

# **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MANTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS E CONTROLE TECNOLÓGICO**

## **PREDICIONES AJUSTADAS DE DETERIORO, SU IMPORTANCIA A NIVEL RED.**

*Ings. Marta Pagola y Oscar Giovanon*

Email: [mpagola@eie.fceia.unr.edu.ar](mailto:mpagola@eie.fceia.unr.edu.ar)  
[ogiovano@eie.fceia.unr.edu.ar](mailto:ogiovano@eie.fceia.unr.edu.ar)

Laboratorio Vial IMAE  
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura  
Universidad Nacional de Rosario  
Berutti y Riobamba  
2000 Rosario - Argentina

SÃO PABLO – BRASIL

2000

## RESUMEN:

Actualmente, en Argentina y en numerosos países, se utiliza el modelo HDM III como herramienta para predecir los deterioros que se producirán en la superficie de las calzadas pavimentadas y calcular las inversiones necesarias para mantener las mismas en adecuadas condiciones de servicio a los usuarios.

Si los modelos de deterioro utilizados no logran predecir adecuadamente lo que sucederá en la realidad, entonces las previsiones de acciones y momentos de aplicación serán erróneas.

En esta publicación se presentan los coeficientes que permiten calibrar los modelos de deterioro del HDM III a una región de la Argentina, y una valoración de los errores cometidos al no realizar el ajuste y utilizar los coeficientes unitarios sugeridos por defecto.

## ABSTRACT

Actually, in Argentine and other countries, the HDM III model is used as a tool to predict road surface distress and to obtain the maintenance cost for good quality service levels.

If the predictions models are not accurate to predict the maintenance actions, applications time and their cost, these predictions could be bad.

This paper shows the calibration of the distress coefficients used in one region of Argentine, and an estimation of the error if coefficients equal to one are used.

Keywords: management, performance

## 1. INTRODUCCIÓN GESTIÓN

Una importante responsabilidad de las autoridades nacionales y provinciales es la de poseer una red de carreteras con pavimentos seguros y que brinden una buena calidad de servicio al usuario, pero generalmente la disponibilidad de recursos es inferior a los requeridos para mantener esa red en un nivel ideal de servicio para los usuarios.

Los Sistemas de Gestión de carreteras son herramientas útiles para ayudar a los responsables de la toma de decisiones a encontrar la óptima distribución de fondos destinados al mantenimiento y reconstrucción de pavimentos.

Si bien a nivel mundial ya está desarrollado y se ha comenzado a utilizar el Sistema HDM IV, en Argentina, en el ámbito Nacional y Provincial, ha tenido gran difusión la aplicación del Modelo HDM III tanto a nivel red como a nivel tramo, como herramienta para:

- Predecir comportamientos de las calzadas
- Definir acciones de mantenimiento y rehabilitación
- Calcular los costos de mantenimiento y rehabilitación
- Definir las estrategias más rentables
- Ajustar las inversiones con los recursos disponibles

Este Modelo posee la gran ventaja que los modelos internos que utiliza pueden ser calibrados a condiciones particulares de uso, debido a la existencia de coeficientes de ajuste.

Para efectuar una correcta predicción es necesario que la repartición y organismo a cargo de la red vial posea datos confiables del estado de su red y de la evolución de la misma. De esa manera, y sabiendo la historia de los deterioros, podrá aplicar acciones de mantenimiento a tiempo y no rehabilitaciones de urgencia. Figura 1.

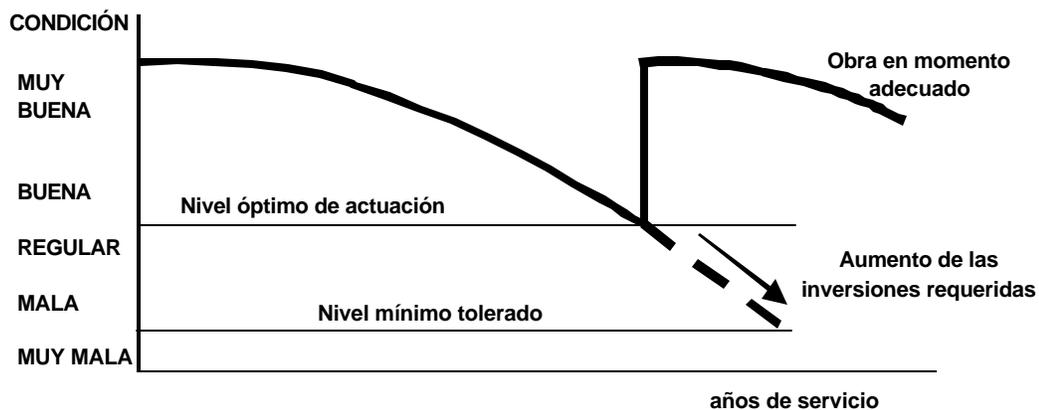


Figura 1. Momento adecuado de realización de obras de mantenimiento y rehabilitación.

Estos relevamientos a nivel red deben tener cierta periodicidad y generalmente abarcan tareas de medición de:

- Deformación longitudinal o rugosidad
- Deformación transversal o ahuellamiento
- Fisuración
- Fallas localizadas o baches
- Desprendimiento de material
- Tránsito
- Capacidad estructural o deflexión
- Coeficiente de fricción
- Aspectos de la zona de camino

Cada uno de estos deterioros posee distintos tipos de evolución y se encuentran relacionados entre sí, tal como lo muestra la gráfica de la Figura 2.

El HDM III posee modelos de comportamiento asociados a varios de los parámetros citados, con coeficientes de ajuste para cada uno de ellos.

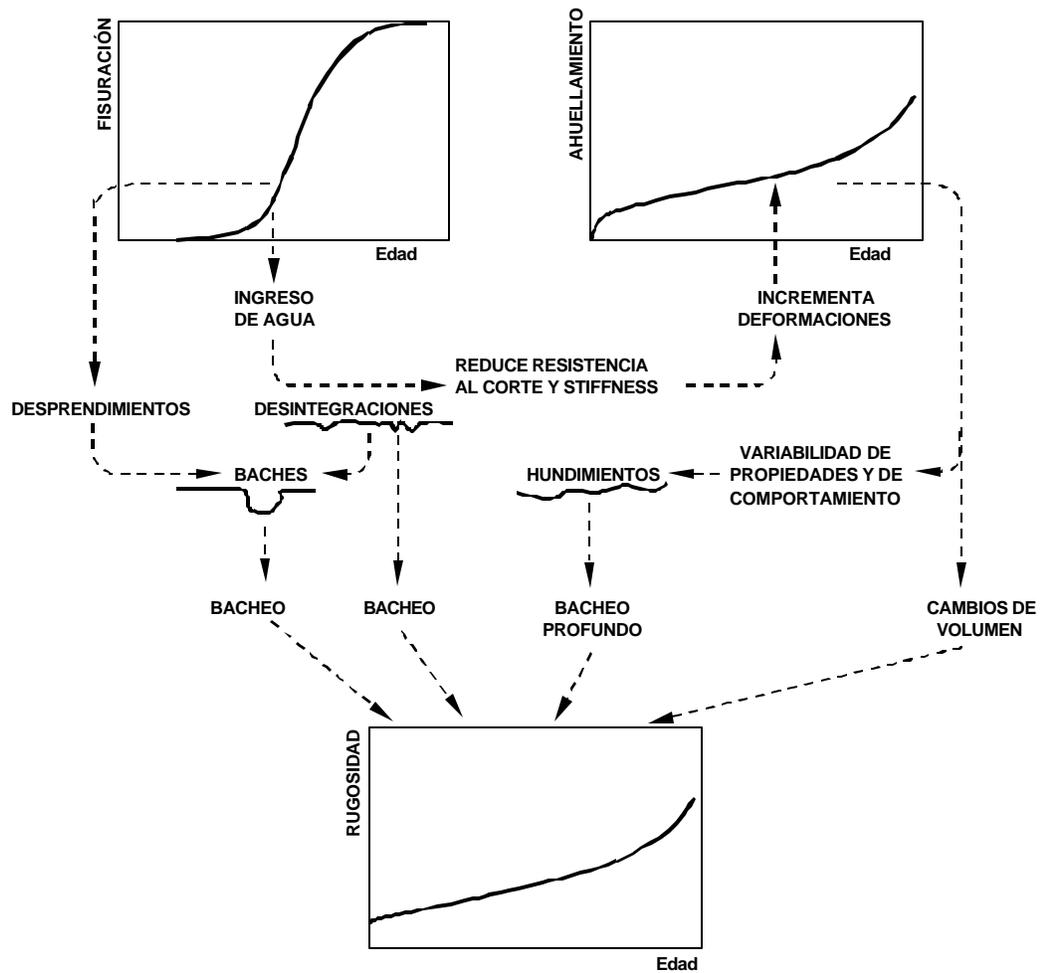


Figura 2. Interrelación de los deterioros de pavimentos flexibles

## 2. TÉCNICA APLICADA PARA EL AJUSTE

Para ajustar los modelos de comportamiento es necesario entonces disponer datos de evolución de superficies de caminos. Estos datos pueden obtenerse por distintos caminos:

- De ensayos de campo acelerados, con tramos construidos especialmente y sometidos a tránsitos elevados en reducidos períodos de tiempo, por ejemplo AASHO Road Test. Tienen el inconveniente que las variaciones climáticas no son consideradas, no existen los períodos de reposo entre las cargas, su construcción como tramo especial tiene acompañado un mayor cuidado en las técnicas aplicadas y un mayor control de los materiales utilizados.

- De observación de tramos de camino reales en forma individual durante toda su vida en servicio, con registro de las variaciones del clima, del tránsito y de la evolución de los deterioros. El inconveniente en este caso es que es necesario que pase mucho tiempo hasta que puedan obtenerse resultados.
- De la observación de un elevado número de tramos de camino reales durante un corto período de tiempo (1 a 5 años) y luego superponiendo los deterioros obtenidos en todos ellos (Técnica de Ventanas). De esta forma se obtienen resultados más rápidos, pero para que pueda aplicarse los tramos utilizados deben tener ciertas características de semejanza.

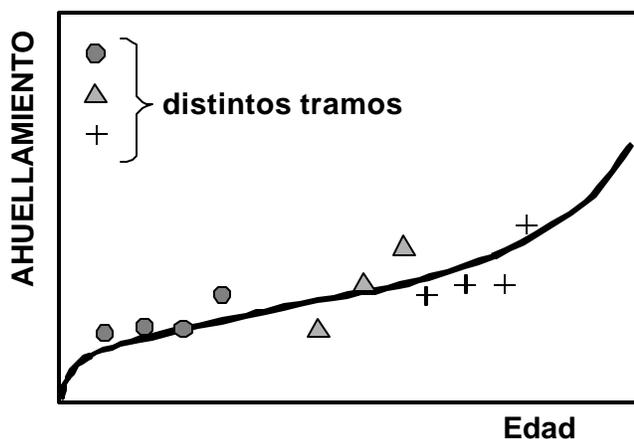


Figura 3. Esquema de superposición de las ventanas de seguimiento de distintos tramos

La técnica de ventanas consiste en definir una única curva de comportamiento a través de la superposición de los deterioros sufridos por distintos tramos de ruta en diferentes edades. En esta pueden aprovecharse las evaluaciones periódicas de la red aunque no se disponga de un elevado número de años de cada uno de ellos. Como requisito indispensable para poder aplicar esta metodología los tramos deben tener características semejantes de: capacidad estructural, tipos de materiales, calidad de subrasante, precipitaciones, distribución de cargas y tránsito.

En este trabajo se aplicó la técnica de ventanas descripta para ajustar los modelos de deterioro de pavimentos asfálticos del HDM III, o sea los que el Modelo utiliza para predecir la evolución de los deterioros de la superficie de las calzadas.

### 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS UTILIZADOS

Para el presente análisis se utilizaron 169 tramos homogéneos pavimentados con distintos tipos de superficie: tratamiento superficial, concreto asfáltico y hormigón, con una longitud total de 3284 Km. Las longitudes de los tramos fueron variables entre 5 y 60 Km, y se disponía de algunos años de evaluaciones de deterioros superficiales.

Los tramos utilizados en el presente trabajo corresponden a rutas provinciales, o sea con características de pavimentos de buena calidad con superficies de rodamiento de concreto asfáltico o tratamientos superficiales, y solicitados con tránsitos medios ( $N=20000$  a  $200000$  ejes equivalentes de  $8.16$  T por año).

La capacidad estructural, expresada a través de la deflexión Benkelman, varía entre 20 y 240 mm/100, y las subrasantes son todas del orden de  $CBR = 3$ .

Los deterioros que se consideraron en el presente análisis fueron:

- Rugosidad, en IRI (m/km)
- Ahuellamiento, en (mm), medido con regla de 1.20 m.
- Fisuración, en (%), fisuras totales según HDM III.
- Baches, en (%).

### 4. METODOLOGÍA APLICADA

Fue aplicada la Técnica de Ventanas descripta. Inicialmente fueron superpuestos los deterioros de todos los tramos disponibles, sin diferenciación de tipo de superficie, tránsito, ni capacidad estructural. En la Figura 4 puede observarse la evolución obtenida en las fisuras totales para todos los tramos en conjunto.

Como se observa, se obtuvo una tendencia de crecimiento pero con una elevada dispersión de valores. Se procedió entonces a separar las evoluciones por tipo de superficie, concreto asfáltico y tratamiento superficial. Los tramos con superficie de rodamiento de hormigón no fueron considerados ya que el Modelo HDM III no los contempla.

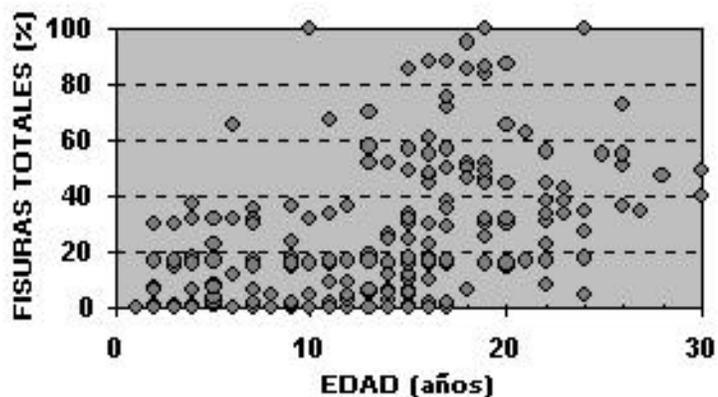


Figura 4. Evolución de las fisuras totales para la totalidad de los tramos.

Los tramos con superficie de tratamiento superficial fueron considerados en conjunto, o sea realizando el ajuste para la totalidad de ellos, debido a que la cantidad de datos disponibles no justificaba su división.

Para reducir la dispersión de valores los tramos con superficie de rodamiento de concreto asfáltico fueron separados en tres grupos de acuerdo al valor de la deflexión Benkelman: 20 – 60 mm/100, 60 – 100 mm/100 y 100 – 300 mm/100. De esa manera se obtuvieron mejores tendencias de crecimiento de los deterioros y con dispersiones más reducidas. En la gráfica de la Figura 5 se muestra la evolución obtenida para los ahuellamientos de tramos con superficie de concreto asfáltico y deflexiones en el entorno 60 – 100 mm/100.

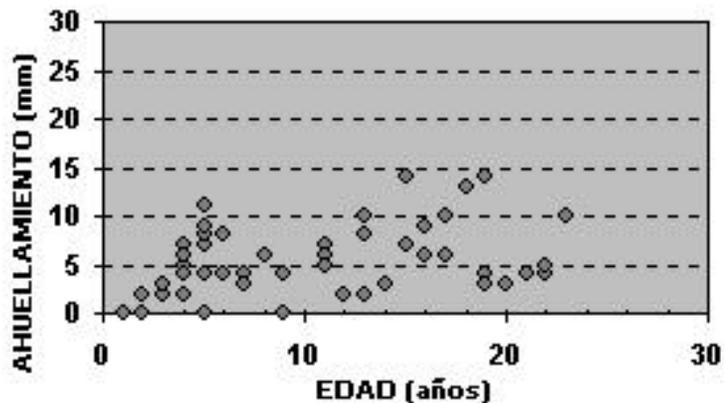


Figura 5. Evolución de los ahuellamientos para tramos de concreto asfáltico con deflexiones entre 60 y 100 mm/100.

Para arribar a una curva de evolución de cada deterioro adecuada a las condiciones de las rutas de la provincia, fue elegida una estructura representativa de cada entorno, con deflexiones y tránsito medio del conjunto de tramos seleccionados, y realizados sucesivos procesamientos con el modelo HDM III modificando los coeficientes de ajuste hasta lograr que la evolución predicha por el modelo para esa estructura indicara la evolución de los comportamientos que tuvieron los tramos reales. En la Figura 6 puede observarse el ajuste del modelo de evolución de las fisuras totales para los tramos con superficie de concreto asfáltico con deflexiones entre 20 y 60 mm/100.

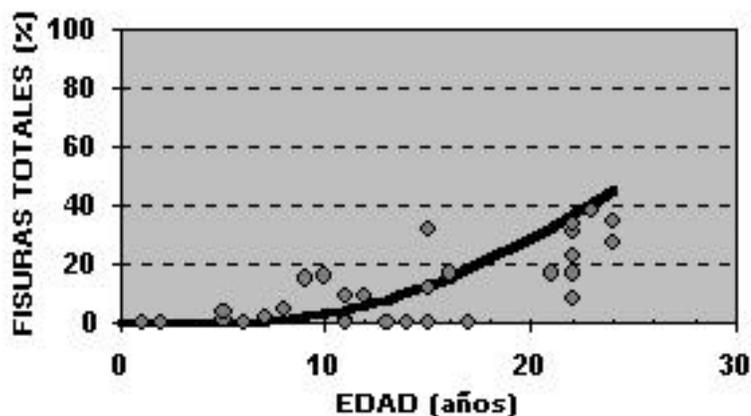


Figura 6. Modelo de deterioro por fisuras totales ajustado para los tramos con superficie de concreto asfáltico con deflexiones entre 20 y 60 mm/100.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

Siguiendo la metodología descrita en el punto 4 se obtuvieron los coeficientes de ajuste de los modelos de deterioro del HDM III para el tipo de estructuras y tránsitos seleccionados.

Los coeficientes obtenidos, para cada uno de los entornos elegidos de las superficies de concreto asfáltico y para el total de los tratamientos superficiales se describen en la tabla de la Figura 7.

DETERIORO	COEFICIENTES HDM III	TIPOS DE SUPERFICIE			
		TRATAMIENTO SUPERFICIAL	CONCRETO ASFÁLTICO ENTORNOS DE DEFLEXIÓN (mm/100)		
			20 - 60	60 - 100	100 - 300
FISURACIÓN (%)	K inicio	1	1	1	1
	K progreso	1	0.3	0.4	0.3
AHUELLAMIENTO (mm)	Inicial medio	defecto	0.5	0.8	1.2
	Inicial desviación	defecto	0.3	0.4	0.6
	K progreso	1	2.4	2	1.6
RUGOSIDAD IRI (m/km)	Inicial	1.5	1.5	1.5	1.5
	K estado	1	0.5	0.4	0.35
	K ambiente	1	0.4	0.4	0.35
BACHES (%)	K progreso	1	1	1	1

Figura 7. Coeficientes de ajuste de los modelos de deterioro del HDM III para las rutas provinciales de una región de Argentina.

Como puede observarse en el modelo de ahuellamiento fue necesario definir, además del K de progreso un valor inicial del parámetro, ya que el valor inicial que propone el HDM III en el inicio de servicio resulta ser superior a los valores observados en rutas Argentinas.

En los años 1993 y 1996 se realizó este análisis y se determinaron los coeficientes de ajuste para rutas de la misma región de Argentina correspondientes a la red nacional principal, con diseños estructurales y tránsitos de mayor importancia.

En dicha oportunidad la metodología aplicada consistió en realizar un ajuste individual de los modelos para cada tramo analizado, ya que se disponía de un mayor número de datos de evaluaciones superficiales anuales. Esos coeficientes de ajuste individuales fueron analizados en conjunto y definidos parámetros estadísticos, de los cuales se indica el valor medio en la tabla de la Figura 8. En dicha oportunidad el modelo de baches no fue ajustado.

<b>DETERIORO</b>	<b>COEFICIENTES HDM III</b>	<b>ESTRUCTURAS NUEVAS RED NACIONAL</b>
FISURACION (%)	K inicio	1.32
	K progreso	0.47
AHUELLAMIENTO (mm)	Inicial medio	1.00
	Inicial desviación	0.45
	K progreso	2.35
RUGOSIDAD IRI (m/km)	Inicial	1.32
	K estado	0.39
	K ambiente	0.39

Figura 8. Coeficientes de ajuste de los modelos de deterioro del HDM III para las rutas de la red nacional principal de una región de Argentina.

Del análisis de las tablas de las Figuras 7 y 8 se concluye que los coeficientes de ajuste obtenidos a nivel red en ambas oportunidades son semejantes pese a las diferencias existentes entre las categorías de las rutas consideradas.

En las Figuras 9 y 10 se muestran las curvas de evolución de los deterioros para los entornos extremos elegidos en los tramos con superficie de rodamiento de concreto asfáltico. En ellas se encuentran graficados los deterioros en función de la edad de la superficie, donde:

- los puntos son los relevamientos de condición superficial realizados en distintas edades de las calzadas, superpuestos aplicando “ventanas”,
- la línea de trazo la evolución según HDM III con coeficientes unitarios y
- la línea continua la evolución según HDM III con los coeficientes ajustados.

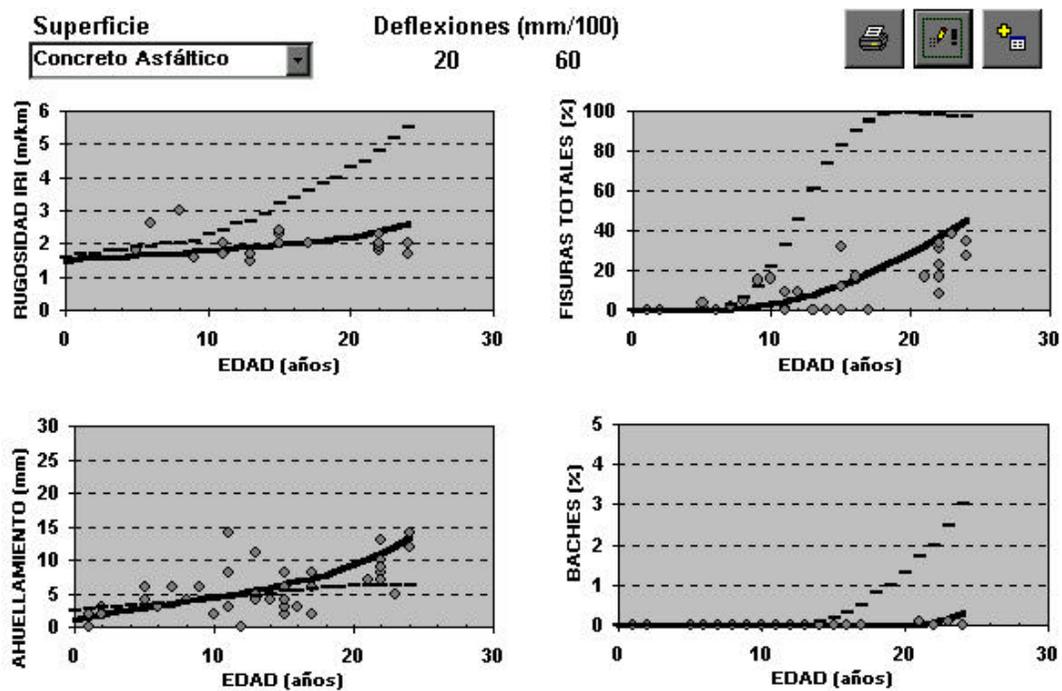


Figura 9. Ajustes para superficies de concreto asfáltico,  
 entorno de deflexión 20 – 60 mm/100

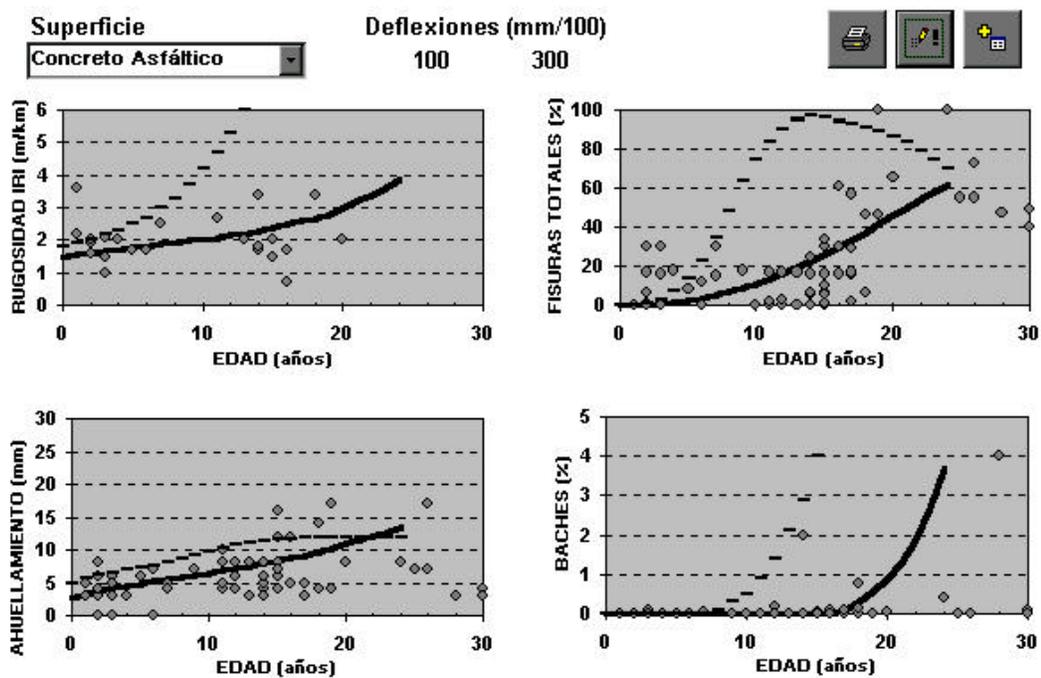


Figura 10. Ajustes para superficies de concreto asfáltico,  
 entorno de deflexión 100 – 300 mm/100.

De las gráficas puede observarse que los comportamientos obtenidos con coeficientes de ajuste unitarios difieren mucho de la evolución que han tenido los tramos de camino reales. En general predicen mayor crecimiento de la fisuración, mayor crecimiento de la rugosidad y menor crecimiento de ahuellamiento; estas diferencias tienen una gran importancia al momento de realizar la planificación de acciones de mantenimiento, los momentos de actuación y el cómputo de las mismas.

## **6. INFLUENCIA EN LAS PREDICCIONES DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO**

En la Provincia de Santa Fe se dispone de un Sistema de Gerenciamiento de la Conservación de Rutina dentro del cual se encuentran volcados los datos de la red vial y las evaluaciones históricas superficiales y estructurales, dentro del cual se realizó el análisis comparativo que se describe en este punto.

Para el conjunto de calzadas pavimentadas con superficie de rodamiento de concreto asfáltico de las cuales se disponía de datos suficientes como para realizar el análisis, aproximadamente 1300 Km, se ha realizado la predicción de los deterioros superficiales aplicando coeficientes de ajuste unitarios y los coeficientes calibrados obtenidos para la red provincial y descriptos previamente.

Se ha partido del estado real de deterioro existente para el año en curso y se realizó la prognosis de los deterioros, definiendo así las acciones de mantenimiento necesarias a realizar en el período de un año.

En la tabla de la Figura 11 pueden observarse las prognosis obtenidas aplicando los factores unitarios y los modelos ajustados para los cuatro tipos de deterioro considerados. Se realizó el procesamiento para todos los tramos con los mismos coeficientes de calibración, utilizando el promedio de los tres entornos de deflexión descriptos en la tabla de la Figura 7. Los valores indicados para los deterioros se corresponden con el promedio de dichos parámetros para el total de tramos.

	Rugosidad IRI [m/Km]	Ahuellamiento [mm]	Fisuras Anchas [%]	Baches [%]
Factores unitarios	3.1	9.6	21.	0.28
Modelos ajustados	2.8	10.2	12.	0.28

Figura 11. Resultados de la prognosis para un año, para las rutas de concreto asfáltico de la red provincial.

Una de las acciones de mantenimiento a considerar es el sellado de fisuras anchas (abertura > 3 mm). Los resultados obtenidos indican una importante diferencia según sean los coeficientes utilizados, estos pueden expresarse a través del costo de sellado, siendo en este caso de 4,7 millones de dólares con coeficientes unitarios y de 2,6 millones de dólares con coeficientes ajustados.

La rugosidad de la superficie es el deterioro que tiene mayor relación con los costos del usuario, por ello es el parámetro utilizado para definir la aplicación de acciones de rehabilitación. El mayor crecimiento del mismo adelantaría erróneamente la fecha de aplicación de mejoras sobre la calzada (rehabilitación y refuerzos).

Se ponen así de manifiesto los importantes errores que pueden cometerse en la estimación de los costos de mantenimiento, si no se ajustan en forma adecuada las funciones de comportamiento.

## 7. CONSIDERACIONES FINALES

Se reconoce la importancia de la realización de evaluaciones periódicas de la red, sin cuyos datos es impracticable una adecuada planificación de obras y mantenimientos de rutina.

El disponer de los datos en forma ordenada y manejados con Sistemas de Gerenciamiento permite la rápida realización periódica de procesos de ajuste como el indicado en este trabajo, circunstancia que cobra cada vez más importancia dada la rápida evolución de los modelos de comportamiento. En este caso se ajustaron los

modelos del HDM III pero metodologías semejantes pueden aplicarse a cualquier modelo que se desee adaptar o calibrar. (HDM IV, modelos racionales).

Dada la similitud encontrada entre los factores de calibración del HDM III para los modelos de deterioro de rutas con carpetas de rodamiento de concreto asfáltico con distintas características estructurales (nivel nacional y provincial), puede concluirse que para la calibración resultan de mayor importancia las características zonales que las diferencias en las estructuras dentro de una misma región.

Finalmente, y mediante una aplicación a nivel red de los modelos calibrados, se pusieron de manifiesto los importantes errores que pueden cometerse en la estimación de los costos de mantenimiento, si no se ajustan en forma adecuada las funciones de comportamiento.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- a. Watanada, Harral, Paterson, Dhareshwar, Bhandari y Tsunokawa, "Highway Design and Maintenance Standars Model (HDM III), Volume IV, Model Description and User's Manual", World Bank, Transportation Departmen, Washington, D.C., 1987.
- b. Paterson, "The Highway Design and Maintenance Standars Model (HDM III), Volume III, Prediction of Road Deterioration and Maintenance Effects: Theory an Quantification", World Bank, Transportation Departmen, Washington, D.C., 1987.
- c. Archondo, Callao, "Versión 3.0 del Administrador HDM", División de Transportes, Departamento de Transportes, Aguas y Desarrollo Urbano del Banco Mundial, 1995.
- d. Pagola Marta y Giovanon Oscar, "Modelos de deterioro de pavimentos asfálticos en Argentina", 6<sup>to</sup> Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Santiago de Chile, 1991.
- e. Pagola Marta y Giovanon Oscar, "Modelos de deterioro de pavimentos flexibles en Argentina, segunda parte", 7<sup>mo</sup> Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Caracas, Venezuela, 1993.

- f. Pagola Marta y Giovanon Oscar, “Importancia de la utilización de los modelos de deterioro del HDM III calibrados a la zona de aplicación”, XXIX Reunión del Asfalto, Argentina, 1996.