

---

# **METODOLOGIA DE SELECCION DE TRAMOS MUESTRALES PARA CALIBRAR MODELOS DE DETERIORO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS**

**Carlos Videla Cifuentes, PhD  
Hernán de Solminihac T., PhD  
Rodrigo Gaete P., MSc  
Marcelo Gastón Bustos Sánchez**

Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción  
Casilla 306 Correo 22, Vicuña Mackenna 4860, Santiago  
Fono: (56-2) 552-2375 anexo 4806 - Fax: (56-2) 552-4054

## **RESUMEN**

Los modelos de deterioro de pavimentos asfálticos desarrollados por el Banco Mundial a través del HDM-III pueden adaptarse, mediante el ajuste de ciertos factores de calibración, a la realidad de los caminos de un país o región específicos. En este estudio se propone una metodología para realizar dicho ajuste utilizando la técnica de "ventanas", seleccionando caminos que tengan similares características pero distintas edades.

A tal efecto, deben definirse niveles cualitativos y rangos dentro de cada nivel para las variables representativas de un pavimento (tránsito, capacidad estructural, tipo de estructura y condiciones climáticas). Dichos rangos se determinan mediante un proceso iterativo que posibilita obtener, para cada combinación de niveles de las variables consideradas (o "categoría" de camino) que se dé en la práctica, un conjunto de tramos muestrales mediante los cuales se pueden reconstruir las curvas de evolución del deterioro con bastante confiabilidad.

Estos modelos, una vez calibrados, serán muy útiles para ser usados en determinar programas de mantenimiento tanto a nivel de red como para proyectos específicos, por ejemplo, las concesiones.



## 1. INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES Y ALCANCES DEL ESTUDIO

La Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile se encuentra llevando a cabo un proyecto denominado "Investigación e Implementación Sistema de Gestión Vial", cuyo objetivo central es la implementación de un sistema integral para la gestión vial, que incluya todos los aspectos necesarios para la optimización de los recursos destinados a este sector. En este marco se inició en 1984 una extensa investigación, en la cual trabajaron dos importantes universidades chilenas.

Una parte importante de estas investigaciones consistió en el estudio de los modelos de comportamiento de los pavimentos asfálticos, que permiten estimar su deterioro a lo largo de la vida útil y posibilitan una adecuada planificación del mantenimiento y conservación de los caminos integrantes de la red vial. A tal efecto, se emplearon los modelos de comportamiento desarrollados por el Banco Mundial en la tercera versión del "Highway Design and Maintenance Standards Model", HDM-III. Para el ajuste de dichos modelos a las condiciones chilenas, la Pontificia Universidad Católica de Chile desarrolló una metodología, implementada en un programa computacional. Utilizando mediciones del deterioro efectuadas en tramos testigo durante las investigaciones mencionadas, se obtuvo una calibración preliminar de los modelos de comportamiento (Gaete et al, 1991). Sin embargo, pese a la diversidad de variables registrada en los tramos testigo seleccionados en dichas investigaciones, se presenta el inconveniente del reducido período de mediciones (menos de 6 años), lo cual no asegura una adecuada confiabilidad en predicciones del comportamiento a largo plazo.

Para expandir el espacio de inferencia, contando con una mayor muestra de tramos, y especialmente disponer de un período más amplio de observación del deterioro de los pavimentos sin tener que efectuar seguimientos durante lapsos muy prolongados, se puede acelerar este proceso realizando un análisis sobre "ventanas", es decir, muestras que abarquen distintas edades de pavimentos pero presenten características similares (sobre todo en cuanto a estructura, tránsito y clima); ello permitiría posteriormente comparar los resultados con los modelos adaptados y validar los factores de calibración previamente obtenidos. En este artículo se describe en detalle la metodología de "ventanas" utilizada para la definición de nuevos tramos muestrales y posterior calibración de los modelos de deterioro en pavimentos asfálticos, en base a las siguientes etapas:

- a) Definir las variables explicativas del deterioro más importantes;
- b) Formular el factorial del experimento en base a dichas variables;
- c) Determinar niveles y rangos por nivel para las variables involucradas, de acuerdo a criterios previamente establecidos;
- d) Seleccionar tramos de caminos que tengan condiciones similares para las distintas combinaciones de variables a ser analizadas;
- e) Definir una metodología de calibración de modelos de deterioro en base a los datos medidos.



## 1.2 MODELOS DE DETERIORO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) es una herramienta analítica que permite evaluar técnica y económicamente políticas de construcción, mantenimiento y explotación de caminos. En estos sistemas, los modelos de comportamiento (o modelos de evolución del deterioro) de los pavimentos desempeñan una función importantísima, ya que al predecir cómo se va a deteriorar un camino a lo largo del tiempo permiten prever qué acciones de conservación ejecutar y cuándo llevarlas a cabo, con lo cual es factible optimizar los recursos destinados a este fin. Para ello es imprescindible contar con modelos conceptualmente adecuados, calibrados a las condiciones de la zona o país donde se utilizan, ya que de lo contrario no se logra la optimización deseada.

En los países en vías de desarrollo frecuentemente es necesario recurrir a créditos, otorgados por instituciones internacionales, para financiar la conservación de las redes de caminos. A efectos de brindar una herramienta que permitiera evaluar y fundamentar las políticas de conservación, el Banco Mundial llevó a cabo una serie de estudios que originaron el "Highway Design and Maintenance Standards Model" o HDM (Watanatada et al., 1987), que actualmente se encuentra en su tercera versión. En la Figura 1 se muestra la forma general de los principales modelos utilizados por el HDM-III (Paterson, 1987), para predecir la evolución de diferentes tipos de deterioro en pavimentos asfálticos, como ser:

- Grietas (angostas y anchas)
- Pérdida de áridos
- Baches
- Ahuellamiento
- Irregularidad superficial

Para estos deterioros es factible predecir su momento de inicio (salvo en los dos últimos) y su progresión a lo largo del tiempo, a través de modelos diferentes pero interrelacionados. Todos los modelos poseen factores de calibración  $K_i$ , los cuales valen 1 para las condiciones originales del estudio HDM-III realizado en Brasil, y pueden modificarse para otras realidades diferentes.

El modelo de progresión de la irregularidad superficial (o rugosidad) de un pavimento asfáltico, por ejemplo, es del tipo incremental (Paterson, 1987), es decir predice la variación anual de la irregularidad superficial en unidades IRI (m/km):

$$DQI_d = 13 K_{gp} [134 e^{0.023 K_{ge} AGE3} (SNCK + 1)^{-5} YE4 + 0.114 (RDS_d - RDS_a) + 0.0066 DCRX_d + 0.42 DAPOT_d] + K_{ge} 0.023 QI_a \quad (1)$$

donde:

- |                     |   |
|---------------------|---|
| SNCK :              | parámetro de capacidad estructural                          |
| YE4 :               | tránsito acumulado, en ejes equivalentes                    |
| AGE3 :              | edad del pavimento  |
| RDS <sub>i</sub> :  | desviación estándar del ahueamiento                         |
| DCRX <sub>d</sub> : | variación del área agrietada durante el período considerado |



- DAPOT<sub>d</sub>: variación del área con baches durante el mismo período  
 K<sub>gp</sub> y K<sub>ge</sub>: factores de calibración del modelo

Calibrar este modelo significa encontrar los valores de K<sub>gp</sub> y K<sub>ge</sub> que mejor se ajustan a las condiciones imperantes; ello puede hacerse de distintas maneras, como veremos a continuación.

### 1.3 METODOLOGIAS DE CALIBRACION DE MODELOS DE DETERIORO

Para calibrar un determinado modelo de deterioro es necesario un conjunto de datos de terreno que permita reconstruir la curva de comportamiento, debiendo abarcar un período más o menos prolongado. La calibración, para los modelos HDM-III, consiste en encontrar los factores K<sub>i</sub> que logren el mejor ajuste entre la curva del modelo y los datos medidos. Existe un programa computacional desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Chile, denominado "Sistema para la Autocalibración del Deterioro" o SAD (Gaete et al., 1991), que permite efectuar dicho ajuste minimizando la sumatoria de los cuadrados de las diferencias entre el modelo calibrado y los datos observados (SSD), según se muestra en la Figura 2.

Según la forma de obtención de los datos, pueden definirse dos metodologías de calibración. La primera se usó en las calibraciones realizadas en los estudios anteriores (Videla et al., 1992), y consiste en ir registrando la evolución del deterioro de un mismo pavimento a lo largo de un intervalo relativamente prolongado (5 años, en el estudio mencionado); se obtiene de esa forma un modelo calibrado por tramo testigo. Pero deben registrarse datos por un período más largo aun si se pretende una buena confiabilidad en la predicción.

La segunda manera de efectuar la calibración es a través del método de "ventanas". Dicho método, ilustrado en la Figura 3, consiste básicamente en seleccionar una serie de tramos que tengan características similares pero edades diferentes, a fin de registrar el estado de deterioro de cada uno y reconstituir la curva de comportamiento. Se define como "tramo" un sector de camino que en toda su extensión presenta uniformidad en sus variables más representativas, como ser estructura, tránsito, geometría, etc. (Videla et al., 1992). Ejemplificando, supongamos que todos los tramos de tipo "A" tienen valores similares de tránsito, capacidad estructural, condiciones ambientales, etc. Cada tramo es una "ventana". Puede suponerse que los modelos de comportamiento de dichos tramos individuales serán muy parecidos, por lo cual podrían asimilarse a un pavimento único.

Si las "ventanas" seleccionadas tienen edades suficientemente distintas, los datos de deterioro registrados para un mismo modelo deberían presentar la misma tendencia de comportamiento a través de los años, y ello nos posibilitaría calibrar los modelos para los diferentes tipos de deterioro (grietas, baches, rugosidad, etc.) obteniendo determinados valores para los factores K<sub>i</sub>. Para otro conjunto de tramos o "ventanas" con características de tipo "B" diferentes a las "A" (por ejemplo, tránsitos mayores y/o condiciones climáticas más desfavorables), los datos deberían presentar tendencias distintas, y ello modificaría los valores de K<sub>i</sub> obtenidos al realizar la calibración. Llamaremos "categoría" cada combinación de niveles de variables representativas que definen similaridad de características. Cada categoría que se dé en la práctica tendrá sus propios factores de calibración K<sub>i</sub>.



El método de ventanas nos permite realizar las mediciones del deterioro en un plazo muy breve (simultáneamente para todas las "ventanas"), y puede evaluarse una mayor cantidad de tramos y categorías, ampliando el espacio de inferencia de la calibración. Los modelos calibrados según este método representan condiciones medias dentro de cada categoría, por lo cual son muy útiles para ser usados en evaluaciones de políticas de mantenimiento a nivel de una red vial.

## 2. DEFINICION DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Analizando los modelos provistos por HDM-III, se puede establecer que la evolución de los distintos tipos de deterioro depende fundamentalmente de cuatro variables globales: tránsito, edad del pavimento, condiciones climáticas imperantes y capacidad estructural (que involucra espesores de capas, calidad de materiales constituyentes, terreno de subrasante, etc.). Dichas variables definen tanto el inicio como la progresión del deterioro. Asimismo, la existencia de algunos tipos de deterioro influye considerablemente en la progresión de otros; por ejemplo, la pérdida de áridos y el agrietamiento resultan muy importantes en el futuro incremento de los baches, y éstos a su vez contribuyen a aumentar la rugosidad (Paterson, 1987).

En una primera etapa, se seleccionarán para este estudio pavimentos que tengan similares características generales a efectos de clasificarlos por categorías; para ello deberían emplearse sólo variables que puedan ser conocidas a priori, básicamente las cuatro antes mencionadas. Una vez elegidos los tramos y medida su estado actual de deterioro, la calibración se realizará teniendo en cuenta la interrelación de los distintos tipos de deterioro, tal como lo define HDM-III. A continuación se describen brevemente las variables que se utilizan para realizar la selección.

### 2.1 TRANSITO

Los modelos de deterioro del HDM-III utilizan por lo general el tránsito acumulado en ejes equivalentes (EE) a lo largo del tiempo (Paterson, 1987), pero a efectos de nuestro análisis es suficiente considerar la cantidad diaria de EE que pasan por un tramo a una edad determinada, ya que a partir de este valor es fácil calcular el tránsito acumulado a cualquier edad si se conocen las tasas anuales de crecimiento del parque vehicular. Dicha cantidad puede calcularse a partir del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) y la distribución por tipo de vehículo para cada tramo (ambos datos emanados del último censo de tránsito disponible). Para el cálculo de EE influyen el Número de Camiones Simples NCS (de dos ejes), el Número de Camiones Articulados NCA (de más de dos ejes) y el Número de Buses NB. Utilizando factores de equivalencia de carga obtenidos por la Dirección Nacional de Vialidad (MOP, 1994), la ecuación es la siguiente :

$$\text{EE} = 2,01 \text{ NCS} + 3,55 \text{ NCA} + 1,98 \text{ NB} \quad (2)$$

Este es el tránsito que circula por el tramo a la fecha de medición censal, pero a efectos de una posterior clasificación por niveles de tránsito es necesario calcular el tránsito  $T_0$  que hipotéticamente debió tener cada tramo en el momento de su puesta en servicio. Para ello deben considerarse idénticas tasas anuales de crecimiento por tipo de vehículo para todos los caminos. Si se clasifican los tramos según tránsitos actuales, se cometería el error de considerar como similares tránsitos que en realidad podrían ser bastante diferentes, al no considerar la variación introducida por la edad. Las

mediciones del deterioro que se obtengan estarán afectadas de este error, lo que redundará en desmedro de la calibración. Las tasas de crecimiento utilizadas para la actualización de los tránsitos al año de la puesta en servicio fueron las siguientes (Armijo y Correa, 1989):

Camiones livianos	:	2,5 %
Camiones pesados	:	6,0 %
Buses	:	6,5 %

## 2.2 CAPACIDAD ESTRUCTURAL

HDM-III emplea el "Número Estructural Corregido" (NEC) para medir capacidad estructural en un pavimento. El NEC es la sumatoria de los productos entre los espesores de capas del pavimento y sus coeficientes estructurales, incluyendo el terreno natural. Este parámetro se puede estimar a partir de las deflexiones del pavimento, dado que existe una relación bastante definida entre NEC de un pavimento y su deflexión (Paterson, 1987), la cual ha sido calibrada a las condiciones de Chile (Echeverría et al., 1991). La deflexión es la deformación elástica de la superficie del pavimento bajo la aplicación de cargas normalizadas; HDM-III utiliza las deflexiones corregidas a valores medidos con Viga Benkelman y a 20° C de temperatura superficial. Por otra parte, el valor Benkelman es fácil de obtener en terreno a partir de mediciones realizadas mediante el deflectómetro de la Dirección Nacional de Vialidad, utilizando las relaciones propuestas en el estudio "Plan de Control y Seguimiento de Pavimentos Asfálticos" (De Solminihac et al, 1988).

## 2.3 CONDICIONES CLIMATICAS

Las variables características que representan al clima en HDM-III son la temperatura y las precipitaciones (Paterson, 1987). A fin de considerar las condiciones climáticas durante el proceso de selección de tramos, se ha dividido al país en tres zonas globales:

- a) *Zona Norte* (clima cálido y seco) : desde el extremo norte del país hasta Los Vilos (regiones I a IV aproximadamente);
- b) *Zona Central* (clima templado) : entre Los Vilos y Chillán (regiones V a VII, y Metropolitana);
- c) *Zona Sur* (clima frío y húmedo) : desde Chillán hasta fin del pavimento en Ruta 5 Sur (regiones VIII a X).

## 2.4 EDAD

Las diversas combinaciones que pueden formarse a partir de las tres variables anteriormente analizadas constituyen las categorías de pavimentos. A fin de obtener curvas confiables de comportamiento, hay que elegir tramos con diferentes edades (desde la construcción si la estructura es original, o desde la última rehabilitación si es recapada), de manera tal que queden



adecuadamente representadas las fases principales del deterioro de un camino. En general, pueden definirse tres etapas en la vida de un camino:

- a) *Etapa inicial* : desde su construcción (o rehabilitación estructural) hasta el inicio del deterioro; el camino presenta buen estado general.
- b) *Etapa media* : desarrollo del deterioro, que se acelera con el tiempo.
- c) *Etapa terminal* : el camino se ha deteriorado considerablemente y su nivel de servicio se ha reducido significativamente.

Tomando en cuenta la evolución esperada del deterioro, se consideraron las siguientes etapas para clasificar las edades de los pavimentos:

- Etapa inicial : hasta 4 años
- Etapa media : entre 5 y 11 años
- Etapa terminal : 12 años o más

## 2.5 TIPO DE ESTRUCTURA

También se pretende evaluar, sobre la base de experiencias realizadas en Argentina (Pagola et al., 1993), la influencia que tiene sobre los modelos de deterioro el hecho de que el pavimento permanezca con su estructura original o haya sido reforzada con nuevas capas luego de su construcción. Se consideran por lo tanto dos clases de estructura:

- a) *Original* : subdividida a su vez en Mezclas Asfálticas y Tratamientos Superficiales, por tener comportamientos disímiles;
- b) *Recapada* : con un recarpeo estructural.

## 3. METODOLOGIA DE SELECCION DE TRAMOS MUESTRALES

### 3.1 CRITERIOS GENERALES EMPLEADOS

Una vez establecidas las variables independientes (o factores) del estudio, corresponde fijar criterios que permitan determinar en cuántos niveles debe subdividirse cada una. En las variables de tipo numérico, tales como tránsito, deflexiones y edad, se han definido los niveles como subdivisiones continuadas del rango de valores que presenta la variable, es decir que coincide el límite superior de un nivel con el inferior del nivel consecutivo. Los "rangos por nivel" tienen como función delimitar el espacio de inferencia de los modelos para las distintas categorías, de modo de asegurar una cierta confiabilidad en la predicción de dichos modelos.

Se clasificó al tránsito según tres niveles: bajo, medio y alto. Un número inferior de niveles no refleja adecuadamente la amplia gama de valores que presenta esta variable, pero asumir más niveles implica la necesidad de contar con más datos, y además se reduce el número de tramos disponible dentro de algunas categorías. Para las deflexiones, el rango de valores es bastante más reducido que para el tránsito. Sin embargo, en este estudio se pudo comprobar que la variación relativa de las

deflexiones tiene mayor influencia sobre la rugosidad del pavimento que la variación del tránsito, por lo cual debería subdividirse en al menos tres niveles (deflexión alta, media y baja). Más niveles no es conveniente por razones análogas al caso del tránsito.

La fijación de los niveles para tránsito y deflexiones se realiza mediante la metodología descrita en la Figura 4, considerando como criterios rectores, tanto el minimizar el error en la predicción, como el contar con un número suficiente de tramos muestrales que permitan calibrar los modelos para distintas categorías.

Respecto a las otras variables, resultan también tres niveles para cada una (incluido el tipo de estructura, debido a la diferenciación por capas de rodadura en las estructuras originales). De esta manera, el diseño inicial del factorial queda tal cual se presenta en la Tabla 1. Dentro de la tabla, las categorías están definidas por las diferentes combinaciones entre niveles de las variables dispuestas horizontalmente (tránsito, deflexión y clima); por consiguiente, cada categoría tiene tres celdas en la misma vertical. Cada una de esas celdas deberá contener tramos cuyas edades pertenecen a diferentes etapas en la vida de un camino.

En relación a cuántos tramos deberían seleccionarse por categoría para lograr una buena calibración del modelo, no hay un criterio taxativo. Lo ideal sería contar con al menos dos datos por celda, para un mejor análisis estadístico (De Solminihac, 1987), aunque también podría aceptarse contar con tramos cuyas edades pertenecieran a la primera y última etapa, o a las dos últimas. También podría ser útil si se contara sólo con datos de las dos primeras etapas pero suficientemente distanciados en el tiempo. En definitiva, es el operador quien debe aceptar o desechar alguna categoría a efectos de la calibración analizando el caso particular, en base a disponibilidad de datos, importancia de la categoría en cuestión, etc.



Tabla 1: Factorial del experimento

<b>Estructura Original</b>	<b>Tránsito</b>	Bajo: 100 a 265 EE/d			Medio: 427 a 712 EE/d			Alto: 1770 a 3047 EE/d		
	<b>Deflexión</b>	10 a 21	31 a 39	48 a 66	10 a 21	31 a 39	48 a 66	10 a 21	31 a 39	48 a 66
	<b>Clima</b>	C S	C S	C S	C S	C S	C S	C S	C S	C S
<b>Edad (años)</b>	<b>0 a 4</b>									
	<b>5 a 11</b>									
	<b>12 o más</b>									

<b>Estructura Recapada</b>	<b>Tránsito</b>	Bajo: 100 a 265 EE/d			Medio: 427 a 712 EE/d			Alto: 1770 a 3047 EE/d		
	<b>Deflexión</b>	10 a 21	31 a 39	48 a 66	10 a 21	31 a 39	48 a 66	10 a 21	31 a 39	48 a 66
	<b>Clima</b>	C S	C S	C S	C S	C S	C S	C S	C S	C S
<b>Edad (años)</b>	<b>0 a 4</b>									
	<b>5 a 11</b>									
	<b>12 o más</b>									

#### 4. METODOLOGIA ESTADISTICA DE CALIBRACION DE LOS K<sub>i</sub>

A fin de obtener las curvas de evolución de los distintos tipos de deterioro que más se adaptan a los valores observados a partir de las ecuaciones de HDM-III, mediante la calibración de los factores K<sub>i</sub> en cada categoría, se sugiere el procesamiento estadístico esquematizado en la Figura 5.

a) Definición de las características representativas de la categoría.

Para calibrar una categoría con SAD debemos ingresar un tránsito y una capacidad estructural representativos de la categoría. Siguiendo con el criterio utilizado para la selección de los tramos, el valor representativo correspondería a la media ponderada por la longitud de cada tramo. Asimismo, deben definirse las restantes características requeridas por SAD (climáticas, estructurales, geométricas, etc.) para el camino "tipo" representativo de la categoría.



b) Verificación de la homogeneidad del deterioro en el tramo.

Una hipótesis importante asumida es suponer que estamos trabajando con tramos homogéneos, que presentan un grado de deterioro uniforme en toda su extensión. A fin de validar lo más posible dicha hipótesis, en cada tramo se debe calcular el coeficiente de variación del deterioro CVar, igual a la desviación estándar del deterioro en el tramo dividida en su deterioro promedio ( $CVar = s/X_{med}$ ). Si CVar supera un cierto límite (aprox. un 25%), debería subdividirse al tramo en subtramos hasta que CVar sea menor que este límite, a fin de asegurar una mínima uniformidad. En tramos con menos de 2 km de longitud no es factible hacer esta subdivisión, ya que la longitud mínima de análisis para HDM-III es 1 km (Watanatada et al., 1987). Eventualmente, el CVar podría indicar, si es muy elevado, la conveniencia de desechar el dato.

c) Descarte inicial de datos anómalos.

Cuando se presentan datos que de acuerdo a la experiencia previa aparezcan claramente desviados respecto al deterioro esperable para una cierta edad, puede convenir descartarlos a priori. Dichos datos podrían indicar diferencias de calidad en la construcción de los pavimentos dentro de una misma categoría, o errores de los equipos de medición (descalibración). Si esos datos se ingresaran al SAD, tendrían una gran influencia en la determinación de los  $K_i$  calibrados, sesgando los resultados finales. Se sugiere descartar en un primer intento aquellos datos que visualmente resulten anómalos en las gráficas de deterioro vs. tiempo, lo cual se valida o corrige posteriormente en base a tests estadísticos (Student).

d) Ponderación de los datos de deterioro.

El SAD permite sólo un valor de deterioro observado por año; por lo tanto, donde se presente más de un dato con igual edad, se debe calcular un deterioro medio ponderado por longitud de cada tramo, solamente utilizando datos no descartados, que se ingresa al SAD para la edad en cuestión. La ponderación da igual peso a cada edad en relación a la calibración, ya que ningún año tiene más de un dato.

e) Estimación de valores iniciales de deterioro.

El SAD necesita un valor de IRI inicial a efectos de la calibración; a tal efecto puede emplearse un criterio estadístico que permita obtener un  $IRI_0$  ajustado en función de los datos. Para ello se busca, por tanteos, aquel  $IRI_0$  que minimice la suma de los cuadrados de las diferencias entre datos predichos y observados. Otros valores tales como los tiempos de inicio de grietas y pérdida de áridos pueden estimarse análogamente. Un método alternativo para evaluar el  $IRI_0$  consiste en medir este valor en los caminos de reciente construcción o rehabilitación.

f) Verificación de la preselección de datos utilizados.

Finalmente, se procede a calibrar los distintos modelos mediante el SAD, obteniendo factores  $K_i$  preliminares de calibración. Entonces se aplica para todos los datos, descartados y no descartados, un test de Student de residuos estandarizados (calculados a partir de la diferencia entre valores observados y predichos). Se verifica así que el descarte o aceptación inicial de datos haya sido estadísticamente correcto. Si los tests determinan que no correspondía descartar algunos datos, o que hacia falta descartar otros, o ambas cosas, debe redefinirse el conjunto de datos aceptados y volver al apartado d), repitiendo el proceso hasta lograr un resultado satisfactorio.



## 5. CONCLUSIONES

Se ha propuesto una metodología que permite la calibración de modelos de deterioro de pavimentos asfálticos, mediante la aplicación de la técnica de "ventanas", la cual considera la agrupación de caminos en categorías que tengan características similares, pero con distintas edades. Para la definición de las categorías de caminos se consideraron las siguientes variables: tránsito, capacidad estructural y clima. Esta metodología posibilita realizar las mediciones en un plazo muy breve, permitiendo ampliar el espacio de inferencia a todas las etapas del ciclo de vida de un pavimento asfáltico. Una vez que se hayan recopilado las mediciones del comportamiento de los pavimentos en cuanto a inspección visual (grietas, baches, etc.) y auscultación continua (rugosidad y deflexiones), se podrá disponer de modelos de deterioro calibrados que sean representativos de la realidad chilena. Dichos modelos serán muy útiles para ser usados en determinar programas de mantenimiento, tanto a nivel de red como para proyectos específicos, por ejemplo, las concesiones.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen a la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile, por el apoyo técnico y económico otorgado a través de las investigaciones contratadas con la Pontificia Universidad Católica de Chile.

## BIBLIOGRAFIA

ARMIJO Y CORREA (1989) **Second Road Sector Project 1990 - 1993**. Informe para el Banco Mundial. Dirección Nacional de Vialidad de Chile.

DE SOLMINIHAC H.; VIDELA C.; GAETE R.; BUSTOS M. (1995) **Ajuste de factores de calibración para ampliar modelos de deterioro de pavimentos asfálticos: Informe Anual 1995**. Ministerio de Obras Públicas y Pontificia Universidad Católica de Chile.

DE SOLMINIHAC et al. (1988) **Plan de Control y Seguimiento de Pavimentos Asfálticos: Informe de Avance Anual 1988**, Vol. I, pp. 59. Ministerio de Obras Públicas y Pontificia Universidad Católica de Chile.

DE SOLMINIHAC T., HERNÁN (1987) Metodología estadística para el estudio y evaluación de aspectos técnicos en la construcción. **Revista de Ingeniería de Construcción**, Nº 2, págs. 21-33. Pontificia Universidad Católica de Chile.

ECHEVERRÍA et al (1991) **Evaluación de la capacidad estructural efectiva de un pavimento a partir de medidas de deflexión**. VI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, 17-22 Noviembre 1991, Santiago de Chile.

GAETE et al. (1991) **Sistema de autocalibración de los modelos de deterioro del HDM-III**. VI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, 17-22 Noviembre 1991, Santiago de Chile.



Ministerio de Obras Públicas de Chile: **Análisis de información de las plazas fijas de pesaje para estratigrafías anuales de buses y camiones.** Santiago de Chile, 1994.

PAGOLA M.; GIOVANONI O.; TOSTICARELLI J. (1993) **Modelos de deterioro de pavimentos flexibles en Argentina.** Segunda parte. VII Congreso Iberolatinoamericano del Asfalto, 14-19 Noviembre 1993, Caracas.

PATERSON, WILLIAM (1987) **Prediction of Road Deterioration and Maintenance Effects: Theory and Quantification.** World Bank, Transportation Department, Washington D.C.

VIDELA et al. (1992) **Estudio para la evaluación de la eficacia de la conservación en pavimentos asfálticos. Vol. IV: Sistema de Gestión de Pavimentos GIMP,** pp. 97-98. Ministerio de Obras Públicas y Pontificia Universidad Católica de Chile.

WATANATADA et al. (1987) **The Highway Design and Maintenance Standards Model: Vol I.** World Bank, Transportation Department, Washington D.C.

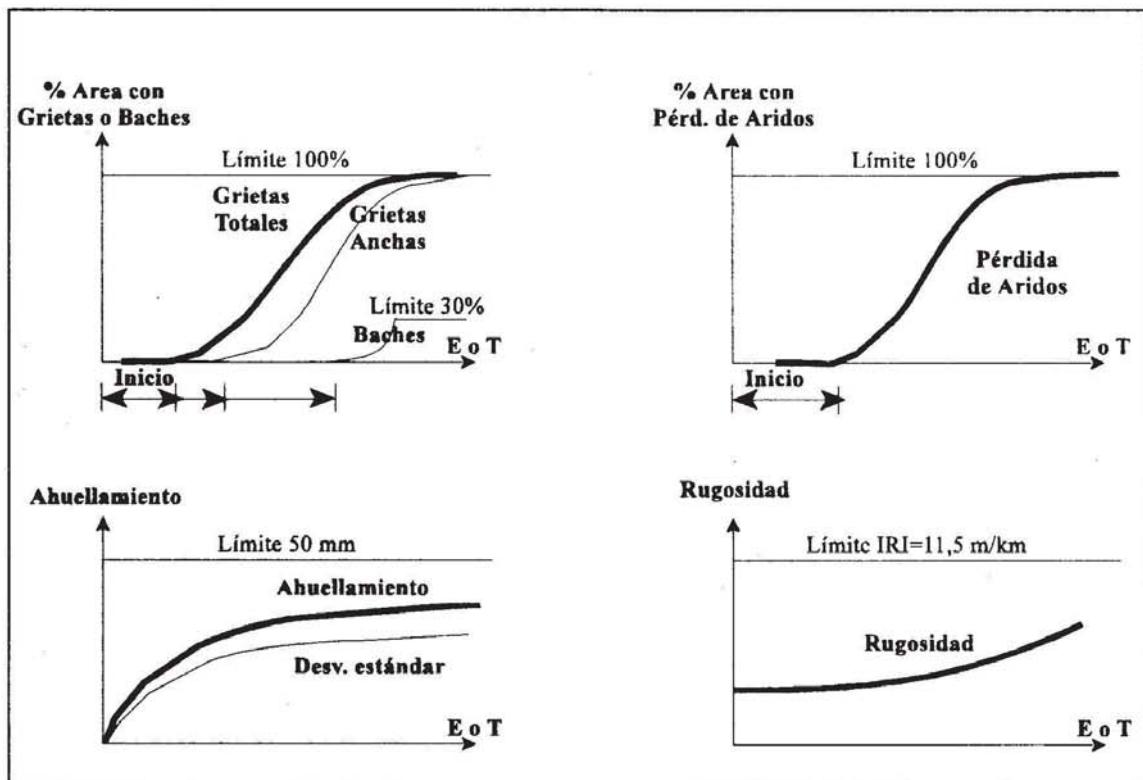


Figura 1. Modelos de deterioro del HDM-III (Paterson, 1987)

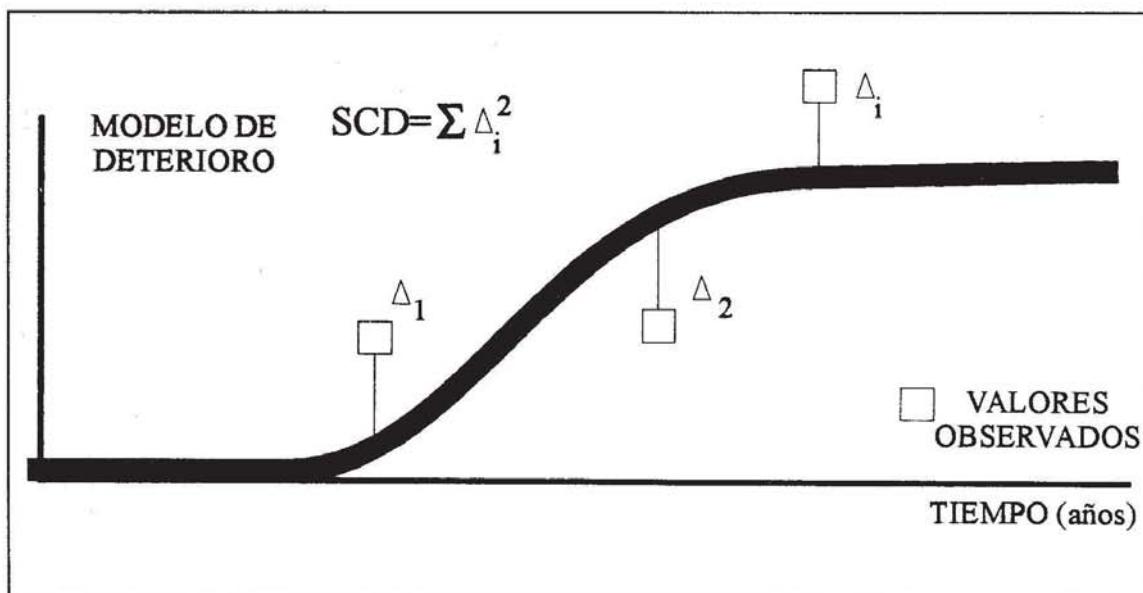
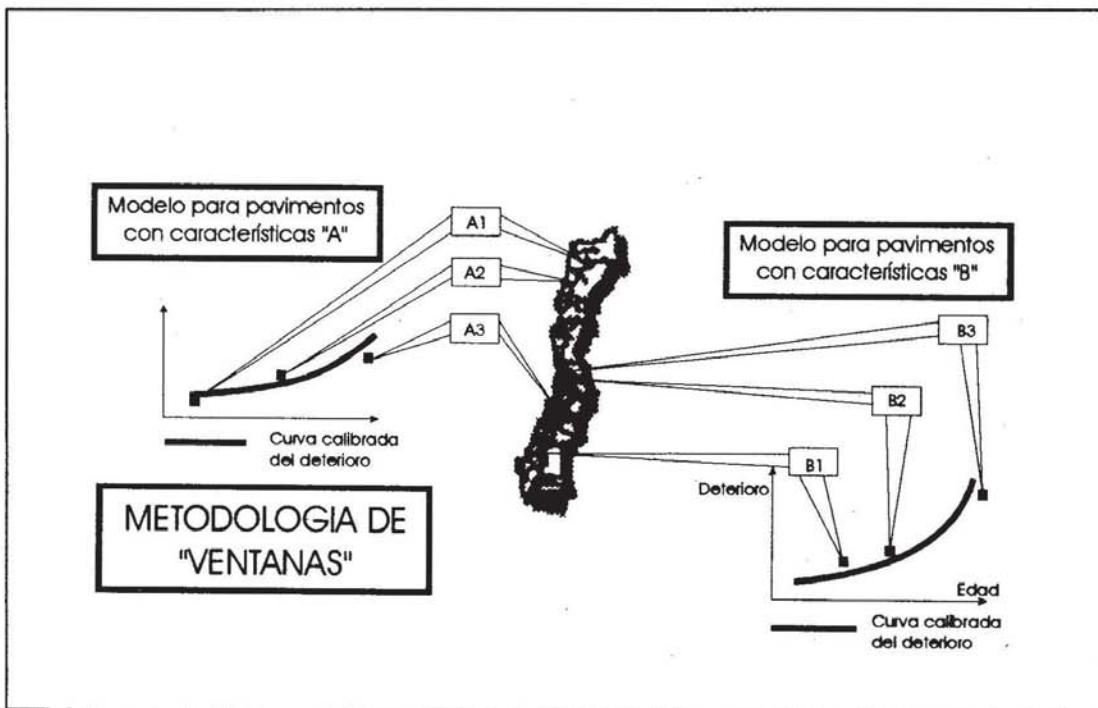
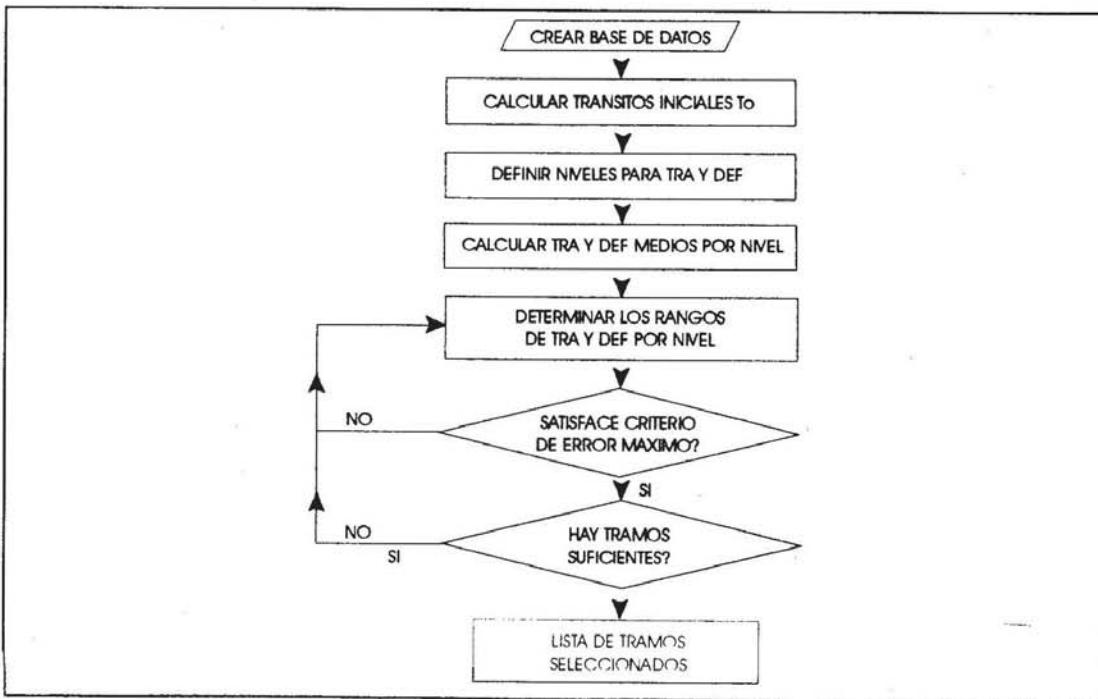


Figura 2. Minimización de cuadrados de las diferencias entre valores estimados y medianos (Videla et al., 1992)

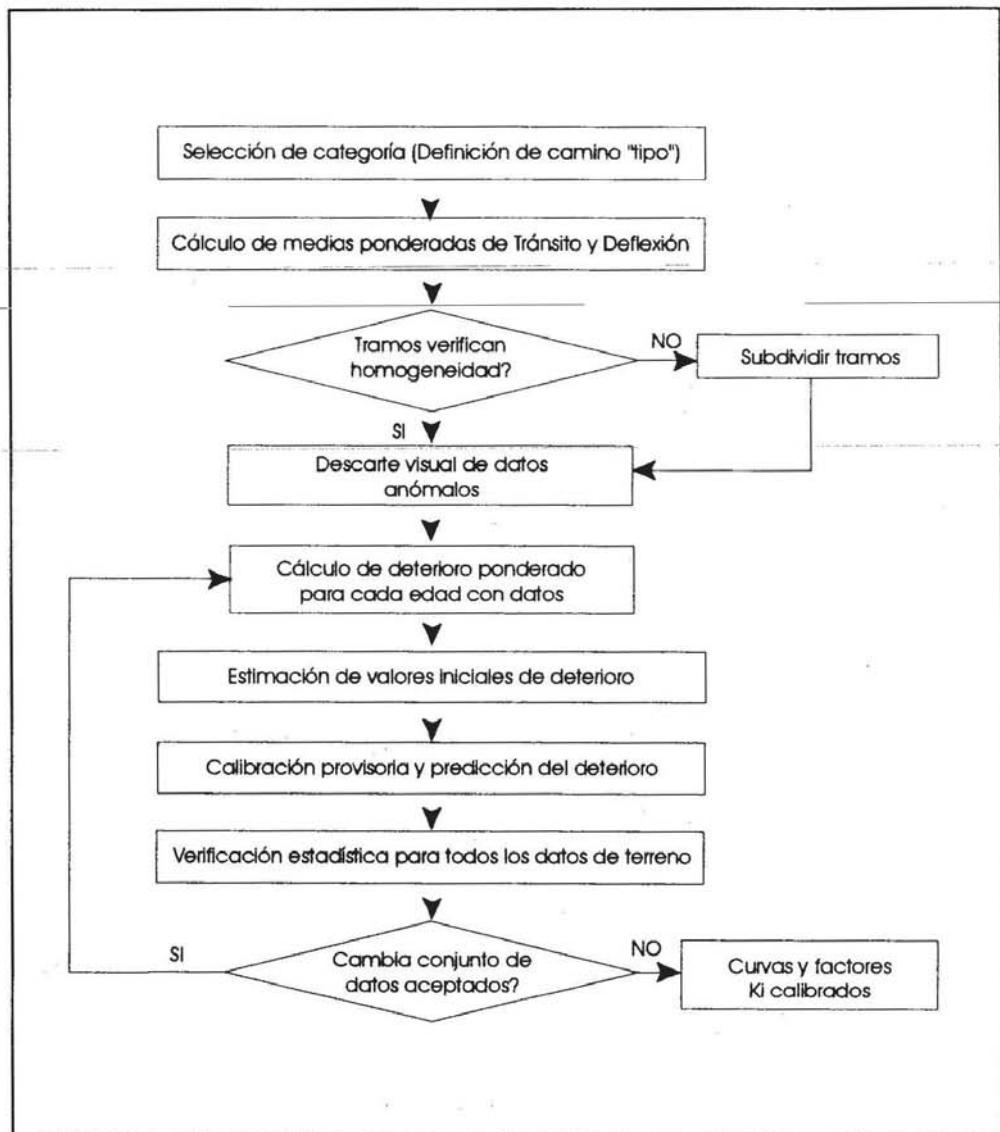


**Figura 3. Curvas calibradas de comportamiento obtenidas mediante "ventanas"**



**Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología de selección de tramos**





**Figura 5. Diagrama conceptual de la metodología de calibración**