Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

Prof. Guía: Sergio Vargas Tejeda

"ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Civil

BÁRBARA I. RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ

Concepción, Julio del 2013

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 0
1.1 Contexto 1
1.2 Objetivos 1
1.2.1 Objetivo General 1
1.2.2 Objetivos Específicos 1
1.3 Metodología 2
CAPÍTULO 2. MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 4
2.1 Métodos de Diseño Empíricos 5
2.2 Métodos de Diseño Mecanicistas 6
2.3 Características, Ventajas y Desventajas 7
2.4 Descripción de Métodos de Diseño a Comparar 9
2.4.1 Método AASHTO (Manual de Carreteras, Chile). 9
2.4.2 Método Sud Africano 11
2.4.3 Método Australiano 12
2.4.4 Normativa Española 12
CAPÍTULO 3. ESCENARIOS DE DISEÑO 16
3.2 Variables Consideradas 16
3.2.1 Clima 16
3.2.2 Suelo 17
3.2.3 Tránsito 17
3.2.4 Matriz de Diseño 18
CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE MÉTODOS 19
4.1 Consideraciones en el diseño 19
4.2 Resultados Obtenidos 19
4.3 Análisis de Resultados 20
4.3.1 Análisis comparativo en función de espesores de capas ligadas y capas no ligadas .. 21
4.3.2 Análisis comparativo en función de los costos 21
4.3.3 Análisis cruzado de Costo – Clima 22
4.3.4 Análisis cruzado de Costo – Tránsito 24
4.3.5 Análisis cruzado de Costo – Suelo 24
CONCLUSIONES 27
REFERENCIAS 29
BIBLIOGRAFÍA 30

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

SERGIO VARGAS TEJEDA
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
svargas@ubiobio.cl

BÁRBARA RODRÍGUEZ FERNANDEZ,
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío,
barrodri@alumnos.ubiobio.cl

Resumen:

Actualmente, en el mundo existen diferentes métodos para el diseño de pavimentos flexibles que se diferencian entre si, por las ecuaciones y nivel de información que requieren. Si bien en Chile se utiliza el método AASHTO, con las modificaciones propuesta en el Manual de Carreteras, es válido cuestionarse respecto de la conveniencia de explorar y analizar otros métodos que pudiesen ser aplicables a Chile.

Por lo anterior, en esta investigación se estudiaron y compararon los métodos de diseño asociados a España, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Australia y Chile. Para ello se realizó en primera instancia una comparación teórica de los cuatro métodos seleccionados en cuanto al enfoque y al nivel de información requerido por cada método. Posteriormente se realizó una comparación de resultados obtenidos por los distintos métodos, en una serie de escenarios definidos para la Región del Biobío, según variables de tránsito, subrasante y clima. La comparación se realizó en términos de espesores de capa y costo de materiales, y en base a gráficos tipo Box plot y análisis de igualdad de medias.

Los resultados indicaron que el método más conservador, considerando los espesores de las capas de una estructura de pavimento flexible y los costos que ello implica, es el español, seguido por el australiano, sudafricano, y AASHTO. Sin embargo, los métodos que consideran una mayor cantidad de información, en orden descendente son: AASHTO, sudafricano, australiano y español. La principal recomendación es complementar los resultados obtenidos con programas más actualizados que incorporen el análisis de los datos según un método empírico-mecanicista.

Palabras Claves: Diseño pavimentos flexibles, Métodos de diseño, Matriz de diseño.

7196 Palabras Texto + 11 Figuras/Tablas*250 + 1 Figuras/Tablas*500 = 10446 Palabras Totales.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

COMPARATIVE ANALYSIS OF DESIGN METHODS OF FLEXIBLE PAVEMENTS

SERGIO VARGAS TEJEDA
Civil and Enviromental Ingeneering Department
svargas@ubiobio.cl

BÁRBARA RODRÍGUEZ FERNANDEZ,
Civil and Enviromental Ingeneering Department
barrodri@alumnos.ubiobio.cl

Abstract:

Nowadays, around the world there are different methods for the design of flexible pavements which differ among them, both by equations and levels of information that they require. Although in Chile is used the AASHTO methods, with the modifications set in the Highway Manual, it is valid to question about the convenience to explore and analyze other methods that can be applied in Chile.

Therefore, in this research was studied and compared the design methods associated to Spain, South Africa, New Zealand, Australia and Chile. To that end, it was carried out a theoretical comparison of the four methods selected in terms of their approach and the level of data required to each method. Afterwards, it was made a comparison of the results obtained by the different methods in a variety of settings established for the Bio Bio region, according to traffic, subgrade and weather variables. This comparison was made in terms of even layer thickness and costs of materials, and in based on Box Plot type graphics and analyses of equal means.

The results indicated that the most conservative method, considering the thickness' layers of a flexible pavement structure and the costs that it means, is the Spanish, followed by the Australian, South African, and AASHTO. However, the methods that considered a larger amount of data, in descending order are: AASHTO, South African, Australian, and Spanish. The most important suggestion is to fulfill the obtained results using more accurate programs which include the statistical analysis of data according to an empirical and mechanistic method.

Key words: design of flexible pavements, design methods, project-design matrix.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

Actualmente en Chile un 23,75% de la red vial se encuentra pavimentada, mientras que un 11% se encuentra con solución básica. De la red vial pavimentada, el 21% es pavimento asfáltico y un 3% es pavimento de hormigón. (MOP, 2011)

Si se considera que la red vial es un factor importante para la conectividad, el desarrollo económico y social del país, es necesario realizar inversiones que sean acorde a los presupuestos nacionales, donde gran parte de estos presupuestos se basan en la optimización de los recursos en la construcción, mantenimiento o rehabilitación de la estructura de pavimentos, derivados de un buen diseño de pavimentos y del estado en que se encuentren las vías.

El diseño de pavimentos flexibles depende en gran medida de los de los costos que implican los distintos espesores de las capas que lo componen. Los costos principalmente están asociados a los materiales que se emplean, al traslado de los mismos al lugar en que se emplaza la obra, y al método constructivo utilizado.

Actualmente en Chile, el diseño de pavimento flexibles se realiza en base al método de la American Association of State Highway and Transportation Officials del año 1993 y 1998 (AASHTO 93 – AASHTO 98) con adaptaciones a condiciones nacionales. Sin embargo, considerando que en el mundo existen otros métodos de diseño, es que se hace necesario investigar y conocer estos métodos respecto del nivel de información que requieren y de los costos asociados para luego verificar su aplicabilidad para distintos escenarios nacionales.

En esta investigación se estudian, aplican y comparan los métodos de diseño de pavimentos flexibles utilizados en España, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda contrastándolos con el método de diseño aplicado en Chile.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo de distintos métodos de diseño de pavimentos flexibles, para distintos escenarios de la Región del Biobío.

1.2.2 Objetivos Específicos

a. Realizar una síntesis de los métodos de diseño de pavimentos flexibles, con énfasis en la naturaleza de los modelos e información de entrada.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

b. Comparar los métodos de diseño, indicando ventajas y desventajas de cada uno, y necesidades de información.
c. Definir una matriz de escenarios de diseño para la aplicación de los métodos seleccionados en la región del Biobío.
d. Aplicar los métodos estudiados según matriz de escenarios y comparar resultados de las aplicaciones.
e. Concluir y establecer recomendaciones respecto de la aplicación de los métodos de diseño en Chile.

1.3 Metodología

En este estudio, se analizan los métodos de diseño para pavimentos flexibles utilizados en Sudáfrica, Australia, España y el método que establece la normativa chilena a través del MCV3. Para ello, se realizan una descripción de cada método y se comparan en términos teóricos y prácticos en base a una situación dada, con el objetivo de analizar el nivel de información requerido y los resultados obtenidos en cada caso. La figura 1, indica la metodología empleada para realizar la investigación.

ETAPA	SUB ETAPA			HITO
Estudio de Antecedentes	Recolección de información	Revisión de métodos	Resumen de información	Síntesis de los métodos
Marco Conceptual	Análisis información entrada	Descripción de métodos	Clasificación de métodos	Análisis Comparativo
Diseño Experimental	Procesamiento de manual de datos	Descripción de métodos	Clasificación de métodos	Matriz de Escenarios
Aplicación de métodos	Diseño óptimo de pavimentos	Evaluación de costos	Análisis de resultados	Síntesis de resultados
				Conclusiones y recomendaciones

Figura 1. Diagrama de la metodología empleada.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

La primera etapa consiste en el estudio de antecedentes, donde es recopilada y revisada la información con respecto a la naturaleza de los métodos empíricos y mecanicistas, para a continuación sintetizar la información en cada caso. Luego se investigan los diferentes métodos de acuerdo a la naturaleza empírica, mecanicista o empírico-mecanicista. Esto incluye la descripción y clasificación de cada método, el análisis de la información de entrada que requieren, y una comparación teórica con los antecedentes recopilados. Una vez comparado teóricamente los métodos, se procede a compararlos en términos de resultados. Para ello se identifican los rangos de las variables empleadas por cada método y se procede a definir una matriz de escenarios, considerando las características propias de la región del Biobío. Con la matriz de escenarios definida, se procede a aplicar cada método, contemplando la ayuda de herramientas computacionales en algunos casos, para obtener el diseño óptimo de los pavimentos. El análisis de los resultados se realiza a partir de los costos asociados a la cantidad de material requerida según diseño, y en base a un análisis estadístico de comparación. Finalmente, de acuerdo a la información obtenida en las etapas anteriores se realizan las conclusiones y recomendaciones.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

CAPÍTULO 2. MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Un pavimento es una estructura de una o más capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento, construida con materiales apropiados y cuya principal función es permitir el paso de los vehículos por una vía de una forma rápida, cómoda y segura para los usuarios (Duque, 2002). Debe ser resistente a la acción del tránsito, a los efectos del clima y transmitir hasta la subrasante los esfuerzos inferiores a la capacidad de soporte del suelo.

En base a la forma en que son transmitidos los esfuerzos los pavimentos se clasifican en pavimentos flexibles, rígidos y articulados. Un pavimento flexible es un sistema tricapa, cuya(s) capa(s) superior(es) es (son) de una mezcla asfáltica y las capas inferiores son de materiales granulares sobre una subrasante. Se denomina flexible dado que al ser sometido a cargas se comporta elásticamente, presentando una deformación y recuperación deseada (Duque, 2002). La Figura 2 muestra una estructura de pavimento flexible, en la cual se detallan las tensiones horizontales y verticales impuestas por el paso de los vehículos.

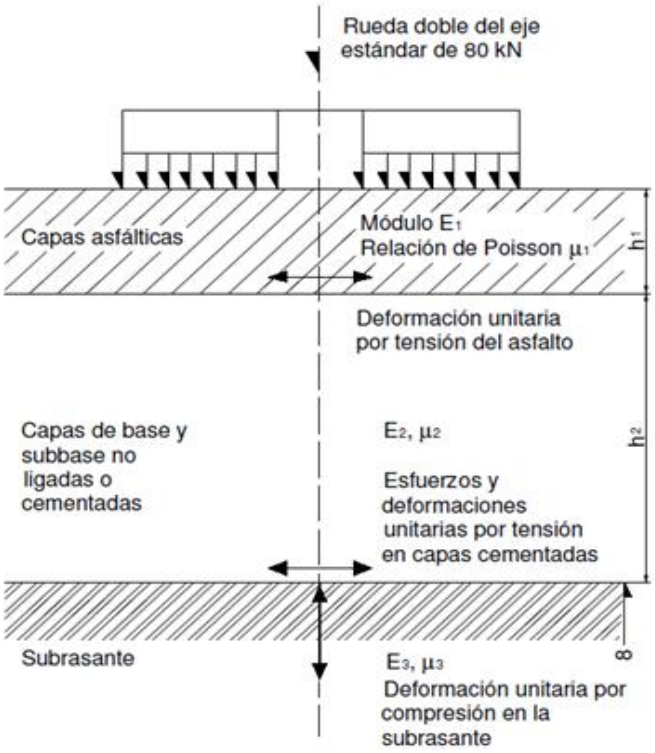

Figura 2. Estructura de un pavimento flexible.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

La estructura de un pavimento flexible debe ser diseñada considerando que son dos los fenómenos que causan el deterioro en los pavimentos y que deben ser controlados, tanto en métodos mecanicistas como empíricos: la fatiga y el exceso de deformación permanente.

La fatiga se produce en las capas ligadas y ocurre cuando se generan altos valores de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica, como respuesta resiliente al paso de vehículos.

La deformación permanente es la deformación vertical que se va acumulando en cada una de las capas hasta llegar a la subrasante, debido al movimiento de las cargas vehiculares, y cuyo mecanismo de control en los diseños se basa principalmente en que las deformaciones permanentes producto de las cargas de tránsito no sean excesivas.

En cada caso, se considera que siempre hay una capa que es más susceptible a esta deformación, por lo cual existen diferentes métodos de diseño que consideran criterios de falla de diferentes maneras.

Las deformaciones se producen en cada una de las capas hasta llegar a la subrasante, cuya capacidad de soporte tiene que ser mayor a los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

Actualmente, existen dos enfoques para el diseño de pavimentos flexibles: los métodos empíricos y los métodos mecanicistas, cuya información detallada de cada método es presentada a continuación.

2.1 Métodos de Diseño Empíricos

Los métodos empíricos correlacionan el comportamiento de los pavimentos in situ, en base a observaciones y mediciones de campo, con factores que influyen en el deterioro de éstos. Los factores más importantes son: las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales (principalmente temperatura y precipitación) que actúan sobre la estructura, el tipo de suelo o terreno de fundación (subrasante), la calidad de los materiales empleados y las deficiencias durante el proceso constructivo.

El control y la medición de los factores que influyen en el diseño se realizan durante las fases de estudio para después, asociar los valores a métodos de deterioro y crear la solución óptima.

La principal suposición de los métodos empíricos es que la deformación permanente se genera solo en la capa subrasante al ser la capa del pavimento con menor rigidez y tener mayor probabilidad de presentar altos contenidos de agua, efecto que provoca la disminución de su capacidad soportante.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

Este criterio genera una limitación en el método, al no tener en cuenta aspectos importantes sobre las otras capas de la estructura de pavimento, tales como:

- Las capas ligadas están compuestas por mezclas asfálticas de comportamiento viscoso que expuestas a altas temperaturas disminuyen su rigidez y por ende, existe un incremento en la deformación del pavimento.
- Las capas granulares también contribuyen a la generación de deformación permanente, especialmente cuando se dimensionan pavimentos flexibles para vías de bajo tráfico, dado que las capas asfálticas se construyen delgadas o de baja rigidez y no cumplen una función estructural, haciendo que las capas no ligadas soporten la totalidad de las cargas vehiculares. (Bonaquist, 1992).
- El estudio que se realiza, al ser in situ, implica que existan diferencias en las condiciones en que fue estudiado con respecto a las que se implementarán, como ocurre con la utilización de materiales o estructuras diferente, donde sería necesario extrapolar el comportamiento a las condiciones en que fue estudiado. Similar situación sucede con cambios en las condiciones climáticas o de tránsito, donde las diferencias significativas pueden hacer que el método pierda confiabilidad en la predicción del dimensionamiento del pavimento.

En general, los métodos empíricos trabajan con el valor del California Bearing Ratio (CBR), para caracterizar el módulo resiliente de la subrasante a través de una ecuación empírica, dado que es difícil determinar in situ el módulo resiliente, ya sea por falta de equipos o la definición acertada de las trayectorias de esfuerzo. Es así como el CBR, es una medida empírica indirecta de la resistencia al corte y de la rigidez del material en condiciones no drenadas bajo cargas de tránsito en un pavimento, en que generalmente los valores de los esfuerzos producidos en un pavimento en terreno, son mucho menores a los que se generan en una muestra cuando se realiza el ensayo de CBR. Es posible encontrar en la literatura diferentes ecuaciones para determinar el módulo resiliente en función del CBR, cuyas correlaciones pueden conducir a diseños de estructuras sub o sobredimensionadas (Rondón et all, 2007).

2.2 Métodos de Diseño Mecanicistas

Estos métodos de diseño consideran que las capas que conforman la estructura del pavimento están sometidas a esfuerzos y deformaciones que influyen en el comportamiento del mismo.

Los estados de esfuerzo y deformación son calculados suponiendo que el pavimento flexible es un sistema multicapas elástico lineal compuesto por tres capas, donde el comportamiento elástico

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

es simplificado justificando que bajo un ciclo de carga individual, la deformación permanente es muy baja comparada con la deformación resiliente.

Los parámetros elásticos pueden ser calculados por medio de ensayos de laboratorio o por medio de retro cálculos de ensayos in situ (ej. con deflectómetro de impacto).

El inconveniente que existe en este método es que en un pavimento flexible las ecuaciones elásticas lineales no consideran que:

- El comportamiento de las mezclas asfálticas depende de la velocidad de aplicación de la carga y de la temperatura.
- El comportamiento de los materiales granulares no tratados para base y subbase es inelástico (con deformaciones resilientes y permanentes) y no lineal (donde la rigidez depende del nivel de esfuerzo aplicado).
- El comportamiento del suelo de subrasante depende de la velocidad de carga (viscoso), como en el caso de las arcillas.
- Cuando se emplean las ecuaciones elásticas, se generan valores de esfuerzos de tensión en las capas granulares que no son reales, especialmente cuando se trabaja con capas asfálticas delgadas.

Para el cálculo de esfuerzo y deformaciones se emplean programas computacionales disponibles desde la década de los 60’s, en donde se introducen la carga, presión de contacto, propiedades mecánicas de los materiales (E, μ) y el espesor de las capas. Los resultados se obtienen de ecuaciones de fatiga que representan el número de ciclos que admite la estructura de pavimento en el periodo de diseño, conociendo las tensiones y deformaciones que se producen producto de las cargas aplicadas. El proceso de diseño consiste en comparar los valores admisibles con los solicitantes para la vida útil proyectada conociendo las propiedades mecánicas de los materiales. (Rondón et all, 2007).

2.3 Características, Ventajas y Desventajas

La tabla 1 presenta un cuadro comparativo que indica los principales factores que intervienen en los métodos empíricos y mecanicista, además de las ventajas y desventajas que tienen ambos enfoques.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

Tabla 1. Cuadro de comparación de los Métodos Empíricos y Mecanicistas

	Método Empírico	Método Mecanicista
Factores Importantes	• Cargas de tránsito • Condiciones ambientales (T°, precipitación) • Tipo de subrasante • Calidad de los materiales • Deficiencias en el proceso constructivo	• Carga • Presión de Contacto • Propiedades mecánicas de los materiales (E, μ) • Espesores de las capas
Ventajas	Emplea modelos matemáticos de poca complejidad basados en resultados de experiencias pasadas	Al considerar el análisis de tensiones y deformaciones en cada capa de la estructura, los resultados del comportamiento tienden a aproximarse más a la realidad
Desventajas	• No consideran que las capas ligadas sean susceptibles a incrementos de temperatura (mayor deformación) • No consideran que las capas granulares contribuyen a la acumulación de deformación permanente • Este método de diseño necesita de gran inversión y tiempo para la realización de ensayos.	• No consideran que el comportamiento de las mezclas asfálticas es viscoso (depende de la temperatura y velocidad de aplicación de la carga). • No consideran que los materiales granulares tienen un comportamiento inelástico no lineal. • En la mayoría de los casos no tienen en consideración el efecto del medio ambiente sobre las propiedades mecánicas de los materiales.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

2.4 Descripción de Métodos de Diseño a Comparar

Según las condiciones propias de cada país, hay métodos que han sido desarrollados y empleados para el diseño de pavimentos, masificándose de acuerdo a las necesidades de cada nación. Es el caso del método utilizado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), que ha sido adaptado en lugares como Colombia, Perú y Chile, al ser considerado óptimo, con modelos cercanos a la realidad y con fundamentos basados en las experiencias en terreno.

La necesidad de conocer otros métodos de diseños está dado porque existen diferencias entre cada método, relacionado con la variabilidad de la información y criterios adoptados para la selección de la estructura de pavimento más representativo para el lugar en estudio.

En este subcapítulo se exponen cuatro métodos de diseño, uno de ellos es de naturaleza empírica y los otros tres son empírico – mecanicistas, correspondientes a Chile, Sudáfrica, Australia – Nueva Zelanda y España, respectivamente. Las descripciones, alcances y los métodos de cálculo empleados son mencionados a continuación.

2.4.1 Método AASHTO (Manual de Carreteras, Chile).

El método de diseño de pavimentos flexibles vigente en Chile se describe en el Manual de Carreteras Volumen N°3 (MCV3): Instrucciones y Criterios de Diseño, y está basado en la guía de diseño de pavimentos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 93), adaptado a factores propios del país. El Volumen N°3 se utiliza desde inicios del año 1981, pero es el 10 de noviembre de 1999 cuando se oficializa mediante la resolución D.V. N°8880 por el Ministerio de Obras Públicas. La primera modificación es realizada en Junio 2002, mientras que su última edición fue aprobada en abril de 2012 y se encuentra actualmente vigente.

El método se basa en una ecuación general – Ec. (1) - de diseño calibrada en base a la observación de secciones de pavimento de la prueba AASHO realizadas en Estados Unidos en los años 60, bajo diversas condiciones ambientales y con suelos de características definidas, con el fin de relacionar la serviciabilidad con el tránsito solicitante. Los principales factores que intervienen en el diseño son el clima, el tránsito, la serviciabilidad y la calidad de los materiales.

$$EE = (NE + 25{,}4)^{9{,}36} * 10^{-(16{,}40+ZR \times So)} * {M_R}^{2{,}32} * \left[(p_i - p_f)/(p_i - 1{,}5)\right]^{1/\beta} \qquad \text{Ec. (1)}$$

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

$$\beta = 0{,}40 + [97{,}81 \,/\, (NE + 25{,}4)]^{5{,}19} \qquad \text{Ec. (2)}$$

En que:

EE : Ejes equivalentes

NE : Número estructural (mm)

$$NE_T = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot h_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot h_3 \qquad \text{Ec. (3)}$$

$a_1,\ h_1$: Coeficiente estructural y espesor (mm) de cada una de las capas asfálticas o tratadas que componen el pavimento. Los subíndices 2 y 3 representan las capas granulares no tratadas.

$m_2,\ m_3$: Coeficiente de drenaje de las capas no tratadas (bases y subbases granulares)

Z_R : Coeficiente estadístico que depende del nivel de confianza que se adopte

S_O : Desviación estándar del error combinado de todas las variables que intervienen en el modelo

M_R : Módulo resiliente del suelo de la subrasante (MPa)

p_i : Índice de serviciabilidad inicial

p_f : Índice de serviciabilidad final

El principal criterio de falla es que las deformaciones permanentes que determinan el diseño se producen en la subrasante, dado que presenta la menor capacidad de soporte en un medio saturado bajo una condición de carga estática impuesta por el tránsito.

La fórmula general de diseño, relaciona la cantidad de ejes equivalentes (EE) solicitantes, con el número estructural, el módulo resiliente de la subrasante (Mr) y el nivel de confianza, hasta que la estructura experimente una pérdida de serviciabilidad determinada (pf), a partir de una serviciabilidad inicial (pi).

Como herramienta para el diseño de pavimentos el MCV3 propone la utilización del programa computacional PAVIVIAL, que emplea valores medios para todos los parámetros que intervienen en los cálculos. (MOP, 2012)

En el Anexo A se presenta la información respecto al método, en la que se incluyen las variables que requiere el método para el diseño de pavimentos flexibles.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

2.4.2 Método Sud Africano

Corresponde a un método de diseño empírico – mecanicista que se ha desarrollado desde la década de 1970 hasta la actualidad. El primer procedimiento de diseño simplificado mecanicista para Sudáfrica fue desarrollado por Van Vuuren, Otte y Paterson durante el año 1974, el cual fue publicado en 1977, donde se sugirió que la caracterización de los materiales debe realizarse mediante pruebas de laboratorio y en terreno. Además, fueron proporcionadas las funciones de transferencia para determinar la fatiga en las capas delgadas de asfalto en la superficie, materiales de la subrasante, granulares y cementados. Luego en 1978, fueron sugeridas las propiedades elásticas de diferentes materiales de construcción y los criterios de fatiga para bases asfálticas. Es así como desde 1983, es utilizado como el South African Mechanistic Design Method para el diseño de pavimentos nuevos y diseño de rehabilitación, con algunos cambios en la modalidad de obtención de datos, pero manteniendo el mismo concepto y complementando con el catálogo Technical Recommendations for Highways (TRH 4).

El procedimiento para el diseño estructural de pavimentos es aplicable a carreteras interurbanas con mucho tráfico y a caminos rurales ligeramente traficados en el sur de África. Se basa en la combinación de métodos existentes experiencia y fundamentos teóricos del comportamiento de los materiales utilizados actualmente. Incluye la caracterización de los materiales y cargas, el análisis estructural y la predicción de la vida del pavimento, en un modelo iterativo, tal como se muestra en la Figura 3. (TRH4, 1996).

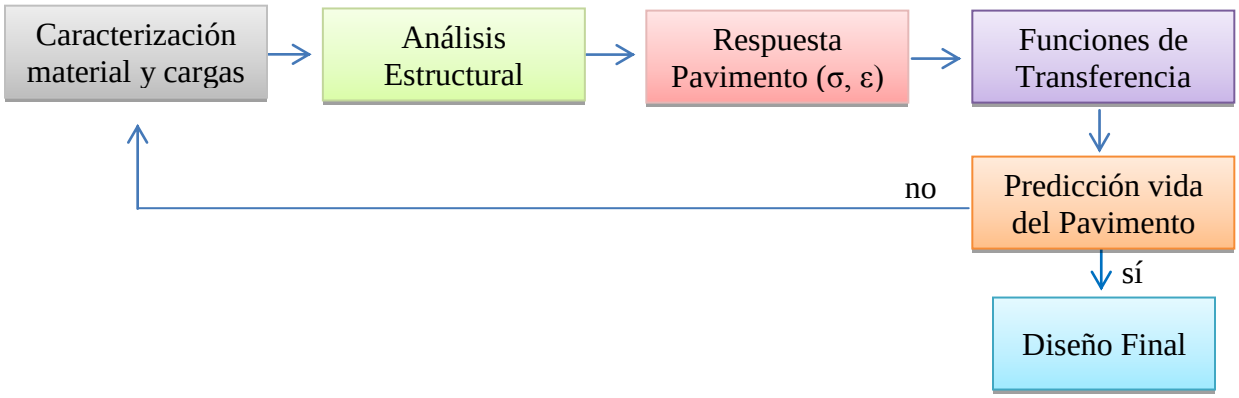

Figura 3. Procedimiento iterativo de análisis del método Sud – Africano. (Fuente : Theyse, 1996).

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

Este método emplea un análisis estático, considerando la teoría de un sistema de multicapas elásticas. Se obtiene la respuesta del pavimento en condición de carga expresado en términos de tensiones (σ) y deformaciones (ε) en posiciones críticas en la estructura.

Las tensiones y deformaciones son utilizadas en las funciones o ecuaciones de transferencia para obtener el criterio de fatiga, donde se relaciona el número de cargas que puede ser soportada con la condición esfuerzo/deformación antes de alcanzar una condición final de deterioro.

Mayor información del método se encuentra en el Anexo B, indicando las variables que se encuentran involucradas en el proceso de diseño.

2.4.3 Método Australiano

El proceso de diseño y evaluación de pavimentos en Australia y nueva Zelanda está dado por lo indicado en el Austroads Guide to Pavement Technology. Esta guía fue publicada inicialmente en 1987 por la National Association of Australian State Road Authorities (NAASRA) y re-editada en 1992. La última edición se realizó en el 2009 y refleja importantes modificaciones para el diseño de pavimentos flexibles, considerando una serie de análisis empírico-mecanicistas según las características de los materiales y sus mecanismos de falla. (DTEI, 2012).

Consiste principalmente, en evaluar los parámetros de entrada como materiales, tráfico, condiciones ambientales, etc. para posteriormente seleccionar una configuración de pavimento de ensayo. Se analiza la estructura para determinar el nivel tráfico permitido y luego se compara el tráfico solicitante con el permitido, para obtener el diseño final.

Esta metodología es iterativa hasta encontrar una solución óptima, donde las variaciones se producen principalmente por la modificación de los espesores de las capas de pavimento. (Urbáez et all, 2011).

El modelo lineal elástico de respuesta del pavimento considera la contribución los ejes equivalentes en el cálculo de tensiones y deformaciones críticas, a través de una ecuación general de diseño que calcula el daño acumulado inducido por las cargas de tránsito. Para determinar si el diseño es factible se emplea el factor de daño acumulado (CDF).

La información y las consideraciones del método de diseño se presentan en el Anexo C.

2.4.4 Normativa Española

Desde 1989 el diseño de pavimento para proyectos nuevos o de reconstrucción en España se basa en el “Catálogo de Secciones de Pavimento Flexible y Rígidos” de la Dirección General de Carreteras, a través del Programa de Autovías. La última edición se realizó en el 2010 y continúa

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

vigente hasta la fecha, proporcionando una amplia gama de soluciones para todas las categorías de tránsito pesado. Los cambios más significativos de la última edición contemplan modificaciones en las categorías de tráfico y un nuevo cuadro de formación de terraplenes.

Proporciona trece alternativas de solución para cinco tránsitos diferentes, tres categorías de subrasante y ocho clases de materiales, para ser utilizadas en las capas de la sección estructural del pavimento. Este catálogo provee al usuario una gama del orden de quinientas secciones de pavimentos. (SCOI, 2007).

Se basa, fundamentalmente, en las relaciones, entre las intensidades de tráfico pesado y niveles de deterioro admisibles al final de la vida útil para obtener cada tipo de sección estructural. El catálogo de secciones se prepara recurriendo a combinaciones analíticas y expone las posibilidades técnica y económicamente más adecuadas para la categoría de tráfico y de terraplén seleccionado (MF, 2010).

En el Anexo D se encuentra la información correspondiente al método de diseño, incorporando las cartillas empleadas para el diseño de pavimentos.

La Tabla 2, muestra un análisis comparativo de los métodos de diseño, indicando, la naturaleza del método las variables, ecuaciones de diseño que emplea y el tipo de información que proporciona.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

Tabla 2. Cuadro comparativo de los métodos de diseño.

	AASHTO (Chile)	ESPAÑOL	SUDAFRICANO	AUSTRALIANO
Tipo de Método	Empírico	Empírico - Mecanicista	Empírico - Mecanicista	Empírico - Mecanicista
Tráfico de diseño	EE	TMDAp	EE	EE
Variables Climáticas	TMAPA Precipitación	Precipitación	Condiciones de Humedad	T° Máxima T° Mínima
Propiedades de los materiales	Coeficiente Drenaje Coeficiente Estructural Coeficiente de Variación CBR Módulo Resiliente	Deflexión Patrón CBR	Módulo Elástico Módulo de Poisson Coeficiente de Cohesión Coeficiente de Ángulo de fricción	Módulo Elástico Módulo de Poisson CBR
Modelos de deterioro	Serviciabilidad	$N = f(\varepsilon, \sigma)$	$N = f(\varepsilon, \sigma)$ Todas las capas	$N = f(\varepsilon, \sigma)$ Capas de asfalto y subrasante
Resultados	NEa, NEt	Cartillas de diseño	EE admisibles	Factor de coeficiente de daño

Los tres métodos extranjeros analizados combinan principios empíricos y mecanicistas en la determinación de espesores, mientras que el método empleado en Chile es de tipo empírico. Sin embargo, independiente de la naturaleza de los métodos, la variables tráfico de diseño y propiedades de los materiales emplean como indicadores los ejes equivalentes (EE) y el CBR, respectivamente. Además la caracterización del tráfico de diseño tiende a ser la misma en los cuatro casos, dado que en todos ellos se emplea inicialmente como variable el TMDA.

Con respecto a las variables climáticas el nivel de información del método AASHTO y Australiano es más detallado, dado que dependen de valores mensuales, mientras que el método sudafricano y español consideran que son variables poco relevantes y emplean datos generales.

El mayor nivel de información con respecto a las propiedades de los materiales se encuentra en los métodos AASHTO y sudafricano principalmente, seguido por el método australiano y español.

Los modelos de deterioro que emplean los métodos extranjeros son en base a principios empíricos y mecanicistas. La diferencia entre los tres métodos empírico-mecanicistas está en el cálculo del número de ciclos, y en específicamente en el énfasis que se da a la falla en las

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

distintas capas. Por ej. el método australiano indica que las capas más susceptibles a las deformaciones y tensiones producto de las cargas de tránsito son las capas de asfalto y la subrasante, mientras que en el método sudafricano el énfasis está en las capas granulares y subrasante.

Otra diferencia en los cuatro métodos comparados está principalmente en las variables de salida de los modelos, pudiendo ser NE (AASHTO), EE (Sudafricano), CDF (Australiano) y a través de cartillas en el caso del método español.

Finalmente, se han descrito cuatro métodos de diseño correspondientes a los aplicados en Chile, España, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda. Cada uno presenta un tipo de método de diseño y evaluación de pavimentos flexibles donde se especifican modelos de deterioros o parámetros que indican la vida útil, durante un periodo determinado.

Los modelos de deterioros son construidos basándose en principios mecanicistas y regresiones empíricas. Sin embargo, independiente de los principios que utilicen los métodos, todos involucran variables de tránsito, clima, propiedades de los materiales y confiabilidad en el diseño, unos con más importancia que otros.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

CAPÍTULO 3. ESCENARIOS DE DISEÑO

En este capítulo se detalla el proceso de elaboración de una matriz de escenarios de diseño para la región del Biobío. Se especifica la procedencia de las variables de entrada, cuyos valores escogidos son respaldados por referencias bibliográficas, para posteriormente comparar los resultados obtenidos de cada método.

Las características generales a considerar son el tránsito, el clima, las propiedades de los materiales y de la subrasante.

3.2 Variables Consideradas

La matriz de escenarios es definida conociendo las principales variables de diseño, según el estudio realizado en el capítulo anterior.

Las variables que se emplean para la aplicación de los métodos son tres: clima, suelo y tránsito, dado que son las características principales en los cuatro métodos en estudio. Las características de los materiales no son consideradas, dado que valores como el módulo de Poisson se encuentran predeterminados en algunos métodos (australiano y sudafricano) y en otros casos no se utilizan o no son necesarios (cartillas de diseño españolas).

3.2.1 Clima

En estudios anteriores se desarrollaron bases climáticas para algunas estaciones de la región, considerando la información requerida por otro método (MEPDG), donde se destaca la gran variabilidad entre un clima costero y el clima del valle central. (Merino, 2010; Vidal 2011).

Las diferencias de clima que se pueden encontrar en la región están relacionadas principalmente con la humedad, la temperatura media anual y las precipitaciones. Existen antecedentes que indican que la transición de clima es entre mediterráneo y templado lluvioso, llegando a más de 2.400 [mm] de precipitaciones concentradas en invierno en el valle central y con un promedio de 1.850 [mm] de precipitaciones en la precordillera. (SERNATUR, 2012)

Es así que para evaluar el clima de la región se utilizaron dos estaciones. La primera está relacionada con el clima de la zona costera y la segunda con el clima del valle central. De acuerdo a las estaciones ubicadas en la región y los lugares de estudios de tránsito realizados en estudios anteriores, se decidió considerar la ciudad de Concepción (C1 - clima costero) y la ciudad de Chillán (C2 – clima valle central).

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

La variable más significativa para cada método es la temperatura media anual ponderada del aire, en que para Chillán es de 13,8°C medida desde la estación General Bernardo O´Higgins y para Concepción es de 12,6°C medidos desde la estación Carriel Sur. (MOP, 2012)

3.2.2 Suelo

Una de las propiedades que influyen en la vida útil de la estructura de pavimento está relacionada con la capacidad de soporte de cada una de las capas. Los métodos en estudio indican que las capas más susceptibles a la deformación permanente excesiva son las granulares y la subrasante, particularmente ésta última, dado que depende del tipo de suelo que existe en terreno.

Para evaluar la importancia de la capacidad de soporte del suelo en el diseño de un pavimento flexible, se establecen tres tipos de suelos: S1, S2 y S3, considerando los valores de CBR mínimos y máximos que se encuentran en la literatura, principalmente de la normativa chilena, donde los valores de CBR empleados son:

S1 : suelo con CBR= 10%

S2 : suelo con CBR= 20%

S3 : suelo con CBR= 30%

S1 representa el mínimo valor de CBR aceptable para ser empleado como capa soportante de la estructura de pavimento, mientras que S3 es el valor máximo considerado en el estudio. Cabe señalar que el mínimo valor de CBR que se emplea en la subbase que se encuentra en la literatura es de un 40%, pero considerando que generalmente éste valor no se encuentra in situ o es más complicado obtenerlo por medio de un mejoramiento como suelo de subrasante, se define un valor para el suelo S3 menor, además se mantiene una diferencia de 10% entre cada tipo de suelo escogido.

3.2.3 Tránsito

La caracterización del tránsito se obtiene de las bases de tránsito regionales confeccionados por Valdebenito (2011) y Aburto (2012).

El primer autor realiza una caracterización de la red vial básica de la región del Biobío, en base a volúmenes de flujo, tasas de crecimiento por tipo de vehículo, composición vehicular y niveles de saturación de las vías.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

Aburto evalúa el daño que produciría la implementación de camiones de carga pesada (más de 45 toneladas de carga bruta) a la flota nacional de vehículos pesados en pavimentos rígidos, donde calcula los ejes equivalentes acumulados para cada ruta aplicados al año 2012.

Conociendo los datos de tránsito los flujos en términos de TMDA o EE son ordenados y se establecen cuatro categorías de tránsito: bajo (B), medio (M), alto (A) y muy alto (MA), como se indica en el Anexo E.

Los niveles de tránsito utilizados para este estudio son cuatro, uno por categoría: T1, T2, T3 y T4. Las rutas escogidas son aquellas que representan el promedio en cada categoría en términos de TMDA como se muestra a continuación.

T1: Tránsito Bajo (B) : TMDA= 207 [veh/día]

T2: Tránsito Medio (M) : TMDA= 857 [veh/día]

T3: Tránsito Alto (A) : TMDA= 1390 [veh/día]

T4: Tránsito Muy Alto (MA) : TMDA= 5021 [veh/día]

3.2.4 Matriz de Diseño

La matriz de diseño está determinada por las variables y niveles descritos y que son aplicados a cada método en particular. La Figura 4 muestra la matriz de diseño empleada, donde para cada método se aplica un tipo de suelo, de tránsito y de clima y se obtiene un escenario (e_i) con los espesores de las capas de pavimento.

	Método i (i=1 a 4)					
	C1: Concepción			C2: Chillán		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
T1	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6
T2	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	e_{12}
T3	e_{13}	e_{14}	e_{15}	e_{16}	e_{17}	e_{18}
T4	e_{19}	e_{20}	e_{21}	e_{22}	e_{23}	e_{24}

Figura 4. Matriz de escenarios de diseño.

Se tiene un total de 24 escenarios de diseño para 4 métodos en estudio, lo que hace un total de 96 pasos a desarrollar.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE MÉTODOS

4.1 Consideraciones en el diseño

Para la aplicación de cada método se utilizaron softwares y cartillas de diseño con los cuales se obtuvieron resultados óptimos en cada caso. Las herramientas empleadas fueron PAVIVIAL y PAVIUBB para el método AASHTO, CIRCLY en el caso del método australiano y MEPADS para el método sudafricano.

El diseño optimizado se refiere al diseño ajustado al máximo a las solicitaciones, sin sobredimensionamiento, el cual se obtiene iterando el el espesor de cada capa de pavimento, de manera que se cumpla con los umbrales especificados para el diseño.

En cuanto a la estructuración, se consideraron para cada caso dos capas como estructura de pavimento. Se consideró una capa de base estabilizada de CBR 80% y una capa de concreto asfáltico, de modo de comparar los resultados de espesores para un mismo tipo de estructura. Lo anterior, dado que el método español indica una estructura de dos capas con las características mencionadas.

Para el análisis de costos se consideraron solo los costos asociados a los materiales utilizados en la estructura del pavimento y no los costos de construcción, dado que en este último caso, se debería contemplar el transporte, los materiales, mano de obra, entre otros, por lo que varían dependiendo de donde se encuentre establecida la obra. Por lo tanto el diseño ha sido optimizado solo en función de costos de materiales.

Los costos de los materiales fueron proporcionados por la empresa Bitumix, planta ubicada en Concepción los cuales son:

- Capas Ligadas de granulometría continua [m3] : $80.000.-
- Base estabilizada con CBR 80% [m3] : $12.000.-

Los resultados que se obtuvieron con el programa CIRCLY fueron interpolados, a causa de algunas restricciones del programa computacional. También fueron interpolados algunos valores de los módulos elásticos para materiales de subrasante en el método Sudafricano, dado que los niveles de CBR no coincidían exactamente con el valor de referencia.

Para los métodos que no especificaban el espesor mínimo de las capas granulares, se consideró un valor de 120 [mm] que indica el mínimo valor que puede ser utilizado en terreno por aspectos constructivos (MOP, 2012).

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

4.2 Resultados Obtenidos

Los resultados se obtienen según cada método y en los escenarios que son definidos en la matriz de diseño descrita en capítulo anterior. Para cada método existe una matriz con resultados de espesores que cumplen con la estructuración descrita anteriormente y con las solicitaciones de carga de diseño. A modo de ejemplo la Figura 5 muestra los resultados para el método AASHTO, utilizado en Chile. El resto de las matrices de resultados se puede ver en Anexo E.

	CLIMA 1			CLIMA 2		
	S1 = CBR 10	S2 = CBR 20	S3 = CBR 30	S1 = CBR 10	S2 = CBR 20	S3 = CBR 30
T1	CA : 110 gran : 190	CA : 90 gran : 180	CA : 80 gran : 180	CA : 110 gran : 190	CA : 100 gran : 150	CA : 90 gran : 150
T2	CA : 130 gran : 220	CA : 120 gran : 180	CA : 110 gran : 170	CA : 140 gran : 200	CA : 140 gran : 200	CA : 120 gran : 180
T3	CA : 170 gran : 240	CA : 160 gran : 180	CA : 150 gran : 160	CA : 160 gran : 180	CA : 160 gran : 180	CA : 150 gran : 160
T4	CA : 190 gran : 250	CA : 190 gran : 250	CA : 180 gran : 180	CA : 190 gran : 250	CA : 190 gran : 250	CA : 180 gran : 130

Figura 5. Matriz de diseño para el método establecido en método AASHTO.

4.3 Análisis de Resultados

En este capítulo se describe el análisis de los resultados obtenidos luego de aplicar cada método de diseño en los distintos escenarios. Se consideran análisis con respecto a los espesores de capa y a los costos de materiales, en función de los métodos y de las variables definidas en la matriz de escenarios. Los tipos de análisis que se realizan son:

- Análisis comparativo de espesores de las capas ligadas y los métodos aplicados.
- Análisis comparativo de espesores de las capas no ligadas (granulares) y los métodos aplicados.
- Análisis comparativo de los costos, en función de los métodos aplicados.
- Análisis cruzado de Costo – Clima
- Análisis cruzado de Costo – Tránsito
- Análisis cruzado de Costo – Suelo

El análisis comparativo se realiza en función de gráficos tipo box-plot y de inferencia estadística, específicamente en función de test de igualdad de medias. Los resultados se presentan a continuación:

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

4.3.1 Análisis comparativo en función de espesores de capas ligadas y capas no ligadas

En la Figura 6 se presenta el gráfico que muestra los espesores de las capas ligadas y capas granulares para cada método, donde M1 es el método AASHTO; M2 es el método de España; M3 es el método Sudafricano y M4 es el método Australiano.

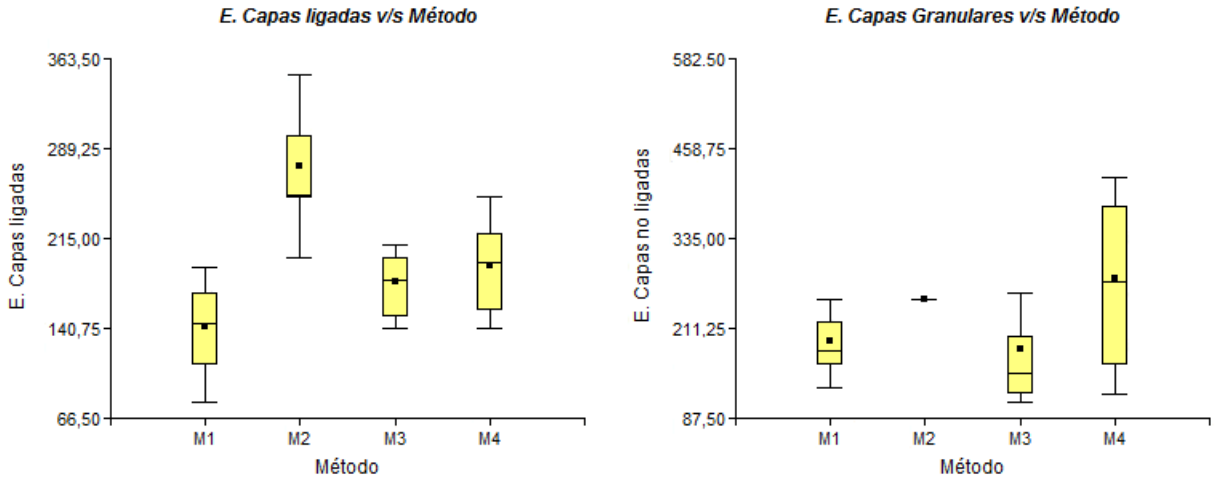

Figura 6. Gráfico box-plot del espesor de capas ligadas y capas granulares v/s método

De las gráficas se puede inferir que los menores espesores de las capas ligadas se obtienen para el método AASHTO, mientras que el método de España presenta los mayores valores de espesor de capas ligadas. La diferencia en las medias de las capas ligadas para estos dos métodos es de 134[mm] aproximadamente. Al analizar los espesores de las capas granulares, se puede ver que la mayor dispersión y el mayor promedio de los datos se encuentran en el método australiano, mientras que el menor promedio está en el método sudafricano. Además, es importante indicar que el método español, tiene como resultado el mismo espesor de capas granulares para los distintos escenarios propuestos.

4.3.2 Análisis comparativo en función de los costos

En la Figura 7 se muestra un gráfico box-plot, con los costos asociados al espesor total de la estructura del pavimento para cada método.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

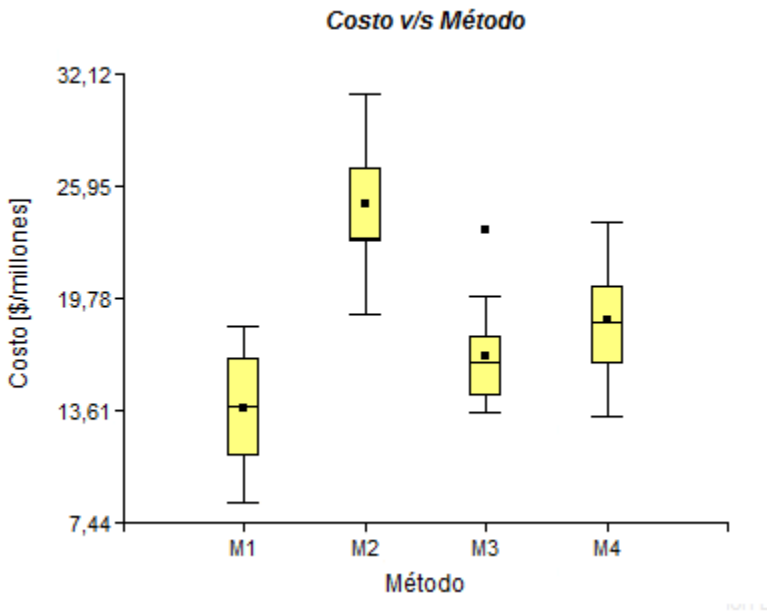

Figura 7. Gráfico box-plot de costo v/s método

El gráfico anterior coloca en evidencia los costos asociados a la estructura de pavimento para cada método. El orden descendente de los métodos, considerando el promedio de los datos corresponde al español, australiano, sudafricano y AASHTO.

Además, en el método sudafricano existe un valor atípico que tiene relación con la variabilidad de espesores de las capas granulares considerando un cambio en el tipo de clima y manteniendo las variables de tránsito y tipo de suelo constante, como se indica en la Figura 8. El resultado obtenido, es producto de mantener constante el espesor de las capas ligadas y variar sólo el espesor de las capas granulares.

A través de un análisis estadístico se pretende identificar la semejanza de los métodos con respecto al costo, del cual se puede afirmar que los cuatro métodos analizados, son significativamente distintos, dado que al aplicar un test de igualdad entre pares se obtienen parámetros “p” menores a 0,05. Los resultados del análisis estadístico se presentan en el Anexo E.

4.3.3 Análisis cruzado de Costo – Clima

Una vez conocido los costos de la estructura de pavimento, se procede a evaluar los métodos relacionando en forma cruzada el costo con la variación del clima, por medio del gráfico tipo box-plot que se presenta en la Figura 8.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

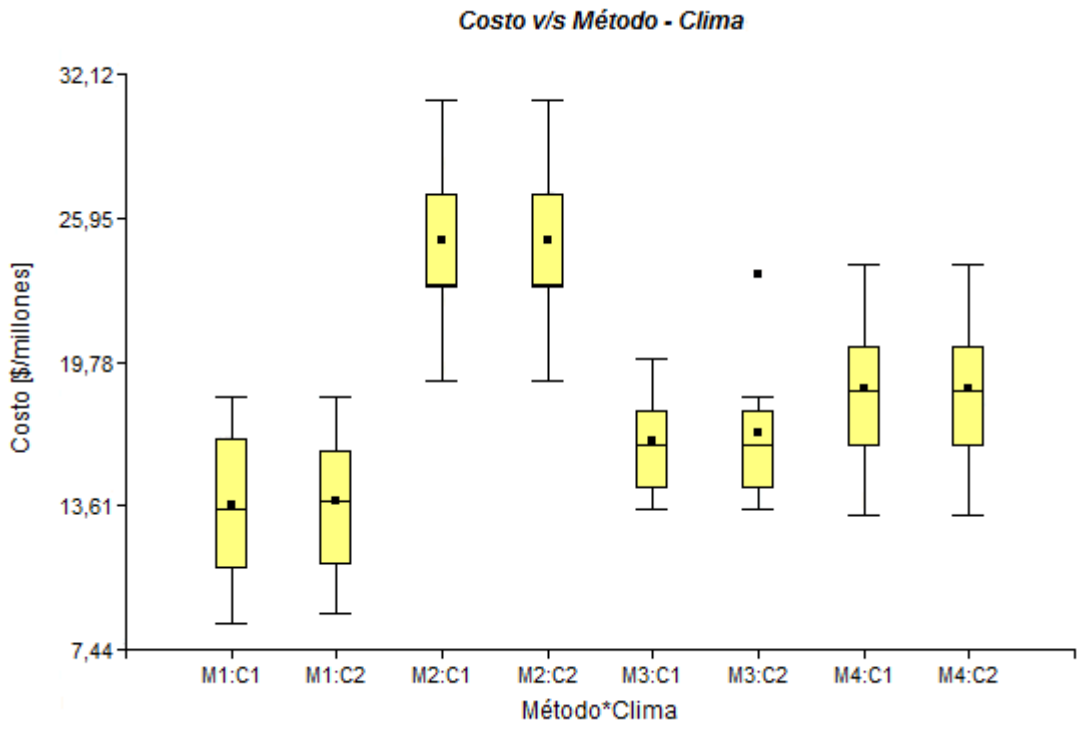

Figura 8. Gráfico box – plot de costo v/s método – clima

Del gráfico es posible inferir que, en el método español y australiano los resultados no presentan variaciones significativas ante variaciones del clima, y las distribuciones de probabilidad y los valores extremos en estos dos métodos tienden a ser iguales. En el caso del método AASHTO y Sudafricano se presentan leves diferencias. En el método AASHTO, la diferencia está en la distribución de los datos, donde, para un clima costero, la distribución del 50% de los datos es menor que para un clima de valle central, esto debido a la temperatura anual ponderada del aire. Similar situación, ocurre al evaluar lo que sucede en el método sudafricano, pero en este caso se debe a la básica clasificación del clima en húmedo para la zona costera y moderado para el valle central.

Además, se comprueba a través del análisis estadístico, que dentro de cada método los resultados tienden a ser significativamente semejantes al variar la condición climática, y que al realizar una comparación entre los cuatro métodos para ambos climas, existen diferencias significativas, al obtener valores de distribución del parámetro “p” menores a 0,05. Los resultados del análisis estadístico se pueden observar en el Anexo E.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

4.3.4 Análisis cruzado de Costo – Tránsito

De igual forma fueron evaluados los métodos, pero considerando la variación de los costos al incluir la variable tránsito, como se muestra en la Figura 9.

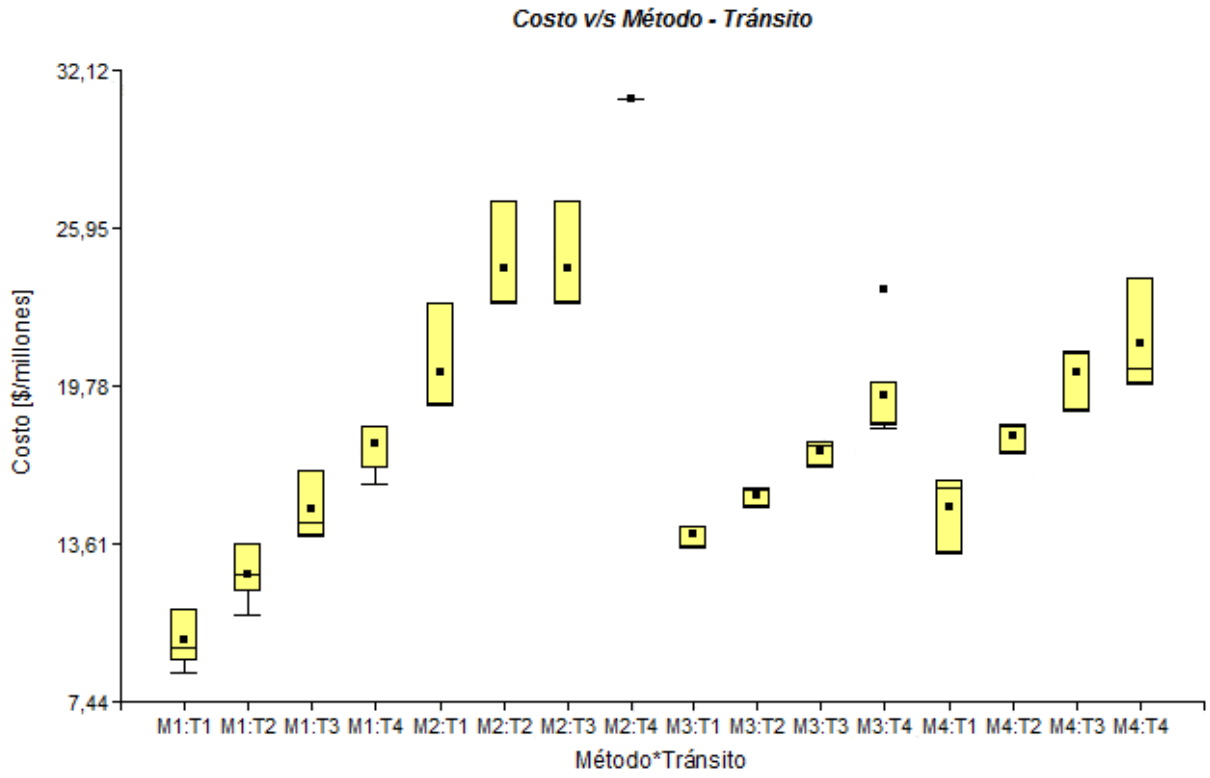

Figura 9. Gráfico box – plot de costo v/s método – tránsito.

De la figura anterior se puede indicar que dentro de cada método se mantiene una tendencia con respecto al promedio de los costos, que consiste en tener un orden ascendente al aumentar el tránsito solicitante.

Al comparar estadísticamente los cuatro métodos en estudio se tiene que, los métodos empleados en Chile, Sudáfrica y Australia tienden a ser semejantes a mayor nivel de tránsito (T4), mientras que a un bajo nivel de tránsito (T1), los métodos Sudafricano y Australiano reflejan ser iguales. Los resultados del análisis estadístico se pueden observar en el Anexo E.

4.3.5 Análisis cruzado de Costo – Suelo

En la Figura 10 se considera el costo que tiene una estructura de pavimento con respecto a la calidad del suelo de subrasante.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

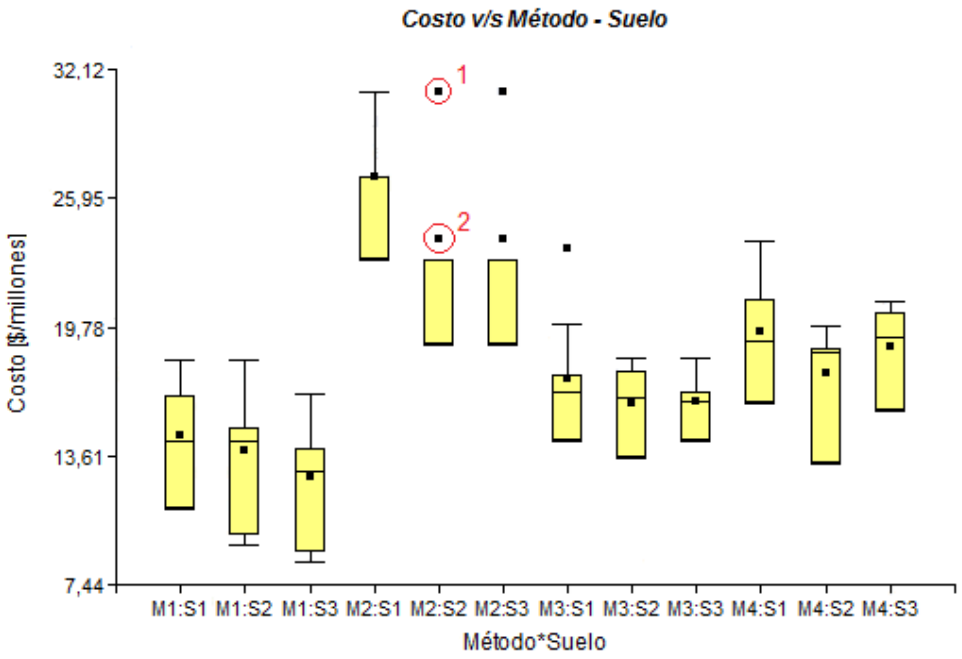

Figura 10. Gráfico box – plot de costo v/s método – suelo

En general, el espesor total de la estructura de pavimento disminuye cuando el suelo de subrasante presenta mayor capacidad de soporte o un mayor porcentaje de CBR. Al disminuir el espesor total, disminuye los costos asociados a materiales.

En la Figura 10, el método AASHTO representa esta tendencia, considerando la media y la distribución de los datos. En el método Sudafricano existe la tendencia, pero no presenta diferencias significativas en las medias y la distribución de los datos es mayor para el suelo con CBR de 20%. La diferencia en la distribución de los datos y la media, en el método australiano se produce principalmente por la interpolación de los datos.

En el caso del método español, los espesores de las capas de pavimento son las mismas para un suelo con un 20% y 30% de CBR, por lo que la distribución de los datos es igual. Para estos dos tipos de suelos, se presentan dos puntos atípicos. El primer punto atípico, representa el mayor costo asociado a una estructura de pavimento con un valor de CBR de 20%que corresponde al 25% de los datos de esta muestra, esto se debe a que el método trabaja con mayores espesores de pavimento a un mayor nivel de tránsito haciendo que aumenten los costos de la estructura. El segundo punto atípico, representa el promedio de los costos para un suelo con 20% de CBR, que corresponde a $24.000.000, producto de los mayores costos asociados al primer punto atípico, que hacen que este valor se encuentre por sobre el límite superior de la distribución de los datos.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

Similar situación ocurre en el método sudafricano, en el cual también existe un punto atípico sobre el límite superior del diagrama, que corresponde a un costo mayor a lo que considera la distribución general de los datos para un suelo con CBR de 10%. Este costo corresponde a $23.520.000 y se debe que el método para un mismo tipo de suelo, a mayor tránsito necesita de un mayor espesor de pavimento. Además, el valor es mayor considerando que cambia de clima húmedo a moderado.

Además, a través del análisis estadístico se tiene que existe similitud entre los métodos empleados en Chile, Sudáfrica y Australia para suelos con CBR de 10% y 20%. Los resultados del análisis estadístico se pueden observar en el Anexo E.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

CONCLUSIONES

Se han descrito cuatro métodos de diseño de pavimentos flexibles correspondientes a los aplicados en Chile, España, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda. Cada método es distinto tanto en enfoque, variables de entrada, ecuaciones de diseño y/o criterios de diseño.

Al comparar los métodos se observa que, existe una gran diferencia respecto al nivel de información que requiere cada método, y las ecuaciones o modelos de deterioros que emplean para determinar los espesores y costos de la estructura de pavimentos. El método que involucra una menor cantidad de información para el diseño de pavimentos es el español, mientras que el método AASHTO es el que requiere de mayor información.

Para la establecer una comparación de los diferentes métodos analizados se realizó una matriz de escenarios de diseño, que incorporó como variables el clima, el tránsito, y el tipo de suelo. La información para definir los rangos de las variables de diseño se obtuvo del Manual de Carreteras Volumen 3 y de estudios realizados con anterioridad en la región del Biobío. Cada matriz empleó cuatro niveles de tránsito solicitante, tres tipos de suelos y dos climas, con un total de 24 posibles escenarios de diseño por método. Para cada escenario de diseño se aplicaron los métodos Sudafricano, el método Australiano, el método de cartillas de diseño de España, y el método AASHTO, que se emplea actualmente en Chile.

De la aplicación de los métodos, se puede concluir que, los mayores espesores de estructura de pavimento y costos de materiales están asociados al método de diseño utilizado en España, seguido por los métodos australiano, sudafricano y AASHTO, esto se debe a que el método español utiliza rangos de valores para el tránsito y suelo, proporcionando soluciones más conservadoras en algunos casos. En el método australiano, los mayores espesores están relacionados con la interpolación de los datos y en el caso del método sudafricano también trabaja con rangos de valores para el tránsito.

Al considerar un análisis en función de la variable clima, dentro de los métodos sudafricano y AASHTO se observa una leve tendencia de aumento de los costos de materiales a medida que el lugar se aproxima a una zona con clima cordillerano, mientras que para los otros dos métodos no existen diferencias significativas, y en el caso particular del método español, las precipitaciones son relevantes al momento de elegir el tipo de mezcla asfáltica a utilizar pero no los espesores.

Con respecto al tránsito, se tiene que los cuatro métodos presentan la misma tendencia de aumentar los espesores y costos en el diseño de una estructura de pavimento cuando se trabajan

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

con mayores niveles de tránsito solicitante. Para este caso, la mayor dispersión de los datos se encuentra en el método español.

Al evaluar cada método conociendo el valor de CBR del suelo, se obtiene que los métodos AASHTO, español, y sudafricano, presentan claramente una tendencia en disminuir los espesores de las capas cuando se trabaja con mejor calidad del suelo de subrasante. En esta situación, el método australiano presenta diferencias en la distribución de los datos y el promedio de estos, que pueden estar ocasionadas por la interpolación de los datos. Además, el método español indica claramente no tener diferencias para un CBR de 20% y 30%, dado que las soluciones por medio de cartillas utilizan rangos de valores según el tipo de suelo empleado y estos dos tipos de suelos están incluidos en un mismo ítem.

De acuerdo al estudio realizado, en términos de costo se recomienda el uso del método AASHTO, dado que presenta los menores espesores en una estructura de pavimento flexible y por ende menores costos asociados a materiales. Considerando, el nivel de información, se recomienda el empleo del método Sudafricano, ya que por medio de información predeterminada, permite un menor análisis de las variables de entrada y proporciona soluciones para un rango de tránsito solicitante a costos no tan elevados comparados con el método utilizado actualmente en Chile. Desde el punto de vista estructural, se recomienda el empleo del método de un método empírico mecanicista, dado que su análisis se aproxima más a la realidad, pero considerando mayor énfasis en la variable clima, dado que afecta el comportamiento de los materiales, como es el caso del asfalto. En este caso, el método que se aproxima más a este concepto es el Australiano, pero es necesario analizarlo en mayor profundidad, dado que algunos datos fueron interpolados, para ser comparados con los otros tres métodos estudiados.

.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

REFERENCIAS

- Aburto, H. T. (2012) Evaluación del impacto estructural del transporte de alto tonelaje en pavimentos rígidos. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío. Concepción.

- Bonaquist, R.D. (1992). Summary of Pavement Performance Test Using the Accelerated Loading Facility, 1986-1990. Transportation Research Record, 1354, Transportation Research Board, Washington D.C. pp.74-85.

- Duque V., Gustavo. Práctica recomendada para la ejecución y control de calidad de los pavimentos asfálticos o flexibles. Febrero 2002. http://es.scribd.com/doc/24569151/Pavimentos-flexibles. Acceso 20 de Diciembre de 2012.

- Merino, J. M (2010) Metodología de elaboración de datos de tránsito y clima para el diseño de pavimentos flexibles usando MEPDG en Chile. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.

- MF (2010) Secciones de firme: Instrucción de Carreteras, Norma 6.1 IC. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. España.

- MOP (2012) Manual de Carreteras Volumen N°3: Instrucciones y Criterios de Diseño. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas. Chile.

- Rondón H., Reyes F. (2007). Metodologías de diseño de pavimentos flexibles: Tendencias, alces y limitaciones. Ciencia e ingeniería Neogranadina, Vol. 17-2, pp. 41-65. Bogotá.

- SCOI (2007). Catálogo de Secciones de Firmes y Pavimentos de la ciudad de Valencia. Servicio de Coordinación de Obras e Infraestructuras, Ayuntamiento de Valencia. España.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

- SERNATUR. Descubre Bio Bío: Situación Geográfica. Servicio Nacional de Turismo. Enero 2012 http://www.descubrebiobio.cl/situacion-geografica-regional.html. Acceso el 13 de Febrero de 2013.

- Theyse, H., De Beer, M. and Rust, E. (1996). Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Analysis Method. Presented at 75th Annual Transportation Research Board. Paper No. 961294. Washington, D.C. January.

- TRH4 (1996). Technical Recommendations for highways: Structural Design of Flexible Pavement for Interurban and rural roads. Committee of Land Transport Officials. Department of Transport. Republic of South Africa.

- Urbáez, E., Erskine, J. (2011) Project Level Australian methodology for flexible pavement design. Presented at 14th International Flexible Pavements Conference: "Sustainable Roads" of the Australian Asphalt Paving Association. Australia, September.

- Valdebenito, C. S. (2011) Caracterización del flujo vehicular de la red vial básica en la región del Bio-Bío. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío. Concepción.

- Vidal, A. Z. (2011) Estudio y aplicación de la guía de diseño empírico – mecanicista 1-37ª NCHRP, para el diseño de pavimentos rígidos en la región del Bío-Bío. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío. Concepción.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO (1993). Guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C.

- Busittil, R., Sharp, K., Neaylon, K. (2011) Austroloads Technical Report: Review of primes and primerseal design. Austroloads. Project No. TT 1357. Australia.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

- CIRCLY User Manual: Circly 5. Mincad Systems Pty. Ltd., 2012

- Díaz, R. T. (2011) Transporte de alto tonelaje: impacto estructural en pavimentos asfálticos. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.

- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- DTEI (2009) Transport Service division pavement design – Supplement to the Austroloads guide to pavement technology Part 2: Pavement Structural Design. Department for Transport Energy and Infrastructure. South Australia.

- DTEI (2012) Transport Service division pavement design – Supplement to the Austroloads guide to pavement technology Part 2: Pavement Structural Design. Department for Transport Energy and Infrastructure. South Australia.

- Jordaan, G. J. (1993) User Manual for the South African Mechanistic Pavement Rehabilitation Design Method. Report IR 91/242. South African Roads Board, Department of Transport, South Africa.

- MOP, Departamento de Gestión Vial. Red Vial Nacional: Dimensionamiento y Características. Diciembre de 2011. (Editado Septiembre 2012). http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/gestionvial/Documents/Dimensionamiento%20y%20Caracteristicas%20Red%20Vial%20Nacional%202011.pdf Acceso 04 Enero 2013.

- MOPC (2011). Manual de Carreteras de Paraguay: Normas para la estructura del pavimento Tomo 2, Volumen I. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Paraguay.

Universidad del Bío-Bío. Red de Bibliotecas - Chile

- QDMR (2009) Pavement design manual – Supplement to part 2: Pavement structural design of the Austroloads Guide to pavement technology. Queensland Department of Main Roads Pavement and materials Branch. Australia.

- Romero, F. A. (2008). Comparación del módulo de elasticidad en mezclas asfálticas. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile. Santiago.

- Winkler, G. N. (2012) Análisis de modelos de desempeño para pavimentos asfálticos con MEPDG. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.