriet. Transversal)* no presenta resultados válidos para ningún asfalto debido a que el criterio no tiene cabida en esta oportunidad. Esto se debe a que en la zona en donde se realizó el estudio climático no se presentan variaciones de temperatura significativas durante el día y la noche, ni temperaturas extremas que agrieten la carpeta asfáltica térmicamente.

Del Gráfico 3-1 se puede visualizar que el módulo de las capas presenta variaciones mensuales, mostrándose más altos en los meses más fríos (comienzo del invierno en Norteamérica) y más bajos desde el comienzo de los meses más calurosos. Se debe destacar que este comportamiento se repite cíclicamente de año a año desde los primeros meses hasta el término de la vida de diseño, manteniéndose constantes los módulos de las capas asfálticas para un mismo mes de un año a otro. La problemática se presenta al analizar en el tiempo el comportamiento del asfalto y de la mezcla asfáltica. Para el primero, la composición química de éste cambia a medida que pasa el tiempo o que envejece, lo que hace que el módulo del asfalto aumente, traducándose en un aumento del módulo de la mezcla. Por lo tanto, el módulo, a través del tiempo, no debería presentar ciclos iguales de año a año, sino que un comportamiento que

Asphalt Sub-Layers Modulus Vs Time



denote un aumento. A su vez, si se aplica la ecuación de Witzac y el modelo de envejecimiento global se obtiene que el módulo aumenta, hecho que no ve reflejado en el programa.

También se ve que para las tres capas asfálticas los valores máximos y mínimos de los módulos varían significativamente, principalmente entre la primera capa asfáltica (de rodadura) y las dos siguientes (ligante asfáltico y base asfáltica). Esto se explica en que la primera capa se ve más afectada a los distintos tiempos de carga y a la acción del medio ambiente (principalmente a los cambios de temperatura) en comparación con las siguientes. Por otra parte, la variación de los módulos para una misma capa a diferentes profundidades, no es tan relevante como la mencionada en líneas anteriores, basando su causa en la misma explicación anterior.

De la Tabla 3-4 se desprende que el comportamiento para el asfalto F mejora a medida que el nivel escogido para el ligante asfáltico aumenta. Esto queda de manifiesto en la confiabilidad entregada por el *software* para los criterios de desempeño para ambos niveles, llegando a presentarse para éstos una diferencia máxima de un 15 por ciento, quedando de manifiesto que mientras más alto sea el nivel de entrada de los datos, más confiable será la predicción que el *software* realiza a lo largo del tiempo.

Al ingresar la estructuración obtenida, mediante los programas AASHTO 93 y PAVIVIAL, en el *software* de la guía norteamericana, se obtuvo que ésta cumple

Comparación de criterios de desempeño según el deterioro predicho y la confiabilidad predicha empleando distintos niveles de asfalto e igual estructuración

Tabla 3-4

| Criterio de desempeño | Deterioro predicho | | | Confiabilidad predicha | | |
|---|--------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|
| | Asfalto F | | | Asfalto F | | |
| | Deterioro Lím. | Nivel 2 | Nivel 3 | Confiabilidad Lím. | Nivel 2 | Nivel 3 |
| IRI terminal (in/mi) | 172 | 85,4 | 86,6 | 70 | 99,99 | 99,99 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Long.) (ft/500) | 1000 | 3,7 | 14,7 | 70 | 96,09 | 86,11 |
| Agrietamiento del CA de arriba hacia abajo (Agriet. Tipo Cocodrilo) (%) | 25 | 11,4 | 17,2 | 70 | 90,85 | 74,7 |
| Fractura térmica del CA (Agriet. Transversal) (ft/mi) | 1000 | 1 | 1 | 70 | 99,99 | 99,99 |
| Deformación permanente (Sólo CA) (in) | 0,25 | 0,21 | 0,23 | 70 | 70,41 | 59,49 |
| Deformación permanente (Pavimento total) (in) | 0,75 | 0,43 | 0,47 | 70 | 99,85 | 99,42 |

con todos los criterios de desempeño, salvo con el de *Deformación Permanente (Sólo CA)*.

A modo de comentario, puede enunciarse lo siguiente:

-Si se escoge el nivel 2 del ligante asfáltico (*Conventional binder test data*) la guía presenta problemas, en lo que a resultados se refiere. Por ejemplo si se ingresa, para distintos asfaltos, la cantidad máxima de datos de viscosidad y temperatura en conjunto con los datos de penetración, los resultados entregados por el *software* para los deterioros y los módulos de las capas no varían de un caso a otro. Existe diferencia entre asfaltos sólo cuando se ingresan los datos de la temperatura para el punto de ablandamiento y las viscosidades absoluta y cinemática (caso considerado en este estudio). Complementando lo anterior, para el asfalto F se verifica manualmente de dos maneras distintas (a través del empleo de tres y de nueve pares de datos de la relación viscosidad-temperatura) que los valores de los coeficientes A y VTS de la misma relación no varían significativamente entre una forma u otra.

-Para una subrasante con un CBR de un 10% (suelo tipo A-6) se obtiene que los valores del módulo resiliente, calculados mediante el *software* y a partir de la correlación $2555 * CBR^{0.64}$ (psi), difieren a lo largo del tiempo. El valor del módulo entregado por el programa, en un inicio, es un 8% menor al que se obtiene mediante la correlación, para luego pasar a ser, de manera paulatina y en los cuatro años siguientes, un 14% inferior, para posteriormente mantenerse constante y sin variación estacional en lo que resta de horizonte de análisis. Lo que se cuestiona es que el valor del módulo resiliente no debería presentar un comportamiento en que sólo denote variaciones en un comienzo, sino que a lo largo de todo el período de análisis, dados los significativos cambios estacionales que ocurren de año a año.

-La baja significancia estadística de los modelos de predicción de la deformación permanente (ahuellamiento) empleados por la ME-PDG pone en duda su aplicabilidad hoy en día.

Finalmente, se puede decir que la guía norteamericana da un paso adelante en lo que a diseño de pavimentos flexibles nuevos se refiere, pero es deseable, una mayor significancia estadística para algunos modelos de deterioro (deformación permanente) y una solución a los pequeños inconvenientes detectados en la versión preliminar del *software*.

Bibliografía

1. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1993.
2. Manual de Carreteras Volumen N°3: Instrucciones y Criterios de Diseño, Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Santiago de Chile, Junio de 2003.
3. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, National Cooperative Highway Research Program 1-37A, Final Report, March 2004.
4. MONTENEGRO ARAYA, Christian. "Comparación de Diseños de Pavimentos Flexibles Nuevos según el Método de Diseño AASHTO 93, la Normativa Chilena Vigente y la Guía de Diseño de Pavimentos Empírico-mecanicista NCHRP 1-37A". Profesor Guía: Carlos Wahr Daniel. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles, 2005.
5. Software Design Guide: Pavement Analysis & Design System, National Cooperative Highway Research Program 1-37A, Final Report, March 2004
6. PARKER SOTO, Roberto. "Generación de Espectros de Cargas por Eje para Rutas de la Región Metropolitana". Profesor Guía: Carlos Wahr Daniel. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles, 2004.
7. FUENZALIDA OGALDE, Paulina. "Empleo del Modelo Climático Integrado Mejorado de la Guía de Diseño de Pavimentos Empírico-Mecanicista NCHRP 1-37A para Valparaíso". Profesor Guía: Carlos Wahr Daniel. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles, 2005.
8. AMIGO FINGER, María. "Caracterización de Materiales Asfálticos Chilenos. Desarrollo de Modelo de Envejecimiento de Ligantes Asfálticos y Curvas Maestras de Mezclas Asfálticas". Profesor Guía: Carlos Wahr Daniel. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles, 2005.