

IAG269-03-2013
COMPARACIÓN DE LA GUÍA MEPDG 2002, LA GUÍA AASHTO 1993
Y EL MODELO HDM-4
COMPARAÇÃO DA GUIA MEPDG 2002, A GUIA AASHTO 1993 E O
MODELO HDM-4

Dr. Ing. Alejandro Tanco
Universidad Nacional de Córdoba
Córdoba, Argentina
atanco@efn.uncor.edu

Mgter. Ing. Miguel Rico
Universidad Nacional de Córdoba
Córdoba, Argentina
mrico@efn.uncor.edu

Resumen

La aplicación de metodologías de diseño y/o gestión de pavimentos flexibles, tales como las incluidas en las Guías AASHTO 1993 y MEPDG 2002 y en el modelo HDM-4 buscan, a través de una adecuada predicción del comportamiento en servicio de las estructuras, no sólo aumentar su vida útil sino también analizar con un importante grado de confiabilidad múltiples alternativas de mantenimiento técnicamente viables consiguiendo una importante reducción de los costos asociados. No obstante esto, dada la aleatoriedad del fenómeno deterioro de caminos y la distinta naturaleza y concepción de estos tres procedimientos, son de esperar diferencias entre las soluciones proporcionadas por cada uno de ellos que se traducen directamente en incertidumbre respecto del momento oportuno para una nueva intervención. Teniendo en cuenta que durante el año 2011 se produjo el lanzamiento oficial por parte de AASHTO del DARWin-ME 2.0 basado en la MEPDG, este trabajo busca identificar, analizar y cuantificar estas diferencias, estimando los espesores de refuerzo necesarios para la rehabilitación de distintos tramos de la Red Vial Nacional Argentina, seleccionados en base al concepto de matriz de red a fin de validar su representatividad. Tal como lo reflejan los resultados obtenidos, la comparación entre estas herramientas es posible, evidenciándose disparidades tanto en la estructura como en el número y complejidad de las interrelaciones de los modelos, dependiendo la solución y su sensibilidad de la metodología utilizada.

Resumo

A aplicação de metodologias de dimensionamento ou gestão de pavimentos flexíveis, tais como as incluídas nas Guías AASHTO 1993 e MEPDG 2002 e no modelo HDM-4 buscam, por meio da previsão do desempenho em serviço das estruturas, não só aumentar a sua vida útil mas também analisar com um importante grau de confiabilidade múltiplas alternativas de manutenção tecnicamente viáveis que permitem reduções significativas de custos associados. Porém, dada a aleatoriedade do fenômeno de deterioração e à diferente natureza e concepção destes três procedimentos são esperadas diferenças entre as soluções oferecidas por cada um que traduzem-

se diretamente em incerteza sobre o momento oportuno para uma nova intervenção. Tendo em conta que em 2011 viu o lançamento oficial por AASHTO o Darwin-ME 2.0 baseado na MEPDG, este trabalho busca identificar, analisar e quantificar essas diferenças, estimando as espessuras dos reforços necessários para a reabilitação de diferentes estradas da Rede Viária Nacional Argentina, selecionados com base no conceito de matriz de rede para validar a sua representatividade. Como mostram os resultados obtidos, a comparação entre estas ferramentas é possível, mostrando diferenças na estrutura, no número e na complexidade das inter-relações, dependendo o resultado e sua sensibilidade do método utilizado.

INTRODUCCIÓN

Las redes viales llenan sin lugar a dudas una necesidad esencial en el mundo moderno cual es la de disponer de una infraestructura de transporte capaz de llegar a todos los rincones de un territorio; sin embargo, el sostenido crecimiento experimentado por el parque automotor, tanto en volumen como en cargas, y el deterioro sufrido por estas redes constituyen un problema crónico cuya solución no es sencilla. El egreso de capital que significa para cualquier país la rehabilitación y/o reconstrucción de sus estructuras de pavimento obliga a los responsables de administrarlas a estar confrontados permanentemente con la necesidad de incorporar metodologías cada vez más racionales a la hora de planificar la conservación de los caminos y hacer rendir al máximo sus recursos. Las metodologías de diseño de pavimentos flexibles, a través de una adecuada predicción del comportamiento en servicio de las estructuras, buscan no sólo aumentar su vida útil sino también analizar con cierto grado de confiabilidad múltiples alternativas de mantenimiento técnicamente viables y conseguir una importante reducción de los costos asociados. No obstante esto, dada la aleatoriedad del fenómeno deterioro de caminos y la distinta naturaleza de los procedimientos utilizados, son de esperar diferencias entre las soluciones proporcionadas por cada uno de ellos. En este sentido, Tanco y Rico (2008) compararon las capacidades de predicción de la MEPDG y el modelo HDM-4 encontrando consistencias con los valores medidos en campo pero diferencias importantes en la simulación del progreso de las fallas. Los mismos autores utilizaron la MEPDG para la verificación del ahuellamiento prematuro observado en el desvío de tránsito pesado de la autopista Rosario - Córdoba en la ciudad de Villa María, Argentina, obteniendo resultados de predicción satisfactorios (Tanco y Rico, 2009). Finalmente, Wahr, Delgadillo y Rodríguez (2009) presentaron una comparación de diseños de pavimentos flexibles nuevos utilizando el método AASHTO 1993 y la Guía MEPDG sin calibración previa encontrando diferencias de resultados según uno u otro procedimiento.

Este trabajo tiene por objeto identificar, analizar y cuantificar tales las diferencias, estimando los espesores de refuerzo necesarios para la rehabilitación de tres tramos situados en la provincia de Córdoba, Argentina, según los procedimientos señalados por las Guías AASHTO 1993 y MEPDG y el modelo HDM-4.

CASOS ANALIZADOS

Debido a la dificultad que significa modelar cada uno de los tramos que conforman la vialidad de una provincia o país se recurrió al concepto de matriz de red como metodología para la elección

de tramos representativos. El tránsito medio diario anual y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) del año 2009 fueron los parámetros escogidos para la discretización de la Red Vial Nacional No Concesionada de la Provincia de Córdoba.

De esta matriz, luego de analizar la cantidad y confiabilidad de información disponible, se seleccionaron tres tramos de las celdas representativas, denominados PC310, PC320 y PC420, sometidos en Noviembre de 2009 a la medición de deflexiones por impacto como parte de su evaluación estructural, hecho que permitió caracterizarlos en el nivel 1. Luego, a partir de las deflexiones D0' y D6 y de los trabajos de campo realizados, se definieron 5 secciones de comportamiento homogéneo para los tramos PC310 y PC420 y 4 para el tramo PC320 que consideraron, además de las variaciones del tránsito y la regularidad superficial, variaciones del paquete estructural y la subrasante. Para la tramificación se recurrió al método de las diferencias acumuladas descrito en el Apéndice J de AASHTO 93.

CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Para una correcta caracterización de las estructuras se realizaron, además de la medición de deflexiones, una serie de trabajos que incluyeron: análisis de antecedentes, relevamiento de fallas, extracción de testigos asfálticos y realización de ensayos DCP (penetrómetro dinámico de cono) y ejecución de calicatas para extracción de muestras y verificación de espesores. En función de estos trabajos, las estructuras existentes en 3 secciones del PC420 fueron, por ejemplo, las esquematizadas en la Figura 1.

Tramo PC420 TH1		Tramo PC420 TH2		Tramo PC420 TH3	
Espesor	Capa	Espesor	Capa	Espesor	Capa
21 cm	Capas asfálticas	21 cm	Capas asfálticas	21 cm	Capas asfálticas
29 cm	Base granular	30 cm	Base granular	32 cm	Base granular
-	Subrasante A4 (0)	-	Subrasante A4 (0)	-	Subrasante A4 (0)

Figura 1: Estado estructural de los tramos

Estado de las estructuras

El estado previo de las estructuras se definió, para el método AASHTO, en función del número estructural efectivo, SN_{eff} , obtenido a partir de las deflexiones medidas. Para esto, se procedió en primer lugar a obtener el módulo resiliente de la subrasante aplicando la conocida expresión de Boussinesq para semi espacios homogéneos. En todos los casos, la estimación del M_R se obtuvo con la deflexión medida en el cuarto sensor (0.90 m), por ser el primero cuya medida pudo considerarse independiente del paquete estructural. Esto sucede cuando la distancia a la que se mide la deflexión es superior a 0,7 veces el radio efectivo del bulbo de presiones (a_e) en la interfase pavimento - subrasante.

Para determinar el módulo equivalente del pavimento el método se basa también en la ecuación de Boussinesq, asumiendo que el pavimento puede ser representado por dos capas, una subrasante de profundidad infinita y módulo M_R y un paquete con espesor D y módulo E_p . La deflexión total es obtenida luego como suma de las deflexiones del pavimento y la subrasante.

En el proceso de cálculo, se propusieron valores de E_p de forma tal que la deflexión resultante fuera igual a la medida en el punto de aplicación de carga. Finalmente, el número estructural efectivo del pavimento existente, SN_{eff} , se obtuvo en función de E_p y del espesor D . Los valores resultantes son resumidos en la Tabla N°7. Estos valores de SN_{eff} , junto con la profundidad media de ahuellamiento, el porcentaje de área total fisurada, el porcentaje de área con peladuras, el porcentaje de área con baches y la rugosidad (en términos de IRI), medidos previo al refuerzo fueron utilizados también para caracterizar la estructura y el estado superficial en el modelo HDM-4 a fin de compatibilizar al máximo las modelaciones en cada metodología.

El módulo resiliente de laboratorio de la subrasante considerado para las tres metodologías fue el obtenido, tal como lo recomienda AASHTO 93, como un tercio del valor retrocalculado a partir de las deflexiones. Teniendo en cuenta que la evaluación se realizó durante el mes de Noviembre los valores de módulo pudieron haber sido ajustados a fin de considerar las variaciones estacionales; no obstante, con un criterio conservador, los módulos derivados directamente de las deflexiones fueron adoptados como efectivos. Los valores de $M_r(lab)$ se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Estado estructural de los tramos

Tramo homogéneo	PC310		Tramo PC320		PC420	
	SN_{eff}	M_r (psi)	SN_{eff}	M_r (psi)	SN_{eff}	M_r (psi)
TH1	3.42	4674	3.56	5246	3.56	5957
TH2	2.91	3220	3.92	6700	4.33	7148
TH3	3.54	4639	3.66	6252	3.72	6952
TH4	2.89	3903	2.94	5458	4.21	7927
TH5	3.12	5341	-	-	3.06	6315

En la MEPDG, la caracterización de las estructuras en el nivel 1 requiere, además de la definición del ahuellamiento y espesor de cada capa, el módulo elástico de las capas granulares obtenido por retrocálculo a partir de la medición de deflexiones (NDT), y la curva maestra de las capas asfálticas existentes, a fin de describir la dependencia del módulo dinámico E^* del material con respecto al tiempo de aplicación de carga y a la temperatura. La Tabla 2 resume el nivel de información utilizado en esta definición.

Tabla 2. Caracterización de estructuras y materiales

Propiedad	Forma de obtención
Número de capas y tipo de material	Relevado de trabajos de campo
Espesores de capa	Relevado de trabajos de campo
Módulo resiliente (bases granulares)	Retrocalculado a partir de las deflexiones medidas
Curva maestra (CM) del CA no dañado	Relación con propiedades del CA relevado de antecedentes
Curva maestra (CM) del CA dañado	En función del módulo retrocalculado y de la CM no dañada
Propiedades del CA existente	Relevado de antecedentes
Relación de Poisson	Valor típico
Ahuellamiento	Relevado de antecedentes (con distribución recomendada)

La relación temperatura - viscosidad del ligante y los parámetros volumétricos de las capas asfálticas fueron relevados de antecedentes históricos disponibles y usados internamente por la

Guía para establecer la curva maestra no dañada a través de su ecuación predictiva de módulo dinámico. El módulo del concreto asfáltico (CA) dañado, para el tiempo reducido representativo de las condiciones de temperatura y carga del NDT, fue obtenido por su parte también por retrocálculo. Conociendo los valores de módulo dinámico dañado y no dañado, se resuelve la Ecuación 1 para el daño por fatiga del CA (d_{AC}) obteniendo por ajuste la curva maestra dañada necesaria.

$$E^*_{dañado} = 10^{\delta} + \frac{E^* - 10^{\delta}}{1 + e^{-0.3 + 5 \times \log(d_{AC})}} \quad (1)$$

En donde, $E^*_{dañado}$ es el módulo dinámico dañado (psi), δ es un parámetro de ajuste, E^* es el módulo dinámico no dañado para un determinado tiempo reducido (psi) y d_{AC} es el daño por fatiga de la capa asfáltica.

Para estimar los módulos de las bases granulares y de las capas asfálticas existentes se empleó el programa de retrocálculo BAKFAA, considerando para cada tramo homogéneo el cuenco medio de deflexiones y el módulo resiliente de subrasante obtenido para AASHTO 93. Para las bases granulares, al ser los módulos determinados en laboratorio los utilizados en la calibración de los modelos de predicción de la MEPDG, los valores retrocalculados debieron ser ajustados de forma tal de ser consistentes con los obtenidos mediante pruebas triaxiales a carga repetida. En todos los casos se adoptó un factor de ajuste de 0.62, recomendado por la Guía para este tipo de capas. A modo de ejemplo, la Tabla 3 presenta para el tramo PC420 TH3 los valores estimados en este proceso.

Tabla 3. Proceso de retrocálculo tramos PC420 TH3

Capa (PC420 TH3)	Espesor (cm)	Módulo semilla (psi)	Relación de Poisson (μ)	Módulo in situ obtenido (psi)	Módulo laboratorio obtenido (psi)
C.R. (CA)	21	250000	0.35	138435	138435
B.G.	32	25000	0.35	24880	15425
SR	-	21065 (fijo)	0.40	21065	6951

Tránsito

Los valores de TMDA, las composiciones vehiculares consideradas y el resto de la información relacionada al tránsito fue obtenida a partir de los datos publicados por la DNV tanto en sus anuarios como en su sitio web. Con esta información se calculó para AASHTO 1993 el número N de ejes equivalentes a ejes de 8,2 toneladas siguiendo el procedimiento recomendado por la Dirección Nacional de Vialidad (DNV). La siguiente expresión fue la utilizada.

$$N = D_D \times D_L \times VU \times 365 \times TMDA_{VU} \times C_T \times 2.2 \quad (2)$$

En donde, D_D es el factor de distribución direccional (se adoptó $D_D = 0.5$), D_L es el factor de distribución por carril (se adoptó $D_L = 1.0$, dos trochas indivisas), VU es la vida útil (años), $TMDA_{VU}$ es el tránsito medio diario anual pronosticado durante la vida útil, C_T es el factor de contribución combinado que convierte a los ejes, en términos de efecto destructivo, en ejes

equivalentes de 10 toneladas y 2.2 es el factor que convierte a los ejes equivalentes de 10 toneladas en ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

Para HDM-4, los factores de ejes equivalentes ($ESAL_f$) fueron obtenidos para cada tipo de vehículo utilizando los coeficientes “C” sugeridos por la DNV para calcular C_T a partir de su participación en la corriente de tránsito.

Finalmente en la MEPDG, dado que ninguno de los tramos de la Red Vial Nacional cuenta aún con información confiable proveniente de estaciones de pesaje en movimiento (WIM), se optó por ajustar los espectros de carga disponibles por defecto, habida cuenta de que aplicando los $ESAL_f$ propuestos por AASHTO 93 para un número estructural de 5 y una serviciabilidad final de 2.5 se tienen repeticiones del orden del 30% de las obtenidas con el procedimiento de la DNV. El ajuste en cuestión consistió entonces en desplazar estos espectros tantos intervalos de carga como los necesarios para obtener, aproximadamente, el número de ejes equivalentes de la metodología DNV. De esta forma, para obtener en promedio el 96.5% de las repeticiones DNV los espectros (ejes simples, tandem y tridem) debieron desplazarse 6 intervalos de carga para los tramos PC310 y PC320 y 7 para el tramo PC420, tramo con mayor factor de contribución combinado C_T . Con los ajustes realizados se asumió que, en promedio, el 8% de los ejes simples, el 29% de los ejes tandem y el 35% de los ejes tridem están sobrecargados.

Clima

Con el procesamiento de la información climática suministrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se creó para la MEPDG el archivo hcd (hourly climatic database) aplicable a los tres tramos analizados. La información contenida en él y la incluida en el archivo station.dat permitió generar el archivo icm que reúne toda la información climática necesaria para correr el software. En base a la misma información se generó para HDM-4 la zona climática correspondiente. Los principales parámetros empleados para esto se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros climáticos utilizados en HDM-4

Parámetro	Valor
Temp. media mensual (°C)	17.4
Rango temperaturas medias (°C)	12.9
Días con temperatura > 32°C	53
Precipitación media mensual (mm)	62
Humedad relativa (%)	61.6

MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

A partir de la información relevada (calicatas, testigos, ensayos DCP, tránsitos, etc.) y de los valores modulares retrocalculados se modelaron las estructuras tal como se mostró en la Figura 1. A tal efecto, se calibraron específicamente para estos tramos la MEPDG y el HDM-4. Los coeficientes de calibración utilizados en estos modelos fueron los que, siguiendo la metodología presentada por Tanco y Rico (2006 y 2007), minimizaron el error medio cuadrático de cada falla en sus procesos de ajuste. En el caso de la MEPDG, las estructuras fueron modeladas siguiendo las recomendaciones y reglas de simulación en ella planteadas.

Como refuerzo de las estructuras existentes se consideró una carpeta de rodamiento de un concreto asfáltico considerado convencional tanto en lo que se refiere a la fórmula como a los parámetros estabilidad Marshall, fluencia, porcentaje de vacíos, densidad, etc. La Tabla 5 resume las características generales de la mezcla utilizada.

Tabla 5: Dosificación y parámetros Marshall del C.A. de refuerzo

Refuerzo	Valor
% Cemento asfáltico CA30 (ASFASOL 30)	5.5
% Acumulado retenido en el tamiz 3/4"	4.0
% Acumulado retenido en el tamiz 3/8"	30.0
% Acumulado retenido en el tamiz #4	40.0
% Pasante por el tamiz #200	5.0
Estabilidad (kg)	1071
Fluencia (mm)	3.2
Vacíos (%)	3.8
Relación B/V (%)	78.7
Densidad Marshall (gr/cm ³)	2.526

De acuerdo a las especificaciones SHRP, el producto ASFASOL 30 considerado para el refuerzo se encuadra dentro del grado de performance (PG) 70-16. Este dato fue utilizado en la MEPDG para caracterizar la relación viscosidad - temperatura del ligante asfáltico.

La Figura 2 muestra la curva maestra simulada por la MEPDG para el concreto asfáltico del refuerzo. Recordemos que estos factores definen la dependencia del módulo E^* respecto a la temperatura de la mezcla. Representando en la curva los tiempos de aplicación de carga típicos del ensayo de módulo resiliente y considerando una temperatura de 20°C, igual a la temperatura de referencia de la curva, se tienen tiempos reducidos de entre 0.15 y 0.50 segundos a los que le corresponden módulos superiores a 450000 psi. Este módulo, sumado al valor de estabilidad presentado en la Tabla anterior, mayor a las 2000 lb alcanzadas en el AASHO Road Test, justifican la adopción tanto para AASHTO 93 como para el modelo HDM-4 de un coeficiente de aporte estructural de 0.44 (1/in) para la capa de refuerzo.

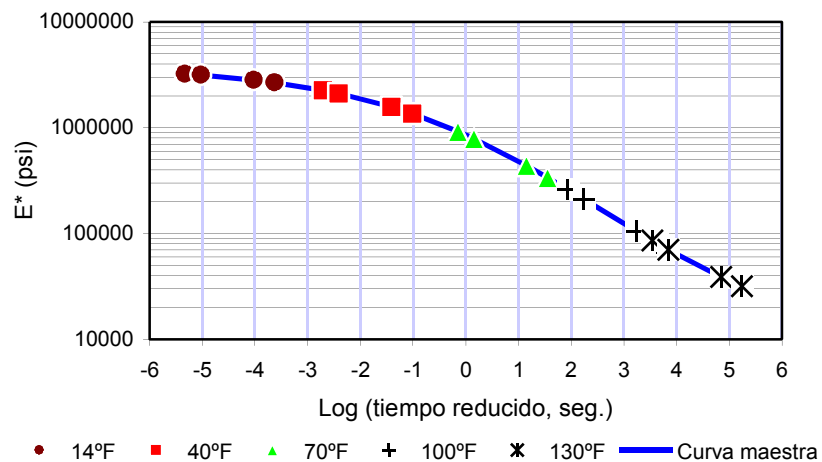


Figura 2. Curva maestra del CA de refuerzo

En vistas de evaluar las modelaciones hechas por la MEPDG de la curva maestra, se consideró una mezcla asfáltica del tipo semi densa de la que se disponía valores de stiffness determinados en laboratorio. Las pruebas se ejecutaron siguiendo los lineamientos descritos en la normativa PrEN 12697-26:2003 Annex C “Indirect tension test on cylindrical specimens” utilizando un equipo NU-14 desarrollado por Cooper Research Technology Limited considerando una temperatura de 20°C y una frecuencia de aplicación de cargas de 1 Hz. El resultado obtenido en laboratorio, como promedio de 3 probetas elaboradas, y el módulo extraído de la curva maestra para esas condiciones de ensayo, se vuelcan en la Tabla 6. Los resultados muestran la bondad de las simulaciones hechas.

Tabla 6. Comparación de valores de módulos

Temperatura	Tiempo de carga (seg)	log (tiempo reducido) (seg)	Stiffness (psi)	
			Laboratorio	Curva maestra
20°C (68°F)	1	-0.65	614670	630855

Con toda la información presentada hasta aquí se estimó, para un período de diseño de 5 años compatible con la duración de los Contratos de Recuperación y Mantenimiento (CReMa) gestionados por la DNV, el espesor de refuerzo necesario según las tres metodologías comparadas. Los parámetros utilizados para AASHTO 93 para la estimación de este espesor se resumen en la Tabla 7. 90% fue también el nivel de confiabilidad fijado para la MEPDG.

Tabla 7. Parámetros utilizados en AASHTO 93

Parámetro	Valor	Descripción
Z_r	-1.282	Desvío normal estándar para el nivel de confiabilidad seleccionado ($R = 90\%$)
S_o	0.44	Desvío estándar
M_r (psi)	Variable	Módulo resiliente de la subrasante (Tabla 1)
SN_{eff}	Variable	Número estructural efectivo (Tabla 1)
a_{ol}	0.44	Coefficiente de aporte estructural del refuerzo (1/in)
ΔPSI	1.7	Pérdida de serviciabilidad hasta próxima intervención ($4.2 - 2.5 = 1.7$)
W_{18}	Variable	Ejes equivalentes de 8.2 tn (PC310: 2404940; PC320: 2464765; PC420: 6853332)

Como puede observarse, la serviciabilidad final adoptada en todos los casos fue 2.5. Para la MEPDG se consideró un IRI final de 3.0 m/km, compatible con las rugosidades fijadas como máximas admisibles en los contratos CReMa. Para la rugosidad inicial, luego de la ejecución del refuerzo, se consideró tanto en la MEPDG como en el HDM-4 un valor de IRI de 2.0 m/km, tal como los especificados por la DNV para repavimentaciones en los Corredores Viales Nacionales.

RESULTADOS

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos con las Guías AASHTO 93 y MEPDG, con una clara consistencia entre ambas soluciones y sus variaciones. Puede observarse que, en promedio y en general, es necesario un espesor 2.5 cm más grande según la MEPDG.

Cabe destacar que la sección TH1 del tramo PC320 tiene un módulo retrocalculado de capas asfálticas (E^*) 1.56 veces superior al E^* promedio de las secciones homogéneas de PC320. Por otro lado, para el mismo tramo, la mayor diferencia se obtuvo para la sección PC320 TH4,

coincidente con el menor valor de E^* , lo que refleja la sensibilidad de la solución MEPDG a este parámetro.

Tabla 8. Espesor necesario de refuerzo (cm)

Guía	PC310					PC320				PC420				
	TH1	TH2	TH3	TH4	TH5	TH1	TH2	TH3	TH4	TH1	TH2	TH3	TH4	TH5
AASHTO 93	8	14	7	13	8	6	2	4	9	9	3	7	3	11
MEPDG	10	20	7	15	9	3	3	6	13	13	7	11	7	15

Otro aspecto a resaltar es la aplicación puramente estructural que se hizo de la fórmula AASHTO 93 obteniendo espesores de 2 cm, menores a los mínimos para capas aportantes. En este sentido, la MEPDG no simula espesores de refuerzo menores a 3 cm.

Finalmente, los resultados obtenidos con el modelo HDM-4 lo muestran insensible frente a distintos valores de M_R , SN_{eff} , considerados dentro del número estructural ajustado, prediciendo prácticamente la misma rugosidad al final del periodo de diseño inclusive para distintos espesores de refuerzo. La Tabla 9 muestra estos resultados para 8 de los tramos homogéneos.

Tabla 9. Soluciones obtenidas con HDM-4

Tramo homogéneo	Refuerzo (cm)	IRI inicial (m/km)	IRI final (m/km)	SN ajustado	Tramo homogéneo	Refuerzo (cm)	IRI inicial (m/km)	IRI final (m/km)	SN ajustado
PC310	5	2.00	2.65	3.29	PC320	4	2.00	2.60	5.19
TH2	15	2.00	2.64	4.97	TH2	10	2.00	2.61	6.20
PC310	4	2.00	2.62	4.29	PC420	5	2.00	2.50	3.89
TH3	10	2.00	2.63	5.30	TH5	15	2.00	2.48	5.58
PC320	5	2.00	2.61	4.08	PC420	4	2.00	2.47	5.30
TH4	15	2.00	2.63	5.77	TH2	10	2.00	2.47	6.31

CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados obtenidos pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- La solución y su sensibilidad depende de la herramienta utilizada.
- La calidad de la información disponible permitió caracterizar a los principales parámetros y condicionantes del diseño en el nivel 1 de la MEPDG. Por esta información y por la forma en que fueron seleccionados los tramos (matriz de red) este trabajo constituye también una base de cara a mejoras futuras en los procesos de calibración de la MEPDG.
- Se generaron para la MEPDG 23 estaciones climáticas, implicando, para el período 2006 - 2010, el procesamiento de más de 5000000 de datos. Se generaron también las zonas climáticas equivalentes usadas por HDM-4.
- Se revisó y adaptó la clasificación vehicular de la DNV a la propuesta por la FWHA utilizada por la MEPDG. La falta de información confiable y sistemática proveniente de estaciones de pesaje en movimiento o de balanzas fijas que permita la estimación de los

espectros de carga es un aspecto importante. Hasta tanto esto sea posible se deberá seguir trabajando y validando el ajuste presentado en este trabajo.

- Los resultados y variaciones obtenidas con AASHTO 93 y MEPDG son claramente consistentes. Si se comparan los resultados de la Tabla 8 se observa que, en promedio, los espesor requeridos por la MEPDG son 2.5 cm mayores que los predichos por AASHTO 93.
- La MEPDG no simula espesores de refuerzo menores a 3 cm, hecho que explica parte de las diferencias encontradas.
- Se observa una sensibilidad importante de la solución MEPDG al módulo dinámico E^* especificado para las capas asfálticas existentes.
- Las soluciones obtenidas con HDM-4 no respondieron ni ante cambios en la robustez de la estructura y de la subrasantes, del tránsito o del espesor del refuerzo, prediciendo prácticamente la misma rugosidad para el final del período de diseño. Sí se manifestó sensible el modelo ante cambios en la zona climática considerada.

Comparadas las metodologías AASHTO 93, MEPDG y HDM-4 para la rehabilitación de pavimentos flexibles existentes, quedan de manifiesto las diferencias entre los modelos, tanto en su naturaleza y estructura como en el número y complejidad de sus interrelaciones. La comparación entre estos procedimientos y la bondad de sus soluciones requiere de estudios adicionales que resultarán de trabajos actualmente en desarrollo y que mejorarán los buenos resultados alcanzados hasta ahora.

REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, USA.
- National Cooperative Highway Research Program (2004) *Guide for Mechanistic - Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures*. Final Report. Illinois, USA.
- Odoki J., Keralih. (2000). *The Highway Development and Management Series, Volume 4: Analytical Framework and Model Descriptions*. World Bank Publications, Washington, USA.
- Tanco A. y Rico M. (2008). *Comparación de la Guía MEPDG 2002 y el modelo HDM-4*, XXXV Reunión del Asfalto, Rosario, Argentina.
- Tanco A. y Rico M. (2009). Predicción de Ahuellamiento con la MEPDG 2002, XV Congreso Ibero - Latinoamericano del Asfalto (pp. 953 - 962). Lisboa, Portugal.
- Tanco A. y Rico M. (2006). *Calibración a condiciones argentinas de los modelos de deterioro del HDM-4 para pavimentos flexibles*, XXXIV Reunión del Asfalto, Mar del Plata, Argentina.
- Tanco A. y Rico M. (2007). *Guía M-E 2002: Calibración a Condiciones Argentinas*, XIV Congreso Ibero - Latinoamericano del Asfalto, La Habana, Cuba
- Wahr C., Delgadillo R., Rodriguez R. (2009). *Estudiando la Aplicabilidad en Chile de la Guía de Diseño Empírico Mecanicista NCHRP 1-37 A*, XV Congreso Ibero - Latinoamericano del Asfalto (pp. 813 - 820). Lisboa, Portugal.