



GOBIERNO DE CHILE
MOP
DIRECCION DE VIALIDAD

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN DE VIALIDAD
Departamento de Gestión Vial**

**ESTUDIO
“ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DEL
MODELO HDM-4 Y ACTUALIZACIÓN DE METODOLOGÍA
PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CAMINOS
PAVIMENTADOS”**

“RESUMEN EJECUTIVO – MÓDULO A”

**Ejecutores del Estudio
DICTUC S.A.**

Santiago de Chile, Enero de 2006

FICHA TECNICA	
1. Informe RESUMEN EJECUTIVO MÓDULO A: Análisis de Sensibilidad de Parámetros del Modelo HDM-4	
2. Título del Proyecto Estudio Análisis de Sensibilidad de Parámetros del Modelo HDM-4 y Actualización de la Metodología para la Determinación del Estado de Caminos Pavimentados	3. Fecha Informe 27 de Enero de 2006
4. Autor (es) Thenoux, G.; De Solminihac, H.; Halles, F.; Chamorro, A.; Hidalgo, P.; Encina, C.; Márquez, W.	5. Resolución del Contrato RES. DV. N° 732 DEL 20.9.2004
6. Nombre y Dirección de la Organización Investigadora DICTUC S.A; Filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile Vicuña Mackenna N°4860, Casilla 306 – Correo 22, Macul - Santiago	7. Período de Investigación 12 Meses
8. Nombre y Dirección de la Institución Mandante Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Departamento de Gestión Vial, Morande 59, Santiago, Chile.	9. Comisión Inspectoradora Miguel Valdés.
10. Resumen El principal objetivo del presente estudio fue realizar un análisis de sensibilidad a los datos de entrada y parámetros de calibración incluidos en los modelos de deterioro, de seguridad en caminos y emisiones de HDM-4. Para la sensibilización se modeló una matriz de escenarios característicos de la red vial nacional en condición base y condición alterada. Luego, se compararon los resultados de ambas modelaciones considerando el impacto de elasticidad observados al variar un dato o parámetro respecto a un indicador técnico y un indicador económico. Los resultados de la sensibilización fueron jerarquizados y analizados en detalle. De esta manera fue posible determinar que variables son más importantes durante la modelación con el programa, para así consecuentemente asignarle la prioridad adecuada al momento de destinar recursos y precisión en los procedimientos para su obtención.	
11. Palabras Claves Modelos Técnicos HDM-4, Datos de Entrada, Parámetros de Calibración, Variables de Tramificación, Estándares de Conservación, Flota Vehicular, IRI, VAN, Nivel de Emisiones, Tasa de Accidentes, Sensibilización, Jerarquización.	

1 INTRODUCCIÓN

Para conocer la incidencia de datos de entrada y parámetros de calibración de un modelo sobre indicadores técnicos y económicos del pavimento, proyectados en el tiempo, es necesario llevar a cabo una sensibilización de dichos parámetros. De esta manera es posible determinar a que parámetros se debe dar mayor importancia durante la modelación. Luego, mediante una jerarquización de los resultados obtenidos en una sensibilización es posible definir el grado de importancia de cada parámetro sobre el desempeño del pavimento en el tiempo. Para aquellos parámetros con mayor incidencia sobre indicadores técnicos y económicos del pavimento será necesario realizar evaluaciones periódicas para controlar su evolución en el tiempo.

Los modelos considerados en el programa HDM-4 son especialmente sensibles a ciertos parámetros de estado y a algunas características generales de tramos, como por ejemplo variaciones del nivel de tránsito o de la estructura dentro un mismo tramo. En Chile no se ha realizado hasta la fecha una sensibilización de parámetros de HDM-4 relativos a características generales y estado de la carretera.

1.1 Objetivo General

El objetivo principal del presente estudio fue realizar un análisis de sensibilidad a los parámetros incluidos en los modelos de HDM-4, de modo de determinar las variables más importantes para darles prioridad en su utilización en el programa, destinación de recursos, esfuerzos y afinamiento de los procedimientos para su obtención y posterior investigación.

Con formato: Numeración y viñetas

1.2 Objetivos Específicos

Entre los objetivos específicos planteados para cumplir dicho cometido se encuentra:

- Analizar los parámetros considerados en HDM-4 y definir aquellos más relevantes a ser sensibilizados. Estos parámetros corresponden a los parámetros técnicos que se encuentran dentro de los modelos y submodelos del programa, y los parámetros de calibración de los modelos de deterioro.
- Determinar una matriz de escenarios de acuerdo a los tramos de caminos tipo en estudio.
- Definir estándares de conservación característicos por cada tipo de carpeta de rodadura (asfalto, hormigón y sin pavimentar), considerando las acciones de conservación, diseño, umbrales de intervención, costos y efectos de la intervención.
- Definir una flota vehicular que sea coherente con la utilizada en las evaluaciones sociales que realiza el Departamento de Gestión Vial de la Dirección de Vialidad.
- Realizar la modelación de la matriz de escenarios para la condición base y alterada.
- Jerarquizar los parámetros definidos para cada modelo.

Con formato: Numeración y viñetas

2 VARIABLES DE TRAMIFICACIÓN Y PARÁMETROS EN ESTUDIO

Del estudio bibliográfico de los modelos de comportamiento considerados en HDM-4, se pudo establecer que la evolución de los pavimentos en el tiempo depende fundamentalmente de tres características de la carretera: tránsito medio diario anual (TMDA), tipo de carpeta de rodadura, estructura del pavimento; y de una característica del medioambiente: condición climática. En el presente estudio se definió una matriz de escenarios base considerando estas tres variables con niveles y valores base representativos. En la Tabla 2.1 se resumen las variables consideradas en la

matriz de escenarios base.

Tabla 2.1: Variables a considerar en la Matriz de Escenarios Base

VARIABLES A CONSIDERAR	NIVELES	CLASES DE NIVELES
Tránsito	4	Bajo, Medio, Alto, Muy Alto
Clima	3	Norte, Centro, Sur
Tipo estructura	3	Mezcla Asfáltica, Hormigón, Sin Pavimentar
Capacidad Estructural	3	Baja, Media, Alta

A partir de las variables de tramificación definidas anteriormente se construyó una matriz por tipo de pavimento, la cual permite evaluar los distintos escenarios que pueden presentar los caminos en estudio. En las matrices se excluyeron los casos de estructura fuerte con nivel de tránsito bajo y de estructura débil con nivel de tránsito alto y muy alto en caminos pavimentados, puesto que es improbable que se den estos casos en la realidad, debido a que el primer caso es muy poco rentable y en el segundo, el pavimento no es capaz de resistir las cargas de tránsito.

Para cada escenario de las matrices definidas se realizó una sensibilización de los principales datos de entrada y parámetros de calibración considerados en los modelos en estudio. Se definieron para cada parámetro valores base y dos valores para condición alterada, con el objeto de poder cuantificar el efecto que producen variaciones de cada parámetro respecto a su condición base sobre indicadores técnico (IRI) y económico (VAN).

3 METODOLOGÍA DE SENSIBILIZACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE PARÁMETROS

3.1 Metodología de Sensibilización de Parámetros

Con formato: Numeración y viñetas

El análisis de sensibilidad de parámetros se cuantificó a través de un coeficiente de variación o elasticidad, que está dado por la razón entre la variación porcentual del indicador técnico o económico. Para modelos de deterioro los indicadores considerados fueron IRI como indicador técnico y VAN como indicador económico. Para el Modelo de Modelo de Seguridad de Caminos se consideró como indicador económico los Costos Anuales por Accidentes. Para los Modelos de Emisiones, en tanto, como no existen indicadores técnicos ni económicos asociados se estimó la sensibilidad de emisión de cada contaminante respecto a variaciones de la velocidad

El coeficiente de variación permite visualizar el efecto que produce sobre los indicadores técnico y económico la variación de un dato de entrada o parámetro de calibración específico con respecto a su condición base, pudiéndose comparar la sensibilidad de cada parámetro, y según dicha sensibilidad realizar una jerarquización de datos. Se presenta a continuación como ejemplo la metodología utilizada para obtener este coeficiente de variación para la sensibilización de datos de entrada en modelos de deterioros de pavimentos.

- Identificación de los Datos de Entrada en su Condición Base ($X_{b,i}$).
- Modelación en la Condición Base.
- Obtención de indicadores económicos (VAN_b), e indicadores técnicos (IRI_b), para la Condición Base.
- Modelación en la Condición Modificada: Variación de cada parámetro en forma positiva y negativa ($X_{m,i}$), y obtención de la variación porcentual de cada dato ($\% \Delta X_i$) con respecto a la condición base.

Con formato: Numeración y viñetas

- Obtención de indicadores económicos (VAN_m), e indicadores técnicos (IRI_m), para la Condición Modificada.
- Cálculo del Coeficiente de Variación o Elasticidad del Impacto con las siguientes expresiones:

$$C_{IRI_i} = \frac{\% \Delta IRI_i}{\% \Delta X_i} = \frac{((IRI_m - IRI_b) / IRI_b) * 100}{(X_{m,i} - X_{b,i})}$$

$$C_{VAN_i} = \frac{\% \Delta VAN_i}{\% \Delta X_i} = \frac{((VAN_m - VAN_b) / VAN_b) * 100}{(X_{m,i} - X_{b,i})}$$

Donde:

- $X_{b,i}$ = valor del dato de entrada i en su condición base
- $X_{m,i}$ = valor del dato de entrada i en su condición modificada
- $\% \Delta IRI_i$ = variación porcentual del IRI para el dato de entrada i
- $\% \Delta VAN_i$ = variación porcentual del VAN para el dato de entrada i
- $\% \Delta X_i$ = variación porcentual del dato de entrada i
- VAN_b = VAN obtenido de la modelación de la condición base
- VAN_m = VAN obtenido de la modelación de la condición modificada
- IRI_b = IRI obtenido de la modelación de la condición base
- IRI_m = IRI obtenido de la modelación de la condición modificada
- C_{IRI_i} = coeficiente de variación del IRI con respecto a la variación del dato de entrada i
- C_{VAN_i} = coeficiente de variación del VAN con respecto a la variación del dato de entrada i

- Una vez obtenidos los valores de C_i para todos los datos de entrada, tanto en su variación mejorada como empeorada, se calcula el promedio de C_{IRI_i} y C_{VAN_i} respectivamente para cada dato.

Con formato: Numeración y viñetas

3.2 Metodología de Jerarquización

La jerarquización se realizó en tres fases: *Jerarquización General*, *Jerarquización Promedio* y *Jerarquización según Escenarios*.

- *Jerarquización General*: A partir de los valores calculados de C_i para cada dato de entrada y parámetro de calibración, se desarrolló una lista ordenada en forma descendente considerando todos los escenarios de la matriz de tramificación. Se identificaron de ésta aquellos parámetros con sensibilidades más altas definidas como: clase S-I para elasticidades superiores a 0.5 y clase S-II para elasticidades entre 0.2 y 0.5. lo anterior siguiendo las recomendaciones de la "Guía para la Calibración y Adaptación del Modelo HDM-4" (Bennett y Paterson, 2000)
- *Jerarquización Promedio*: A partir de los valores C_i obtenidos de la sensibilización se calculó un valor promedio, $C_{promedio}$, para cada dato de entrada y parámetro de calibración considerado en el estudio. Con estos valores se desarrolló una lista ordenada en forma descendente para los coeficientes promedios obtenidos respecto al indicador técnico, IRI, y económico, VAN. De dichas listas se identificaron por escenario aquellos parámetros con elasticidades S-I y S-II.
- *Jerarquización según Escenarios*: Para definir una jerarquía aplicada a un conjunto de escenarios específicos a un cierto escenario se recomienda seguir la siguiente metodología:
 1. Definir las variables de tramificación constantes en la red a ser evaluada.
 2. Aplicar la jerarquización promedio para todos los escenarios contenidos en la submatriz definida en el paso 1.
 3. Realizar los pasos 1 a 3 para cada tipo de pavimento presente en la red.

Con formato: Numeración y viñetas

4. Determinar en cada jerarquía según tipo de pavimento aquellos datos de entrada y parámetros de calibración con valores C_i mayores a 0,2 (elasticidades de clase S-I y S-II). Se recomienda enfocar los esfuerzos para determinar con mayor precisión los valores de estos datos de entrada y parámetros de calibración.

Con formato: Numeración y viñetas

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para las modelaciones de todos los escenarios se obtuvieron resultados coherentes respecto a lo esperado para la evolución del IRI y progresión de las curvas de deterioro por pavimento.
- Respecto a las acciones de conservación realizadas para la condición alterada de los distintos escenarios se observó que en su mayoría correspondía a aquellas realizadas para la condición base. Las acciones fueron económica y técnicamente adecuadas para cada caso, observándose que se aplicaron en los puntos de inflexión de mayor crecimiento en la progresión del IRI.
- En general HDM-4 es un programa en el cual tanto la evaluación técnica como económica, dependen directa e indirectamente de la progresión del IRI en el tiempo. Cada uno de los deterioros del pavimento producen un efecto conjunto que se ve reflejado en el indicador técnico IRI, el cual afecta directamente a los costos de usuarios de carretera.
- Se debe mejorar el modelo de seguridad incorporado en el programa HDM-4, puesto que las tasas de accidentabilidad están asociadas a la velocidad/capacidad de la carretera independiente del nivel de tráfico de ésta de los trabajos realizados. Los datos de salida del modelo corresponden a los costos anuales de accidentes (costos exógenos), los cuales son cuantificados en el análisis de beneficio-costos, pero los resultados no se ven reflejados en el VAN cuando el tipo de carretera es la misma para distintas opciones de inversión.
- No es posible inferir sobre la sensibilidad del IRI y VAN producto del modelo de emisiones, puesto que los efectos de las emisiones son evaluadas mediante las cantidades de contaminantes de cada opción de inversión y no están incluidos en el análisis económico del programa.
- El modelo de balance de energía, a pesar que fue formulado para la versión 1.3 del HDM-4, en la práctica, no está considerado durante la modelación. No existe salida del programa relacionada al consumo de energía de los vehículos, de la construcción o conservación de la carretera. El programa permite al usuario ingresar el consumo de energía de los vehículos y de los trabajos en la carretera, sin embargo sus efectos no se ven reflejados en los resultados sociales y medioambientales ni en el análisis económico.
- Al aplicar la metodología de jerarquización planteada, se deben precisar escenarios que representen las condiciones reales de la red en estudio. Para ello se debe definir una submatriz de escenarios y utilizar los valores de la jerarquía general, dado que para cada caso de aplicación el orden de la jerarquía cambia.
- En general todos aquellos deterioros que afectan al IRI con sensibilidades altas, también lo hacen con respecto al VAN. El VAN a su vez incorpora deterioros asociados a los costos de usuarios de carreteras que no afectan directamente al IRI (como por ejemplo velocidad)
- En la jerarquización general se observan que para algunos casos existen parámetros que presentan sensibilidades S-I y S-II por tipo de clima o tránsito, los cuales no aparecen en la jerarquización promedio. Estos parámetros son importantes y deben ser considerados al momento de realizar un análisis de sensibilidad para un escenario de aplicación específico.



**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN DE VIALIDAD
Departamento de Gestión Vial**

**ESTUDIO
“ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DEL
MODELO HDM-4 Y ACTUALIZACIÓN DE METODOLOGÍA
PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CAMINOS
PAVIMENTADOS”**

“RESUMEN EJECUTIVO – MÓDULO C”

**Ejecutores del Estudio
DICTUC S.A.**

Santiago de Chile, Enero de 2006

FICHA TECNICA	
<p>1. Informe RESUMEN EJECUTIVO MÓDULO C: Actualización de Metodología para la Determinación del Estado de Caminos Pavimentados</p>	
<p>2. Título del Proyecto Estudio Análisis de Sensibilidad de Parámetros del Modelo HDM-4 y Actualización de la Metodología para la Determinación del Estado de Caminos Pavimentados</p>	<p>3. Fecha Informe 27 de Enero de 2006</p>
<p>4. Autor (es) Thenoux, G.; De Solminihac; H.; Halles, F.; Chamorro, A.; Hidalgo, P.; Encina, C.; Márquez, W.</p>	<p>5. Resolución del Contrato RES. DV. N° 732 DEL 20.9.2004</p>
<p>6. Nombre y Dirección de la Organización Investigadora DICTUC S.A; Filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile Vicuña Mackenna N°4860, Casilla 306 – Correo 22, Macul - Santiago</p>	<p>7. Período de Investigación 12 Meses</p>
<p>8. Nombre y Dirección de la Institución Mandante Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Departamento de Gestión Vial, Morande 59, Santiago, Chile.</p>	<p>9. Comisión Inspectora Miguel Valdés.</p>
<p>10. Resumen</p> <p>Una de las tareas que deben realizar los organismos públicos encargados de la gestión de pavimentos, es determinar el estado en que se encuentra la red de caminos pavimentados que está bajo su tuición. Esta información forma parte de la base en la cual se apoyan estos organismos para tomar decisiones de orden técnico-estratégico a nivel nacional, por lo cual estas metodologías deben ser claras y concisas.</p> <p>El objetivo principal de la presente investigación fue desarrollar una metodología para determinar el estado de pavimentos y bermas de una manera clara, sencilla y fundamentada que se adecue al lugar donde será aplicada y que no demande una gran cantidad de recursos económicos.</p>	
<p>11. Palabras Claves Pavimentos, Bermas Pavimentadas, Metodología, Determinación del Estado, Acciones de Conservación.</p>	

1 INTRODUCCIÓN

Una de las tareas que deben realizar los organismos públicos encargados de la gestión de pavimentos, es determinar el estado en que se encuentra la red de caminos pavimentados que está bajo su tuición. Esta información forma parte de la base en la cual se apoyan estos organismos para tomar decisiones de orden técnico-estratégico a nivel nacional, por lo cual estas metodologías deben ser claras y concisas.

2 OBJETIVO

El objetivo principal de la presente investigación fue desarrollar una metodología para determinar el estado de pavimentos y bermas de una manera clara, sencilla y fundamentada que se adecue al lugar donde será aplicada y que no demande una gran cantidad de recursos económicos.

3 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE MODELOS DE CONDICIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO EN PAVIMENTOS Y BERMAS

La metodología desarrollada se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento que se presenta en a Figura 1.

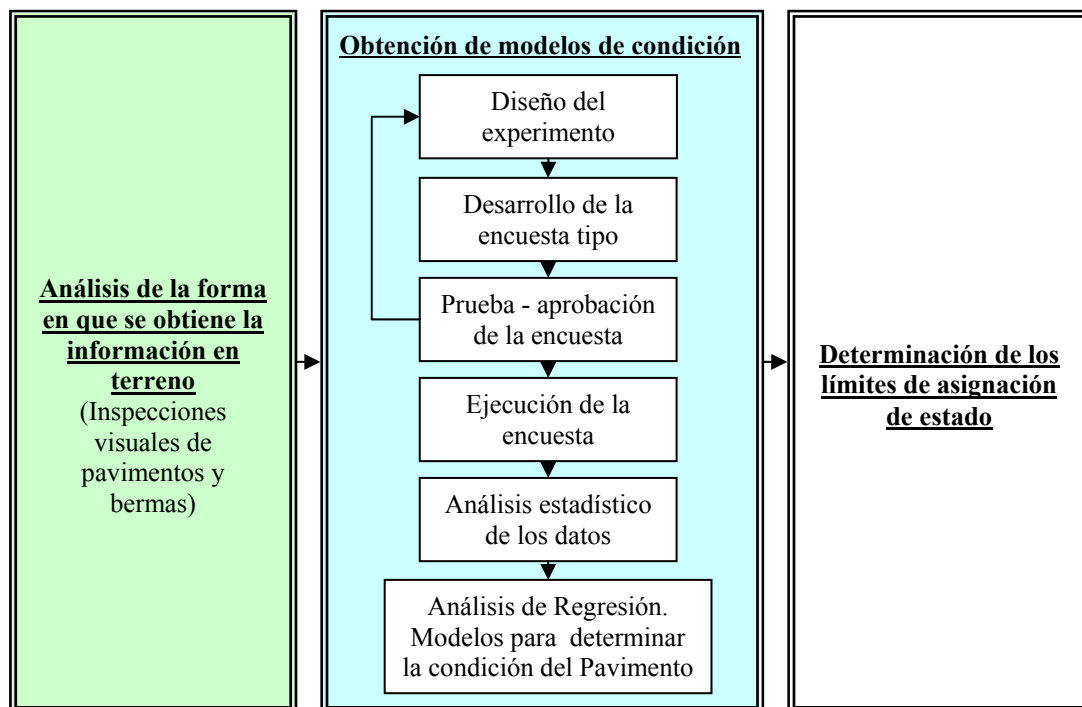


Figura 1. Esquema general del procedimiento de investigación

Esta metodología tomó como base la información disponible de terreno de los niveles de deterioro de cada uno de los caminos del país, levantada periódicamente por la Dirección de Vialidad. A partir de esta información, se generaron una serie de escenarios tipo, considerando los distintos niveles de deterioro de caminos pavimentados y bermas, los cuales fueron evaluados por expertos del área pública y privada. Con esta información se generaron fórmulas matemáticas que correlacionan el estado del pavimento, definido por los expertos sobre la base de una escala numérica preestablecida, con los niveles de deterioro establecidos.

3.1 Diseño del Experimento

Definición de la variable dependiente. La variable dependiente del proyecto fue la del “estado o condición” del pavimento. Esta variable, de orden cualitativo, puede variar entre: Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo y Muy Malo para el caso de los pavimentos y entre: Bueno, Regular y Malo para el caso de las bermas. Cada uno de estos niveles fue correlacionado con una escala numérica definida como “Índice de Condición del Pavimento (ICP)”. La correlación definida se presenta en Figura 2.

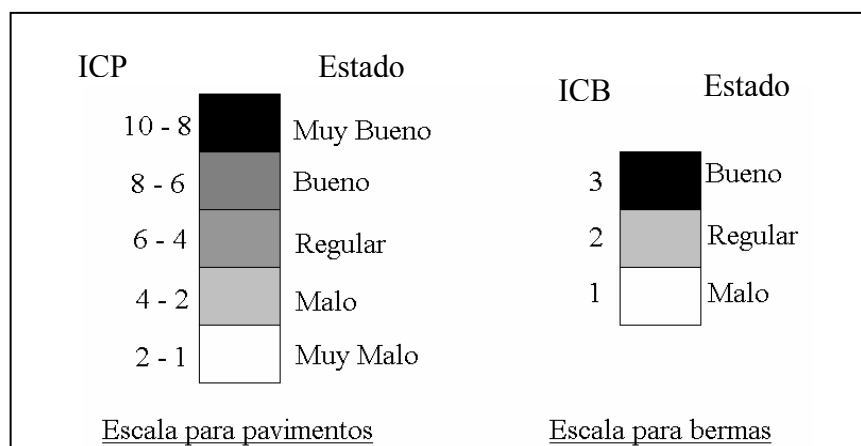


Figura 2. Escala de las Variables Dependientes

La escala numérica asociada al pavimento varió en función de la clasificación administrativa de la vía, dado que esta variable determina el nivel de importancia que tiene una vía y la relevancia que puede tener el estado del pavimento respecto a lo esperado por los usuarios. Para este proyecto se utilizó una simplificación de la clasificación administrativa de las vías definida por el Manual de Carreteras de Chile (MOP 2003): Vías Nacionales y Regionales; y Vías Comunales. Por otro lado, dado que los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos presentan diferentes tipos de deterioros se estableció desarrollar diferentes ecuaciones que relacionen dichos deterioros con el ICP. Los tipos de pavimentos considerados fueron (DGV, 2003):

- Pavimentos asfálticos (Mezclas asfálticas y Recapados).
- Tratamientos superficiales.
- Pavimentos de hormigón.

Definición de las variables independientes. En el presente estudio las variables independientes fueron los deterioros que se presentan tanto en los distintos tipos de pavimentos como en las bermas. Los deterioros considerados para este estudio se establecieron de acuerdo a lo estipulado por el “Instructivo de inspección visual de pavimentos” (DGV, 2003) actualmente utilizado por el Departamento de Gestión Vial de Chile. En la

Tabla 1 se presentan los deterioros utilizados, con sus respectivos niveles de variación.

Tabla 1. Deterioros y niveles de variación considerados

Pavimentos Asfálticos	Tratamientos Superficiales	Pavimentos de Hormigón	Bermas
Grietas de Fatiga (3)	Grietas (2)	Losas agrietadas (3)	Baches (2)
Grietas Lineales (2)	Perdida de áridos (2)	Est. de Juntas y Grietas (2)	Erosión del borde(2)
Baches (2)	Baches (2)	IRI (3)	Descenso (2)
Ahuellamiento (2)	Ahuellamiento (3)		

Exudación (2)	Exudación (2)		
IRI (3)	IRI (3)		

Cada uno de los deterioros fue dividido en niveles de acuerdo a los valores normales para cada tipo de deterioro y considerando la información disponible en las bases de datos nacionales. Sobre esta base se conformaron matrices con escenarios de pavimentos en distintos estados o condición, a partir de los cual se conformaron las encuestas a ser evaluadas por los expertos.

3.2 Desarrollo de la encuesta a expertos

Para el desarrollo de las encuestas fue necesario definir la cantidad mínima de escenarios a ser considerados en esta. Para estos efectos, se utilizó una técnica de muestreo para poblaciones finitas, la cual permite determinar la cantidad mínima de escenarios necesarios para asegurar que tanto la confiabilidad como el error, se encuentren dentro de rangos preestablecidos (Muxica, 1977). La Tabla 2 presenta los escenarios totales y los considerados en la encuesta.

Tabla 2. Número mínimo de escenarios a ser considerados en la encuesta

Tipo de Pavimento	Nº Total de escenarios	Nº de Escenarios a ser considerados en la encuesta
Asfáltico	144	21
Tratamientos Superficiales	144	21
Hormigón	18	11
Bermas	8	6
Total Escenarios	314	59

En las siguientes tablas se presentan los escenarios considerados en la presente investigación. Las celdas del factorial marcadas con una "X" corresponden a escenarios que fueron considerados en la encuesta a expertos y que representan la realidad de los deterioros que se presentan tanto en los pavimentos como en las bermas.

Tabla 3. Escenarios seleccionados para los Pavimentos Asfálticos

			IRI												
			Bueno (2.0m/km)				Regular (4.5m/km)				Malo (7.0 m/km)				
			SI		NO		SI		NO		SI		NO		
Baches			SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO			
Exudación			SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO			
Grietas de Fatiga	Grietas lineales	Ahuellamiento													
0M y 0A	SI	0.0	X	X	X							X			
		10.0		X											
	NO	0.0	X	X											
		10.0		X											
15M y 10A	SI	0.0	X	X											
		10.0		X											
	NO	0.0				X	X								
		10.0					X								
30M y 20A	SI	0.0				X						X	X		
		10.0					X					X	X		
	NO	0.0	X			X						X			
		10.0					X						X		

Total escenarios reales: 24

Tabla 4. Escenarios seleccionados para los Tratamientos Superficiales

			IRI											
			Bueno (2.5 m/km)				Regular (4.5 m/km)				Malo (8.0 m/km)			
			SI		NO		SI		NO		SI		NO	
Exudación			SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
Ahuellamiento	Agrietamiento	Perdida de áridos												
Bajo (0.0 mm)	SI	SI	X	X	X						X			
		NO	X	X										
	NO	SI	X											
		NO												
Medio (5.0 mm)	SI	SI	X	X										
		NO	X											
	NO	SI	X				X	X						
		NO					X	X	X				X	
Alto (15.0 mm)	SI	SI		X										
		NO												
	NO	SI					X	X				X	X	
		NO					X	X				X	X	

Total escenarios reales: 24

Tabla 5. Escenarios seleccionados para los Pavimentos de Hormigón

Pavimentos de Hormigón				
Agrietamiento	Estado de juntas y grietas	IRI		
		Bueno (2.0 m/Km)	Regular (4.5 m/km)	Malo (7.0m/km)
Bajo (0 %)	Bueno	X	X	
	Malo	X	X	X
Regular (20 %)	Bueno	X	X	
	Malo		X	X
Alto (40 %)	Bueno	X	X	
	Malo		X	X

Total escenarios reales: 13

Tabla 6. Escenarios seleccionados para los Pavimentos de Hormigón

		Erosión de borde	
		Bajo (5.0%)	Alto (30.0%)
Baches	Descenso		
Ausencia	SI	X	
	NO	X	X
Presencia	SI	X	X
	NO	X	

Total escenarios reales: 8

Una vez determinados los escenarios, se desarrolló la encuesta en sí, teniendo como premisa que el formato utilizado debía ser auto-entendible y de fácil llenado. En la Figura 3, se presenta como ejemplo el formato utilizado para pavimentos de hormigón.

PAVIMENTOS DE HORMIGÓN						
Esc.	Deterioros e Indicadores ¹			Nota (1 a 10)	Calificación	
	Losas con 3 o más trozos (%)	IRI (m/Km)	Estado de Juntas y Grietas (Bueno / Malo) ²		Estado ³	
					Nacional o Regional	Comunal
1	0	4,5	M			
2	20	4,5	B			
3	40	2	B			
4	0	2	M			
5	20	4,5	M			
6	0	2	B			
7	40	7	M			
8	40	4,5	M			
9	20	2	B			
10	40	4,5	B			
11	20	7	M			
12	0	4,5	B			
13	0	7	M			

(1) Las unidades de los deterioros son respecto a la unidad muestral de 1000 m de longitud y 3,5 de ancho de pista.
 (2) Estado de Juntas y grietas: Se definen dos tipos de estados Bueno (B): juntas y grietas con sello en buen estado y con poca presencia de desconches y Malo (M): juntas y grietas con sellos en mal estado y con presencia de desconches en las mismas.

Figura 3. Ejemplo del Formato utilizado en la Encuesta a expertos

3.3 Resultados de las Encuestas

En las Figuras 4 a 7 se presentan los valores representativos por escenario, junto al rango de respuestas obtenidas para cada escenario. El círculo representa el promedio simple obtenido por escenario y los trazos corresponden a la desviación estándar.

Figura 4. Valores representativos por escenario para Pavimentos Asfálticos

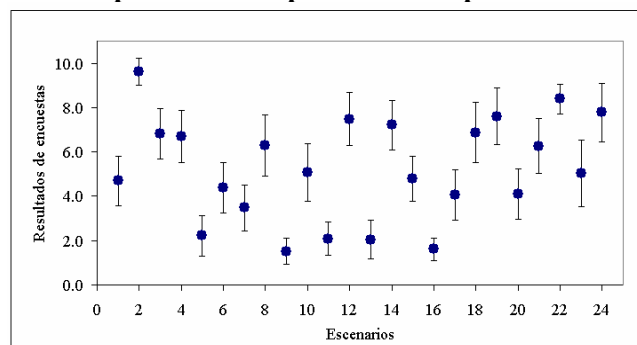


Figura 5. Valores representativos por escenario para Tratamientos Superficiales

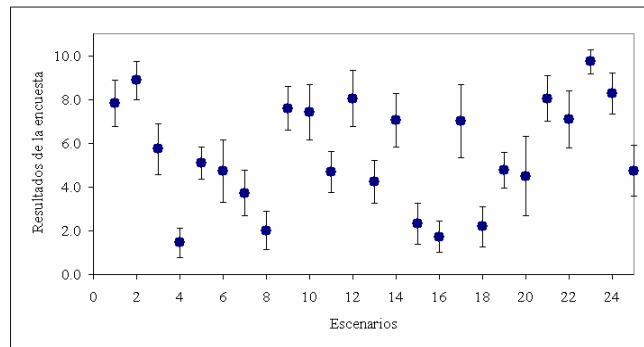


Figura 6. Valores representativos por escenario para Pavimentos de Hormigón

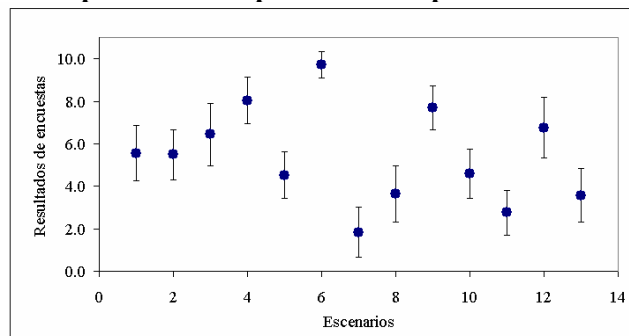
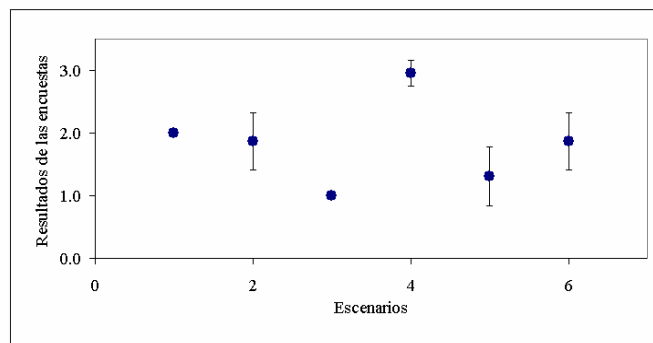


Figura 7. Valores representativos por escenario para Bermas



3.4 Presentación de los modelos para establecer la condición de pavimentos y bermas

Los modelos fueron obtenidos a partir de un análisis de regresión lineal. El método utilizado para la regresión fue el de “Mínimos Cuadrados”, el cual establece la relación entre una variable dependiente (ICP o ICB) y varias variables independientes (Deterioros):

- a) Modelo para establecer la condición en pavimentos asfálticos:

$$ICP = 10,5 - 0,56xIRI - 0,08xAhuell.-0,07xBaches - 0,05xFatiga - 0,03xExud. - 0,03xLineales$$

$$R^2 = 0,95 \quad S = 0,586$$

b) Modelo para establecer la condición en tratamientos superficiales

$$ICP = 10,7 - 0,64xIRI - 0,06xAhuell. - 0,05xBaches - 0,05xGrietas - 0,02xExud. - 0,01xP.Áridos$$

$$R^2 = 0,97 \quad S = 0,52$$

c) Modelo para establecer la condición en pavimentos de hormigón:

$$ICP = 10,7 - 0,85xIRI - 0,057xLosas agrietadas - 1,0xEstado de juntas y Grietas$$

$$R^2 = 0,98 \quad S = 0,34$$

d) Modelo para establecer la condición en bermas:

$$ICB = 2,803 - 0,030xBaches - 0,025xErosión - 0,022xDescenso$$

$$R^2 = 0,92 \quad S = 0,3$$

A modo de análisis de las ecuaciones obtenidas, se puede decir que, en el caso del coeficiente de determinación (R²), que mide la bondad del ajuste entre las variables independientes (Deterioros) y la variable dependiente (ICP), toma valores superiores al 90%, lo cual indica que la bondad del ajuste entre las respuestas de los expertos y los valores obtenidos de la aplicación de las ecuaciones se mantiene en niveles aceptables y cercanos a la correlación perfecta (100%). El error estándar de las regresiones en todos los casos es menor al 6%, por abajo del error esperado del 10%, valor que fue definido inicialmente para la determinación del número de escenarios a ser incluidos en las encuestas. Este estadístico es un indicador indirecto de la confiabilidad del estudio, puesto que mide la variabilidad o dispersión de los valores observados respecto a los predichos por las ecuaciones obtenidas, por lo que bajos niveles de error, representan altos niveles de confiabilidad.

3.5 Determinación de los límites de asignación

Una vez obtenidos los modelos que servirán para determinar la condición del pavimento, se realizó un análisis para determinar los límites que servirán para delimitar los diferentes estados de los pavimentos considerando el otro factor importante identificado en la etapa de definición de la variable dependiente, la clasificación administrativa de la vía.

En la **Tabla 7** se presentan los límites del ICP para la asignación del estado de los pavimentos en función de la clasificación administrativa de las vías vigente en el país. La metodología utilizada para la determinación de los límites de asignación, se basó en un análisis de frecuencia, donde se determinó que el estado del escenario correspondía a aquella respuesta que con más frecuencia era repetida por los expertos.

Tabla 7. Límites del ICP para la asignación del estado de los pavimentos

Estado	Caminos Nacionales y Regionales	Caminos Comunales
Muy Bueno	10.0 a 8.5	10.0 a 7.5
Bueno	8.5 a 6.0	7.5 a 5.0
Regular	6.0 a 4.0	5.0 a 3.5
Malo	4.0 a 2.5	3.5 a 2.0
Muy Malo	2.5 a 1.0	2.0 a 1.0

Como se puede apreciar los límites determinados para cada estado están teóricamente, acorde con la clasificación administrativa de las vías. Esto se fundamenta con el hecho que para el caso de las vías Nacionales o Regionales, los límites de asignación se presentan más restrictivos que para las vías Comunales. Lo anterior representa claramente la realidad de la red de caminos pavimentados, ya que en un camino Nacional o Regional los niveles de tránsito son mayores que para un camino Comunal y por ende, el impacto que tiene un camino en mal estado sobre la red vial es mayor que para un camino comunal.

4 CONCLUSIONES

La metodología presentada en este proyecto, cumple con el objetivo principal, ya que permite determinar el estado de los pavimentos y de las bermas de una manera fundamentada, clara y sencilla adecuada para las características del lugar donde será aplicada y no requiere de cantidades significativas de recursos económicos para su desarrollo. Además de lo anterior, la metodología se considera adecuadamente fundamentada, ya que los resultados obtenidos de aplicación al caso chileno muestran que las características asociadas al análisis de regresión, correlación y significancia; aseguran una adecuada confiabilidad y representabilidad para aplicar esta metodología en la determinación del estado tanto de los pavimentos como de las bermas.