

Procedimiento Para La Generación de Una Carretera de Conservación con HDM-4.

Procedure for the Generation of a Conservation Road with HDM-4.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Juan Aceveo^{1,*}, Maximiliano Calderón², Mauricio Guerra², Juan Nieman².

¹Ministerio de Obras Públicas, Departamento de Gestión Vial, Santiago, Chile.

²APSA Ltda., Santiago, Chile.

Historial del artículo:

Recibido
12-05-2024
Aceptado
09-04-2025
Publicado
30-04-2025

Palabras Clave:

Conservación
Pavimentos
Gestión Vial
Optimización
HDM-4

Article history:

Received
12-05-2024
Accepted
09-04-2025
Available
30-04-2025

Keywords:
Conservation
Pavements
Road Management
Optimization
HDM-4

Resumen

El objetivo es dar a conocer el procedimiento para generar una Cartera Quinquenal de Proyectos de Conservación Periódica en caminos pavimentados mediante el Software HDM-4, para ser usado por las Direcciones Regionales de Vialidad. La Cartera se basa en la evaluación técnica-económica de políticas de conservación. Para su implementación se necesitan bases de datos que permiten caracterizar la red de caminos a evaluar. Los principales aspectos que se necesitan para la red de carreteras a evaluar son la estructura del pavimento, la condición estructural y funcional y su Tránsito Medio Diario Anual (TMDA). Mediante el proceso de evaluación económica de las políticas de conservación, se busca obtener aquellas actividades que maximicen el beneficio social de la inversión pública, logrando obtener una cartera de conservación a realizar en un horizonte de tiempo. Los resultados obtenidos son para cada segmento de características homogéneas a nivel de pista, que puede ser de muy corta longitud como para generar una acción de conservación de longitud suficiente para un proyecto de conservación a licitar. Debido a esto, se procesan estos resultados con una rutina computacional que genera tramos de al menos un kilómetro a nivel de calzada. Se concluye que el procedimiento empleado, permite la entrega a las Direcciones Regionales de Vialidad un instrumento con base técnica y económica para la toma de decisiones y apoyo a la gestión directiva.

Abstract

The objective is to present the procedure for generating a Five-Year Portfolio of Periodic Maintenance Projects for paved roads using the HDM-4 Software, intended for use by the Direcciones Regionales de Vialidad. The Portfolio is based on the technical-economic evaluation of conservation policies. Its implementation requires databases that allow for characterizing the road network to be evaluated. The main aspects needed for the road network evaluation include the pavement structure, structural and functional condition, and Annual Average Daily Traffic (AADT). Through the economic evaluation process of conservation policies, the goal is to identify those activities that maximize the social benefit of public investment, resulting in a conservation portfolio to be executed over a specific time horizon. The results obtained are for each segment with homogeneous characteristics at the track level, which may be of very short length to generate a maintenance action of sufficient length for a conservation project to be tendered. Therefore, these results are processed using a computational routine that generates sections of at least one kilometer at the roadway level. The conclusion is that the procedure employed provides the Direcciones Regionales de Vialidad with a tool based on technical and economic grounds for decision-making and supporting managerial management.

* Corresponding author at: Juan Acevedo Córdova, Ministerio de Obras Públicas, Departamento de Gestión Vial, Av. Morandé 59, Oficina 217, Santiago, Chile. E-mail address: juan.acevedo@mop.gov.cl

RIOC

journal homepage: <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/index>

Vol. 13, no. 02, pp. 50–64, Abril 2025

1. Introducción.

Las redes viales juegan un rol fundamental dentro de la sociedad, pues más allá de cumplir su función primordial, permitir el traslado de personas y carga vía terrestre, son un elemento sumamente necesario para el desarrollo integrado de una nación (Solminihaç et al., 2018). Por ello uno de los objetivos principales de la gestión de infraestructura vial, es integrar diversas etapas con relación a la planificación, diseño, construcción, evaluación y mantenimiento de los caminos. En consecuencia, se busca otorgar la mayor seguridad, confort y economía de transporte, con el fin de optimizar los recursos utilizados en la construcción y explotación de la infraestructura vial, los cuales están sujetos a restricciones presupuestarias, técnicas, políticas y ambientales. De ahí que gran parte de los esfuerzos de la gestión de infraestructura vial deban centrarse en la evaluación, mantenimiento y control de ésta, entonces, la aspiración de la conservación vial es preservar el buen estado de las vías, con el fin de que puedan prestar el servicio para el cual fueron diseñadas y construidas (Bull A., 2003).

Uno de los elementos básicos de la infraestructura vial es el pavimento. Por ello, es imprescindible el control de la condición de estado de éste, a través de un continuo monitoreo mediante auscultaciones (Dirección de Vialidad, 2015) que permitan definir acciones para el mantenimiento oportuno de las rutas. Durante el transcurso de los años, el Departamento de Gestión Vial de la Dirección de Vialidad, ha realizado diversos estudios de Auscultación Automatizada de Pavimentos, donde se utilizan equipos de alto rendimiento con tecnología 3D para identificar parámetros de evaluación funcional (IRI, Agrietamientos, Macrotextura, etc.) y además realizar evaluación estructural en caminos pavimentados, todo ello como base para el seguimiento de las rutas en cuanto a condición y evolución (Dirección de Vialidad, 2022; Dirección de Vialidad, 2019).

En base a los estudios realizados para la Red Vial de caminos pavimentados, se hace imprescindible contar con un plan de conservación vial para un horizonte de años definido, teniendo en consideración que se cuenta con una gran cantidad de información técnica de calidad y cobertura nacional. Es por ello, que un objetivo primordial en el marco de la gestión de activos viales, es generar planes de conservación para la red de caminos pavimentados, que respondan a las reales necesidades de los caminos, que sean socialmente rentables y permitan así beneficios para la comunidad al tener caminos conservados oportunamente, que limiten sus deterioros y otorguen comodidad y seguridad al transitar por ellos como también generar costos acotados a los usuarios. La utilización de una herramienta como HDM-4, permite modelar el comportamiento de los pavimentos en el tiempo y evaluar políticas de mantenimiento definidas por el ente técnico que, maximizando el

beneficio social, permiten obtener un cronograma de actividades en el corto plazo, lo que implica cumplir con los objetivos precitados.

2. Metodología.

El Departamento de Gestión de la Dirección de Vialidad de Chile, desde hace unos años comenzó a realizar la optimización de procesos para la generación de un Plan de Conservación de la Red Vial Pavimentada. En este contexto se ha estado trabajando en una rutina computacional que automatice algunos procedimientos de manejo de grandes bases de datos para la evaluación técnica-económica de inversiones y mantenimiento de redes viales con el software HDM-4 “Highway Development & Management”, que permite generar una “Cartera Quinquenal de Conservación Periódica”. Este software utiliza información de redes de carreteras, su estructura soportante y la condición estructural y funcional, además de datos de tránsito o TMDA, flotas vehiculares tipo, costos de conservación y de operación vehicular, modelos de tránsito, parámetros de calibración, entre otros datos (Dirección de Vialidad, 2022). El software esta calibrado y adaptado a condiciones locales, de manera que la evolución de los deterioros en función de las características estructurales de los pavimentos, el nivel de TMDA y las condiciones climáticas, es cercana a la realidad en la cual se emplaza cada red vial.

El primer proceso de la rutina computacional corresponde a la generación de un archivo de red de carreteras (Road Network) que sea factible de importar para su utilización en HDM-4. Para la generación de este archivo, se implementó una metodología de “Tramificación” que es capaz de generar tramos con información homogénea. Este proceso implica trabajar con distintas bases de datos de estructura, tránsito, condición del camino, etc. Las bases de datos que se consideran son: Inventario de Caminos Pavimentados (características de las capas componentes del pavimento), Sectorización de Tránsito (tramos de caminos de igual TMDA), Archivos de Inspección Visual (deterioros estructurales), Archivos de IRI (International Roughness Index) y Deflectometría de Impacto. Para la generación de tramos homogéneos, la rutina procesa las diversas bases de datos en forma secuencial y de acuerdo con criterios del evaluador. Para tramificar los archivos de inspección visual, se utiliza el método de Diferencias Acumuladas (DA), el cual permite determinar si dos o más muestras corresponden a la misma población, en particular se aplica a los valores de agrietamiento. De similar forma se aplica el método de DA a las bases de IRI y Deflectometría de Impacto. Luego de aplicados los criterios de tramificación descritos, se generan aquellos tramos homogéneos que serán ingresados a HDM-4. Dicho proceso sigue una secuencia predefinida, la cual consiste en generar primero los tramos de aquellas variables

donde no existe una mayor interpretación que realizar, y posteriormente aquellas variables a las cuales se les aplican el

método de diferencias acumuladas. Este orden de tramificación se presenta en la Figura 1.

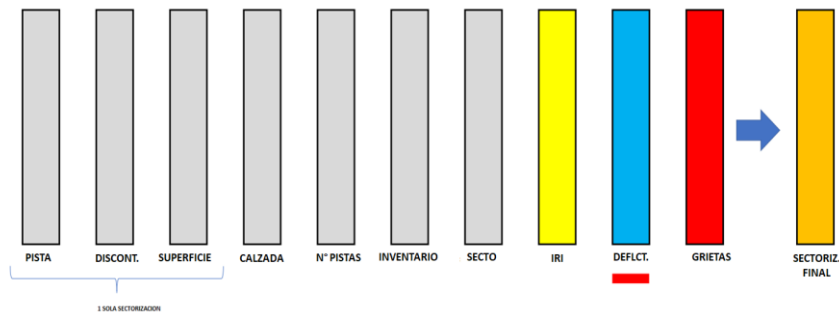


Figura 1. Secuencia de Tramificación por las Distintas Variables Involucradas.

Una vez importados a HDM-4 las bases de datos de Road Network, es necesario configurar las “Políticas de Conservación”, a las cuales se le realizarán las evaluaciones técnico-económicas. Las Políticas están configuradas en base a tipo de pavimento (pavimentos flexibles y pavimentos rígidos) y nivel de TMDA (Tránsito Medio Diario Anual). Cada política contiene un set de acciones de conservación, con sus características, tales como tipo y espesores de las capas del pavimento, cuya intervención se gatilla al superar un umbral de deterioro o en forma programada,

y tienen efectos en la condición del pavimento, posteriores a la aplicación de la acción de conservación. Para cada tipo de pavimento y TMDA correspondiente existe una “Alternativa Base”, que es la política de conservación asociada a umbrales de deterioros más altos, y 3 políticas para cada uno de los 5 niveles de TDMA. En la Tabla 1 se muestra una de las acciones y sus características para la política alternativa base de pavimentos flexibles, además de los criterios de intervención, y los efectos en el pavimento una vez aplicada la acción respectiva.

Tabla 1. Alternativa Base Pavimentos Flexibles.

Política	Acción	Características	Intervención	Efectos
Alternativa Base	Repavimentación Tipo 1	TSDBG 60 mm	$IRI \geq 6$ Y $TMDA \geq 250$	IRI 1,8 y AH 0 mm
	Recapado Tipo 1	MAPA 50 mm	$IRI \geq 6$ Y $TMDA \leq 250$ Ó $AH \geq 35$ mm	IRI 2,0 y AH 0 mm
	Lechada	Mortero Asfáltico	$AGT \geq 35\%$	Deducidos
	Bacheo	-	Cantidad máxima de material ≤ 80 m ² /km/año	

Donde MAPA es mezcla asfáltica sobre pavimento asfáltico; TSDBG es tratamiento superficial doble sobre base granular; AH es ahuellamiento en mm; AGT Agrietamiento total en %.

El resto de las políticas para pavimentos flexibles son mostradas en la Tabla 2. Estas varían en las características de cada acción,

límites de intervención para cada criterio y en los efectos que se producen en el pavimento después de aplicada la acción respectiva. Las variables de deterioros están mostradas como una sigla, ya que posteriormente se tabularán sus valores para casos de distintos niveles de tránsito.

Tabla 2. Tipo de Política para Pavimentos Flexibles.

Política	Acción	Intervención	Efectos
1, 2, 3	Repavimentación	$IRI \geq LIRI$ Ó $AGT \geq LAGT$ Y $AH \geq LAH$	$IRI = EIRI$ y $AH = EAH$
	Recapado	$IRI \geq LIRI$ Ó $AH \geq LAH$	$IRI = EIRI$ y $AH = EAH$
	Lechada	$AGT \geq LAGT$	Deducidos
	Sellado	$AGA \geq LAGA$	Deducidos
	Bacheo	$BA > LBA$	BA 100%; retraso 12 meses
	Rutinaria	Cada año	-

Donde LIRI es el límite de intervención para el IRI, LAGT es el límite de intervención para agrietamiento total, LAGA es el límite de intervención para agrietamiento ancho, LAH es límite para el

ahuellamiento, BA cantidad de baches 0,1 m² por km, LBA límite para la cantidad de baches, EIRI es efecto en el IRI posterior a la intervención, EAH es efecto en el ahuellamiento posterior a la

intervención.

en que cada intervención tiene efecto.

En la Tabla 3 se detallan para cada política y dependiendo del nivel de TMDA de cada tramo a evaluar, el tipo de acción de conservación a aplicar y sus espesores respectivos, los valores de los límites de intervención a aplicar en las fórmulas de la Tabla 2 y los valores de las variables de deterioro posterior al momento

Tabla 3. Parámetros en Políticas Pavimentos Flexibles.

Política	Acción de Conservación	Tipo / Espesor	TMDA ≤ 300 veh/día								TMDA > 300 veh/día y TMDA ≤ 1500 veh/día											
			Límites de Intervención								Efectos		Límites de Intervención								Efectos	
			LIRI	A	TMD	LAGT	LAGA	LAH	LBA	EIRI	EAH	Tipo / Espesor	LIRI	A	TMD	LAGT	LAGT	LAH	LBA	EIRI	EAH	
		mm	m/k m	nº	%	%	mm	nº/km	m/k m	mm	mm	mm	m/k m	nº	%	%	m m	nº/k m	m/k m	m m		
Base	Repavimentación	TSDBG / 25	6	≥ 250	-	-	-	-	2	0		MABG / 60	5.5	≥ 1300	-	-	-	-	2.0	0		
	Recapado	MAPA / 50	6	≤ 250	-	-	35	-	2	0		MAPA / 50	5.5	≤ 1300	-	-	30	-	2.0	0		
	Lechada	MA / 10	-	-	3 5	-	-	-	-	-		MA / 10	-	-	3 0	-	-	-	-	-		
	Bacheo	-	-	-	-	-	-	80	-	-		-	-	-	-	-	-	60	-	-		
1	Repavimentación	TSDBG / 25	5.5	-	1 5	-	20	-	2.0	0		MABG / 60	5.2	-	1 8	-	10	-	1.8	0		
	Recapado	MAPA / 50	5.0	-	-	-	30	-	2.0	0		MAPA / 50	4.7	-	-	-	25	-	2.0	0		
	Lechada	MA / 10	-	-	3 0	-	-	-	-	-		MA / 10	-	-	2 7	-	-	-	-	-		
	Sellado	RS / 20	-	-	-	1 5	-	-	-	-		RS / 20	-	-	-	14	-	-	-	-		
2	Bacheo	-	-	-	-	-	-	15	-	-		-	-	-	-	-	-	10	-	-		
	Repavimentación	TSBG / 20	5.2	-	1 3	-	17	-	2.0	0		MABG / 60	4.9	-	1 5	-	10	-	1.8	0		
	Recapado	MAPA / 50	4.7	-	-	-	25	-	2.0	0		MAPA / 50	4.5	-	-	-	20	-	2.0	0		
	Lechada	MA / 10	-	-	2 5	-	-	-	-	-		MA / 10	-	-	2 4	-	-	-	-	-		
3	Sellado	RS / 20	-	-	-	1 2	-	-	-	-		RS / 20	-	-	-	12	-	-	-	-		
	Bacheo	-	-	-	-	-	-	15	-	-		-	-	-	-	-	-	10	-	-		
	Repavimentación	TSBG / 20	5.0	-	1 0	-	15	-	2.0	0		MABG / 60	4.5	-	1 3	-	8	-	1.8	0		
	Recapado	MAPA / 50	4.5	-	-	-	20	-	2.0	0		MAPA / 50	4.2	-	-	-	18	-	2.0	0		
	Lechada	MA / 10	-	-	2 0	-	-	-	-	-		MA / 10	-	-	2 0	-	-	-	-	-		
	Sellado	RS / 20	-	-	-	1 0	-	-	-	-		RS / 20	-	-	-	10	-	-	-	-		
	Bacheo	-	-	-	-	-	-	15	-	-		-	-	-	-	-	-	10	-	-		

Donde TSBG es tratamiento superficial simple sobre base granular, RS es riego de sello.

Tabla 3. Parámetros en Políticas Pavimentos Flexibles (Continuación).

Tabla 5. Parámetros en Políticas Pavimentos Flexibles (continuación).																						
Política	Acción de Conservación	Tipo / Espesor	TMDA > 1500 veh/día y TMDA ≤ 6000 veh/día										TMDA > 6000 veh/día y TMDA ≤ 15000 veh/día									
			Límites de Intervención							Efectos			Límites de Intervención							Efectos		
			LIRI	Δ	TMD	LAGT	LAG	LAH	LBA	EIRI	EAH	Tipo / Espesor	LIRI	Δ	TMD	LAGT	LAGT	LAH	LBA	EIRI	EAH	
			m/km	n°	%	%	m	n°/km	m/km	m	mm	mm	m/km	n°	%	%	m	n°/km	m/km	m		
	mm	m/km	n°	%	%	m	n°/km	m/km	mm	mm	mm	m/km	n°	%	%	m	n°/km	m/km	m			
Base	Repavimentación	MABG / 60	5,5	≥ 1300	-	-	-	-	2,0	0	MABG / 60	5,2	≥ 4500	-	-	-	-	1,8	0			
	Recapado	MAPA / 50	5,5	≤ 1300	-	-	30	-	2,0	0	MAPA / 50	5,2	≤ 4500	-	-	25	-	2	0			
	Lechada	MA / 10	-	-	30	-	-	-	-	-	MA / 10	-	-	27	-	-	-	-	-			
	Bacheo	-	-	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-				
	Repavimentación	MABG / 60	5,2	-	18	-	10	-	1,8	0	MABG / 60	5	-	15	-	10	-	1,8	0			
	Recapado	MAPA / 50	4,7	-	-	-	25	-	2,0	0	MAPA / 50	4,4	-	-	-	18	-	2	0			
	Lechada	MA / 10	-	-	27	-	-	-	-	-	MA / 10	-	-	24	-	-	-	-	-			
	Sellado	RS / 20	-	-	-	14	-	-	-	-	RS / 20	-	-	-	12	-	-	-	-			
1	Bacheo	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-			
	Repavimentación	MABG / 60	4,9	-	15	-	10	-	1,8	0	MABG / 60	4,7	-	13	-	7	-	1,8	0			
	Recapado	MAPA / 50	4,5	-	-	-	20	-	2,0	0	MAPA / 50	4,2	-	-	-	15	-	2	0			
	Lechada	MA / 10	-	-	24	-	-	-	-	-	MA / 10	-	-	20	-	-	-	-	-			
	Sellado	RS / 20	-	-	-	12	-	-	-	-	RS / 20	-	-	-	10	-	-	-	-			
	Bacheo	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-			
	Repavimentación	MABG / 60	4,5	-	13	-	8	-	1,8	0	MABG / 60	4,4	-	10	-	7	-	1,8	0			
	Recapado	MAPA / 50	4,2	-	-	-	18	-	2,0	0	MAPA / 50	4	-	-	-	12	-	2	0			
2	Lechada	MA / 10	-	-	20	-	-	-	-	-	MA / 10	-	-	17	-	-	-	-	-			
	Sellado	RS / 20	-	-	-	10	-	-	-	-	RS / 20	-	-	-	9	-	-	-	-			
	Bacheo	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-			
	Repavimentación	MABG / 60	4,5	-	13	-	8	-	1,8	0	MABG / 60	4,4	-	10	-	7	-	1,8	0			
3	Recapado	MAPA / 50	4,2	-	-	-	18	-	2,0	0	MAPA / 50	4	-	-	-	12	-	2	0			
	Lechada	MA / 10	-	-	20	-	-	-	-	-	MA / 10	-	-	17	-	-	-	-	-			
	Sellado	RS / 20	-	-	-	10	-	-	-	-	RS / 20	-	-	-	9	-	-	-	-			
	Bacheo	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-			

Tabla 3. Parámetros en Políticas Pavimentos Flexibles (Continuación).

Política	Acción de Conservación	Tipo / Espesor mm	LIRI m/km	TMDA > 15000 veh/día Límites de Intervención					Efectos	
				TMDA n°	LAGT %	LAGA %	LAH mm	LBA n°/km	EIRI m/km	EAH mm
Base	Repavimentación	MABG / 150	4,5	≥ 20000	-	-	-	-	1,8	0
	Recapado	MAPA / 60	4,5	≤ 20000	-	-	15	-	2	0
	Lechada	MA / 10	-	-	20,0	-	-	-	-	-
	Bacheo	-	-	-	-	-	-	20	-	-
1	Repavimentación	MABG / 150	4,2	-	12	-	8	-	1,8	0
	Recapado	MAPA / 50	3,8	-	-	-	12	-	2,0	0
	Lechada	MA / 10	-	-	15	-	-	-	-	-
	Sellado	RS / 20	-	-	-	8,0	-	-	-	-
2	Bacheo	-	-	-	-	-	-	1	-	-
	Repavimentación	MABG / 150	3,9	-	10	-	5	-	1,8	0
	Recapado	MAPA / 50	3,5	-	-	-	8	-	1,8	0
	Lechada	MA / 10	-	-	13	-	-	-	-	-
3	Sellado	RS / 20	-	-	-	7,0	-	-	-	-
	Bacheo	-	-	-	-	-	-	1	-	-
	Repavimentación	MABG / 150	3,6	-	8	-	5	-	1,8	0
	Recapado	MAPA / 50	3,2	-	-	-	6	-	2,0	0
	Lechada	MA / 10	-	-	13	-	-	-	-	-
	Sellado	RS / 20	-	-	-	7,0	-	-	-	-
	Bacheo	-	-	-	-	-	-	1	-	-

Donde TSBG es tratamiento superficial simple sobre base granular, RS es riego de sello.

las alternativas base de pavimentos de hormigón, además de los criterios de intervención, y los efectos en el pavimento una vez aplicada la acción respectiva.

La Tabla 4 muestra las acciones y sus características para una de

Tabla 4. Alternativa Base Pavimentos de Hormigón (TMDA <300).

Política	Acción	Características	Intervención	Efectos
Alternativa Base	Reemplazo de Losa		AGT $\geq 60\%$	30 % de Reemplazo
	Cepillado	6 mm	IRI $\geq 4,5$ Ó ES ≥ 9 mm	IRI 2,0 y Fresado de 6 mm
	Sellado de Juntas	Asfalto	Cada 4 años	-
	Rutinaria	-	Cada un año	-

Donde ES es el escalonamiento de las losas en mm.

El resto de las políticas para pavimentos hormigón, son mostradas en la Tabla 5, las cuales varían en las características de cada acción, límites de intervención para cada criterio y en los efectos que se producen en el pavimento después de aplicada la acción respectiva. Las variables de deterioros están mostradas como una sigla, ya que posteriormente se tabularán sus valores para casos de distintos niveles de tránsito y zonas climáticas.

Tabla 5. Políticas Pavimentos de Hormigón.

Política	Acción	Intervención	Efectos
1,2,3	Reemplazo de Losa	AGT $\geq$ LGT	PRL
	Cepillado	IRI $\geq$ LIRI Ó ES $\geq$ LES	IRI= EIRI y FS=EFS
	Reemplazo de Drenes	ARD	
	Sello de Juntas	ISJ	
	Rutinaria	Cada un año	-

Donde LES es el límite de intervención para el escalonamiento, ARD es el año en que se aplica el reemplazo de drenes (acción programada), ISJ es el intervalo cada cuanto se aplica el sello de juntas, PRL es el porcentaje de Reposición de Losas aplicado, EFS es el efecto relacionado con el espesor de fresado aplicado en mm.

En la Tabla 6 se detallan para cada política de pavimento hormigón y dependiendo de si el tramo de camino está en la zona

norte o centro (desde la Región de Arica y Parinacota por el Norte hasta la región de Biobío por el sur) , o de si está en la zona sur o austral (desde la Región de La Araucanía por el norte hasta la Región de Magallanes por el sur), además del nivel de TMDA de cada tramo a evaluar, el tipo de acción de conservación a aplicar y sus características, los valores de los límites de intervención a aplicar en las fórmulas de la Tabla 2 y los valores de algunas variables posterior al momento en que cada intervención tiene efecto.

Tabla 6. Parámetros en Políticas Pavimentos de Hormigón.

Política	Zona TMDA	Norte y Centro																	
		Tipo	TMDA ≤ 300 veh/día						Efectos	TMDA > 300 veh/día y TMDA ≤ 1500 veh/día						Efectos			
			Límites Intervención/Intervalo							Límites Intervención/Intervalo									
			LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL		LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL		EIRI	EFS	
Acción																			
Base	Reemplazo de Losa	-	-	60	-	-	-	30	-	-	-	-	55	-	-	-	30	-	-
	Cepillado	-	6	-	9	-	-	-	2	6	-	5.5	-	8	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-
	Reemplazo de Losa	-	-	55	-	-	-	70	-	-	-	-	50	-	-	-	70	-	-
1	Cepillado	-	5.5	-	8	-	-	-	2	6	-	5	-	7	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-
	Sello de Juntas	SIL	-	-	-	-	8	-	-	-	SIL	-	-	-	-	7	-	-	-
	Reemplazo de Losa	-	-	45	-	-	-	30	-	-	-	-	40	-	-	-	30	-	-
2	Cepillado	-	5.2	-	7	-	-	-	2	6	-	4.8	-	6	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	8	-	-	-	ASF	-	-	-	-	7	-	-	-
	Reemplazo de Losa	-	-	35	-	-	-	10	-	-	-	-	35	-	-	-	10	-	-
3	Cepillado	-	4.8	-	6	-	-	-	2	6	-	4.3	-	6	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	9	-	-	-	ASF	-	-	-	-	8	-	-	-

Tabla 6. Parámetros en Políticas Pavimentos de Hormigón (Continuación).

Tabla 6. Parámetros en Políticas Pavimentos de Hombrón (continuación).																				
Política	Zona TMDA	Acción	Tipo	Norte y Centro																
				TMDA ≤ 300 veh/día						TMDA > 300 veh/día y TMDA ≤ 1500 veh/día										
	Límites	Intervención/Intervalo					Efectos			Límites	Intervención/Intervalo					Efectos				
			LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL	EIRI	EFS		LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL	EIRI	EFS	
Base	Reemplazo de Losa	-	-	50	-	-	-	30	-	-	-	-	48	-	-	-	30	-	-	
	Cepillado	-	5.2	-	7	-	-	-	2	6	-	5	-	6	-	-	-	2	6	
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	
	Reemplazo de Losa	-	-	45	-	-	-	70	-	-	-	-	40	-	-	-	70	-	-	
1	Cepillado	-	4.8	-	6	-	-	-	2	6	-	4.5	-	5	-	-	-	2	6	
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	
	Sello de Juntas	SIL	-	-	-	-	6	-	-	-	SIL	-	-	-	-	5	-	-	-	
	Reemplazo de Losa	-	-	35	-	-	-	30	-	-	-	-	30	-	-	-	30	-	-	
2	Cepillado	-	4.5	-	5	-	-	-	2	6	-	4.3	-	5	-	-	-	2	6	
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	6	-	-	-	ASF	-	-	-	-	5	-	-	-	
	Reemplazo de Losa	-	-	30	-	-	-	10	-	-	-	-	25	-	-	-	10	-	-	
3	Cepillado	-	4	-	5	-	-	-	2	6	-	3.8	-	5	-	-	-	2	6	
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	7	-	-	-	ASF	-	-	-	-	6	-	-	-	
	Reemplazo de Losa	-	-	35	-	-	-	30	-	-	-	-	30	-	-	-	30	-	-	

Tabla 6. Parámetros en Políticas Pavimentos de Hormigón (Continuación).

Política	Zona	Norte y Centro								
	TMDA	TMDA > 15000 veh/día								
	Acción	Tipo	Límites Intervención/Intervalo					Efectos		
			LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL	EIRI	EFS
Base	Reemplazo de Losa	-	-	45	-	-	-	30	-	-
	Cepillado	-	4.5	-	6	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	4	-	-	-	-
1	Reemplazo de Losa	-	-	35	-	-	-	70	-	-
	Cepillado	-	4.2	-	5	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	6	-	-	-	-
	Sello de Juntas	SIL	-	-	-	-	4	-	-	-
2	Reemplazo de Losa	-	-	25	-	-	-	30	-	-
	Cepillado	-	4	-	5	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	6	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	4	-	-	-
3	Reemplazo de Losa	-	-	20	-	-	-	10	-	-
	Cepillado	-	3.6	-	5	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	8	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	5	-	-	-

Tabla 6. Parámetros en Políticas Pavimentos de Hormigón (Continuación).

Política	Zona	Sur y Austral																		
	TMDA	TMDA ≤ 300 veh/día									TMDA > 300 veh/día y TMDA ≤ 1500 veh/día									
	Acción	Tipo	Límites Intervención/Intervalo					Efectos			Tipo	Límites Intervención/Intervalo					Efectos			
			LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL	EIRI	EFS		LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL	EIRI	EFS	
Base	Reemplazo de																			
	Losa	-	-	60	-	-	-	30	-	-	-	-	55	-	-	-	30	-	-	-
	Cepillado	-	6	-	9	-	-	-	2	6	-	5.5	-	8	-	-	-	2	6	6
1	Reemplazo de																			
	Drenes	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-
	Reemplazo de																			
	Losa	-	-	55	-	-	-	70	-	-	-	-	50	-	-	-	70	-	-	-
	Cepillado	-	5.5	-	8	-	-	-	2	6	-	5	-	7	-	-	-	2	6	6
	Reemplazo de																			
2	Drenes	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-
	Sello de Juntas	SIL	-	-	-	-	8	-	-	-	SIL	-	-	-	-	7	-	-	-	-
	Reemplazo de																			
	Losa	-	-	45	-	-	-	30	-	-	-	-	40	-	-	-	30	-	-	-
	Cepillado	-	5.2	-	7	-	-	-	2	6	-	4.8	-	6	-	-	-	2	6	6
	Reemplazo de																			
3	Drenes	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	8	-	-	-	ASF	-	-	-	-	7	-	-	-	-
	Reemplazo de																			
	Losa	-	-	35	-	-	-	10	-	-	-	-	35	-	-	-	10	-	-	-
	Cepillado	-	4.8	-	6	-	-	-	2	6	-	4.3	-	6	-	-	-	2	6	6
	Reemplazo de																			
	Drenes	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	9	-	-	-	ASF	-	-	-	-	8	-	-	-	-

Tabla 6. Parámetros en Políticas Pavimentos de Hormigón (Continuación).

Política	Sur y Austral																		
	Zona	TMDA > 1500 veh/día y TMDA ≤ 6000 veh/día									TMDA > 6000 veh/día y TMDA ≤ 15000 veh/día								
	TMDA	Límites Intervención/Intervalo									Límites Intervención/Intervalo								
	Acción	Tipo	LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL	EIRI	EFS	Tipo	LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL	EIRI	EFS
Base	Reemplazo de Losa	-	-	50	-	-	-	30	-	-	-	-	48	-	-	-	30	-	-
	Cepillado	-	5.2	-	7	-	-	-	2	6	-	5	-	6	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-
	Reemplazo de Losa	-	-	45	-	-	-	70	-	-	-	-	40	-	-	-	70	-	-
	Cepillado	-	4.8	-	6	-	-	-	2	6	-	4.5	-	5	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
	Sello de Juntas	SIL	-	-	-	-	6	-	-	-	SIL	-	-	-	-	5	-	-	-
	Reemplazo de Losa	-	-	35	-	-	-	30	-	-	-	-	30	-	-	-	30	-	-
	Cepillado	-	4.5	-	5	-	-	-	2	6	-	4.3	-	5	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	6	-	-	-	ASF	-	-	-	-	5	-	-	-
	Reemplazo de Losa	-	-	30	-	-	-	10	-	-	-	-	25	-	-	-	10	-	-
1	Cepillado	-	4	-	5	-	-	-	2	6	-	3.8	-	5	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	7	-	-	-	ASF	-	-	-	-	6	-	-	-

Tabla 6. Parámetros en Políticas Pavimentos de Hormigón (Continuación).

Política	Sur y Austral									
	Zona	TMDA > 15000 veh/día								Efectos
	TMDA	Límites Intervención/Intervalo								
	Acción	Tipo	LIRI	LGT	LES	ARD	ISJ	PRL	EIRI	EFS
Base	Reemplazo de Losa	-	-	45	-	-	-	30	-	-
	Cepillado	-	4.5	-	6	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	4	-	-	-	-
	Reemplazo de Losa	-	-	35	-	-	-	70	-	-
1	Cepillado	-	4.2	-	5	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	4	-	-	-	-
	Sello de Juntas	SIL	-	-	-	-	4	-	-	-
	Reemplazo de Losa	-	-	25	-	-	-	30	-	-
2	Cepillado	-	4	-	5	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	4	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	4	-	-	-
	Reemplazo de Losa	-	-	20	-	-	-	10	-	-
3	Cepillado	-	3.6	-	5	-	-	-	2	6
	Reemplazo de Drenes	-	-	-	-	6	-	-	-	-
	Sello de Juntas	ASF	-	-	-	-	5	-	-	-

Luego para realizar las evaluaciones técnico-económicas a nivel de red vial regional con las políticas de conservación descritas

anteriormente, se utiliza el método de análisis de “Estrategia”, donde se utiliza una tasa de descuento social del 6 % y un horizonte de evaluación de 10 años. Con modelos matemáticos dentro de HDM-4 se determina en forma anual, el grado de avance incremental de cada tipo de deterioro que experimentan los caminos. Cuando el nivel de avance de algún tipo de deterioro alcanza el valor umbral determinado dentro de una política analizada, se activa la intervención preestablecida o adicionalmente cuando una acción de conservación ha sido fijada para periodos fijos de tiempo o TMDA, por ejemplo, esta se activa sin importar la condición estructural y/o funcional del camino. Se cuantifican anualmente los costos económicos de implementar estas acciones, los que se descuentan de los ahorros de los costos de los usuarios de los caminos (costos de operación vehicular y tiempos de viaje) para obtener así, los “beneficios sociales”. De allí que los caminos con mayores tasas de TMDA son más factibles de verse beneficiados con políticas de conservación más exigentes o caras frente a caminos de menor volumen de TMDA en los cuales resultará más factible proponer acciones más simples o de umbrales de intervención menos exigentes. Este proceso se hace siempre comparando los valores de dichos beneficios que resultan de restar los valores antes señalados de las políticas de conservación 1, 2, 3, ..., n frente a la política “Alternativa Base”. Se determina el VPN (Valor Presente Neto) de dichos beneficios como la suma de los beneficios anuales netos descontados o actualizados, con la fórmula mostrada en la Ecuación 1.

$$VPN_m = \sum_{i=1}^n \frac{Beneficio_i}{(1+t)^i} \quad (1)$$

Donde m es el contador de políticas, i es el contador de años, n el periodo de análisis y t es la tasa de descuento (6% según el Ministerio de Desarrollo Social y Familia de Chile).

La política óptima será aquella que maximiza el VPN señalado en la Ecuación 1, y para cada tramo homogéneo de camino generará un programa de acciones de conservación según las intervenciones fijadas por el evaluador. Para la cartera quinquenal de proyectos de conservación sólo se consideran los 5 primeros años del programa de trabajos de la política óptima elegida. El archivo que contiene los resultados se denominada “RunData”, en formato “.mdb” la cual contiene los resultados de la evaluación, entre ellos la elección de la alternativa óptima para cada tramo evaluado, las acciones de conservación a aplicar por año, sus costos asociados y el beneficio maximizado resultante de aplicar la alternativa óptima, la cual después de un proceso de optimización da lugar a la “Cartera de Quinquenal de Conservación Periódica”. Sin embargo, al ser el resultado de una evaluación de tramos homogéneos a nivel de pista, los resultados también se generan a este nivel, donde se pudieran obtener resultados para tramos muy cortos de análisis, y que para pistas

adyacentes tengan resultados de acciones distintas o en años distintos. Con el objetivo de generar una “Cartera Quinquenal de Proyectos de Conservación Periódica” optimizada, se desarrolló un módulo en la rutina computacional que maneja este archivo de salida y permite obtener tramos más largos, en general mayores a un kilómetro de longitud, y que entrega la misma actividad de conservación propuesta en todas las pistas de la calzada, en cada tramo.

La metodología contempla varias etapas. Primero, ya establecida por HDM-4, para cada tramo evaluado la alternativa óptima que maximiza el beneficio y sus respectivas acciones de conservación a llevar a cabo, corresponde generar un ordenamiento de dichas acciones para la generación del programa de acciones del Road Network en bruto. Para esto se debe seleccionar aquellas alternativas sobre las cuales se cuantifican unidades de medida y costos mayores a cero. Luego se necesita aplicar un procesamiento de unificación de sectores por calzada, que tiene el propósito de proponer obras de mantenimiento bajo una perspectiva a nivel de gestión, lográndose generar carteras de proyectos factibles de licitar desde el punto de vista constructivo y presupuestario de cada región. De acuerdo a lo anterior, se fueron definiendo diversas fases de reducción de la cartera de proyectos según se indica a continuación:

- a) Homogeneización de Sectores por Componentes Globales: Dicha fase se refiere específicamente a poder unificar tramos que correspondan a una misma ruta y que compartan además los mismos kilómetros de inicio y término de sectores por pistas.
- b) Generación de Sectorización Unificada por Calzada: Dicho criterio de reducción considera los tramos resultantes de cada una de las pistas para luego consolidarla en una sectorización única por calzada. Lo que se busca con este criterio es que exista correspondencia entre los inicios y términos de cada sector a fin de poder proponer obras en el ancho completo de la calzada según un orden jerárquico de cada una de las actuaciones resultantes de las modelaciones y procurando no dejar tramos inferiores a 1000 metros, los cuales para efectos del presente informe están siendo considerados tramos “cortos”.
- c) Reducción de sectores que compartan el mismo tipo de solución: En lo que tiene relación a la correspondencia de actuaciones en una misma calzada, se fueron asignando órdenes de jerarquía de cada actividad de conservación según materialidad y costo. De igual forma, se fueron definiendo años de duración de cada una de dichas actuaciones, tendientes a poder analizar la viabilidad técnica de poder adelantar actuaciones en pistas que presentasen

distinto tipo de actuación y hacia la más cercana al año de modelación. En la Figura 2 se muestra el orden jerárquico

considerado para cada materialidad, junto con la duración en años asociadas cada tipo de solución.



Figura 2. Jerarquización de Actividades de Conservación

En cuanto a los drenes longitudinales, los mismos no forman parte de ninguna jerarquización por cuanto están propuestos a nivel de berma y no de pista, por lo cual en términos de intervenciones se cuantifican y valorizan de manera independiente. En la Figura 3,

se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos con la rutina de reducción y homogenización de sectores, señalando dos casos de tramos que no comparten el mismo tipo de solución entre pistas.

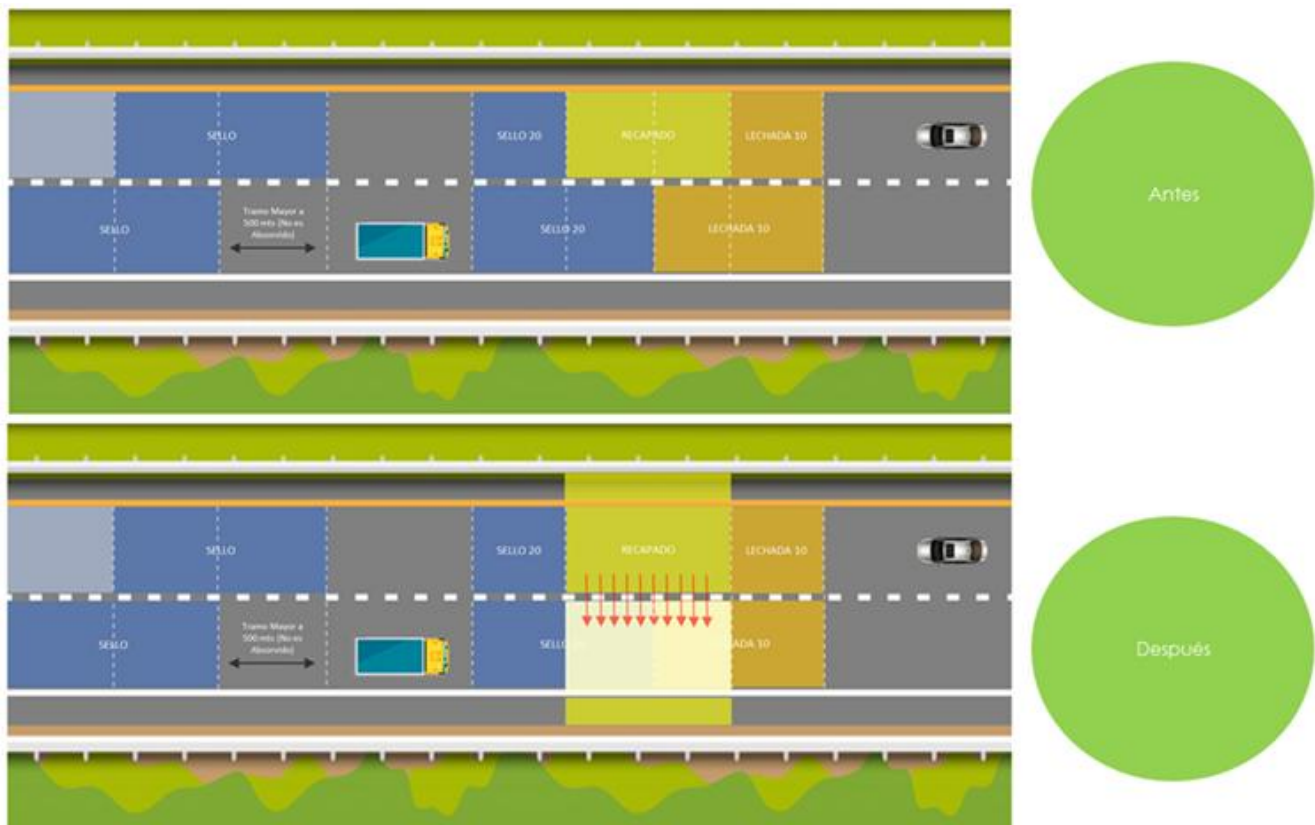


Figura 3. Homogenización de Pistas por Calzadas

3. Análisis de resultados.

Teniendo en consideración el proceso en el cual se lleva a cabo la optimización de los procesos involucrados para generar la Cartera Quinquenal de Proyectos, durante el estudio llevado a cabo en el año 2022 se ha puesto en marcha un plan piloto para probar los avances en la automatización de procesos. En la Tabla 7, se ejemplifica un extracto de la Cartera Quinquenal de Proyectos Optimizada, entregada a la región de Aysén, donde se identifican las “Acciones de conservación” en un periodo horizonte de 5 años. Se destaca que la rutina computacional realiza la diferencia entre las distintas acciones de conservación, pavimentos flexibles

o rígidos, además de que logra involucrar tramos homogéneos y relaciona las políticas de conservación añadidas al sistema.

Tabla 7. Ejemplo de Cartera Quinquenal de Proyectos Optimizada

CODIGO	KINI	KFIN	CARPETA	2023 PISTA 1 y 2	2024 PISTA 1 y 2	2025 PISTA 1 y 2	2026 PISTA 1 y 2	2027 PISTA 1 y 2
71A00007	646.320	653.500	Asfalto	Lechada	----	----	----	----
71A00007	653.500	654.730	Asfalto	----	----	----	----	Sello Asfáltico
71A00007	654.730	655.930	Asfalto	Lechada	----	----	----	----
71A00007	656.660	664.570	Asfalto	Lechada	----	----	----	----
71A00007	664.570	688.000	Hormigón	----	----	----	Sello de Juntas	----
71A00007	688.000	692.130	Hormigón	----	----	----	Sello de Juntas	----
71A00007	692.130	697.840	Hormigón	----	----	----	Sello de Juntas	----
71A00240	0.000	0.690	Hormigón	Cepillado	----	----	----	----
71A00240	2.210	2.260	Asfalto	Recapado	----	----	----	----
71A00240	2.260	2.350	Hormigón	Sello de Juntas	----	----	----	----
71A00240	2.350	2.640	Asfalto	Sello Asfáltico	----	----	----	----
71A00240	2.680	4.350	Hormigón	Sello de Juntas	----	----	----	----
71A00240	4.350	7.680	Hormigón	----	----	----	Sello de Juntas	----
71A00240	7.680	8.480	Asfalto	Sello Asfáltico	----	----	----	----
71A00240	8.480	8.490	Hormigón	----	----	----	Sello de Juntas	----
71A00240	8.490	8.550	Asfalto	Recapado	----	----	----	----
71A00240	8.550	8.560	Hormigón	Cepillado	----	----	----	----

De la Tabla 7 anterior, se puede visualizar que la configuración de las acciones de conservación en el quinquenio 2023-2027 se encuentran distribuidas en tramos lo suficientemente largos como para poder ser licitados individualmente y no existen segundas acciones de conservación dentro de un mismo quinquenio. Esto último hace que la conservación de la vía tenga el suficiente espacio de tiempo entre intervenciones para no ocasionar cortes de tránsito que reducen el nivel de servicio y que

son molestas para los usuarios. Por otra parte, un segundo análisis debe hacerse por parte del ente técnico regional en el sentido de unificar sectores que, aun no siendo contiguos, comparte acciones de conservación de igual jerarquía y que eventualmente convendría intervenirlas en todo el tramo en cuestión. La optimización de la Tabla 7 es una primera aproximación a una propuesta más realista, desde el punto de vista constructivo, que debe trabajarse camino a camino para buscar mejoras en la

eficacia de la conservación vial, ya sea por simple inspección visual o por el desarrollo de algoritmos que identifiquen las particularidades de la respuesta y pueda lograr una propuesta más avanzada, según criterios a definir.

4. Conclusiones.

En este artículo se dan a conocer los procedimientos considerados para la generación de una Cartera Quinquenal de Proyectos de Conservación Periódica utilizando el software HDM-4, que pretende ser una guía para programar las acciones de Conservación en corto plazo con una sólida base técnica y económica.

La Rutina Computacional desarrollada permite Tramificar de forma sistemática y considerando varias bases de datos de caminos, por lo que se obtiene de forma rápida las redes de carreteras a importar en el software HDM-4, utilizando criterios estadísticos para generar tramos homogéneos para el posterior análisis técnico-económico.

El set de Políticas de Conservación propuestas para utilizar en las evaluaciones técnico-económicas, permite su utilización en forma criteriosa, dependiendo del tipo de pavimento, nivel de tránsito y zona climática, siendo sólo 4 políticas por tramo, lo que permite realizar procesamientos más rápidos en el software HDM-4, considerando que en los procesos anteriores se evaluaban más de 20 políticas distintas para cada tramo lo que la hacía lenta debido a la gran cantidad de datos que trabajaba.

La evaluación Técnica-Económica con HDM-4 permite maximizar el beneficio social de la conservación vial, asegurando que los trabajos que se proponen son el óptimo económicamente y que lo que invierte la agencia vial en la conservación contempla el máximo ahorro posible para los usuarios de las vías, haciendo un buen uso de los recursos públicos y entregando un juicio objetivo sobre las acciones de conservación que deben ser aplicadas en tiempo y forma.

El segundo módulo de la Rutina Computacional desarrollado, que utiliza la salida en bruto del análisis con HDM-4, realiza una homogenización de tramos a nivel de calzada, en longitudes mayores a 1000 metros, lo que permite obtener tramos de longitud suficiente para generar Proyectos de Conservación que sean licitables o para ser atendidos por la Administración Directa de los distintos Departamentos de Conservación Regional.

Este trabajo refuerza el hecho que el utilizar herramientas de evaluación basadas en criterios técnicos y económicos objetivos, fortalece la institucionalidad en materia de avanzar en una gestión de activos viales moderna e integral, enmarcada en una visión estratégica del conjunto de activos donde los pavimentos

son para el Estado una componente importante de su patrimonio económico que es preciso aumentar, preservar y renovar en forma permanente.

Respecto al otro producto del proceso de Auscultación Automatizada de pavimentos que genera el Departamento de Gestión Vial, llamado PAM (Proposiciones de Acciones de Conservación), la Cartera Quinquenal desarrollada con HDM-4 y expuesta en este trabajo, tiene como ventaja que propone un programa de intervenciones en un horizonte de tiempo y maximizando los beneficios sociales, lo que permite realizar una planificación a largo plazo, en cambio el PAM es una proposición para corregir en un corto tiempo los deterioros presentes en la vía, sin considerar las variables económicas o de beneficio social, sino que atiende solo a la necesidad específica de conservación actual pero sin análisis a nivel de red. Ambas propuestas son complementarias y obedecen a criterios técnicos, la autoridad encargada de la conservación vial debe ponderar su nivel de importancia y atendidas las restricciones presupuestarias podrá hacer uso de una u otra indistintamente.

Es preciso avanzar en incorporar estos análisis en otras tipologías de caminos, como son los caminos básicos y los caminos no pavimentados, para encontrar indicadores económicos que orienten la conservación vial hacia herramientas de gestión vial que se basen en el estado estructural y funcional de esas vías, como también gestionar su auscultación de parámetros en base a metodologías ya establecidas.

5. Agradecimientos.

Los autores agradecen a la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas y a APSA Ltda. por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

6. Referencias.

- Bull A. (2003). Mejoramiento de la Gestión Vial con Aportes Específicos del Sector Privado: CEPAL
- Dirección Nacional de Vialidad (2022). Estudio Básico Diagnóstico Auscultación Automatizada de Pavimentos.
- Dirección Nacional de Vialidad (2019). Estudio Básico Diagnóstico Auscultación Automatizada de Pavimentos.
- Dirección Nacional de Vialidad (2022). Estudio Básico Actualización y Complemento Insumos Aplicación HDM-4 en Evaluación y Gestión Vial.
- Dirección Nacional de Vialidad (2015). Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados.
- Solminihaç H., Echaveguren T., Chamorro A. (2018). Gestión de Infraestructura Vial. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.