

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES GENERALES**

En adelante se describen las conclusiones que derivan del presente estudio “Ajuste de las variables que gobiernan los modelos de comportamiento del HDM-4 para vías no pavimentadas de la región de Antofagasta – Chile”.

Respecto a los modelos de rugosidad, se ajustaron los parámetros de las variables propuestas por Paterson para Brasil. Los valores encontrados para la región de Antofagasta de Chile, se obtuvieron con datos recopilados en seguimientos realizados por la Dirección Nacional de Vialidad y de aquellos levantados en terreno durante el presente estudio, en caminos estabilizados con bischofita.

Las principales conclusiones a las cuales se arribaron en el estudio se resumen a continuación:

##### **5.1.1 Modelos de rugosidad**

La calidad del ajuste realizado es estadísticamente significativa y con un poder explicatorio superior a los conseguidos por los modelos de Paterson para Brasil, actualmente en uso.

Es importante mencionar que los mecanismos de toma de muestras, el personal encargado de las mediciones y el contexto ambiental, no repercuten en diferencias sustantivas en los valores medidos en terreno.

Sin embargo, una tecnología superior de medición a las actuales, bien podría suponer que las medidas históricas cuenten con un grado más grande de error, haciendo que la capacidad de explicación que tiene la variable se pierda por problemas métricos.

Los parámetros propuestos para estimar la rugosidad máxima, mínima y su progresión, para las condiciones y características de la región de Antofagasta,

son el resultado de un detallado análisis estadístico, por tanto son un aporte a utilizar en las estimaciones futuras para la planificación de la red de caminos básicos de la Región de Antofagasta. Estos resultados, que son una mejora al modelo de Paterson actualmente utilizado para estos efectos, deberían ser periódicamente validados con nuevas tramificaciones, para capturar los efectos de cambios en las condiciones de los caminos como de los vehículos que los utilizan.

Es necesario recordar, que por la naturaleza de los deterioros a cuantificar, ni los modelos desarrollados para Brasil y países africanos, han alcanzado niveles altos de explicación de la variabilidad en las condiciones de los caminos, sin embargo, la fortaleza de esos resultados radica en que se han obtenido para un considerable número de tramificaciones, lo que hace que su validez sea robusta.

Por otro lado, es preciso mencionar, que si bien los parámetros de los modelos fueron ajustados a la realidad regional, la forma funcional de éstos no fue variada, condición sinecuanum del programa HDM-4.

También es importante recordar y destacar, que no obstante se hayan encontrados los valores de ajustes de las variables de los modelos, el software del HDM-4 no permite que estos valores sean modificados, admitiendo solamente ingresar los nuevos umbrales de rugosidad obtenidos. Los modelos ajustados pueden ser utilizados de forma independiente y externa, en planillas electrónicas, del tipo Excel de Microsoft Office.

Es interesante subrayar, que los modelos implementados en HDM-4 son altamente sensibles a las características granulométricas, razón explicativa de que el modelo no entregue mejores resultados. Esta característica de los modelos, propia de su diseño, tiende a limitar las predicciones en el largo plazo, si se considera que, las variables que incluyen las características granulométricas de las capas granulares, son variables en el tiempo por el efecto producido por el tránsito y las lluvias, las que modifican en forma significativa el contenido de material fino existente en la capa granular de

rodado. Esta es una justificación adicional de la necesidad de reestimar los modelos periódicamente.

Uno de los resultados más importantes del estudio, corresponde al hecho de conseguir establecer relaciones tanto para la rugosidad máxima, como para la mínima. Lo que representa una ventaja respecto al hecho de considerar la rugosidad máxima, como un valor fijo y ostensiblemente alto, ya que estas variables tienen directa relación en los resultados del análisis técnico – económico que entrega el HDM-4.

Respecto de la progresión de la rugosidad, el modelo ajustado presenta una buena estimación del comportamiento real, versus el modelo de Brasil, con valores más cercanos a los medidos en terreno. Además se evidencia que la tendencia del incremento de la rugosidad es exponencial, observándose un mayor incremento a partir del segundo año de servicio de la vía.

Los valores estimados por las expresiones obtenidas de los modelos ajustados, se alejan de valores cero o negativos, es más, los valores que se obtienen están dentro del rango esperado para el comportamiento estimado para caminos no pavimentados de la región.

Respectos al Modelo de rugosidad antes y después de un reperfilado no fue ajustado, ya que las vías consideradas en el estudio son aquellas que corresponde al programa de gobierno “Caminos Básicos 5000”, rutas que fueron diseñadas siguiendo la metodología AASHTO, con horizontes de vida sobre los tres años con estrategias de conservación cero. En consecuencia, no es posible medir la variable rugosidad antes y después del reperfilado.

En relación con el Modelo de Rugosidad en estaciones climáticas, el capítulo tres (sección 3.7.3) explica la particularidad pluviométrica de la Región de Antofagasta, la que geográficamente se ubica en el Desierto de Atacama, el más árido del mundo. Esta singularidad y la errática presencia de lluvias, no permite tener registros de rugosidad asociada a pluviometría en la región. No teniendo sentido ajustar este modelo para una zona completamente seca.

### 5.1.2 Modelo pérdida de material

El recebo es la operación más importante del mantenimiento de un camino no pavimentado, equivalente a la importancia de recubrir un camino pavimentado, su frecuencia requerida es una decisión importante de la planificación.

Recordar que la pérdida de material se define como el cambio de espesor de la carpeta de grava durante un período de tiempo y se usa para estimar, cuando el espesor de la carpeta granular ha disminuido a un nivel precario, dónde el recebo es necesario. El que se ha estimado en función del tráfico, las propiedades del material (material fino e índice de plasticidad) y la geometría del camino (grado de curvatura y pendiente).

La estimación del cambio de espesor en terreno, es la condición más precaria en que se encuentra el modelo de Pérdida de Material, lo que no admite obtener una medición confiable que permita desarrollar un buen estimador.

Además de lo expuesto, otras razones que contribuyeron a que el modelo no se ajustara son las siguientes:

- LA Dirección de Vialidad de Chile no tiene contemplado operaciones de recebo en los caminos no pavimentados del programa “Caminos Básico 5000”, caminos bases del presente estudio.
- No existe una base de dato histórica (marco estadístico) que permita comparar mediciones y realizar regresiones para estimar el modelo.
- No existe un método confiable para levantar datos de terreno. Las formas originales de medir la pérdida de material es a través de calicatas o por un levantamiento topográfico. Métodos de considerable aleatoriedad, lo que conlleva a sumar errores importantes por medición.

En definitiva, este modelo debiera ser considerado en un próximo estudio, mejorando las condiciones de medición y el número de tramos testigos, los que debieran estar en una relación 1:10 respecto del número de variables independientes del modelo.

Respecto al modelo de Pérdida de Material brasileño desarrollado por Paterson e implementado en HDM-4, es claro que su uso directo no es apropiado para la realidad chilena, por cuanto la forma funcional de la ecuación no permite que el ajuste del modelo pase simplemente por realizar reajustes del mismo, intentando encontrar parámetros que modifiquen la función, para que entregue valores más apropiados. Lo anterior se deduce debido a que los rangos de precipitación, principalmente, hacen que para la realidad brasileña, extrapolaciones sobre valores superiores de agua caída, el modelo continúe moviéndose en una relativa directa proporcionalidad, no siendo esto válido para valores bajos de precipitación, invirtiéndose la proporción para estos niveles.

Además, es importante consignar que los caminos chilenos poseen porcentajes inferiores al 55% de material fino, por lo que el modelo predice pérdidas que no se ajustan a la realidad.

En razón a lo expuesto, mientras no se desarrolle una nueva formulación teórica para cuantificar la Pérdida de Material para las condiciones regionales, es recomendable continuar utilizando el modelo original de Paterson para proyectar la Pérdida de Material, aun cuando ésta arroje valores que distan de los medidos en terreno.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Respecto a los modelos de rugosidad, las nuevas expresiones encontradas se acercan bastante más a la experiencia empírica existente, por lo cual parece ser un resultado más cercano a nuestra realidad. A pesar de ello, es recomendable que estos modelos se asuman como un avance en la búsqueda de expresiones más realistas y certeras, en ningún caso como un resultado definitivo, ya que siempre será necesario efectuar nuevas mediciones relativas a aumentar las bases de datos y así permitir la validación y mejoramiento de las expresiones aquí encontradas.

Por otro lado, los modelos desarrollados pueden describir en forma satisfactoria el fenómeno dentro del área de estudio, siendo su generalización un tanto cuestionable, motivo más que necesario para ampliar la zona testigo para

conocer la realidad en otras regiones del país, que con condiciones geográfico ambientales diferentes, pudiesen presentar comportamientos diferentes a los modelables por las expresiones encontradas.

Se recomienda estudiar el efecto del drenaje en la rugosidad y la pérdida de material de estos caminos, que de acuerdo con lo observado se comporta inversamente proporcional a los modelos, es decir, cuanto mejor sea el drenaje del camino menor será la rugosidad media del camino.

Por otra parte, las Direcciones Regionales de Vialidad no poseen en la actualidad equipos para la cuantificación objetiva de la pérdida de material, siendo recomendable diseñar un método científico más confiable para realizar dichas mediciones.

Se recomienda que futuras investigaciones de los modelos de deterioro de caminos no pavimentados, incorporen o desarrollen modelos particulares para describir deterioros específicos y de mayor importancia en los caminos nacionales, como lo son las “calaminas”<sup>1</sup> y la generación de “baches”, puntualizando de esta manera aún más los problemas de las actuales capas granulares, derivando así en caminos más estables y duraderos.

---

<sup>1</sup> Dirección de Vialidad – MOP – (2000). Manual de Carreteras, Volumen N° 7 “Mantenimiento Vial”