



MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL
SUBSECRETARÍA DE EVALUACIÓN SOCIAL

“CONFIGURACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DEL MODELO HDM-4 A LAS CONDICIONES DE CHILE”

DOCUMENTO DE TRABAJO

Noviembre, 2017

TABLA DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Marco y contexto de la Consultoría	1
1.2	Objetivos del Estudio	2
2	Módulo de Configuración	3
2.1	Modelos de Tránsito	3
2.1.1	Ajuste de los Modelos de Tránsito	3
2.1.2	Calibración de un Modelo de Tránsito según Proyecto MOP	8
2.2	Relaciones de Velocidad y Capacidad	10
2.2.1	Modelos de Capacidad/Velocidad Manual de Carreteras	11
2.2.2	Calibración de los Modelos de Capacidad/Velocidad para Chile	13
2.3	Tipos de Accidentes	15
2.3.1	Tipos de Accidentes en Chile	16
2.4	Zonas Climáticas	18
2.4.1	Clasificación Climatológica Sugerida para Chile	19
2.5	Datos y Tablas Agregadas	22
2.5.1	Datos y Tablas Agregadas preasignadas para Chile	22
2.5.1.1	Volumen de Tránsito	22
2.5.1.2	Calidad de Compactación	23
2.5.1.3	Deterioros Superficiales	24
2.5.1.4	Capas Asfálticas	27
2.5.1.5	Resistencia del Pavimento	28
2.5.1.6	Irregularidad	29
2.5.1.7	Textura Superficial	31
2.5.1.8	Tipo de Geometría	31
2.6	Series de Calibración	33
2.6.1	Series de Calibración en Chile	33
3	Flota Vehicular y Estándares de Trabajo	42
3.1	Flota Vehicular	42
3.1.1	Resultados de la Definición de Flota Vehicular de HDM-4 aplicable a Chile	42
3.1.2	Metodología Aplicada para Determinar la Flota Vehicular Representativa	48
3.1.3	Flota Vehicular sugerida por el ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4”	52
3.1.4	Definición de la Flota Vehicular a Utilizar en los Estudios de Pre-Inversión en MDS	54
3.1.5	Calibración del Modelo de Equilibrio de Fuerzas de la Flota Vehicular	55
3.1.6	Calibración del Modelo de Velocidad de Estado Estacionario para la Flota Vehicular	59
3.1.7	Calibración de Modelos de Consumo de la Flota Vehicular	63
3.1.7.1	Modelo de Consumo de Combustible	63
3.1.7.2	Modelo de Consumo de Lubricantes	65
3.1.7.3	Modelo de Consumo de Neumáticos	66
3.1.7.4	Modelo de Consumo de Repuestos	67
3.1.7.5	Modelo de Horas de Mano de Obra	69
3.1.7.6	Modelo de Costo de Capital	70
3.2	Estándares de Trabajo	72

3.2.1	Tipos de Estándares Según la Superficie de Rodadura	72
3.2.1.1	Pavimentos Asfálticos	73
3.2.1.2	Pavimentos de Hormigón	75
3.2.1.3	Caminos Básicos con Capa de Protección Asfáltica (Tratamiento Superficial)	76
3.2.1.4	Caminos No Pavimentados	77
3.2.2	Estándares de Trabajo Sugeridos	78
3.2.2.1	Pavimentos Asfálticos	79
3.2.2.2	Pavimentos de Hormigón	86
3.2.2.3	Caminos No Pavimentados	90
3.2.3	Estándares de Mejoras en Caminos Pavimentados.....	94
3.2.3.1	Valor Residual	97
3.2.4	Tramos de Construcción Nueva	99
3.2.4.1	Valor Residual	99
3.2.5	Precios de Conservación	100
4	Implementación de la Configuración y Parametrización del HDM-4 en el MDS.....	104
4.1	Red de Carreteras	104
4.2	Herramientas de Análisis	105
4.2.1	Análisis de Proyecto.....	105
4.2.2	Análisis de Estrategia	105
4.2.3	Análisis de Programa	106
5	Bibliografía.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Modelo de Tránsito Proyecto MOP en HDM-4 Fuente: Elaboración Propia.....	9
Figura 2-2 Ejemplo de Curva Capacidad/Velocidad en HDM-4.....	11
Figura 2-3 Cartografía interactiva de los climas de Chile Fuente: Universidad Católica	20
Figura 2-4 Asimilación de las Características del Camino con valor de Irregularidad Fuente: Gestión de Caminos No Pavimentados (Salgado).....	30
Figura 3-1 Zona de muestreo en caminos básicos Fuente: Política de Conservación Vial (Dirección de Vialidad, 2012).....	76
Figura 3-2 Efecto del Estándar de Conservación en la Regularidad Superficial Fuente: Visión General de HDM-4 v.1 (Kerali, 2001)	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1 Comparación de los Modelos de Tránsito Interurbano	6
Gráfico 2-2 Comparación de los Modelos de Tránsito Estacional	6
Gráfico 2-3 Modelo de Tránsito Constante.....	7
Gráfico 2-4 Modelo de Tránsito Urbano en HDM-4 Fuente: Elaboración Propia	8
Gráfico 2-5 Patrón de intensidad de flujo para vías de 2 o más pistas por sentido considerando Enero – Junio– Octubre	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Valores de Volumen Horario según tipo de tránsito	4
Tabla 2-2 Modelos de Tránsito en HDM-4 para Chile.....	5
Tabla 2-3 Modelo de Tránsito de Vías Autopistas Urbanas.....	7
Tabla 2-4 Tabulación de patrón de intensidad de flujo para vías de 2 o más pistas por sentido ..	9
Tabla 2-5 Capacidad Última de las carreteras en Chile.....	11
Tabla 2-6 Q0, Qnom y Sult de los Caminos en Chile.....	11
Tabla 2-7 Escenario de Carreteras con Alta Saturación y Velocidad Última Baja	12
Tabla 2-8 Curva Velocidad/Capacidad de Autorrutas	12
Tabla 2-9 Curva Velocidad/Capacidad en Autopistas de 3 Pistas por Sentido.....	13
Tabla 2-10 Parámetros del Modelo Velocidad-Capacidad para Caminos Bidireccionales Estándares de Chile	13
Tabla 2-11 Parámetros del modelo Velocidad-Flujo de HDM-4 para Caminos Multipista en Chile	14
Tabla 2-12 Tasas medias Anuales de Accidentes con Nivel "Normal" de Ocurrencias.....	16

Tabla 2-13 Tasas medias Anuales de Accidentes al Considerar Contramedidas que Mejoran la Seguridad Vial	16
Tabla 2-14 Tasa de lesionados en accidentes, caso interurbano (acc/100 millones veh-km).....	16
Tabla 2-15 Tasa de lesionados en accidentes, caso urbano (acc/100 millones veh-km).....	17
Tabla 2-16 Clasificación de Humedad en HDM-4	18
Tabla 2-17 Clasificación de Temperatura en HDM-4	18
Tabla 2-18 Clasificación por Humedad para Chile	21
Tabla 2-19 Clasificación por Temperatura para Chile.....	21
Tabla 2-20 Tabla Agregada TMDA Chile	23
Tabla 2-21 Calidad de Compactación de las Mezclas Asfálticas	23
Tabla 2-22 Descripción del Deterioro Superficial Pavimento Asfáltico.....	26
Tabla 2-23 Descripción del Deterioro Superficial Pavimento de Hormigón.....	27
Tabla 2-24 Espesores de Capas de un Pavimento Asfáltico	28
Tabla 2-25 Adecuación Estructural de los Pavimentos Asfálticos	28
Tabla 2-26 Adecuación Estructural de los Pavimentos de Hormigón.....	28
Tabla 2-27 Clasificación de Estado de la Carpeta Granular según Espesor Remanente	29
Tabla 2-28 Irregularidad Característica Caminos Pavimentados	29
Tabla 2-29 Irregularidad Característica Caminos No Pavimentados.....	30
Tabla 2-30 Categorización de Textura Superficial	31
Tabla 2-31 Descripción Geométrica de las vías en Chile	32
Tabla 2-32 Factores de Calibración para Grietas y Desprendimiento de Áridos	34
Tabla 2-33 Factores de Calibración para el Ahuellamiento	35
Tabla 2-34 Factores de Calibración para el IRI.....	37
Tabla 2-35 Factores de Calibración para Pavimentos de Hormigón Tradicional	39
Tabla 2-36 Factores de Calibración para Pavimento de Hormigón de Losas Cortas	40
Tabla 3-1 Fuentes de Información	43
Tabla 3-2 Segmentos de Mercado de Venta de Vehículos.....	45
Tabla 3-3 Caracterización General de la Información Contendida en la Base de Batos	48
Tabla 3-4 Estadística Descriptiva de las Clases y Tipo de Vehículos Según Cilindrada Nominal	49
Tabla 3-5 Homologación de Tipos Vehiculares de HDM-4 y del Estudio del MOP.....	49
Tabla 3-6 Resumen de Asignación de Marca-Modelo a Cada Grupo de Vehículos.....	50
Tabla 3-7 Características Asociadas a Grupos de Vehículos de la Flota Vehicular	51
Tabla 3-8 Características Aerodinámicas de los Vehículos Típicos Asociados a la Flota	51
Tabla 3-9 Flota Vehicular Propuesta en Relación a la Flota Disponible en HDM-4.....	52

Tabla 3-10 Comparación de Clases de Vehículos de Flota Vehicular Propuesta en Relación a la Flota Definida en Estudio MOP (2006) y Disponible en HDM-4	53
Tabla 3-11 Flota Vehicular de Perfil de HDM-4.....	54
Tabla 3-12 Descripción de Parámetros de Flota Requeridos Para Modelo de Fuerzas Resistentes.....	56
Tabla 3-13 Valores Representativos de la Flota para el Modelo de Fuerzas.....	58
Tabla 3-14 Propiedades Físicas de un Tramo Homogéneo que Determinan las Velocidades Limitantes y de Estado Estable.....	59
Tabla 3-15 Parámetros por Defecto del Modelo de Velocidad en Estado Estable de HDM-4	61
Tabla 3-16 Parámetros Calibrados del Modelo de Velocidad en Estado Estable de HDM-4	62
Tabla 3-17 Requerimientos de Variables Para el Modelo de Consumo de Combustible	63
Tabla 3-18 Parámetros Propuestos para el Modelo de Consumo de Combustible	64
Tabla 3-19 Requerimientos de Variables Para el Modelo de Consumo de Lubricantes.....	65
Tabla 3-20 Parámetros Propuestos Para el Modelo de Consumo de Lubricantes	65
Tabla 3-21 Requerimientos de Variables Para el Modelo de Consumo de Neumáticos	66
Tabla 3-22 Parámetros Propuestos para el Modelo de Consumo de Neumáticos	66
Tabla 3-23 Variables Modelo de Consumo de Repuestos.....	67
Tabla 3-24 Costos de Mantenimiento de la Flota Vehicular Característica.....	67
Tabla 3-25 Valores del Parámetro CKM.....	68
Tabla 3-26 Parámetros Calibrados del Modelo de Consumo de Repuestos	69
Tabla 3-27 Requerimiento de Variables para el Modelo de Horas de Mano de Obra	69
Tabla 3-28 Parámetros Calibrados del Modelo de Consumo de Horas de Mano de Obra.....	70
Tabla 3-29 Variables Requeridas Para el Modelo de Costo de Capital	70
Tabla 3-30 Parámetros Calibrados del Modelo de Consumo de Horas de Mano de Obra.....	71
Tabla 3-31 Trabajos de Conservación en Pavimentos Asfálticos.....	73
Tabla 3-32 Vocabulario de Homologación de Conservaciones en Pavimentos Asfálticos	74
Tabla 3-33 Trabajos de Conservación en Pavimentos de Hormigón	75
Tabla 3-34 Vocabulario de Homologación de Conservaciones en Pavimentos Rígidos	76
Tabla 3-35 Vocabulario de Homologación de Conservaciones en Caminos No Pavimentados ..	78
Tabla 3-36 Descripción de las Actividades en Pavimentos Asfálticos.....	79
Tabla 3-37 Estándares de Trabajos Sugeridos para los Pavimentos de Asfalto	81
Tabla 3-38 Estándares de Trabajos Sugeridos para los Pavimentos de Hormigón.....	87
Tabla 3-39 Estándares de Trabajos Sugeridos para Caminos No Pavimentados	91
Tabla 3-40 Estándares de Mejoras para Vías Pavimentadas.....	95
Tabla 3-41 Valores Residuales de los Mejoramientos	98

Tabla 3-42 Valores Residuales de los Tramos Nuevos	99
Tabla 3-43 Precios Unitarios de Políticas de Conservación	101
Tabla 3-44 Precios de Conservaciones en Pavimentos Asfálticos.....	102
Tabla 3-45 Precios de Conservaciones en Pavimentos Hormigón Tradicional o Losa Corta....	102
Tabla 3-46 Precios de Conservaciones en Camino No Pavimentados	103

1 INTRODUCCIÓN

Dentro del contexto definido por el quehacer de la División de Evaluación Social de Inversiones, en el marco de actividad del Sistema Nacional de Inversiones (SNI), se propone implementar una metodología de trabajo para el desarrollo de la consultoría especializada denominada “Configuración y Parametrización del Modelo HDM-4 a las condiciones de Chile”. Mencionada metodología ha sido estructurada de forma tal que responda los objetivos planteados por el Ministerio de Desarrollo Social (MDS), con el fin de mejorar y actualizar las normas y procedimientos de formulación y evaluación de iniciativas de inversión para transporte carretero mediante la inclusión del HDM-4 como la herramienta de evaluación.

1.1 Marco y contexto de la Consultoría

El Ministerio de Desarrollo Social en el ánimo de modernizar los procedimientos, metodologías y herramientas de evaluación de iniciativas de inversión para proyectos de infraestructura vial ha contratado a APSA Limitada para que adecue a Chile la herramienta de gestión HDM-4, mediante la configuración y parametrización de la misma, procurando con ello una contribución concreta a la estandarización y mejoramiento de los protocolos de evaluación tanto en el Ministerio de Desarrollo Social como eventualmente en el Ministerio de Obras Públicas en lo referente a infraestructura vial.

Se sabe que el HDM-4 es una herramienta específicamente diseñada y orientada precisamente a poder desarrollar análisis y evaluaciones como las que se requieren cotidianamente para una mejor planificación y toma de decisiones sobre proyectos de mantenimiento, rehabilitación y/o mejoramiento de la infraestructura vial interurbana. En este sentido y como propósito de la consultoría contratada a APSA Limitada tiene por objeto el poder implementar de la mejor manera el HDM-4 a las condiciones particulares de Chile, por un lado modernizando las metodologías y plataformas utilizadas y por otro ampliando el horizonte de consideraciones que sirvan en la búsqueda de argumentos sólidos y objetivos que soporten la toma de decisiones y rentabilidad social y sustentable de las iniciativas de pre-inversión.

Es muy importante mencionar que en la actualidad la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas viene desarrollando desde mediados de este año 2016 un proyecto denominado **Estudio Básico Actualización Parámetros Modelos HDM-4**, el cual tiene principalmente por objeto calibrar los parámetros de los modelos de deterioro y costos de operación vehicular del modelo HDM-4 para su uso a nivel local, teniendo presente las características propias de los pavimentos y el parque automotor existentes en Chile.

En este sentido, la coordinación entre el desarrollo y cumplimiento de hitos del presente proyecto con el que se encuentra en pleno desarrollo en Vialidad es relevante por cuanto algunos de los insumos que resultaran de dicho proyecto resultaran claves para un mejor logro de los objetivos planteados por el Ministerio de Desarrollo Social para el estudio **Configuración y Parametrización Del Modelo HDM-4 a las Condiciones de Chile**.

Vale la pena destacar que dado que el **Estudio Básico Actualización Parámetros Modelos HDM-4** lo desarrolla el Consorcio APSA-DDQ y que además hay coincidencia en la participación del Jefe de Proyecto y uno de los especialistas del equipo que participa del estudio **Configuración y Parametrización Del Modelo HDM-4 a las Condiciones de Chile**, este hecho facilitó la conciliación de ambos proyectos.

1.2 Objetivos del Estudio

El objetivo principal del estudio es configurar y parametrizar el HDM-4 a las condiciones de Chile, para la evaluación social de proyectos en materias de transporte interurbano, en el contexto del Sistema Nacional de Inversiones.

Lo anterior implica la adecuada definición de los parámetros y criterios con los cuales se establecerá el contenido base de los módulos CONFIGURACION, FLOTA VEHICULAR y ESTANDARES DE TRABAJO del HDM-4 para el caso específico de Chile para el nivel de aplicación que se requieren dentro del marco de evaluaciones de proyectos de pre-inversión.

A partir de este propósito se plantean desafíos puntuales que en su conjunto contribuyen al cumplimiento del objetivo principal, pero a su vez responden a necesidades que dada la posibilidad que entrega el desarrollo de un proyecto completamente concordante con la solución de dichas necesidades, el proyecto procura resolver y cumplir lo concerniente a los objetivos específicos que definió el mandante.

El primer objetivo, guarda relación con la definición de los parámetros de calibración adecuados para la realidad de Chile. No obstante, este objetivo en sí mismo no consiste en la obtención y derivación de dichos parámetros de calibración, los cuales en la actualidad están siendo actualizados por la Dirección de Vialidad del MOP, sino que dentro del contexto del tipo y características del proyecto de pre-inversión se entreguen pautas para su correcta adopción según sea el caso. Por lo tanto, el objetivo específico se dará por cumplido cuando se tengan definidos los criterios de utilización de dichos parámetros y factores de ajuste y calibración según las circunstancias y contexto de la evaluación económica y social que se realice.

Es relevante enfatizar que tan importantes como es la obtención de los factores de calibración para lograr una adecuada representación de los modelos si es que merecen ajuste, lo es también el identificar los valores más adecuados para algunos parámetros y variables del HDM-4, que en especial por su alta sensibilidad (elasticidad) su definición resulta definitiva en la intención de obtener adecuados resultados de modelación.

El segundo objetivo, tal como se plantean en las bases, consiste en establecer estándares que estén acordes tanto al nivel de exigencia que por solicitud al tránsito eventualmente soportaran las vías interurbanas a evaluar, a su vez la misma concordancia en la definición de los estándares debe darse conforme el tipo de proyecto (según el Sistema Nacional de Inversiones - SNI). En este sentido, lo que se pretende es generar un banco de estándares de trabajo dentro del HDM-4 con el ánimo de cubrir los casos que típicamente deben ser evaluados dentro de este contexto.

2 MÓDULO DE CONFIGURACIÓN

Las aplicaciones de HDM-4 han sido desarrolladas para hacer uso de diversos datos y la calidad que estos representen. En el módulo de configuración de HDM-4, el software, proporciona la opción de personalizar la operación de este y reflejar la normativa vigente o habitual del entorno de nuestro país.

Los valores representativos que se usarán por defecto, aparte de los coeficientes de calibración, se ingresan con el fin de minimizar la cantidad de datos que se deberán cambiar en los otros gestores de datos. A pesar que aquellos valores se asignarán por defecto, es posible que cada usuario del programa pueda definir sus propios valores en etapas posteriores de la evaluación.

Dentro de los datos que por defecto tendrá el **módulo de configuración** para Chile, se encuentran:

1. Modelos de Tránsito
2. Tipos de velocidad/capacidad
3. Tipos de Accidentes
4. Zonas Climáticas
5. Datos y Tablas Agregadas de tramo
6. Series de Calibración de deterioros

Para el ingreso de los datos de cada uno de los ítems que representa el módulo de configuración, se consultó a las normativas imperantes en el país, literatura especializada en gestión vial, estudios de deterioros de pavimentos, estudios de análisis climáticos, etc. Con el fin de reflejar cabalmente la realidad de la red vial de Chile.

2.1 Modelos de Tránsito

Este dato es necesario para describir los patrones del flujo vehicular de cada categoría de la carretera. Idealmente, se tendería a pensar que el flujo vehicular que circula por determinada carretera es constante, sin embargo, se pueden encontrar variaciones en la congestión vehicular durante un mismo día, días de la semana o incluso meses del año. A manera de ejemplo, rutas que funcionan como acercamientos a fuentes laborales, tienen momentos peak de congestión vehicular a ciertas horas del día y a la vez, hay poco flujo vehicular durante los fines de semana.

HDM-4, en la sección de Modelos de tránsito, cuantifica de manera discreta los diferentes niveles de congestión del tráfico. Para definir la distribución de flujos horarios durante los 8760 horas que tiene un año, el TMDA debe ser convertido a flujo por hora. El análisis de congestión se realiza, a través de un número determinado de niveles de flujo horario, cuyo resultado combinado representará la totalidad del año. Lo usual es que los altos flujos representen períodos de duración cortos.

2.1.1 Ajuste de los Modelos de Tránsito

En lo que respecta a nuestro país, según el Manual de Carreteras, Vol.3, el comportamiento del flujo vehicular, se encuentra entre dos categorías: Caminos de tránsito mixto (vías interurbanas) y caminos con variaciones estacionales (MOP, 2016). En la Tabla 2-1, se presentan los valores recomendados de Volumen Horario (HVp) a utilizar para ambas categorías, de acuerdo a la hora a seleccionar.

Tabla 2-1 Valores de Volumen Horario según tipo de tránsito

Categoría del flujo vehicular	HVp	
	Hora 30	Hora 100
Tránsito Mixto (Interurbano)	0,12	0,10
Tránsito Estacional	0,18	0,15

Fuente: Manual de Carreteras, Vol.3 (MOP, 2016)

Un tránsito estacional, corresponde a aquellas variaciones del tránsito que tengan una componente estacional marcada, causada principalmente por el componente turístico. Por otra parte, un tránsito mixto se encuentra asociado a carreteras con variaciones estacionales moderadas o que no presentan una componente especializada preponderante.

En lo que refiere al HVp, este se define como el Volumen Horario. Se puede calcular como la razón entre el Tráfico horario y el TMDA de la carretera. Por ejemplo, si el HVp de un tránsito mixto a la hora 30 es de 0,12 y el TMDA de una carretera es de 6000, se puede decir que en la hora 30 circulan 720 veh/hr.

Cabe señalar que el valor de HVp de la hora 30 es mayor que el de la hora 100, por motivos que el HVp se obtiene a partir de una ordenación decreciente de los mayores volúmenes registrados a lo largo de un todo un año. Por otra parte, mientras no se produzcan cambios importantes en las actividades de la ruta, la relación entre HVp y el TMDA se mantendrá constante en el tiempo.

Tomando como puntos aquellos valores de HVp entregados por el Manual de Carreteras (hora 30 y 100), se realizó un ajuste de curva logarítmico o de función inversa con respecto a las horas acumuladas de todo el año, obteniéndose una función continua. Debido a que el HDM-4 utiliza el modelo, pero discretizado en un número determinado de períodos de tiempo, se optó por utilizar los períodos que trae por defecto el programa (5 en total) y solamente dividiendo el primer período en dos, ya que la hora 30 y la hora 100 estarían incluidas en el período 1 que trae el programa por defecto (87,6 horas acumuladas).

La selección de los períodos, depende exclusivamente de cuan riguroso se desea describir discretamente el comportamiento del tránsito. Por ende, se determinó que modificando la menor cantidad posible de períodos y valores de horas que contengan estos, haría una descripción correcta del comportamiento del tráfico.

Los modelos de tránsito obtenidos son mostrados en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2 Modelos de Tránsito en HDM-4 para Chile

Período	Hrs por año	HVp Tránsito Mixto (Interurbano)	HVp Tránsito Estacional
Período 1	30	0.120	0.180
Período 2	70	0.100	0.150
Período 3	338	0.076	0.110
Período 4	613.2	0.063	0.085
Período 5	2978.4	0.045	0.047
Período 6	4730.4	0.034	0.026

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 2-2, se observa que para un comportamiento estacional del tránsito, el flujo de tránsito que circula por la respectiva vía, cuando el período de tiempo es pequeño, es un 50% mayor a la que circula por una vía cuyo comportamiento del tránsito es mixto. La diferencia se debe a que el comportamiento estacional del tránsito ocurren en eventualidades que suceden durante ciertos períodos del año, como por ejemplo temporada estival, y durante el resto del año la vía tiene un comportamiento más parecido a la de velocidad libre. Por otro parte, el tránsito mixto también tiene períodos de alto flujo vehicular, sin embargo estos períodos de alto flujo son muchos más constantes en el tiempo.

Como se ha indicado anteriormente, HDM-4, trae sus modelos de tránsito por defecto. Es por ello, en el Gráfico 2-1 y Gráfico 2-2, se hace un comparativo entre el comportamiento del tránsito que trae por defecto HDM4 y los propuestos para Chile.

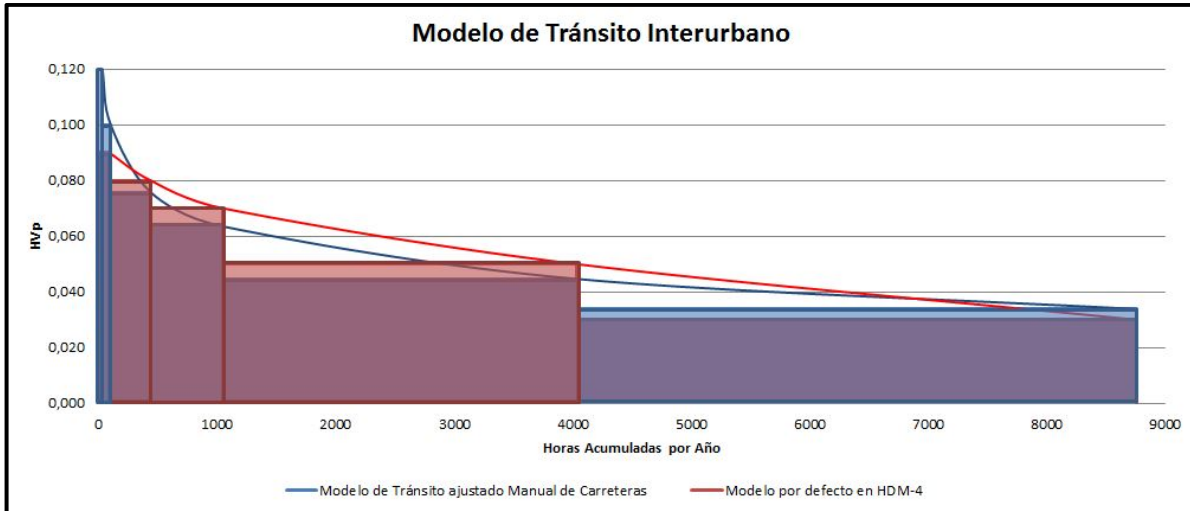


Gráfico 2-1 Comparación de los Modelos de Tránsito Interurbano

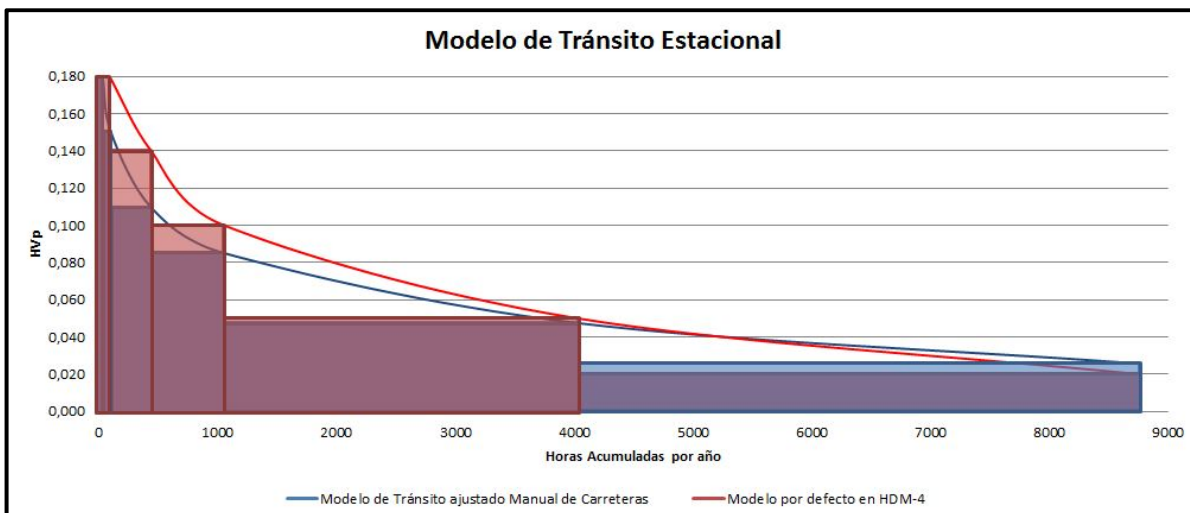


Gráfico 2-2 Comparación de los Modelos de Tránsito Estacional

Al analizar el Gráfico 2-1 y Gráfico 2-2, se observa que para los períodos de tiempos superiores a las 1000 horas acumuladas, no existen variaciones significativas del HVp, las cuales son menores a un 10% de diferencia.

Al analizar el comportamiento del modelo interurbano, el calibrado al comportamiento en Chile, indicaría que el flujo de tránsito en períodos pequeños, es un 20% mayor a lo que entrega por defecto HDM-4. Aquello produciría que existirían mayores eventualidades de alta congestión vehicular en las carreteras interurbanas.

Para los períodos más pequeños, en la variación estacional, los valores por defecto de HDM-4 son mayores a los recomendados por el Manual de Carreteras. En otras palabras, el Modelo de Tránsito según HDM-4, tiene un comportamiento mucho más suave. Por otra parte, el sugerido a las condiciones de Chile, indicaría que son eventos más puntuales o sucesos más aislados, los que generan alta congestión vehicular.

A la vez, se propone ingresar en los análisis un tercer modelo de tránsito, el que se denominará “Modelo de Flujo Constante”. Este asume que durante las 8760 horas del año, habrá un HVp de 0,042, tal como se indica en el Gráfico 2-3.

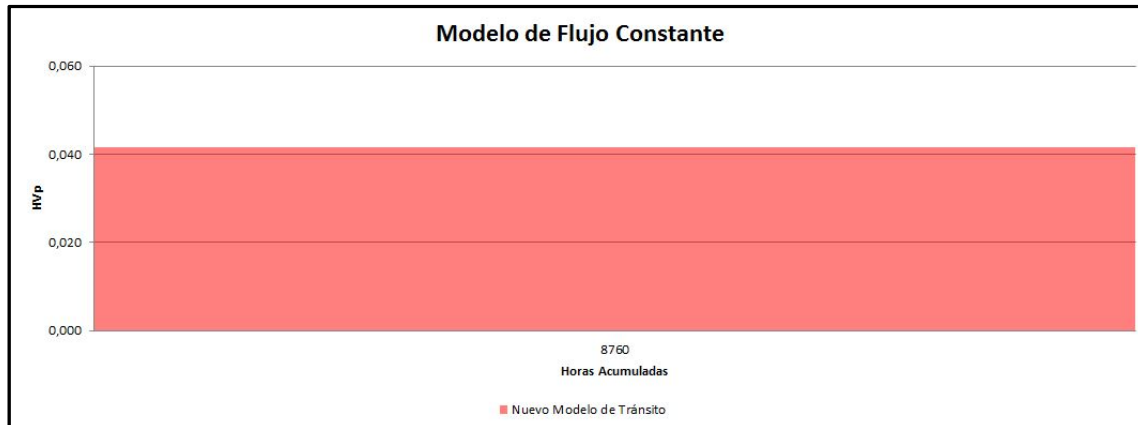


Gráfico 2-3 Modelo de Tránsito Constante

Diversos estudios realizados por la consultora, nos indican que las carreteras urbanas en Chile, tienen un comportamiento del tipo estacional. Esto ocurre debido a que los mayores flujos suceden en momentos determinados del día, correspondientes a las horas de ingreso y salida de las fuentes laborales, mientras que en el resto de las horas del año (período 3 al 5), el comportamiento es mixto. La experiencia señala que modelo de tránsito para las autopistas urbanas, debiese tener los valores que se muestran en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3 Modelo de Tránsito de Vías Autopistas Urbanas

Período	Hrs por año	HVp Tránsito Urbano	%TMDA
Período 1	547.5	0.172	25.8
Período 2	730.0	0.101	20.20
Período 3	1277.5	0.051	17.85
Período 4	2555.0	0.034	23.80
Período 5	3650.0	0.012	12.00

Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico 2-4, se visualiza el comportamiento del modelo de tránsito urbano, ingresado en HDM-4



Gráfico 2-4 Modelo de Tránsito Urbano en HDM-4
Fuente: Elaboración Propia

2.1.2 Calibración de un Modelo de Tránsito según Proyecto MOP

HDM-4 requiere un modelo de tráfico que describa de manera acumulada una periodización en términos de volumen horario equivalente o en términos del porcentaje del Tránsito Medio Diario Anual. Para realizar esta calibración, es necesario contar con datos de velocidad y flujo expresados en términos horarios. En este caso, la calibración de esta función se realizó únicamente para caminos de 2 o más pistas por sentido, dado que se contó con registros de velocidad y flujo proporcionados por la Coordinación General de Concesiones, a partir de contadores de tráfico disponibles en algunas concesionarias. A partir de estos datos se procedió a realizar el cálculo como sigue:

- Se tomaron bases de datos con conteos de volumen horario cada 15 minutos.
- Se estimó para cada hora el volumen horario total, considerando un factor de hora punta igual a la unidad.
- Con el volumen horario de 30 días de 1 mes, se calculó el tránsito medio diario. El cálculo se realizó en 3 periodos del año representativos: Enero, Junio y Octubre.
- Con estos datos, se estimó para cada hora el % de TMDA al que corresponde cada volumen horario y se ordenó de mayor a menor.
- Se aplicó análisis de conglomerados usando el algoritmo de las k-medias para obtener grupos de % de TMDA para 5 periodos
- Puesto que cada periodo contiene números de horas distintas en 1 día, se estimó el % de horas del día correspondiente a cada período
- Posteriormente se expandió este rango a 8760 horas de un año para producir el resultado final, el que se sintetiza en una Tabla que contiene: Período, horas por año, tráfico horario y % de TMDA del tráfico horario, de acuerdo al formato del patrón de intensidad de tráfico requerido por HDM-4

El Gráfico 2-5 ilustra los resultados de los conteos para cada hora. La Tabla 2-4 ilustra los resultados requeridos para ser ingresados en el software.

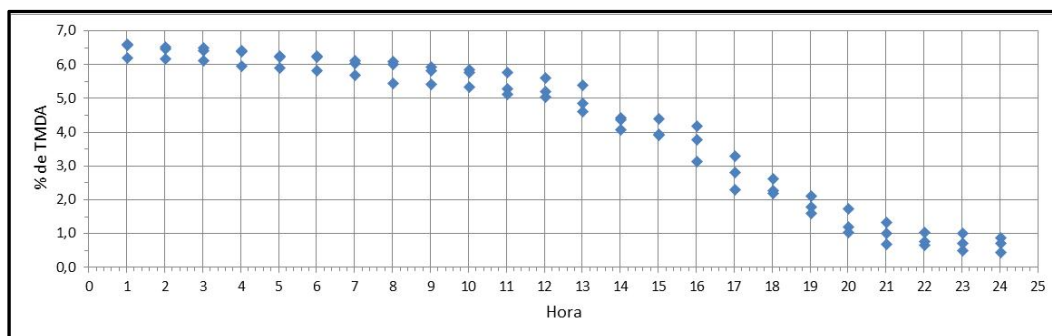


Gráfico 2-5 Patrón de intensidad de flujo para vías de 2 o más pistas por sentido considerando Enero – Junio– Octubre

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Tabla 2-4 Tabulación de patrón de intensidad de flujo para vías de 2 o más pistas por sentido

Periodo	Descripción	Horas por año	HVp	%TMDA
Período 1	Hora Punta	1704	0.064	29.88
Período 2	Hora Punta	1826	0.059	29.52
Período 3	Fuera de Punta	1218	0.052	17.35
Período 4	Fuera de Punta	1461	0.037	14.81
Período 5	Nocturna	2551	0.012	8.39

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Por último, en la Figura 2-1, se visualiza el ingreso del comportamiento habitual del tráfico en las autopistas chilenas, en la herramienta HDM-4.

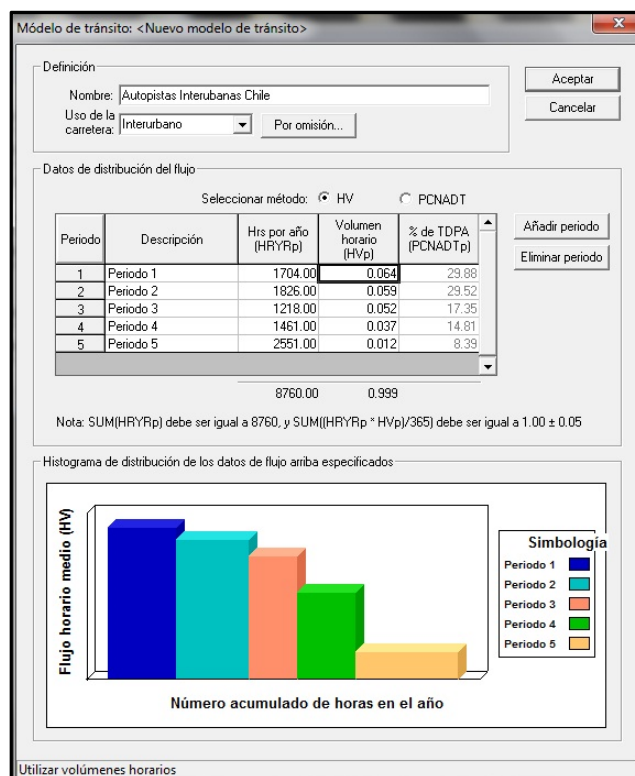


Figura 2-1 Modelo de Tránsito Proyecto MOP en HDM-4
Fuente: Elaboración Propia

2.2 Relaciones de Velocidad y Capacidad

La modelación de la función entre el flujo vehicular y la velocidad de operación de estos, depende de las características geométricas de la vía, de la intensidad del flujo y de la función misma de la vía.

Para modelar los efectos de la congestión, el flujo de tránsito debe ser convertido en vehículos equivalentes estandarizados. Esta conversión se basa en el concepto de “**espacios equivalentes de un automóvil de pasajeros**” (PCSE), el cual toma en cuenta el espacio relativo que tiene un vehículo de pasajeros y los vehículos pesados son transformado en su equivalente al espacio que ocuparía un vehículo liviano. Cabe señalar que aunque HDM-4, estandarice el tamaño de los vehículos a vehículos livianos, HDM-4 considera las diferencias de velocidades que experimentan los diferentes vehículos implicados en el tráfico.

La importancia del modelo de velocidad y capacidad, en el software, se debe a que es necesario para analizar los efectos del volumen de tráfico en la velocidad, cuyo fin es determinar las consecuencias económicas de hacer mejoras a la capacidad de la ruta misma. Los factores que determinan la relación entre flujo y capacidad son:

- ✓ Capacidad: Corresponde al máximo número de vehículos livianos equivalentes (PCSE) que pueden pasar por un punto, o sección transversal del camino, en una hora. El valor de la capacidad determina la forma curva de flujo/velocidad, al establecer el valor de la **capacidad última** (Q_{ult}).
- ✓ Velocidad Libre: Es la velocidad de cada vehículo cuando el flujo se encuentra muy cercano a cero. Si bien no se encuentra afectada por la condición del tránsito, si es influenciada por las características físicas de la camino y otros factores externos al tránsito.
- ✓ Flujo Libre (Q_0): Flujo en el que el conductor puede elegir con libertad la velocidad de circulación. Si el flujo vehicular supera al valor del flujo libre, la velocidad de circulación disminuye progresivamente de acuerdo a las condiciones de la congestión.
- ✓ Flujo Nominal (Q_{nom}): Valor del flujo en el que la circulación de todos los vehículos, tienden a ser igual a la velocidad del vehículo más lento.
- ✓ Curva Velocidad y Capacidad: Se puede describir de manera muy genérica, que a medida que el flujo de vehículos aumenta, la velocidad promedio de todos los vehículos converge hacia la velocidad de los vehículos más lentos del flujo, pasando a ser cada vez más restringida la circulación de los móviles. Cuando el flujo se encuentra próximo a la capacidad última, la velocidad promedio cae por debajo de la que sería la velocidad a la cual se moverían los vehículos más lentos.

A manera de ejemplo en la Figura 2-2, se presenta el modelo tipo de capacidad/velocidad que determina HDM-4.

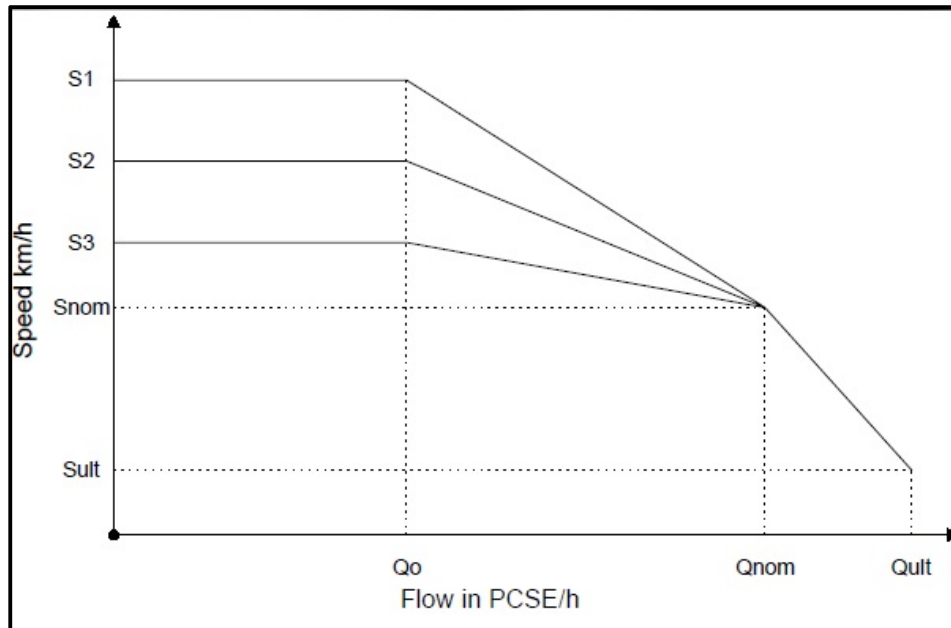


Figura 2-2 Ejemplo de Curva Capacidad/Velocidad en HDM-4
Fuente: The Highway Development and Management Series, Volumen 4 (Kerali, 2001)

2.2.1 Modelos de Capacidad/Velocidad Manual de Carreteras

Según el Manual de Carreteras, Vol.3, los niveles de servicios y la capacidad última de las carreteras, dependerá si la carretera es unidireccional (Autopistas, autorrutas y carreteras primarias) o bidireccional (carreteras primarias, vías colectoras, locales y de desarrollo). En la Tabla 2-5, se presentan los valores del Q_{ult} , que se recomiendan utilizar.

Tabla 2-5 Capacidad Última de las carreteras en Chile

	Caminos Unidireccionales	Carreteras Bidireccionales
Q_{ult} (Vehículos Livianos/Pista/Hora)	2200	1400

Fuente: Manual de Carreteras, Vol. 3 (MOP, 2016)

En lo que respecta a los valores de flujo libre (Q_0), flujo nominal (Q_{nom}) y velocidad última (S_{ult}), son obtenidos de acuerdo a la Tabla 3.102.805(2).A del Manual de Carreteras, las cuales se resumen en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6 Q_0 , Q_{nom} y S_{ult} de los Caminos en Chile

	Caminos Unidireccionales	Carreteras Bidireccionales
Q_0 (Vehículos Livianos/Pista/Hora)	704	210
Q_{nom} (Vehículos Livianos/Pista/Hora)	2024	896
S_{ult} (Km/hr)	50	56

Fuente: Manual de Carreteras, Vol.3 (MOP, 2016)

En lo que refiere al S_{ult} de las carreteras bidireccionales, para vías locales y/o de desarrollo, se considera un valor de 10 Km/hr (Numeral 3.103.201(6), Manual de Carreteras). Las vías locales y de desarrollo, deben ser modeladas como carreteras de dos carriles angostos.

Finalmente, en Chile existe evidencia de que la velocidad última, puede ser inferior a las estimadas por el Manual de Carreteras, como es el caso de la ruta 68 (LaTercera, 2016). Por ello, se plantea realizar un segundo escenario en HDM-4 en el cual la alta saturación de la vía, se modela a menores velocidades que las especificadas por el Manual de Carreteras, estas son mostradas en la Tabla 2-7.

Tabla 2-7 Escenario de Carreteras con Alta Saturación y Velocidad Última Baja

	Caminos Unidireccionales con Alta Saturación	Carreteras Bidireccionales con Alta Saturación
Q_{uit} (Vehículos Livianos/Pista/Hora)	2200	1400
Q_0 (Vehículos Livianos/Pista/Hora)	704	210
Q_{nom} (Vehículos Livianos/Pista/Hora)	2024	896
S_{uit} (Km/hr)	30	25

Fuente: Elaboración Propia

En lo que respecta a las Autorrutas, se consultó el volumen 6 del Manual de Carreteras, Tabla 6.1202.204.B. Además, se consideró que las Autorrutas en Chile, tales como vía Las Palmas, en la mayoría de los casos tienen 2 pistas por sentido. Las curvas de velocidad/capacidad planteadas se muestran en la Tabla 2-8.

Tabla 2-8 Curva Velocidad/Capacidad de Autorrutas

Velocidad de Flujo Libre (km/h)	Terreno	Q_0	Q_{nom}	Q_{uit}	S_{uit}^*
		(PCU/h)/pista			km/h
96	Plano	560	1700	1885	30
	Ondulado	535	1620	1795	30
	Montañoso	490	1480	1645	30
80	Plano	470	1455	1715	30
	Ondulado	445	1390	1630	30
	Montañoso	410	1270	1495	30

Fuente: Manual de Carreteras, Vol. 6 (MOP, 2016)

Nota: *Se consideró como Velocidad última, a lo reportado por medios informativos nacionales, de la velocidad en momentos de congestión

En el último tiempo, se ha estado planteando la realización de autopistas de 3 pistas por sentido en país. Eso implicaría comprender el efecto que tiene el aumento de capacidad y la factibilidad de la realizar este tipo de inversiones. Por ende, se hace necesario conocer si es conveniente tener una diferenciación entre las curvas velocidad/capacidad entre las autopistas de 2 o 3 pistas por sentido. Según lo que señala la Tabla 6.1202.204.C, del Manual de Carreteras, sí se debe realizar aquella distinción. De allí que en la Tabla 2-9, se plantea la siguiente curva velocidad/capacidad, para autopistas de 3 pistas por sentido.

Tabla 2-9 Curva Velocidad/Capacidad en Autopistas de 3 Pistas por Sentido

Velocidad de Flujo Libre (km/h)	Característica de la Vía	Qo	Qnom	Qult	Sult*
		(PCU/h)/pista			km/h
104	Urbana	1037	1950	2310	30
120	Interurbana	1153	2250	2893	30

Fuente: Manual de Carreteras, Vol. 6 (MOP, 2016)

Nota: *Se consideró como Velocidad última, a lo reportado por medios informativos nacionales, de la velocidad en momentos de congestión

Al comparar la capacidad última, de las Tabla 2-7 y Tabla 2-9, la capacidad por pista aumenta en un 31,5%. Por ende, se valida que es necesario hacer la diferenciación de la curvas de velocidad/capacidad, según la cantidad de pistas de la autopista.

2.2.2 Calibración de los Modelos de Capacidad/Velocidad para Chile

De acuerdo, al Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4”, Etapa 5, la calibración de los modelos de velocidad/capacidad, se realizaron con una calibración de Nivel 1 (valores de los parámetros de entrada básicos, adopción de valores por defecto y calibración de los parámetros más sensibles con la mejor estimación posible considerando el mínimo de datos de terreno y trabajo de gabinete), tomando como base el modelo de Capacidad de HCM-2000.

Para obtener los parámetros de los modelos velocidad flujo para caminos bidireccionales y multipista se utilizaron los modelos descritos en TRB (2000). En el caso de los caminos bidireccionales, el modelo es lineal respecto del volumen. Asimismo, está parametrizado por la velocidad de flujo libre de la corriente vehicular. Conceptualmente, no corresponde usar la velocidad de flujo libre de vehículos individuales por clase, como se ha realizado tradicionalmente en HDM, por lo cual, mientras no se cuente con suficientes datos de campo, se decidió usar los modelos disponibles. En la Tabla 2-10, se entrega los resultados obtenidos para la calibración de los caminos bidireccionales en Chile.

Tabla 2-10 Parámetros del Modelo Velocidad-Capacidad para Caminos Bidireccionales Estándares de Chile.

Velocidad de Flujo Libre (km/h)	Qo	Qnom	Qult	Sult
	(PCU/h)/pista			km/h
70	550	1050	1600	35,1
80	550	1050	1600	45,1
90	550	1050	1600	55,1
100	550	1050	1600	65,1*
110	550	1050	1600	75,1*

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Nota: *Dado que el software permite valores inferiores a 60 km/hr, se debe adoptar este valor

Si se compara los entregados por el Manual de Carreteras, con los obtenidos por el Manual HCM, se obtiene que la condición más restrictiva o conservadora, se encuentra al utilizar los valores de capacidad y velocidad última que entrega el Manual de Carreteras. Aunque en órdenes de magnitud, ambos manuales entregan resultados semejantes, porque el Manual de Carreteras utiliza los criterios del Manual HCM.

Para el caso de los caminos multipista, la estimación de los parámetros se realizó directamente usando las ecuaciones velocidad-flujo de HCM. Los modelos de HCM asumen que cuando el

volumen es inferior a 1400 veq/h/pista, la velocidad promedio de viaje es igual a la velocidad de flujo libre. Si el flujo es mayor, entonces la velocidad comienza a verse afectada por el flujo. De este modo, el valor de Q_0 es 1400 veq/h/pista. Asimismo, la capacidad nominal varía según varía la velocidad de flujo libre, adoptando valores entre 1900 y 2200 veq/h/pista. Se adoptó también un valor de capacidad última de 2400 veh/h/pista. Los resultados obtenidos se entregan en la Tabla 2-11.

Tabla 2-11 Parámetros del modelo Velocidad-Flujo de HDM-4 para Caminos Multipista en Chile

Velocidad de Flujo Libre (km/h)	Q_0	Q_{nom}	Q_{ult}	S_{ult}
	(PCU/h)/pista			km/h
70	1400	1900	2400	84*
80	1400	2000	2400	76*
90	1400	2100	2400	68*
100	1400	2200	2400	65*

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Nota: *Dado que el software permite valores inferiores a 60 km/hr, se debe adoptar este valor

Salvo por algunos valores de Capacidad Nominal, nuevamente el utilizar los valores entregados por el Manual de Carreteras, entregaría los resultados más conservadores. Aunque, en órdenes de magnitud, ambos manuales entregan resultados semejantes, dado que el Manual de Carreteras utiliza los criterios del Manual HCM.

El significado de la nomenclatura utilizada en el “Object Maestro”, se presenta en el ANEXO E.

2.3 Tipos de Accidentes

Un accidente es un evento en la ruta que involucra a uno o más vehículos, con resultados de muerte, daños a las personas y/o daños a la propiedad. En HDM-4, los efectos de seguridad en las carreteras son analizados de acuerdo a un seguimiento a la severidad de los accidentes:

- ✓ Fatal: Un accidente es considerado como fatal, si ocurre un deceso dentro de un período de tiempo posterior al accidente. Este período de tiempo varía de acuerdo al criterio de cada país. Cabe señalar que hasta el año 2014, este período de tiempo correspondía a 24 horas, sin embargo las adecuaciones a los estándares OCDE, hicieron aumentar el período para considerar un accidente hasta los 30 días de ocurrido el accidente (OECD & IRTAD, 2016).
- ✓ Heridos: Son los accidentes que causan heridos, pero sin resultado de muerte.
- ✓ Solo daños: Cuando un accidente ocurre sin personas lesionadas es considerado como un accidente con solo daños a la propiedad.

Para HDM-4, el término tasa de accidente (ya sea fatal, heridos y solo daños), es definido como el promedio del tipo de accidente reportado por año, previa evaluación estadística, dividido por la exposición a accidentes. En las Ecuaciones 2-1 y 2-2, se expresan ambos conceptos señalados. Las respectivas tasas de accidentes, en HDM-4, son expresadas en términos de número de accidentes por año, por cada 100 millones de vehículos-kilómetro.

$$ACCRATE = \frac{ACCYR}{EXPOSURE} \quad \text{(Ecuación 2-1)}$$

Donde:

ACC RATE: Tasa de Accidentes.

ACCYR: Número de Accidentes por año.

EXPOSURE: Exposición anual a accidentes en una sección del camino (100 millones de veh-km).

La exposición anual a los accidentes es calculado de la siguiente manera:

$$EXPOSURE = \frac{365 * TMDA * L}{10^8} \quad \text{(Ecuación 2-2)}$$

Donde:

TMDA: Tráfico medio anual diario de una sección (veh/día).

L: Largo de la sección del camino (Km).

2.3.1 Tipos de Accidentes en Chile

De acuerdo al Manual de Carreteras, Vol. 1, en Chile se denota a un nivel "Normal" de ocurrencia de accidentes, cuando las tasas medias anuales, son iguales o inferiores a las presentadas en la Tabla 2-12.

Tabla 2-12 Tasas medias Anuales de Accidentes con Nivel "Normal" de Ocurrencias

Tipo de Camino	Total Medias Anuales (Acc/100 millones Veh-Km)		
	Total de Accidentes	Total de Lesionados	Total de Muertes
Pavimentado (doble calzada)	60	45	4
Pavimentado (calzada simple)	120	137	12
No pavimentado	180	190	28

Fuente: Manual de Carreteras, Vol.1 (MOP, 1997)

Nota: Los valores también son señalados en el Manual de Carreteras 2016, Vol. 6.

Por otra parte, si el diseño de la carretera trae incorporada contramedidas para mejorar la seguridad vial, los valores de las tasas medias anuales pueden ser disminuidas a los valores entregados en la Tabla 2-13.

Tabla 2-13 Tasas medias Anuales de Accidentes al Considerar Contramedidas que Mejoran la Seguridad Vial

Tipo de Camino	Total Medias Anuales (Acc/100 millones Veh-Km)		
	Total de Accidentes	Total de Lesionados	Total de Muertes
Pavimentado (doble calzada)	40	30	2
Pavimentado (calzada simple)	90	105	6
No pavimentado	140	150	14

Fuente: Manual de Carreteras, Vol. 1 (MOP, 1997)

Los datos que el Manual de Carreteras entrega corresponden a estudios de la década de los ochenta. En consideración a lo expuesto anteriormente, existen estudios de tasas de accidentalidad realizadas hace unos diez años, por SECTRA. En la Tabla 2-14, se presenta la tasa de accidentalidad de las vías interurbanas diferencia por la zona geográficas, mientras que en la Tabla 2-15 se presenta las respectivas tasas para las vías urbanas.

Tabla 2-14 Tasa de lesionados en accidentes, caso interurbano (acc/100millones veh-km)

Macro Región	Tipo de camino	Tasa de lesionados (víctimas/100 millones veh-km)			
		No Graves	Graves	Fallecidos	Total
Norte	1 o 2 pistas no pavimentadas	144.2	34.0	10,0	188.2
	2 pistas pavimentadas	41.6	11.0	4.4	57.0
	4 pistas pavimentadas	9.1	6.1	9.1	24.2
	Autopista	25.8	8.5	2.0	36.3
Centro	1 o 2 pistas no pavimentadas	123.8	29.8	16.8	170.3
	2 pistas pavimentadas	48.0	9.5	4.1	61.6
	4 pistas pavimentadas	41.4	8.3	4.7	54.3
	Autopista	34.4	7.9	3.2	45.5

Macro Región	Tipo de camino	Tasa de lesionados (víctimas/100 millones veh-km)			
		No Graves	Graves	Fallecidos	Total
Sur	1 o 2 pistas no pavimentadas	106.8	23.5	9.5	139.9
	2 pistas pavimentadas	51.6	15.9	8.2	75.7
	4 pistas pavimentadas	72.5	15.2	6.6	94.2
	Autopista	35.4	9.1	5.2	49.7

Fuente: Análisis y Definición de una Metodología para la evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas (SECTRA, 2007)

Tabla 2-15 Tasa de lesionados en accidentes, caso urbano (acc/100 millones veh-km)

Macro Región	Tipo de camino	Tasa de lesionados (víctimas/100 millones veh-km)			
		No Graves	Graves	Fallecidos	Total
Norte	1 o 2 pistas no pavimentadas	S/I	S/I	S/I	S/I
	2 pistas pavimentadas	66.0	14.3	5.9	86.2
	4 pistas pavimentadas	39.8	1.4	1.4	42.6
	Autopista	S/I	S/I	S/I	S/I
Centro	1 o 2 pistas no pavimentadas	83.3	0.0	0.0	83.3
	2 pistas pavimentadas	16.0	6.2	1.7	23.9
	4 pistas pavimentadas	36.4	8.0	3.7	48.1
	Autopista	45.3	6.9	3.8	56.0
Sur	1 o 2 pistas no pavimentadas	269.6	48.5	27.0	345.1
	2 pistas pavimentadas	61.7	17.5	10.6	89.8
	4 pistas pavimentadas	34.2	12.3	3.4	49.9
	Autopista	49.9	9.6	5.5	65.0

Fuente: Análisis y Definición de una Metodología para la evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas (SECTRA, 2007)

Note que al comparar las tasas de accidentalidad según el Manual de Carreteras para un nivel “normal” y las del estudio de SECTRA, los valores más actuales implican una disminución entorno al 50% en la tasa de accidentes. Esta disminución se encuentra relacionada a la mejora en la calidad de las vías, proyectos de pavimentación y mejor diseño geométrico que han experimentado las carreteras en nuestro país.

Por ello, se plantea utilizar los valores de tasas de accidentalidad obtenidos por SECTRA, pero realizando estudios de tasas de accidentalidad cada 5 años. Los valores obtenidos no necesitan ser calibrados para HDM-4.

El significado de la nomenclatura utilizada en el “Object Maestro”, se presenta en el ANEXO E.

2.4 Zonas Climáticas

Dentro de los varios factores que afectan a los deterioros y a los modelos de predicción asociados a ellos, se encuentra el factor climático.

De acuerdo a HDM-4, los climas prevaecientes de determinada zona se pueden clasificar de acuerdo a dos criterios: clasificación humedad y clasificación de temperatura.

De acuerdo a la Tabla 2-16, la clasificación de Humedad es la siguiente:

Tabla 2-16 Clasificación de Humedad en HDM-4

Clasificación de Humedad	Descripción	Índice de Humedad Thornthwaite	Precipitación Anual (mm)
Árido	Muy poca lluvia, gran evaporación	-100 a -61	< 300
Semiárido	Poca lluvia	-60 a -21	300 a 800
Subhúmedo	Lluvia moderada, o fuertes lluvias estacionales	-20 a 19	800 a 1600
Húmedo	Moderadamente caluroso con lluvia estacional	20 a 100	1500 a 3000
Perhúmedo	Grandes lluvias, o muchos días de suelo saturado	> 100	> 2400

Fuente: The Highway Development and Management Series, Volumen 4 (Kerali, 2001)

A la vez, la clasificación según los rangos de temperaturas en los cuales se encuentra la zona a modelar, se rige de acuerdo a los valores entregados en la Tabla 2-17.

Tabla 2-17 Clasificación de Temperatura en HDM-4

Clasificación de Temperatura	Descripción	Rango de Temperatura (°C)
Tropical	Caluroso con un pequeño rango de variación de temperatura	20 a 35
Subtropical - Cálido	Días con altas temperaturas y noches con temperaturas frías, estaciones calurosas y heladas	-5 a 45
Subtropical - Fresco	Días con temperaturas moderadas, inviernos fríos	-10 a 30
Templado - Frío	Verano caluroso, inviernos con heladas superficiales	-20 a 25
Templado - con Heladas	Verano frío, invierno con heladas profundas	-40 a 20

Fuente: The Highway Development and Management Series, Volumen 4 (Kerali, 2001)

En lo que respecta al dato específico de cantidad de agua caída, este es ingresado como **precipitación media mensual**, expresado en términos de mm/mes.

Es importante comprender que en muchas zonas del país el índice de humedad no es una constante durante todo el año. Si bien es cierto el **Índice de Humedad** es capaz de darnos un indicador del grado de saturación o sequedad del suelo de cierto lugar, este no entrega las variaciones estacionales que se puedan dar dentro de un mismo año. Por ello en HDM-4, se establece el concepto de "**duración de la estación seca**", el cual permite considerar los cambios estacionales de humedad.

En lo que respecta a la categorización por temperatura, aparte de la **temperatura media** del lugar existen otros datos a tener en cuenta.

Índice de congelamiento: Se define como la diferencia entre la temperatura media del ambiente y los 0°C. El índice de congelamiento es negativo cuando la temperatura del ambiente es menor a los 0°C y positiva en caso contrario.

El índice de congelamiento se calcula como:

$$FI = \sum_{i=1}^{ndías} ABS[MIN(TEMP, 0)] \quad \text{(Ecuación 2-3)}$$

Donde:

Fi: Índice de Congelamiento
TEMP: Temperatura (°C)
Ndías: Números de días con una temporada de congelamiento

El índice de congelamiento es usado para la modelación del comportamiento de los pavimentos rígidos.

Rango de Temperaturas: Corresponde a la media del rango de temperatura mensual. El cálculo está basado en el rango de temperatura para cada uno de los 12 meses del año, por lo tanto es la diferencia entre la máxima y mínima temperatura de cada mes. Los 12 valores obtenidos son promediados dando origen al rango de temperaturas, el cual es usado en la modelación de los pavimentos de hormigón.

Días con Temperaturas mayores a 32°C: El número de días, dentro de un año, cuya temperatura ambiental excede a los 32 °C es denotada como **Días con T>32°C**. Esta variable es requerida para la modelación del comportamiento de los pavimentos de hormigón.

2.4.1 Clasificación Climatológica Sugerida para Chile

El proceso de selección del tipo de clima para la utilización de HDM-4, en Chile, se encuentra en etapa de estudio en el estudio básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4", de Dirección de Vialidad.

Sin embargo, la determinación de las respectivas zonas climática, se realizó observando la clasificación entregada en la Figura 2-3.

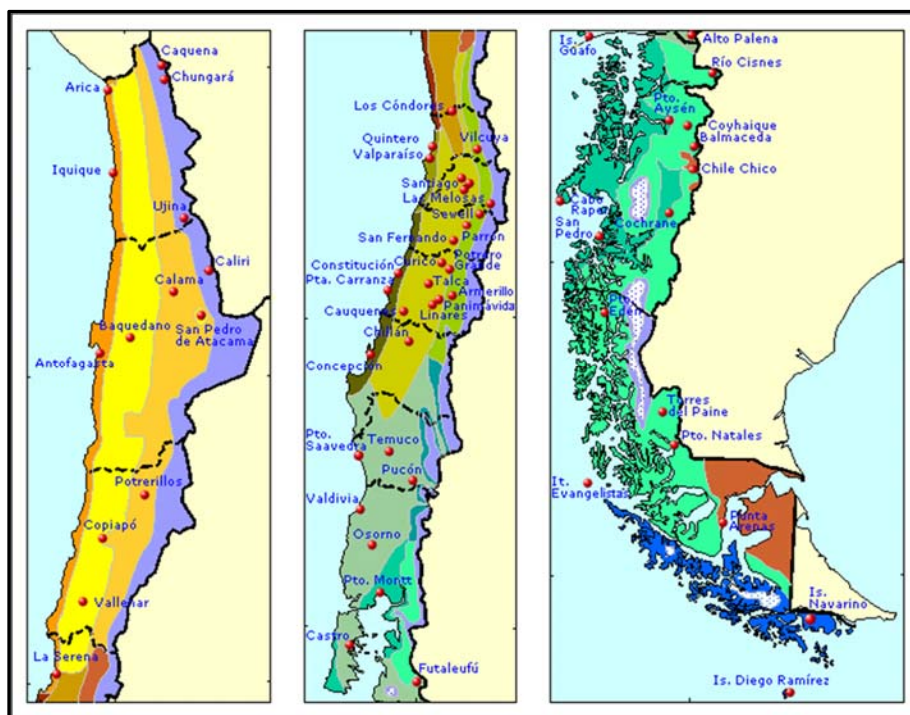


Figura 2-3 Cartografía interactiva de los climas de Chile
Fuente: Universidad Católica

En las Tabla 2-18 y Tabla 2-19, se entregan los parámetros que vendrían a definir la clasificación por humedad y temperatura, para las respectivas zonas climáticas en Chile. Estos son determinados de acuerdo a estadísticas históricas de Meteorología de Chile y estudios realizados (precipitaciones, rango de temperaturas, estación seca y temperatura media), promediando las respectivas estaciones meteorológicas representativas de las zonas y sectores (di Castri & Hajek, 1976).

En lo que respecta a índices de humedad, estos valores fueron obtenidos a través de una relación entre la precipitación de las respectivas zonas y sectores, con las evapotranspiraciones potenciales (CNR & CIREN, 1997), para luego ser promediadas.

Mientras que los índices de congelamientos, se obtienen de los datos de temperaturas entregados por cada hora en estaciones utilizadas en la calibración de la Guía MEPDG, realizada por la U.T.F.S.M. Al igual que en el caso de los índices de humedad, las estaciones representativas de cada zona y sector, se promediaron.

Cabe señalar que el porcentaje de tiempo de conducción de las carreteras cubierta por aguas y nieve, para la zona norte (costa y altiplano) adquiere para ambas situaciones el valor de 0%. En lo que respecta a la zona sur-costa y sur-valle central, el porcentaje de tiempo de carreteras cubiertas de nieve es de 0%, mientras que las carreteras cubiertas por agua son de 15%. En el resto de los sectores climáticos, estos valores son dejados por defecto.

Tabla 2-18 Clasificación por Humedad para Chile

Zona	Sector	Clasificación de Humedad	Índice de Humedad	Duración de estación seca en meses	Precipitación Media Mensual (mm)
Norte	Costa	Árido	-97.4	12	2.4
	Altiplano	Árido	-96.2	11.7	4.3
Centro	Costa	Subhúmedo	-19.4	6.4	67.0
	Valle Central	Semiárido	-43.8	6.8	51.5
	Cordillera	Subhúmedo	-13.9	6	69.8
Sur	Costa	Húmedo	100.0	0.8	145.0
	Valle Central	Húmedo	53.8	3	125.0
	Cordillera	Húmedo	100.0	0	162.1
Austral	Patagonia	Húmedo	33.9	2.3	130.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2-19 Clasificación por Temperatura para Chile

Zona	Sector	Clasificación de Temperatura	Temperatura Media Anual (°C)	Rango Promedio de Temperaturas (°C)	Días con T > 32°C	Índice de Congelamiento [°C x días]
Norte	Costa	Subtropical - Cálido	16.4	7.2	0	0
	Altiplano	Templado - Frío	12.4	14.2	12	56
Centro	Costa	Subtropical - Fresco	13.3	8.1	0	0
	Valle Central	Subtropical - Fresco	14.4	14.1	24	20
	Cordillera	Templado - Frío	11.2	12.4	0	32
Sur	Costa	Templado - Frío	11.6	8.4	0	18
	Valle Central	Templado - Frío	12.7	12.0	2	19
	Cordillera	Templado - Frío	8.6	15.5	0	60
Austral	Patagonia	Templado - con Heladas	8.6	7.5	0	90

Fuente: Elaboración Propia

2.5 Datos y Tablas Agregadas

La estructura de HDM-4 está compuesta por 3 herramientas de análisis (Estrategia, Programa y Proyectos) y 4 gestores de datos: Configuración del HDM-4, Flota vehicular, Red de carreteras y Estándares de trabajo.

En el módulo de configuración se establecen aquellos datos que por defectos se utilizarán en HDM-4. En la flota vehicular se ingresan las características necesarias para calcular velocidades de operación, costos vehiculares y datos de los vehículos que permiten estimar el deterioro de los pavimentos. Por otra parte, en los estándares de trabajo se incorporan en el software, los objetivos, condiciones y respuestas que se esperan conseguir en la gestión de la carretera. Por último, en la red de carreteras se proporcionan las funciones básicas que describen las características de los tramos de la carretera.

Como en el módulo de configuración, se pueden ingresar los valores que por defecto tendrá el programa, una de esas atribuciones es poder describir diversos parámetros de manera cualitativa (bueno, regular, malo) asignándoles un valor representativo para la respectiva cualidad. Estos datos pueden tener diversos valores de acuerdo a la definición y/o condiciones prevalecientes del país. Pudiendo ser editados, e incluso aumentando la cantidad de cualidades, en la sección **Tablas Agregadas de tramo**. En la sección **Datos agregados del tramo**, los valores previamente ajustados, son asignados por defecto a los respectivos tramos de la red de carretera. A pesar que aquellos valores podrán ser asignados por defectos, estos siempre se podrán modificar en el tramo de la respectiva red.

Los datos a categorizar cualitativamente en esta sección son los siguientes:

- ✓ Volumen del tráfico (veh/día)
- ✓ Capas Asfálticas (Espesores de la base y capas asfálticas, en mm)
- ✓ Tipo de geometría (ascensos y descensos, curvatura horizontal, pendiente)
- ✓ Calidad de compactación (%)
- ✓ Adecuación Estructural (SNP, Módulos de Ruptura, Espesor de Losas)
- ✓ Calidad de la rodadura (IRI, en mm/km)
- ✓ Condición superficial (Agrietamiento %, Desprendimiento %, Profundidad de Ahuellamiento, n° de Baches, Rotura de Borde, Escalonamiento, Despontillamiento de Juntas %)
- ✓ Textura superficial (Profundidad macrotextura y resistencia al deslizamiento)

2.5.1 Datos y Tablas Agregadas preasignadas para Chile

2.5.1.1 Volumen de Tránsito

De acuerdo al volumen 3, del Manual de Carreteras, la utilización de las vías (autopistas, autorrutas, colectoras, etc) pueden ser descritas o seleccionadas de acuerdo al TMDA, que circulará por ella, la cual se presenta en la Tabla 2-20.

Tabla 2-20 Tabla Agregada TMDA Chile

Nivel de Tránsito	TMDA según Rodadura	
	Asfáltico/Hormigón	No Pav.
Muy Bajo	300	50
Bajo	1500	100
Medio	6000	200
Alto	15000	450
Muy Alto	30000	750

Fuente: Elaboración Propia

Los valores ingresados para la categorización del TMDA de las vías pavimentadas (asfalto u hormigón), son los valores utilizados en la sectorización realizada en el estudio básico “**Actualización Parámetros Modelos HDM-4**”, de Dirección de Vialidad.

Para un camino no pavimentado con tránsito medio, fue asignado un TMDA resultante del promedio entre 150 – 250 veh/día, resultando en 200 veh/día. Para el tránsito bajo, se le asignó un valor que sea inferior a los 150 veh/día, por ende, fue asignado un TMDA de 100 veh/día. El valor para un tránsito muy alto se define por motivos que el valor de 750 veh/día, es el valor de TMDA, que permite la reducción del ancho de la berma derecha. Por último, el valor para un tránsito alto en una vía no pavimentada, resulta ser cercana al promedio entre el valor entre una vía de tránsito muy alto y una de un tránsito medio.

2.5.1.2 Calidad de Compactación

En base a lo expresado en el Manual de Carreteras, Vol. 5, la densidad de compactación de la capa de rodadura de todos los pavimentos asfálticos en Chile debe ser superior al 97%. Cuando la densidad de la capa rodadura es del 95%, el 25% de los lotes de muestras deben ser rehechas. Cuando la compactación de las bermas es igual o inferior al 93%, la totalidad de los lotes deben ser rehechos. Como el porcentaje de compactación aumenta a medida que tránsito circula por el pavimento, se seleccionaron estos valores límites para definir los niveles de calidad de compactación de la mezcla asfáltica, las cuales son observadas en la Tabla 2-21.

Tabla 2-21 Calidad de Compactación de las Mezclas Asfálticas

Calidad de Compactación	Compactación relativa [%]
Buena	97
Regular	95
Mala	93

Fuente: Manual de Carreteras, Vol. 5 (MOP, 2016)

2.5.1.3 Deterioros Superficiales

A continuación se presenta la descripción de los tipos de deterioros utilizados en HDM4, para la descripción del estado de los pavimentos asfálticos:

Agrietamiento Estructural Total: Este tipo de agrietamiento es un deterioro del tipo estructural que presenta un desarrollo progresivo. En su fase inicial se presenta en grietas longitudinales, que en la etapa intermedia se interconectan con otras grietas, formando lo que se conoce como “piel de cocodrilo”. El agrietamiento se presenta principalmente en las zonas del pavimento donde se reciben las mayores cargas. Involucra tanto a grietas estructurales angostas como anchas. En HDM-4, son modelados como porcentaje de área deteriorada sobre el total de pavimentada.

Agrietamiento Estructural Ancho: Se define de la misma manera que el agrietamiento estructural total, sin embargo, solamente involucra a aquellas grietas cuyo ancho sobrepase los 3 mm. Por ende, involucraría a aquellas grietas que se encuentran en una etapa avanzada de aumento del deterioro. En HDM-4, son modelados como porcentaje de área deteriorada sobre el total de pavimentada.

Agrietamiento Térmico: Se presentan en la vía como grietas perpendiculares al eje de la vía, las cuales se encuentran regularmente espaciadas. Son provocadas por los gradientes térmicos, en especial en mezcla rigidizadas. En HDM-4, son modelados como porcentaje de área deteriorada sobre el total de pavimentada.

Desprendimiento de Áridos: Es el desprendimiento del mortero asfáltico, cuya consecuencia es la exposición del agregado grueso que compone la mezcla asfáltica. En HDM-4, son modelados como porcentaje de área deteriorada sobre el total de pavimentada.

Baches: Cavity formada por desprendimiento de la mezcla asfáltica. Pudiendo extenderse a las capas inferiores del pavimento. Un bache en HDM-4, corresponde a un bache de área de 0,1 m² y de 100 mm de profundidad.

Rotura de Borde: Se define como la pérdida de superficie, y posiblemente de materiales de la base, del borde del pavimento. Comúnmente se producen en caminos que no contienen bermas. La medición se obtiene al medir el área del cuadrilátero que rodea a la rotura en metro cuadrados. Para ser ingresado en HDM – 4, la rotura debe ser expresada en términos de m²/Km

Ahuellamiento: Deterioro que se puede presentar en cualquiera de las capas del pavimento flexible, que se manifiesta en un hundimiento longitudinal que coincide con la huella de los vehículos. En HDM-4, el ahuellamiento es modelado en términos de milímetros y son medidos en terreno con la regla móvil de 2 metros.

En lo que respecta a los deterioros de los pavimentos de hormigón, HDM-4, los describe con los siguientes deterioros:

Agrietamiento Transversal: Grietas que forman un ángulo recto al eje de la vía, producidas principalmente por un espesor insuficiente para soportar las cargas o losas de largo excesivo. En HDM – 4, se modelan como porcentaje de losas agrietadas.

Escalonamiento: Desnivel entre dos superficies de hormigón adyacentes, que se encuentran separadas por una junta transversal o grieta. Son medidas en milímetros con una regla que mide el desnivel entre dos losas contiguas.

Despontillamiento de Juntas: Desintegración de la junta, ya sea longitudinal o transversal, que ocasiona pérdida de hormigón. Puede afectar hasta 50 [cm] dentro de la losa. Son medidas en términos de porcentaje de losas afectadas por este deterioro.

En HDM-4, se debe describir con valores representativos de deterioros, la calidad del pavimento, por ende para determinar los niveles de severidad que describan la calidad de este, se consulta a los estándares descritos en el Manual de Carreteras y/o literatura especializada. Tal sea de caso de describir un pavimento asfáltico en estado regular, se describan con valores representativos del agrietamiento, desprendimiento, baches, ahuellamiento y rotura de borde.

Según lo expresado por el Manual de Carreteras, Vol.7, aquellos daños que afecten más del 20% del área total, son considerados de severidad alta. Por ello, tanto al desprendimiento de áridos como al agrietamiento estructural total, se consideró un 20% de área total dañada como un evento muy malo, y de ahí se asignaron valores inferiores a 20% a las características de malo y regular. Los valores de agrietamiento estructural ancho se utilizó como criterio de asignación el valor del agrietamiento estructural total menos el 5%.

En el agrietamiento térmico se determina como valor cuantitativo, el valor nulo para todas las categorías, dado que internamente HDM-4 solo modela agrietamiento térmico para temperaturas templadas – frías, a la vez de zonas subtropicales cálidas con índices de húmedas características de zonas áridas y semiáridas. En síntesis, HDM-4, modela agrietamiento térmico para solo 6 de 25 condiciones climáticas posibles, o sea el 24% de los casos posibles. En adición, el máximo valor de agrietamiento térmico que modela HDM-4, para las zonas que presentan este tipo de daño, es del 5% del área total.

A la vez, un ahuellamiento de severidad alta es aquel que es mayor a los 40 mm, en consecuencia, el valor de 40 mm es seleccionado para describir la categoría de “malo” para un pavimento. La severidad media, se encuentra cuando el pavimento tiene un ahuellamiento comprendido entre los 20 a 40 mm, entonces se seleccionó el valor de 20 mm para describir un pavimento “regular”. La severidad baja, en el ahuellamiento, se obtiene cuando el valor es inferior a los 20 mm, por ende, se seleccionó como valor de 10 mm, para la representación de un pavimento “bueno”. Un pavimento muy malo, se describió arbitrariamente como aquel que tiene un ahuellamiento de 60 mm.

Con la información descrita en los párrafos anteriores, se procede a sugerir la descripción de los deterioros de los pavimentos asfálticos, indicada en la Tabla 2-22. Cabe señalar que los valores de baches y rotura de borde, son los valores que trae por defecto el programa. Por otra parte, el nivel nuevo con el bueno se diferencia exclusivamente, porque el ahuellamiento es un deterioro que aparece en edades tempranas y en aquellas edades no debiesen encontrarse grietas.

Tabla 2-22 Descripción del Deterioro Superficial Pavimento Asfáltico

	Agriet. Est. Tot. (%)	Agriet. Est. Anc. (%)	Agriet. Térm. (%)	Desprend. (%)	N° de Baches por Km *	Rotura de borde (m2 por km)	Profundidad de Ahuellamiento (mm)
Nuevo	0	0	0	0	0	0	0
Bueno	0	0	0	0	0	0	10
Regular	5	0	0	5	0	10	20
Malo	15	9.5	0	15	5	100	40
Muy Malo	20	15	0	20	50	300	60

Fuente: Elaboración Propia

Nota: * Un bache estándar en HDM-4, corresponde a un bache de área de 0,1 m² y de 100 mm de profundidad.

Con respecto a la descripción cualitativa del estado del pavimento rígido, MEPDG señala, que para autopistas el máximo agrietamiento transversal permitido es del orden del 10% del total de losas, para carreteras primarias del 15% y para carreteras secundarias, el valor máximo permitido es del 20% (Departamento de Obras Civiles, U.T.F.S.M., 2014). En consecuencia, se decide determinar que un pavimento rígido con un 10% de agrietamiento transversal se encuentra en un estado regular, con un 20% se encontrará malo y cuando tenga un 40% su calidad será muy mala.

En lo que respecta al escalonamiento, según señala el Volumen 7, del Manual de Carreteras, una losa con un escalonamiento de 10 mm se encuentra con una gran severidad de este deterioro funcional, por ende se selecciona aquel valor para un pavimento con un escalonamiento muy malo. Para cuando el escalonamiento se encuentra entre 5 – 10 mm, el pavimento tiene una severidad media, en consecuencia para describir un estado malo se selecciona un valor representativo de 7 mm. Cuando el escalonamiento es inferior a los 5 mm, se habla de una severidad baja del escalonamiento, entonces para representar un estado regular del pavimento al escalonamiento, el valor es de 3 mm. En lo que refiere a la categorización muy bueno y bueno, estos tendrán valores de 0 o 1 mm, de escalonamiento.

Un despontillamiento de las juntas, corresponde a la desintegración de las aristas de una junta, la cual puede considerar pérdidas de trozos de hormigón. De acuerdo al Manual de Carreteras, Vol. 7, el límite inferior permitido de juntas deterioradas corresponde a 3 (n° juntas/Km) y el límite final permitido de juntas deterioradas es de 30 (n° juntas/Km). Si consideramos una losa de largo de 4 metros, obtenemos que el límite inferior de juntas deterioradas es levemente superior al 1% y el límite máximo corresponderá a un 12% de juntas deterioradas. Se sugiere ingresar ambos valores como los representativos para describir a un pavimento bueno y malo al despontillamiento. En lo que respecta a un pavimento regular, el valor corresponderá al 5% y para uno muy malo el despontillamiento será del 20%.

En la Tabla 2-23, se muestra la síntesis de los valores seleccionados para describir los deterioros superficiales de un pavimento rígido.

Tabla 2-23 Descripción del Deterioro Superficial Pavimento de Hormigón

	Agrietamiento Transversal (%)	Despontillamiento de juntas (%)	Escalonamiento (mm)
Nuevo	0	0	0
Bueno	0	1	1
Regular	10	5	3
Malo	20	12	7
Muy Malo	40	20	10

Fuente: Elaboración Propia

Es importante señalar que en aquellas ocasiones en las cuales se encuentren estudios de auscultación de pavimentos, cuyos datos de deterioros se condicen con lo observado en terreno, son aquellos datos los que deben de ser utilizados para describir las características de la ruta. Si no existen aquellos datos, se asignarán los valores que por defecto, describirán a la categorización cualitativa del estado del pavimento.

2.5.1.4 Capas Asfálticas

Los pavimentos asfálticos, están compuestos por una capa de rodadura de materiales ligados (carpeta asfáltica, carpeta intermedia o binder, base asfáltica) y capas de materiales no ligados (bases granulares o estabilizadas y subbase).

La resistencia de los pavimentos asfálticos, a las sollicitaciones del tránsito, viene dado por el número estructural que este contenga. Donde cada capa del pavimento resiste a las sollicitaciones del tránsito en función del espesor de la respectiva capa y su coeficiente estructural. La suma de cada una de las capacidades resistentes, de las capas que contengan el pavimento, entrega lo que es el número estructural.

En HDM-4, la capacidad resistente de un pavimento asfáltico no solamente se refleja por el número estructural, sino que también considera el aporte estructural que entrega la capacidad de la subrasante, dando origen al concepto de número estructural ajustado (SNP).

De acuerdo al Manual de Carreteras, Vol. 3, el mínimo espesor de base granular permitido en los pavimentos asfálticos, es de 150 mm. Eso implica que es habitual encontrar en Chile, espesores de 150 mm, tanto para la base granular como para la subbase. En conformidad a que los diseños de pavimentos de la red vial, son diseñados de acuerdo al Manual de Carretera, los espesores de las capas asfálticas pueden llegar a ser en muchos casos entorno al 40% a 50% del espesor total del pavimento.

Como en HDM-4, se debe ingresar pavimentos con espesores tipos que se encuentran en Chile, en la Tabla 2-24, se muestran los valores a utilizar por defecto de acuerdo al respectivo SNP de la estructura. Estos valores son representativos del inventario vial de la red nacional y de acuerdo al autor del presente estudio, son los que por diseño debiesen de encontrarse en terreno.

Tabla 2-24 Espesores de Capas de un Pavimento Asfáltico

	Espesor Superficial (mm)		Espesor de la Base (mm)
	Nuevo	Anterior	
SNP < 3	30	50	150
3 < SNP < 4	50	80	150
4 < SNP < 5	50	150	150
SNP > 5	60	180	150

Fuente: Elaboración Propia

2.5.1.5 Resistencia del Pavimento

La resistencia de los pavimentos depende casi exclusivamente del volumen de tránsito que circule por la vía. Por ejemplo, si se diseña un pavimento asfáltico, en el cual los estudios indicaban cierto TMDA inicial con una tasa de crecimiento, pero resulta que al ser pavimentada la vía el TMDA sube abruptamente y de manera exponencial en el tiempo. Inicialmente podríamos advertir que la adecuación estructural de la vía al nivel de tránsito era la correcta, sin embargo el tránsito que no fue considerado en los estudios implicaría que la estructura no está debidamente adecuada a resistir un mayor nivel de tránsito, consumiéndose antes de tiempo la vida útil.

Es así como podemos encontrar situaciones en la realidad, donde la capacidad resistente de la estructura del pavimento no es la adecuada al volumen de tránsito que circula por el tramo. Para HDM-4, es posible describir un cierto nivel representativo que interprete la situación descrita y en la Tabla 2-25, se presentan los niveles de adecuación estructural de los pavimentos asfálticos, en base a la categorización realizada en el estudio básico **“Actualización Parámetros Modelos HDM-4”**, de Dirección de Vialidad.

Tabla 2-25 Adecuación Estructural de los Pavimentos Asfálticos

Adecuación estructural	Asfáltico SNP				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Malo	1.5	1.7	2	3	4
Regular	2	2.2	3	4.5	5
Bueno	2.5	3	4	5.5	6.5

Fuente: Elaboración Propia

Un pavimento rígido difiere en su desempeño estructural del pavimento asfáltico, en que el pavimento rígido responde a las solicitaciones del tránsito como un elemento placa, en el cual la losa de hormigón es la que soporta casi la totalidad de los esfuerzos. La subbase y subrasante, del pavimento rígido, tiene un comportamiento como si fuese una cama de resortes y recibe pequeños esfuerzos de transferencia. Es ahí, que para describir la capacidad estructural de un pavimento rígido, principalmente se necesitan como parámetros el espesor de la losa y el módulo de ruptura.

De acuerdo al inventario vial y a la categorización que se está llevando a cabo en el estudio básico de Dirección de Vialidad, en la Tabla 2-26, se presentan las resistencias de los pavimentos rígidos de acuerdo a la adecuación al volumen de tránsito.

Tabla 2-26 Adecuación Estructural de los Pavimentos de Hormigón

Adecuación estructural	Módulo de Ruptura [MPa]	Espesor Losa JPCP (mm)				
		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Malo	4	150	160	170	190	200
Regular	4,5	170	190	200	210	220
Bueno	5	180	200	220	230	250

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en los caminos no pavimentados la adecuación estructural queda determinada por el espesor remanente de la carpeta granular de la vía, las cuales se obtienen del Informe de Etapa 3, "Política de Conservación Vial" (Dirección de Vialidad, 2012), y son mostrados en la Tabla 2-27.

Tabla 2-27 Clasificación de Estado de la Carpeta Granular según Espesor Remanente

Adecuación estructural	Espesor Carpeta Granular (mm)		
	Muy Bajo/Bajo	Medio	Alto/Muy Alto
Malo	25	50	100
Regular	50	100	150
Bueno	100	150	200

Fuente: Política de Conservación Vial (Dirección de Vialidad, 2012)

2.5.1.6 Irregularidad

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), es un indicador estadístico de la irregularidad superficial, el cual entrega la diferencia entre un perfil longitudinal teórico y el perfil real. Corresponde a la sumatoria de todos los movimientos verticales relativo con respecto a una unidad de longitud.

Debido a que el IRI, es un índice que permite determinar de manera cualitativa la serviciabilidad de la vía, es que existen valores máximos permitidos de acuerdo a la categorización que tenga la vía misma. De allí, que el máximo valor de IRI permitido a una autopista no será el mismo que el que tendrá una vía colectora.

De acuerdo a la Tabla 1.302.403 (A), del Manual de Carreteras, se seleccionó que los valores de IRI, para pavimentos flexibles y rígidos, son los valores a utilizar para carreteras troncales. Los valores de las carreteras secundarias y terciarias, son dejados por el valor por defecto que trae HDM-4. A excepción del valor que describe a un pavimento regular que será menor en 0,5 mm/km, al valor por defecto.

En síntesis, los valores por defecto sugeridos para ingresar en HDM-4, para configurar la irregularidad de los pavimentos, se muestran en la Tabla 2-28.

Tabla 2-28 Irregularidad Característica Caminos Pavimentados

	Asfáltico/Hormigón			
	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
Troncal	2	3,5	6	8
Principal	3	4,5	7	9

	Asfáltico/Hormigón			
	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
Local	4	5,5	8	10

Fuente: Manual de Carreteras, Vol. 1 (MOP, 1997)

En lo que respecta a los valores de irregularidad que de los caminos no pavimentados, se consultó al Informe de Etapa 3, "Política de Conservación Vial" (Dirección de Vialidad, 2012), cuyos valores son mostrados en la Tabla 2-29. Se hace la salvedad que el valor representativo, disminuyó en una categoría, así por ejemplo el valor de la calidad "muy bueno" pasa a ser el representativo de "bueno", y así mantener la misma nomenclatura utilizada en la clasificación de los caminos pavimentados.

Tabla 2-29 Irregularidad Característica Caminos No Pavimentados

	No Pavimentado			
	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
Primaria	4	6	8	10
Secundaria	6	9	12	15
Terciaria	8	12	16	20

Fuente: Política de Conservación Vial (Dirección de Vialidad, 2012)

En la Figura 2-4, se presenta de manera gráfica las características de regularidad del camino con el valor IRI que tendría la vía.

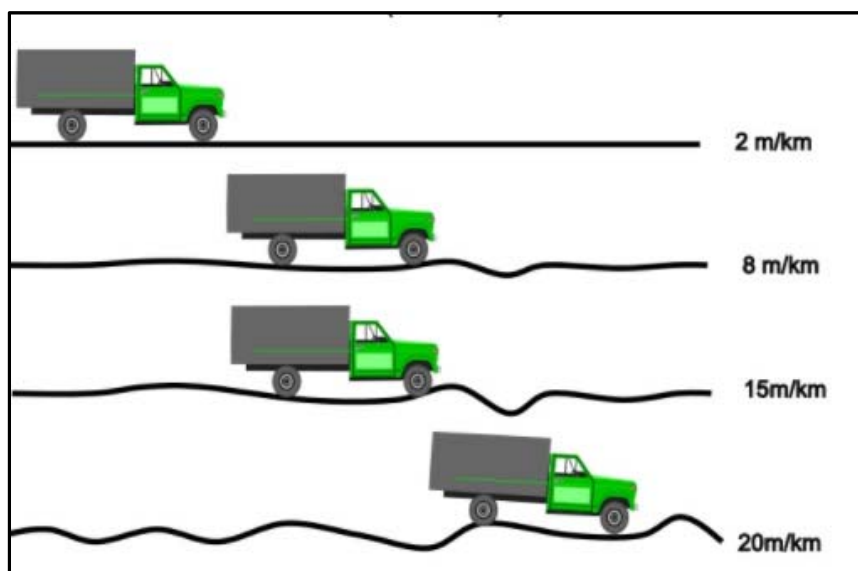


Figura 2-4 Asimilación de las Características del Camino con valor de Irregularidad

Fuente: Gestión de Caminos No Pavimentados (Salgado)

2.5.1.7 Textura Superficial

La textura de los pavimentos está relacionada a la seguridad de las vías, en lo que refiere a la adherencia y la capacidad de evacuar el agua superficial. La textura es una característica innata de la superficie de la rodadura, la que está en función del tamaño, forma, disposición y distribución del árido y del ligante. Es por eso, que una superficie abierta tendrá una textura, no así es la mezcla densa, que da una superficie suave el cual tendrá una textura fina.

De acuerdo al numeral 6.203.303, del Manual de Carreteras, la mediana del umbral de construcción de la resistencia al deslizamiento (SFC), es de 0,65. Mientras que el umbral de alerta se encuentra en torno a 0,45.

Por otro parte, en la Tabla 6.203.303.C, del Manual de Carreteras, se obtiene que el umbral de construcción y de alerta de la macrotextura (SMTD), es de 0.6 y 0.4 mm, respectivamente.

En resumen, en la Tabla 2-30, se entregan los datos a utilizar en **Textura Superficial** de HDM-4.

Tabla 2-30 Categorización de Textura Superficial

	Profundidad Macrotextura (mm)	Resistencia al Deslizamiento
Umbral de Construcción (Bueno)	0.6	0.65
Regular	0.5	0.55
Umbral de Alerta (Derrapante)	0.4	0.45

Fuente: Manual de Carreteras, Vol.6 (MOP, 2016)

2.5.1.8 Tipo de Geometría

De acuerdo al Manual de Carreteras, Vol.1, “la identificación y cuantificación de las características geométricas del camino, resultan necesarias al efectuar la tramificación de la red vial existente para efectos de modelación y evaluación. Los parámetros geométricos del camino son requeridos fundamentalmente por el modelo de consumo de recurso y el modelo de deterioro” (MOP, 1997).

Las dos principales características descritas en el **tipo de geometría**, son:

- ✓ Curvatura horizontal
- ✓ Características verticales

a) Curvatura Horizontal:

Corresponde a una medida del grado de curvatura en planta de un camino, el cual permite determinar si el tramo es recto, sinuoso o muy sinuoso. Se expresa en Grados Sexagesimales por Kilómetro ($^{\circ}/\text{Km}$).

En base a lo expresado en el Manual de Carreteras, Vol.1, la categorización por curvatura horizontal se define de la siguiente manera:

- Tramo Recto: Sectores en los cuales las curvas son imperceptibles en la circulación vehicular. Se adopta como criterio un valor de curvatura de $20^{\circ}/\text{Km}$.

- Tramo Sinuoso: Curvas horizontales que implican en los conductores disminuciones en la velocidad de circulación. Se adopta como criterio un valor de curvatura de 90 °/Km.
- Tramo Muy Sinuoso: Tramo que presenta curvas y contracurvas, obligando una reducción considerable de la velocidad. Se adopta como criterio un valor de 150°/Km.

b) Características Verticales

Corresponde a las características relacionadas a la variación de altura del tramo en estudio. Se necesita especificar las subidas y bajadas expresadas en metros, la pendiente, el número de ascensos y descensos que presenta el tramo. Con las características especificadas, es posible definir si el terreno es llano, ondulado o montañoso.

De acuerdo al Volumen 3, del Manual de Carreteras, las características que definen la categorización vertical de los caminos, son:

- Terreno Llano: Está constituida por extensiones libres de obstáculos naturales. El relieve puede incluir ondulaciones moderadas de la rasante. Se puede asumir como valor por defecto de subidas y bajadas de 10 m/Km, mientras que el valor de la pendiente es de +/- 3%.
- Terreno Ondulado: Relieve con frecuentes cambios de cotas, aunque no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, por lo que las pendientes pueden fluctuar entre 3% a 7%, por lo que se adopta un valor por defecto del 5%. El valor a adoptar de las subidas y bajadas es de 30 m/Km.
- Terreno Montañoso: Caminos que se encuentran inmiscuidos en cordones montañosos o “cuestas”, en las cuales el desnivel es considerable en términos absolutos. Las pendientes se encuentran en un rango entre 4% al 9%. Se adopta como valor un 7%. En lo que respecta las subidas y bajas, se adopta un valor por de 50 m/Km.

Entre ambas características geométricas (horizontal y vertical), se realiza un matriz de casos posibles, dando origen a 9 eventos. Sin embargo, se elimina dos dada la poca probabilidad de ocurrencia (zona recta y montañosa, zona muy sinuosa y llana).

En lo que respecta a los valores del límite de velocidad de acuerdo a la geometría del tramo, en el país para zonas rectas y que sean autopistas el límite máximo de velocidad es de 120 km/h. Para vías montañosas y que sean colectoras la velocidad de proyecto es de 60 km/h. Los valores entre ambos extremos fueron prorrateados, observando los valores que trae por defecto, HDM-4. Al igual que los valores del número de ascensos y descensos.

Por lo tanto, los datos que se sugieren utilizar en la descripción geométrica de las vías se visualizan en la Tabla 2-31.

Tabla 2-31 Descripción Geométrica de las vías en Chile

	Ascensos y Descensos (m/km)	# de ascensos y descensos	Curvatura horizontal (grad/km)	Sobreelevación (%)	Límite de Velocidad (km/h)
Recto y Llano	10	1	20	1,5	120
Recto y Ondulado	30	2	20	5	110
Sinuoso y Llano	10	2	90	3	90
Sinuoso y Ondulado	30	2	90	5	80

	Ascensos y Descensos (m/km)	# de ascensos y descensos	Curvatura horizontal (grad/km)	Sobreelevación (%)	Límite de Velocidad (km/h)
Sinuoso y Montañoso	50	3	90	7	70
Muy sinuoso y Ondulado	30	3	150	5	70
Muy sinuoso y Montañoso	50	4	150	7	60

Fuente: Elaboración Propia

2.6 Series de Calibración

Los deterioros de los pavimentos es una función que depende del diseño mismo, tipos de materiales, calidad de la construcción, volumen de tránsito, características de los ejes de cargas, geometría del camino, condiciones ambientales, edad del pavimento y de las políticas de mantenimiento.

HDM-4 incluye relaciones para la modelación de los deterioros de pavimentos. Estos son usados con el propósito de predecir anualmente las condiciones de la vía y para la evaluación de estrategias de trabajo.

Para cada modelo de desarrollo y progresión de deterioros, hay diferentes tasas de deterioros en diferentes ambientes, por ello los deterioros podrían siempre ser calibrados a las condiciones del lugar, antes de que sean utilizados en los análisis. Es por esto, que los modelos incluyen un número de factor de calibración denotado por la letra K. Estos factores "K" son multiplicativos y usados para cambiar la escala de un deterioro en particular. El valor por defecto de todos los factores es el valor 1.0.

Por ejemplo, K_{cia} es el factor de calibración de inicio de todas las grietas estructurales en los pavimentos asfálticos. Si el valor de K_{cia} , se incrementa a 2.0 por ejemplo, el tiempo a iniciar todas las grietas estructurales es el doble, implicando que el pavimento demoraría más en que aparezcan grietas predichas por HDM-4. Similarmente incrementar el factor de calibración de progresión de todas las grietas estructurales, K_{cpa} a un valor de 2.0, implicará que el pavimento se deteriorará, en términos de tasa de progresión de grietas, dos veces más rápido que lo predicho por el valor por defecto que tiene HDM-4.

De lo anterior, se desprende la importancia de realizar los respectivos estudios para el ajuste de los factores de calibración, para poder adaptar las tasas de deterioros específicas de las carreteras ya sea por su sección transversal, tipo de rodadura y región.

En resumidas cuentas, cuando se habla de un juego de calibración, se entiende como el conjunto de los factores de calibración de los deterioros que adquiere un tipo de pavimento, y en cual también se ingresan otros parámetros que afecten y/o describan el desempeño del pavimento tales como tipo de suelo y caracterización de este, caracterización de los materiales, efectos de la calidad de la construcción y las rehabilitaciones, etc. Los juegos de calibración de los pavimentos son ingresados en el Módulo de Configuración en "**Series de Calibración RD**".

2.6.1 Series de Calibración en Chile

La serie de calibración, para los deterioros de pavimentos en Chile, al día de hoy se encuentra en etapa de finalización por parte de Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas. El estudio se denomina “**Actualización Parámetros Modelos HDM-4**”, en la que las etapas de calibración de deterioros se encuentran finalizadas.

Se advierte que los valores entregados en el presente informe dada la gran cantidad de grupos, estos son útiles en etapas de ingeniería, pero para pre-inversión se puede utilizar al promedio de los grupos cuya zona climática y tipo de rodadura, sea la misma. Lo anterior, es lo que se presenta en el Object final.

Los factores de calibración para las grietas y desprendimiento de áridos, se entregan en la Tabla 2-32, mientras que los valores de los factores para ahuellamiento e IRI, se presentan en la Tabla 2-34.

Tabla 2-32 Factores de Calibración para Grietas y Desprendimiento de Áridos

Categoría	Clasificación	Sigla de la Clasificación	Estructura	Grietas Estructurales Totales		Grietas Anchas		Despontillamiento	
				Inicio Kcia	Progresión Kcpa	Inicio Kciw	Progresión Kcpw	Inicio Kvi	Progresión Kvp
AMA001	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	N-A B A	MAC GB N	0.43	0.75	0.80	1.00	1.00	1.00
AMA002	Norte Altiplano - Tránsito Medio - Adecuación Alta	N-A M A	MAC GB N	0.40	0.50	0.60	1.00	0.55	0.50
AMA003	Norte Altiplano - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	N-A Mb A	MAC GB N	0.28	0.45	1.00	1.00	0.60	1.30
AMA004	Centro Costa - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	C-CS B A	MAC GB N	1.17	0.50	1.15	1.00	1.30	1.00
AMA005	Centro Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	C-CS Mb A	MAC GB N	0.50	0.62	1.50	1.00	1.00	1.00
AMA006	Centro Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	C-VC B A	MAC GB N	0.50	0.20	2.00	0.25	1.40	1.00
AMA007	Centro Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	C-VC Mb A	MAC GB N	0.76	0.65	1.50	1.00	1.30	1.00
AMA008	Sur Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	S-VC Mb A	MAC GB N	0.65	0.65	0.50	0.62	1.10	1.00
ARE009	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	N-A B A	MAC GB R	0.15	0.74	1.80	0.50	1.20	1.00
ARE010	Centro Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Media	C-VC B M	MAC GB R	0.90	2.00	0.00	1.00	0.55	0.80
ARE011	Centro Valle Central - Tránsito Medio - Adecuación Media	C-VC M M	MAC GB R	0.43	1.00	1.30	1.00	0.80	1.00
ARE012	Sur Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Alto	S-VC B A	MAC GB R	1.00	0.80	1.00	1.00	1.40	1.00

Categoría	Clasificación	Sigla de la Clasificación	Estructura	Grietas Estructurales Totales		Grietas Anchas		Despontillamiento	
				Inicio Kcia	Progresión Kcpa	Inicio Kciw	Progresión Kcpw	Inicio Kvi	Progresión Kvp
ATS013	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Baja	N-A B B	TS GB N	0.19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ATS014	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Media	N-A B M	TS GB N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ATS015	Norte Altiplano - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	N-A Mb B	TS GB N	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ATS016	Norte Altiplano - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Media	N-A Mb M	TS GB N	0.67	0.68	0.50	0.24	1.00	1.00
ATS017	Norte Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	N-CS Mb B	TS GB N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	1.00
ATS018	Norte Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Media	N-CS Mb M	TS GB N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.40	1.00
ATS019	Centro Cordillera - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	C-Cr Mb B	TS GB N	0.45	0.75	0.70	1.00	0.90	1.00
ATS020	Centro Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	C-CS Mb B	TS GB N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ATS021	Centro Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Baja	C-VC B B	TS GB N	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ATS022	Centro Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	C-VC Mb B	TS GB N	0.20	0.35	1.50	1.00	0.50	1.00
ATS023	Sur Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Baja	S-VC B B	TS GB N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00
ATS024	Sur Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	S-VC Mb B	TS GB N	0.15	0.40	1.00	0.64	1.15	1.00

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 3 (APSA & DDQ, 2017)

Tabla 2-33 Factores de Calibración para el Ahuellamiento

Categoría	Clasificación	Sigla de la Clasificación	Estructura	Ahuellamiento			
				D. Inicial Krid	Estructural Krst	D. Plástica Krpd	Desviación Krds
AMA001	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	N-A B A	MAC GB N	1.12	0.65	0.00	0.38
AMA002	Norte Altiplano - Tránsito Medio - Adecuación Alta	N-A M A	MAC GB N	0.67	1.37	0.00	0.31
AMA003	Norte Altiplano - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	N-A Mb A	MAC GB N	0.97	1.20	0.00	0.63

Categoría	Clasificación	Sigla de la Clasificación	Estructura	Ahuellamiento			
				D. Inicial Krid	Estructural Krst	D. Plástica Krpd	Desviación Krds
AMA004	Centro Costa - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	C-CS B A	MAC GB N	0.53	1.11	0.00	0.33
AMA005	Centro Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	C-CS Mb A	MAC GB N	1.10	1.30	0.00	0.46
AMA006	Centro Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	C-VC B A	MAC GB N	0.27	0.83	0.00	0.34
AMA007	Centro Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	C-VC Mb A	MAC GB N	0.70	0.82	1.00	0.44
AMA008	Sur Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	S-VC Mb A	MAC GB N	0.87	1.00	0.57	0.86
ARE009	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	N-A B A	MAC GB R	1.00	2.08	1.67	0.68
ARE010	Centro Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Media	C-VC B M	MAC GB R	1.00	1.80	1.00	0.43
ARE011	Centro Valle Central - Tránsito Medio - Adecuación Media	C-VC M M	MAC GB R	1.00	1.00	0.23	0.54
ARE012	Sur Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Alto	S-VC B A	MAC GB R	1.00	0.90	1.30	0.47
ATS013	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Baja	N-A B B	TS GB N	0.96	0.79	0.00	0.30
ATS014	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Media	N-A B M	TS GB N	1.17	1.55	1.00	0.36
ATS015	Norte Altiplano - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	N-A Mb B	TS GB N	0.79	0.88	0.00	0.24
ATS016	Norte Altiplano - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Media	N-A Mb M	TS GB N	1.39	0.87	0.83	0.31
ATS017	Norte Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	N-CS Mb B	TS GB N	0.88	0.90	0.01	0.31
ATS018	Norte Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Media	N-CS Mb M	TS GB N	1.26	0.94	0.00	0.25

Categoría	Clasificación	Sigla de la Clasificación	Estructura	Ahuellamiento			
				D. Inicial Krid	Estructural Krst	D. Plástica Krpd	Desviación Krds
ATS019	Centro Cordillera - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	C-Cr Mb B	TS GB N	1.30	0.68	1.00	0.70
ATS020	Centro Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	C-CS Mb B	TS GB N	0.38	1.00	0.00	0.33
ATS021	Centro Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Baja	C-VC B B	TS GB N	1.00	1.00	0.00	0.51
ATS022	Centro Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	C-VC Mb B	TS GB N	1.30	0.30	0.00	0.44
ATS023	Sur Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Baja	S-VC B B	TS GB N	1.49	1.13	0.50	0.40
ATS024	Sur Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	S-VC Mb B	TS GB N	2.02	0.90	0.00	0.46

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 3 (APSA & DDQ, 2017)

Tabla 2-34 Factores de Calibración para el IRI

Categoría	Clasificación	Sigla de la Clasificación	Estructura	IRI				
				Ambiental Kgm	Baches Kgp	Estructural Kgs	Grietas Kgc	Ahuellamiento Kgr
AMA001	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	N-A B A	MAC GB N	2.72	1.00	1.00	1.00	4.00
AMA002	Norte Altiplano - Tránsito Medio - Adecuación Alta	N-A M A	MAC GB N	3.00	1.00	1.50	1.00	3.71
AMA003	Norte Altiplano - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	N-A Mb A	MAC GB N	1.91	1.00	1.00	1.00	2.00
AMA004	Centro Costa - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	C-CS B A	MAC GB N	0.92	1.00	1.00	1.00	0.30
AMA005	Centro Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	C-CS Mb A	MAC GB N	5.00	1.00	1.00	1.00	3.39
AMA006	Centro Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	C-VC B A	MAC GB N	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00
AMA007	Centro Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	C-VC Mb A	MAC GB N	3.00	1.00	1.00	1.00	2.00

Categoría	Clasificación	Sigla de la Clasificación	Estructura	IRI				
				Ambiental Kgm	Baches Kgp	Estructural Kgs	Grietas Kgc	Ahuellamiento Kgr
AMA008	Sur Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Alta	S-VC Mb A	MAC GB N	0.97	0.35	0.10	0.10	2.33
ARE009	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Alta	N-A B A	MAC GB R	4.00	1.00	1.00	1.50	3.50
ARE010	Centro Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Media	C-VC B M	MAC GB R	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00
ARE011	Centro Valle Central - Tránsito Medio - Adecuación Media	C-VC M M	MAC GB R	1.01	1.00	0.59	1.00	1.18
ARE012	Sur Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Alto	S-VC B A	MAC GB R	1.00	1.00	1.00	1.00	0.24
ATS013	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Baja	N-A B B	TS GB N	1.71	1.00	1.50	1.00	2.50
ATS014	Norte Altiplano - Tránsito Bajo - Adecuación Media	N-A B M	TS GB N	0.88	1.00	0.10	1.00	3.33
ATS015	Norte Altiplano - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	N-A Mb B	TS GB N	0.90	1.00	1.00	1.00	1.50
ATS016	Norte Altiplano - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Media	N-A Mb M	TS GB N	1.11	1.00	1.00	1.19	3.86
ATS017	Norte Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	N-CS Mb B	TS GB N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ATS018	Norte Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Media	N-CS Mb M	TS GB N	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00
ATS019	Centro Cordillera - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	C-Cr Mb B	TS GB N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ATS020	Centro Costa - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	C-CS Mb B	TS GB N	0.94	1.00	1.45	1.00	0.13
ATS021	Centro Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Baja	C-VC B B	TS GB N	0.87	1.00	1.00	1.00	1.50
ATS022	Centro Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	C-VC Mb B	TS GB N	3.00	1.00	1.00	1.00	2.87

Categoría	Clasificación	Sigla de la Clasificación	Estructura	IRI				
				Ambiental Kgm	Baches Kgp	Estructural Kgs	Grietas Kgc	Ahuellamiento Kgr
ATS023	Sur Valle Central - Tránsito Bajo - Adecuación Baja	S-VC B B	TS GB N	0.95	1.00	0.18	1.00	0.40
ATS024	Sur Valle Central - Tránsito Muy Bajo - Adecuación Baja	S-VC Mb B	TS GB N	1.50	0.01	1.00	1.00	2.00

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 3 (APSA & DDQ, 2017)

Donde:

MAC GB N: Mezcla Asfáltica Sobre Base Granular Nuevo (Pavimento Sin Intervención)

MAC GB R: Mezcla Asfáltica Sobre Base Granular Recapado o Pavimento Asfáltico (Pavimento con Intervenciones)

TS GB N: Tratamiento Superficial Sobre Base Granular

Kcia: Factor de Calibración para el Inicio de Grietas Totales

Kcpa: Factor de Calibración para la Progresión de Grietas Totales

Kciw: Factor de Calibración para el Inicio de Grietas Anchas

Kcpw: Factor de Calibración para la Progresión de Grietas Anchas

Kvi: Factor de Calibración para el Inicio de Desprendimiento de Áridos

Kvp: Factor de Calibración para la Progresión de Desprendimiento de Áridos

Krid: Factor de Calibración para la Densificación Inicial

Krst: Factor de Calibración para el Ahuellamiento Estructural

Krpd: Factor de Calibración para la Deformación Plástica

Krds: Factor de Calibración para la Desviación del Ahuellamiento

Kgm: Factor de Calibración de la Componente Ambiental del IRI

Kgp: Factor de Calibración de la Componente Baches del IRI

Kgs: Factor de Calibración de la Componente Estructural del IRI

Kgc: Factor de Calibración de la Componente de Grietas del IRI

Kgr: Factor de Calibración de la Componente del Ahuellamiento del IRI

En lo que respecta a la calibración de los pavimentos de hormigón tradicional, los factores de calibración obtenidos, se muestran en la Tabla 2-35.

Tabla 2-35 Factores de Calibración para Pavimentos de Hormigón Tradicional

Categoría	Sigla de la Categoría	Escalonamiento (Kjpn)	Agrietamiento (Kjpc)	IRI (Kjpr)	Despontillamiento (Kjps)
Pavimento Rígido - Clima Norte	PR-CN	0.30	0.05	3.10	0.05
Pavimento Rígido - Clima Centro y Sur Costa - Tránsito Medio - Capacidad Alta/Media	PR-CSCs-TM-CAM	0.59	0.05	1.60	0.05
Pavimento Rígido - Clima Centro y Sur Valle Central - Tránsito Medio - Capacidad Alta	PR-CSVC-TM-CA	0.71	0.05	1.00	0.05

Categoría	Sigla de la Categoría	Escalonamiento (Kjpn)	Agrietamiento (Kjpc)	IRI (Kjpr)	Despontillamiento (Kjps)
Pavimento Rígido - Clima Centro y Sur Valle Central - Tránsito Bajo - Capacidad Alta	PR-CSVC-TB-CA	1.46	0.05	1.00	0.05
Pavimento Rígido - Clima Centro y Sur Valle Central - Tránsito Medio - Capacidad Media	PR-CSVC-TM-CM	0.86	0.05	1.00	0.05
Pavimento Rígido - Clima Centro y Sur Valle Central - Tránsito Bajo - Capacidad Media	PR-CSVC-TB-CM	1.31	0.10	1.00	0.05
Pavimento Rígido - Clima Austral - Tránsito Bajo - Capacidad Alta	PR-AS-TB-CA	1.40	0.20	1.76	0.05

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 4 (APSA & DDQ, 2017)

Donde:

Kjpn: Factor de Calibración del Escalonamiento
 Kjpc: Factor de Calibración del Agrietamiento
 Kjpr: Factor de Calibración del IRI
 Kjps: Factor de Calibración del Despontillamiento

Por otra parte, se realizó una calibración de los pavimentos rígidos de losas cortas, el cual arrojó los siguientes resultados expresado en la Tabla 2-36:

Tabla 2-36 Factores de Calibración para Pavimento de Hormigón de Losas Cortas

Factor de Calibración	Valor Factor
Agrietamiento (Kjpc)	0.02
Escalonamiento (Kjpnf)	1.10
Despontillamiento (Kjps)	0.05
IRI (Kjpr)	0.50

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 4 (APSA & DDQ, 2017)

Para ambos tipos de pavimentos de hormigón, en lo que respecta al valor de la Base, debe utilizar el valor recomendado por la Guía MEPDG, desarrollado por la UTFSM, en el cual indica que este debe tener un valor de 186 MPa. El valor del módulo de elasticidad del hormigón, se obtiene a través del recomendado por el Volumen 3 del Manual de Carreteras, el cual sugiere un valor de 29000 MPa; mientras que el valor del módulo de rotura se designó con un valor de 5 MPa, que resulta ser el valor promedio que debiesen tener las vías colectoras y autopistas.

Finalmente, los diseños de losas cortas consideran largos de losas menores a 2,5 metros. Sin embargo, HDM-4, permite como 3 metros de largo mínimo a ingresar. Se advierte que la calibración se realizó ingresando el valor de 3 metros y se buscó el factor de calibración que pudiera solventar este inconveniente y emular los resultados de OPTIPAVE. En síntesis, en los análisis que desee hacer con **losas cortas, ingresar como largo de losa el valor de 3 metros.**

Para ambos tipos de pavimentos rígidos, se utiliza como valor de módulo de reacción de la subrasante “k”, el correspondiente al de un CBR de 10%. Si se tiene un valor distinto de CBR, debe utilizar las siguientes correlaciones:

$$K(MPa/m) = 2,55 + 52,5 * \log CBR \quad CBR \leq 10\% \quad (\text{Ecuación 2-4})$$

$$K(MPa/m) = 46 + 9,08 * (\log CBR)^{4,34} \quad 10\% < CBR \quad (\text{Ecuación 2-5})$$

El significado de la nomenclatura utilizada en los factores de calibración del “Object Maestro”, se presenta en el ANEXO E.

3 FLOTA VEHICULAR Y ESTÁNDARES DE TRABAJO

3.1 Flota Vehicular

En el HDM-4 uno de los módulos principales de captura de datos es el denominado FLOTA VEHICULAR, el cual le permite al usuario alimentar el software con los datos e información que caracteriza a cada uno de los vehículos que en conjunto conforman el parque de vehículos en que se supone se encuentra clasificada y subdividida la flota de vehículos que típicamente circulara por el camino o red de caminos que se pretende modelar.

Por lo tanto, la definición de una flota vehicular dentro del HDM-4 supone primero la identificación de los distintos tipos de vehículos que representaran cada categoría (clasificación) de vehículo que componen este conjunto, para posteriormente asignar los valores que le correspondan a cada uno de los parámetros con que se caracterizan los vehículos en HDM-4. Dicho de otra forma, se identifican y caracterizan los vehículos tipo que representaran la flota vehicular con la que se representara la masa vehicular que circulara por los caminos o secciones de camino que sean objeto de estudio en el HDM-4.

En el presente capítulo se explica para el caso específico de Chile como está conformado el parque vehicular existente en el país y cuáles son los valores que se adoptaron para los diferentes parámetros que caracterizan un vehículo en el software con la intención de definir el vehículo tipo que representa una clasificación o categoría existente en el país y que debería contemplarse para la modelación con HDM-4. La mencionada definición de la Flota vehicular y los vehículos típicamente representativos para el caso particular de Chile, junto a la calibración de los costos de operación vehicular, se realizó dentro del marco del **ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4”**, Etapa 2 y 5, que actualmente está próximo a concluir por parte de Dirección de Vialidad, del Ministerio de Obras Públicas.

3.1.1 Resultados de la Definición de Flota Vehicular de HDM-4 aplicable a Chile

Dentro del estudio que en la actualidad está siendo llevado a cabo por parte del MOP, denominado **ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4”**, se estableció una metodología para la obtención de la flota vehicular más representativa que en la actualidad circula en el país, la cual se considera debería ser el punto de partida para la unificación de la flota que se utilice en general en el país para modelar los diferentes tipos de proyecto de infraestructura vial mediante el HDM-4 en Chile.

Es importante mencionar que el proceso de definición de la composición del parque vehicular a considerar, se procuró encontrar el conjunto de vehículos tipo más representativo de lo que existe en la actualidad en Chile, de modo que fuera lo suficientemente flexible y adaptable a los cambios de situación y/o contexto, así como aquellos ajustes que fuera necesario tener presentes a futuro debidos a cambios y renovación del parque vehicular. A continuación, se resumen los aspectos más relevantes del proceso de definición de la Flota Vehicular de HDM-4 aplicable a Chile:

- Fuentes de información sobre las características y composición del parque vehicular existente en Chile

En primer lugar, se comenzó por la identificación y selección de las fuentes de datos disponibles que permitieran identificar los diferentes vehículos existentes en el país y su representatividad dentro del parque vehicular de Chile. En este sentido, una vez la composición y distribución de

los distintos vehículos presentes en el mercado estuviera identificada se procedió a clasificar y agrupar por categoría de vehículos, para luego encontrar a aquel vehículo tipo que representara los de su especie.

Dentro de las principales fuentes consultadas para cumplir con el propósito descrito en el párrafo anterior, se encuentran las siguientes:

- Asociación Nacional de Automotriz de Chile A.G.
- Coordinación de Concesiones – MOP.
- Instituto Nacional de Estadística – INE.
- Otras fuentes , Terminal de Buses de Santiago

Tabla 3-1 Fuentes de Información

Fuente	Información Disponible
 <p>ANAC Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G.</p>	<p>Mercado automotor de vehículos nuevos, informes y anuarios públicos entregados en su página web, marcas más vendidas de vehículos livianos, vehículos comerciales, buses y camiones. Liberados de prensa los cuales señalan las 10 marcas más vendidas de vehículos livianos y comerciales en un umbral de 5 años. Se logró el detalle del parque vehicular para vehículos de pasajeros y comerciales que ingresan al país proveniente del mercado automotor, el cual permitió estimar las marcas de buses y camiones que ingresan al parque automotor.</p>
 <p>Ministerio de Obras Públicas Gobierno de Chile</p>	<p>Datos de pódicos de peaje free flow, la Dirección de Vialidad proporcionó el Registro Nacional de Usuarios de Tele-peajes RNUT. Esta es una base de datos centralizada, dependiente del Ministerio de Obras Públicas.</p> <p>Estudio MOP: “Actualización de la Metodología para la estimación de los costos de Operación Vehicular” (Año 2006), que considero los datos de las plazas de peaje existentes en la época.</p>
 <p>INE Instituto Nacional de Estadísticas - Chile</p>	<p>Registros administrativos de los permisos de circulación otorgados por las municipalidades, lo que permitió conocer el parque automotriz a nivel nacional, regional provincial y comunal.</p>
 <p>TBS TERMINAL DE BUSES SANTIAGO</p>	<p>Datos de una muestra representativa de los tipos de buses interprovinciales. El levantamiento de datos se realizó en el terminal de buses de Santiago, teniendo en cuenta que los itinerarios de viajes con origen y destino en Santiago abarcan desde Arica hasta Puerto Montt. Fueron obtenidos los siguientes resultados: Patente, marca, modelo, carrozado y número de pisos en un total de 141 unidades.</p>

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 2 (APSA & DDQ, 2017)

La flota vehicular a considerar en este estudio, considera la distribución del parque automotor sobre la base de 16 categorías de vehículos, los cuales, de manera general, se separan en 2 grandes categorías con grandes diferencias entre su comportamiento y mercado, los vehículos livianos y los vehículos pesados. Por esto, para cubrir todas las variantes de identificación de los vehículos a estudiar, la revisión de antecedentes se realizó considerando tres mercados:

- a) El mercado automotor de vehículos nuevos.
- b) El mercado automotor de vehículos usados.
- c) El parque automotor de vehículos en circulación.

El mercado automotor de vehículos nuevos no solo permite estudiar el parque de vehículos que se ha ido sumando al parque actual, si no que permite estimar la composición vehicular para años futuros.

La fuente de información recopilada en este ámbito, se obtuvo desde la Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G. (ANAC), la cual es una entidad gremial que reúne a los representantes de marcas automotrices e importadores de automóviles, vehículos comerciales livianos, camiones y buses presentes en el país y fue la principal fuente de información relacionada con el mercado automotriz de Chile.

La primera parte de la información utilizada proveniente de ANAC, corresponde a informes y anuarios públicos entregados en su página web, los cuales presentan en detalle las tendencias del mercado automotor, y permitieron generar un registro de las marcas más vendidas de vehículos livianos, vehículos comerciales, buses y camiones.

La segunda parte de la información utilizada proveniente de ANAC, corresponde a liberados de prensa proporcionados directamente de su Área de Comunicaciones, los cuales señalan las 10 marcas más vendidas de vehículos livianos y comerciales en un umbral de 5 años. Entre estas 2 fuentes de información, se logró estimar en detalle el parque vehicular para vehículos de pasajeros y comerciales que ingresan al país proveniente del mercado automotor, y permitió estimar las marcas de buses y camiones que ingresan al parque automotor.

Tabla 3-2 Segmentos de Mercado de Venta de Vehículos

Segmento	Sub-segmento	Tipo	Descripción	
Vehículos Livianos y Medianos (64 marcas)	Autos	Citycar	Vehículo de pasajeros de dos volúmenes -capó y habitáculo de pasajeros que pueden tener tres o cinco puertas, considerando el portalón trasero como una puerta de largo menor a 360 centímetros.	
		Hatchback	Vehículo de pasajeros de dos volúmenes -capó y habitáculo de pasajeros que pueden tener tres o cinco puertas, considerando el portalón trasero como una puerta con un largo superior a 361 centímetros.	
		Sedan	Vehículo de pasajeros de cuatro puertas y tres volúmenes -capó, habitáculo de pasajeros y maletero	
		Station Wagon	Vehículo de pasajeros de dos volúmenes -capó y habitáculo de pasajeros de cinco puertas, considerando el portalón trasero y que cuenta con mayor espacio de carga trasera	
		Coupe	Vehículo de pasajeros de tres o dos volúmenes con dos puertas.	
		Cabriolet	Vehículo de pasajeros con techo abatible	
		Mini VAN	Vehículo monovolumen con un mínimo de tres corridas de asientos y para un máximo de nueve pasajeros, incluyendo al conductor.	
	SUV	Vehículo de dos volúmenes, 3 o 5 puertas, considerando el portalón trasero y con apariencia de vehículo todoterreno		
	Comerciales Livianos	Camioneta	Vehículo provisto de cabina simple o doble, dotado de dos o cuatro puertas, y con una caja de carga de hasta 2.000 kilos separada de la cabina	
		Furgón	Vehículo compuesto de cabina y caja para el transporte de carga en un solo cuerpo, provisto de dos puertas delanteras; lateral(es) o posterior para el movimiento de la carga.	
		Minibus	Vehículo para el transporte de personas, entre 10 y 20 asientos, carrocería en un solo cuerpo, con vidrios en sus paneles laterales.	
		Minitruck	Vehículo de carga similar en sus características al segmento de camiones, pero con un peso bruto vehicular menor a 3.860 kilos	
	Vehículos Pesados (46 marcas)	Camiones	Cargo	Camiones que llevan la carga sobre el chasis, el cual puede ir abierto o con una carrocería cerrada. En el caso de los camiones cargo de mayor tonelaje pueden arrastrar un remolque y aumentar la carga.
			Tracto	Camiones pesados, que traccionan un semirremolque, no llevan la carga sobre el chasis
Tolva			Para transporte de áridos o productos mineros.	
Furgón			Vehículo compuesto de cabina y caja para el transporte de carga en un solo cuerpo, provisto de dos puertas delanteras; lateral(es) o posterior para el movimiento de la carga.	
Forestal			Camiones especialmente equipados para su uso en faenas forestales	
Mixer			Camiones especialmente equipados para el traslado de hormigón	
Buses		Mini bus	Con capacidad entre 21 a 26 personas, incluyendo el conductor son utilizados principalmente para transporte público rural, transporte particular y turismo	
		Taxibus	Con capacidad entre 27 a 35 pasajeros y un largo entre 8 a 9 metros. Son utilizados principalmente para transporte urbano interprovincial, transporte rural, transporte privado y turismo.	
		Buses inter-provinciales	Con capacidad entre 36 a 45 pasajeros y entre 10 a 11 metros de longitud. Son usados como servicios de transporte público de corta distancia, rurales o interprovinciales, transporte privado y turismo	
		Buses Media y Larga Distancia	Con capacidad entre 42 y 50 pasajeros y longitud de 11 a 14 metros. Este tipo de buses es utilizado principalmente como transporte público de media y larga distancia (interregional), transporte privado y turismo.	
		Urbano Transantiago	Con largo entre 8 y 12 metros y de uso exclusivo para transporte público en el Gran Santiago	

Fuente: ANAC

- Transacciones de pódicos de peaje free- Flow

Corresponden a información de transacciones anuales totales obtenidas desde pódicos de peaje – free flow emplazados en las vías concesionadas que cuentan con esta tecnología. Para el año 2016 incluye 44 pódicos en 2 sentidos de circulación. Estas transacciones permitieron generar series de datos para los cortes temporales desde el año 2006 hasta el mes de octubre del año 2016. En cada corte temporal se configuró una base de datos que contaba con los siguientes campos por registro:

- Año: corte temporal del registro.
- Patente del vehículo: patente registrada en padrón del vehículo. Este dato no se utiliza
- Marca: fabricante
- Modelo: subconjunto de tipos de vehículos ofrecidos en el mercado según la marca y la versión de cada modelo.

Junto con los datos de pódicos de peaje free flow, la Dirección de Vialidad proporcionó el Registro Nacional de Usuarios de Tele-peajes RNUT. Esta es una base de datos centralizada, dependiente del Ministerio de Obras Públicas, en el cual las Autopistas Urbanas tienen la obligación de registrar la información de los propietarios de vehículos que suscriben un Contrato de TAG/Televía. Esta base de datos proporciona un registro de Patente-Año del vehículo-Marca-Modelo-Clasificación Urbana, donde esta última registra alguno de los siguientes casos:

- Tipo 1 Autos y Camionetas
- Tipo 2 Buses y Camiones
- Tipo 3 Tractores y Acoplados
- Tipo 4 Motos.

- Encuesta Anual de Vehículos en

Sabiendo que anualmente el Instituto Nacional de Estadísticas a lo largo del país maneja información proviene de los registros administrativos de los permisos de circulación otorgados por las municipalidades, lo cual permite conocer el parque automotriz a nivel nacional, regional provincial y comunal, el cual se pudo contar con el siguiente desglose:

- Transporte particular: automóvil, *station wagon* (ambulancias y carrozas fúnebres), todo terreno, furgón, minibús, camioneta, motocicleta y similares, “otros con motor” (casa rodante automotriz y otros); además de los vehículos sin motor agrupados en la categoría “otros sin motor” (casa rodante y carro de arrastre hasta 1.750kg, y otros).
- Transporte colectivo: taxi básico, taxi colectivo, taxi turismo, minibús de transporte colectivo, minibús furgón escolar y de trabajadores, taxibús, bus de transporte colectivo, bus de transporte escolar y trabajadores.
- Transporte de carga: camión simple, tracto-camión, tractor agrícola y “otros con motor” (camiones especializados y maquinarias automotrices especializadas); además de remolques y semirremolques.
- Levantamiento de Terreno y antecedentes complementarios.

Como complemento a la información recibida por parte de la Dirección de Vialidad, se debió analizar en terreno el parque de buses con tal de mejorar la base de datos ya obtenida desde el registro RNUT, pues si bien de esta base se puede obtener el modelo y marca del chasis de cada

bus, no entrega información alguna de la carrocería, dato importante para conocer el peso y los factores aerodinámicos del bus, el cual en muchos casos es de diferente marca y origen.

Este levantamiento se orientó específicamente a registrar una muestra representativa de los tipos de buses interprovinciales que circulan por las carreteras, puesto que en las otras fuentes de información no se encontraron datos suficientes como para realizar una clasificación adecuada.

El levantamiento de datos se realizó en el terminal de buses de Santiago, teniendo en cuenta que los itinerarios de viajes con origen y destino en Santiago abarcan desde Arica hasta Puerto Montt, cubriendo la mayor parte del territorio Nacional. Esto bajo el supuesto de que la capital es el principal centro de distribución de buses del país, este supuesto genera confianza al observar la cantidad de buses de larga distancia que se observaron en las mediciones.

Se consideró además que en el territorio que comprende desde Chiloé hasta Punta Arenas, las características de los caminos y el volumen de pasajeros impide que la clase buses interprovinciales circule por sus caminos, siendo la clase bus ligero la predominante. En este sentido se consideró que para la clase de buses en análisis resultaba adecuado revisar el mencionado terminal.

Del mencionado catastro, se obtuvieron los siguientes resultados: Patente, marca, modelo, carrozado y número de pisos. La muestra consideró un total de 141 patentes. Estos datos vienen a complementar aquellos que se obtuvieron a partir del análisis de las transacciones vehiculares.

Una vez definida las marcas y modelos que representan de mejor manera el parque vehicular a estudiar, se llevó a cabo la recopilación de antecedentes para definir características particulares de los vehículos considerados. Para esto, se consultaron los catálogos comerciales de cada uno de las marca-modelo-versiones de los vehículos a fin de identificar estadísticamente los vehículos representativos, generando una base de datos con las características a considerar para la definición de la Flota Vehicular Representativa.

- Estudios Anteriores del MOP

Otra fuente importante de información fueron los estudios anteriores del MOP, en donde se había procedido a realizar una determinación de flota vehicular representativa. En este caso se ha tomado como referencia el Estudio “Actualización de la Metodología para la estimación de los costos de Operación Vehicular” realizada en el año 2006. En el mencionado estudio se describe el procedimiento de trabajo que considero los datos de las plazas de peaje existentes en la época, datos del registro civil, muestreo en plazas de peaje, para posteriormente construir las siguientes categorías de vehículos:

- A1 : Automóviles y stations con cilindrada menor o igual a 1.400cc.
- A2 : Automóviles y stations con cilindrada mayor a 1.400 cc y menor a 1.800cc.
- A3 : Automóviles y stations con cilindrada mayor o igual a 1.800cc.
- CJF1: Camionetas, furgones y jeeps bencineros con cilindrada menor o igual a 2.000cc.
- CJF2: Camionetas, furgones y jeeps bencineros con cilindrada mayor a 2.000cc y menor o igual a 2.600cc.
- CJF3: Camionetas, furgones y jeeps bencineros con cilindradas mayor a 2.600cc.
- CJF4: Camionetas, furgones y jeeps diesel con cilindrada menor o igual a 2.000cc.
- CJF5: Camionetas, furgones y jeeps diesel con cilindrada mayor a 2.000cc.
- CS2E: Camiones simples de dos ejes.

CS+2E: Camiones simples de más de dos ejes.
 CSR: Camiones semi remolque.
 CR: Camiones remolque.
 BI: Buses interurbanos.
 TXB: Buses rurales o taxibuses.

Dentro de dichas categorías se identificaron marcas-modelos representativas a partir de las mediciones que realizaron en terreno. Luego, sobre dichas marcas representativas se determinaron las características específicas:

- Coeficiente de roce aerodinámico
- Dimensiones del vehículo: alto y ancho (para el cálculo del área frontal)
- Tara del vehículo y peso bruto
- Potencia nominal máxima (HP métrico)
- Características de neumáticos

3.1.2 Metodología Aplicada para Determinar la Flota Vehicular Representativa

La metodología aplicada en el **ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4”**, para la determinación de la Flota vehicular representativa consideró los siguientes aspectos:

- **Procesamiento de información.** En esta etapa consistió en homogenizar marca, modelo y versión de los vehículos contenidos en la base de datos y asociarles un tipo de vehículo y una cilindrada, con lo cual se generó la base de datos de vehículos en circulación para los años 2015 y 2016 que posteriormente se cotejó con los datos de parque vehicular regional y nacional obtenidos del INE, con el fin de verificar la representatividad de la muestra a escala regional y nacional. En la Tabla 3-3, se resume la Caracterización general de la información contenida en la base de datos

Tabla 3-3 Caracterización General de la Información Contendida en la Base de Batos

Clase	Tipo	Marcas	Modelos	Muestra	Porcentaje de la muestra	
					Tipo	Clase
Ligeros	Automóvil	52	392	87.264	48,1	95,6
	SUV	42	217	41.440	22,8	
	Camioneta	29	75	31.245	17,2	
	Utilitario	19	36	9.532	5,3	
	VAN	20	39	3.850	2,1	
Pesados	Camión Simple	27	136	4.096	2,3	4,4
	Bus y minibus	19	48	1.625	0,9	
	Articulado	29	212	2.322	1,3	
Total				181.374	100	100

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 2 (APSA & DDQ, 2017)

- **Caracterización de marca-modelo-versión de vehículos.** Con la base de datos de transacciones vehiculares, se asociaron tipos de vehículo a la marca-modelo-versión con su cilindrada nominal. Esta cilindrada se obtuvo de cada uno de los catálogos de las 92 marcas y 1027 modelos distribuidos en las clases utilizadas preliminarmente para clasificar los tipos de vehículo. Los tipos de vehículo considerados fueron esencialmente: automóvil, camioneta, VAN, utilitario, SUV como vehículos ligeros, y camión articulado, camión simple, buses y minibuses como vehículos pesados.

- **Clasificación por rango de cilindrada.** En esta etapa se realizó un análisis estadístico para determinar la cilindrada característica de cada tipo de marca-modelo-versión identificada y los rangos de valores para los cuales esta cilindrada es la característica. Se escogió como valor característico la mediana de la cilindrada por cada grupo. Para realizar el análisis se realizó un análisis de conglomerados mediante el algoritmo de las k-medias que permite agrupar clases de datos. En la Tabla 3-4, se muestra un resumen de la estadística descriptiva por clase y tipo de vehículo en términos de la cilindrada obtenida de los datos de fábrica. Los valores de coeficiente de variación (COV) sugieren la necesidad de elaborar un análisis de conglomerados mediante el algoritmo de k-medias para identificar en cada clase, el vehículo representativo, y la variabilidad de la cilindrada por clase de vehículo.

Tabla 3-4 Estadística Descriptiva de las Clases y Tipo de Vehículos Según Cilindrada Nominal

Clase	Tipo	Cilindrada nominal (cc)						
		Mínimo	Máximo	Rango	Mediana	Media	Desviación Estándar	COV
Ligeros	Automóvil	600	6.600	6.000	1.500	1.505	453	0,30
	SUV	1.200	6.200	5.000	2.000	2.148	561	0,26
	Camioneta	1.000	6.700	5.700	2.300	2.364	668	0,28
	Utilitario	1.000	3.000	2.000	1.600	1.659	427	0,26
	VAN	1.000	3.800	2.800	2.000	2.257	527	0,23
Pesados	Camión Simple	2.400	12.800	10.400	4.500	5.558	2.675	0,48
	Bus y minibus	2.200	12.700	10.500	7.200	7.707	3.833	0,50
	Articulado	6.871	16.400	9.529	12.800	12.482	1.117	0,09

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 2 (APSA & DDQ, 2017)

En un estudio realizado en el año 2006 por MOP, ya se había advertido la ocurrencia de este fenómeno, pero con un tamaño muestral inferior al empleado en este estudio. En la Tabla 3-5, se puede observar el resultado de la homologación que en su momento, MOP, realizó respecto a los vehículos incluidos dentro del HDM-4.

Tabla 3-5 Homologación de Tipos Vehiculares de HDM-4 y del Estudio del MOP

Id	Clase de vehículo HDM-4		Estudio "Actualización de la Metodología para la estimación de los costos de Operación Vehicular" MOP(2006)
1	Motorcycle	Motocicleta	--
2	Small Car	Auto pequeño (citycar)	A1
3	Medium Car	Auto mediano	A2
4	Large Car	Auto grande	A3
5	Light delivery vehicle	Camioneta o vehículo de reparto	CFJ1, CFJ2, CFJ3, CFJ4, CFJ5
6	Light goods vehicle	Camión liviano	--
7	four wheel drive	SUV	CFJ1, CFJ2, CFJ3, CFJ4, CFJ5
8	light truck	Camión < 3.5 T	CS2E
9	medium truck	Camión > 3.5 T	CS2E
10	heavy truck	Camión rígido multi - ejes	CS+2E
11	articulated truck	Camión articulado	CSR, CR
12	mini-bus	Mini bus	--
13	light bus	Bus < 3.5 T	BI
14	medium bus	Bus 3.5 a 8 T	BI
15	heavy bus	Bus multi-eje	TXB, BI
16	Coach	Bus viaje larga distancia	TXB, BI

Fuente: MOP 2006

- A1: Automóviles y stations con cilindrada menor o igual a 1.400 cc.
A2: Automóviles y stations con cilindrada mayor a 1.400 cc y menor a 1.800 cc.
A3: Automóviles y stations con cilindrada mayor o igual a 1.800 cc.
CJF1: Camionetas, furgones y jeeps bencineros con cilindrada menor o igual a 2.000 cc.
CJF2: Camionetas, furgones y jeeps bencineros con cilindrada mayor a 2.000 cc y menor o igual a 2.600 cc.
CJF3: Camionetas, furgones y jeeps bencineros con cilindradas mayor a 2.600 cc.
CJF4: Camionetas, furgones y jeeps diesel con cilindrada menor o igual a 2.000 cc.
CJF5: Camionetas, furgones y jeeps diesel con cilindrada mayor a 2.000 cc.
CS2E: Camiones simples de dos ejes.
CS+2E: Camiones simples de más de dos ejes.
CSR: Camiones semi remolque.
CR: Camiones remolque.
BI: Buses interurbanos.
TXB: Buses rurales o taxibuses.

- **Asociación de marca-modelo representativa.** Esto se realizó directamente desde la base de datos procesada. Con la cilindrada característica se identificó la marca-modelo-versión a la cual estaba asociada, de manera de tener un vehículo representativo y existente en el mercado nacional y que además sea asimilable a las categorías de vehículos disponibles dentro de la base de vehículos con que cuenta el HDM-4. En la Tabla 3-6, se resumen las asignaciones finalmente establecidas a partir de los análisis estadísticos para las diferentes categorías definidas conforme a las distintas cilindradas consideradas como representativas para Chile dentro del **ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4”**.

Tabla 3-6 Resumen de Asignación de Marca-Modelo a Cada Grupo de Vehículos

Tipo	Grupo	Cilindrada (cc)	Marca	Modelo	Combustible
Automóvil	A1	1200	Chevrolet	Spark	Gasolina
	A2	1600	Renault	Symbol	Gasolina
	A3	5000	Ford	Mustang	Gasolina
Camioneta	C1	1400	Fiat	Strada Working	Gasolina
	C2	2300	Nissan	NP300	Diesel
	C3	5300	Chevrolet	Silverado	Gasolina
SUV	SUV1	2000	Nissan	Qashqai	Gasolina
	SUV2	3000	Toyota	4Runner	Gasolina
	SUV3	4000	Toyota	FjCruiser	Gasolina
VAN	VAN1	1600	Peugeot	5008	Diesel
	VAN2	2200	Ssang Yong	Stavic	Diesel
Camión Simple	CS1	3933	Hyundai	HD 78	Diesel
	CS2	6370	Freightliner	M2 106	Diesel
	CS3	11040	FAW	F 3237	Diesel
Camión Articulado	CA1	8900	Ford	C-1933	Diesel
	CA2	12700	SCANIA	G 360	Diesel
	CA3	14000	Freightliner	CL120	Diesel
Buses	B1	3800	Volare	V9L	Diesel
	B2	7200	Mercedes Benz	O500 U 1826	Diesel

Tipo	Grupo	Cilindrada (cc)	Marca	Modelo	Combustible
	B3	11967	Mercedes Benz	O 500 RSD 2441	Diesel

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 2 (APSA & DDQ, 2017)

- **Definición de características de los vehículos Tipo.** Una vez obtenida la marca-modelo-versión característica, se procedió a determinar los valores representativos que la definen, en términos de tipo de motor (potencia, torque), peso (tara y peso bruto total), las características aerodinámicas (coeficiente aerodinámico y área frontal), y las características de los neumáticos (datos de fábrica según neumáticos recomendados para la marca-modelo-versión por el fabricante).

Para definir las variables representativas de la flota vehicular, se recurrió a los resultados del estudio anterior y a los datos recabados en Bennett y Patterson (2000). La síntesis de este resultado se resume en la Tabla 3-7, en donde se identifican las variables asociadas a la marca-modelo seleccionada de acuerdo a la Tabla 3-6. En el caso de los vehículos articulados se entrega la configuración de ejes asociada al tracto. Complementariamente en la Tabla 3-8, se presentan las características aerodinámicas de los vehículos típicos asociados a la flota.

Tabla 3-7 Características Asociadas a Grupos de Vehículos de la Flota Vehicular

Tipo	Grupo	Marca	Modelo	Cilindrada (cc)	Potencia (HP)	Peso Bruto Total (kg)	Configuración de Ejes
Automóvil	A1	Chevrolet	Spark	1200	81	1360	ESRS/ESRS
	A2	Renault	Symbol	1600	83	1600	ESRS/ESRS
	A3	Ford	Mustang	5000	435	1800	ESRS/ESRS
Camioneta	C1	Fiat	Strada Working	1400	84	705	ESRS/ESRS
	C2	Nissan	NP300	2300	166	4100	ESRS/ESRS
	C3	Chevrolet	Silverado	5300	355	3300	ESRS/ESRS
SUV	SUV1	Nissan	Qashqai	2000	140	1840	ESRS/ESRS
	SUV2	Toyota	4Runner	3000	275	2860	ESRS/ESRS
	SUV3	Toyota	FjCruiser	4000	240	2525	ESRS/ESRS
VAN	VAN1	Peugeot	5008	1600	120	2265	ESRS/ESRS
	VAN2	Ssang Yong	Stavic	2200	176	2850	ESRS/ESRS
Camión Simple	CS1	Hyundai	HD 78	3933	170	7800	ESRS/ESRD
	CS2	Freightliner	M2 106	8900	335	17000	ESRS/ESRD
	CS3	FAW	F 3237	11040	365	32000	ESRD/EDRD
Camión Articulado	CA1	Ford	C-1933	8900	360	45150	ESRS/ESRD
	CA2	SCANIA	G 360	12700	360	66000	ESRS/EDRD
	CA3	Freightliner	CL120	14000	430	52000	ESRS/EDRD
Buses	B1	Higer	H72.29	3800	140	7300	ESRS/ESRD
	B2	Mercedes Benz	O500 U 1826	7200	252	18500	ESRS/ESRD
	B3	Mercedes Benz	O500	11967	416	24000	ESRS/EDRS

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 2 (APSA & DDQ, 2017)

ESRS: eje simple rueda simple; ESRD: eje simple rueda doble; EDRD: eje doble rueda doble; EDRS: eje doble rueda simple

Tabla 3-8 Características Aerodinámicas de los Vehículos Típicos Asociados a la Flota

Tipo	Grupo	Marca	Modelo	Neumáticos	Ancho (mm)	Alto (mm)	Despeje libre al piso (mm)	Área Frontal (m ²)	C _D
Automóvil	A1	Chevrolet	Spark	155/70R14	1597	1522	170	2,16	0,33
	A2	Renault	Symbol	185/65R15	1994	1543	170	2,74	0,35
	A3	Ford	Mustang	235/50R18	1915	1355	130	2,35	0,29

Tipo	Grupo	Marca	Modelo	Neumáticos	Ancho (mm)	Alto (mm)	Despeje libre al piso (mm)	Área Frontal (m2)	C _D
Camioneta	C1	Fiat	Strada Working	175/70R14	1664	1590	170	2,36	30
	C2	Nissan	NP300	195/60R15	1790	1780	222	2,79	0,37
	C3	Chevrolet	Silverado	265/65R18	2032	1883	225	3,37	0,41
SUV	SUV1	Nissan	Qashqai	215/60R17	1806	1590	180	2,55	0,30
	SUV2	Toyota	4Runner	245/70R17	1925	1780	228	2,99	0,36
	SUV3	Toyota	FjCruiser	265/75R16	1905	1830	245	3,02	0,40
VAN	VAN1	Peugeot	5008	215/50R17	1837	1639	150	2,74	0,29
	VAN2	Ssang Yong	Stavic	225/65R16	1915	1850	185	3,19	0,4
Camión Simple	CS1	Hyundai	HD 78	195/60/R16	1949	2270	235	3,97	0,86
	CS2	Freightliner	M2 106	295/80/R22.5	2400	2780	195	6,20	0,60
	CS3	FAW	F 3237	295/80/R22.5	2500	2890	202	6,72	0,86
Camión Articulado	CA1	Ford	C-1933	295/80R22.5	2590	3800	210	9,30	0,86
	CA2	SCANIA	G 360	295/80R22.5	2600	3270	210	7,96	0,63
	CA3	Freightliner	CL120	295/80R22.5	2438	2880	202	6,53	0,60
Buses	B1	Higer	H27.29	215/75R17.5	1830	3000	210	5,11	0,70
	B2	Mercedes Benz	O500 U 1826	295/80R22.5	2460	1628	192	3,53	0,70
	B3	Mercedes Benz	O500	295/80R22.5	2460	1772	209	3,84	0,70

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 2 (APSA & DDQ, 2017)

3.1.3 Flota Vehicular sugerida por el ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4”

Sobre la base de lo anteriormente descrito, a continuación se presenta en la Tabla 3-9, la síntesis general de la flota vehicular definida dentro del ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4” y su relación con la flota vehicular establecida en HDM – 4:

Tabla 3-9 Flota Vehicular Propuesta en Relación a la Flota Disponible en HDM-4

Grupo HDM-4	Tipo	Grupo	Marca	Modelo
Auto Pequeño	Automóvil	A1	Chevrolet	Spark
Auto Mediano		A2	Renault	Symbol
Auto Grande		A3	Ford	Mustang
Camioneta de Reparto	Camioneta	C1	Fiat	Strada Working
Camioneta		C2	Nissan	NP300
		C3	Chevrolet	Silverado
Doble tracción (SUV)	SUV	SUV1	Nissan	Qashqai
		SUV2	Toyota	4Runner
		SUV3	Toyota	FjCruiser
Minibus	VAN	VAN1	Peugeot	5008
		VAN2	Ssang Yong	Stavic
Camión Ligero	Camión Simple	CS1	Hyundai	HD 78
Camión Mediano		CS2	Freightliner	M2 106
Camión Pesado		CS3	FAW	F 3237
Camión Articulado	Camión Articulado	CA1	Ford	C-1933
Bus ligero		CA2	SCANIA	G 360
		CA3	Freightliner	CL120
Bus medio	Buses	B1	Higer	H27.29
Bus larga distancia		B2	Mercedes Benz	O500 U 1826
		B3	Mercedes Benz	O500

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 2 (APSA & DDQ, 2017)

En la Tabla 3-10, se muestra la comparación entre el Estudio “Actualización de la Metodología para la estimación de los costos de Operación Vehicular (2006)” y el ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4”, donde se muestra la codificación y los rangos de cilindrada característicos de cada clase.

Tabla 3-10 Comparación de Clases de Vehículos de Flota Vehicular Propuesta en Relación a la Flota Definida en Estudio MOP (2006) y Disponible en HDM-4

Id	Clase de vehículo HDM-4	Estudio “Actualización de la Metodología para la estimación de los costos de Operación Vehicular” MOP(2006)	ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4”
1	Motocicleta	--	--
2	Auto pequeño (citycar)	A1: < 1400 cc	A1: 600 cc a 1400 cc
3	Auto mediano	A2: 1400 cc a 1800 cc	A2: 1400 cc a 3000 cc
4	Auto grande	A3: > 1800 cc	A3: 3000 cc a 6600 cc
5	Camioneta o vehículo de reparto (*)	CFJ1: < 2000 cc	C1: 1000 cc a 1600 cc
		CFJ2: 2000 a 2600 cc	C2: 1900 cc a 3700 cc
		CFJ3: > 2600 cc	C3: 5000 cc a 6700 cc
		CFJ4 < 2000 cc (diesel)	-
		CFJ5 > 2000 cc (diesel)	-
7	SUV	--	SUV1: 1200 a 2488 cc
		--	SUV2: 2500 a 3700 cc
		--	SUV3: 4000 a 6200 cc
8	Camión < 3.5 T	CS2E	CS1: 2400 cc a 4900 cc
9	Camión > 3.5 T	CS2E	CS2: 5123 cc a 7790 cc
10	Camión rígido multi - ejes	CS+2E	CS3: 8300 cc a 12800 cc
11	Camión articulado	CSR, CR	CA1: 6871 cc a 9726 cc
			CA2: 10800 cc a 12880 cc
			CA3: 14000 cc a 16400 cc
12	Minibus	--	VAN1: 1000 cc a 1900 cc
		--	VAN2: 1997 cc a 3800 cc
13	Bus < 3.5 T	BI	B1: 2200 cc a 5200 cc
14	Bus 3.5 a 8 T	BI	B2: 6700 cc a 8900 cc
15	Bus multi-eje	TXB, BI	--
16	Bus viaje larga distancia	TXB, BI	B3: 10800 cc a 12700 cc

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 2 (APSA & DDQ, 2017)

(*) Agrupa camiones furgones y jeeps. La categoría jeeps en este estudio se mueve a SUV, en concordancia con clasificación de HDM-4.

A partir de la Tabla anterior se puede visualizar que al contar con datos de mayor calidad es posible detallar de mejor forma la clasificación, lo que se tradujo en la creación de nuevas categorías como fue la clase SUV y en todas las clases de vehículos pesados.

Asimismo, en el caso de vehículos livianos, en este estudio se modificó la estratificación por cilindrada, teniendo en cuenta que en los últimos 5 años el segmento de los vehículos de la menor y la mayor cilindrada se ha ampliado. Lo mismo ha ocurrido en el segmento de las camionetas y SUV.

En el caso de los vehículos pesados, la relación entre potencia, cilindrada y capacidad de carga ha tendido a homogeneizarse, debido principalmente a la estandarización de los motores y a la tendencia de las marcas a comprar motores de diversas fábricas, con lo cual la cilindrada representa en cierto modo el tamaño del vehículo.

Un aspecto metodológico importante que diferencia a los estudios es la forma en que se define la marca-modelo de vehículo para cada una de las clases de vehículos de HDM-4. Dado que en el ESTUDIO BÁSICO “ACTUALIZACIÓN PARÁMETROS MODELOS HDM-4” la definición de rangos de cilindrada obedeció a un estudio detallado de las cilindradas de marcas y modelos que contemplo la revisión de catálogos y el análisis estadístico. En este último caso se usó el análisis de conglomerados para estratificar las muestras en cada clase, y se utilizó la mediana de la muestra de cilindrada para definir el vehículo característico, luego a partir de un análisis de la participación en la muestra se determinó, en los casos en que había más de una marca modelo con la misma mediana de cilindrada, la mayor participación en la muestra por clase. Esto permitió minimizar el error estadístico y asegurar representatividad de la marca-modelo elegida.

En el estudio “Actualización de la Metodología para la estimación de los costos de Operación Vehicular” realizado en el año 2006 por el MOP, el procedimiento de especificación de tamaños muestrales fue similar. Sin embargo, puesto que en momento de ese estudio no se disponía de la masividad de datos obtenidos desde pódicos de peaje, debieron recurrir a muestreos en terreno, lo cual limita en cierto modo el tamaño de la muestra, pero no necesariamente le resta representatividad. En el caso de la desagregación por cilindrada, en el estudio anterior se basaron en estudio previos y en base a criterios diversos (capacidad de carga, tipo de combustible, representatividad en el segmento), lo cual llevó a un procedimiento presuntamente iterativo que si bien no se refleja en el informe final elaborado por el Consultor, deja entrever que hubo un análisis de representatividad de la muestra.

En cuanto a la definición de marca-modelo, en ambos estudios el criterio y proceso son diferentes. En el estudio anterior se definieron marcas-modelos por representatividad de la marca, lo cual llevó a seleccionar vehículos con distintas cilindradas dentro de cada categoría. En este estudio, se prefirió definir una distribución de frecuencias empírica de cilindradas, para cada rango de cilindrada por clase de vehículo, y seleccionar la mediana de la distribución, para de ahí identificar un grupo de marcas-modelos presentes en el mercado que contengan la cilindrada, características por clase y posteriormente para esta sub-muestra definir la participación en la muestra. De este modo se asegura representatividad estadística en la muestra y en el mercado.

Un aspecto importante de relevar es que la metodología desarrollada en este estudio fue posible de aplicar únicamente debido a la gran cantidad de datos disponibles, por lo cual el análisis pudo hacerse de manera más detallada y directa que en el estudio anterior. Por otro lado, este análisis posee la ventaja que reduce la cantidad de datos característicos de la flota a relevar, puesto que no se analiza un conjunto de marcas-modelo por clase sino que un vehículo por clase.

3.1.4 Definición de la Flota Vehicular a Utilizar en los Estudios de Pre-Inversión en MDS

El trabajo que corresponde en adelante realizar respecto a la definición de la flota vehicular en el HDM-4, pensando en su aplicación dentro del Ministerio de Desarrollo Social, se establece en relación a la identificación y definición del perfil de los proyectos. Por ende, se propone utilizar un subgrupo de 5 vehículos, de la flota propuesta. Estos vehículos serán los representativos de los 20 vehículos de la nueva flota, serán los que se deben utilizar en las evaluaciones de pre-inversión y a **estos vehículos son a los que les asignarán los precios sociales definidos por el Ministerio de Desarrollo Social**. En la Tabla 3-11, se presenta la flota de perfil a utilizar próximamente en los estudios:

Tabla 3-11 Flota Vehicular de Perfil de HDM-4

Clase de vehículo HDM-4	Vehículos Representativos a Utilizar en la Etapa de Perfil
Auto	A2: Renault Symbol
Camioneta	C2: Nissan NP300
Camión Simple	CS2: Freightliner M2 106
Camión de +2 Ejes	CA2: SCANIA G 360
Bus	B3: Mercedes Benz O500

Fuente: Elaboración Propia

Al ser un subconjunto de la flota de 20 vehículos, estos 5 vehículos, serán utilizados con su respectiva calibración del VOC, estas se describen en el resto del presente capítulo.

Se advierte que la utilización de un subgrupo de la flota completa, si bien es cierto simplifica la tarea del evaluador, sin embargo rigidiza la evaluación, por lo cual en ciertos casos puede dar origen a sub-estimaciones o sobre-estimaciones de la rentabilidad social de proyectos camineros por no usar una flota ad-hoc al proyecto que está evaluando. En consecuencia, Ministerio de Desarrollo Social, en un tiempo futuro debe considerar la implementación de la flota completa y realizar los respectivos estudios, para asignación de los precios sociales de la flota.

3.1.5 Calibración del Modelo de Equilibrio de Fuerzas de la Flota Vehicular

La calibración del modelo de equilibrio de fuerzas, corresponde a lo señalado en el Estudio Básico "Actualización Parámetro Modelos HDM-4, Informe Etapa 5" (APSA & DDQ, 2017). Según lo que se señala allí, el modelo de equilibrio de fuerzas de HDM-4 permite estimar una serie de variables del modelo de costos de operación vehicular, entre las que resaltan la velocidad (VDRIVE y VBRAKE por ejemplo) o el consumo de combustible. El modelo mecanicista general que describe el equilibrio de fuerzas se describe en la Ecuación 3-1.

$$F_{tr} = F_a + F_R + F_C + F_G + F_i \quad (\text{Ecuación 3-1})$$

La fuerza total requerida (F_{tr} en N) por el vehículo, para vencer las fuerzas resistentes, se representa en la Ecuación 3-2, en donde P_{tr} representa la potencia total requerida por el vehículo (en kW) y V es la velocidad de circulación del vehículo (en m/s). F_a es la resistencia aerodinámica, en N; F_R es la resistencia a la rodadura, en N; F_C es la resistencia a la curvatura, en N; F_G es la resistencia al gradiente, en N; y F_i es la resistencia inercial, en N.

$$F_{tr} = 1000 \cdot \frac{P_{tr}}{V} \quad (\text{Ecuación 3-2})$$

- ✓ **La potencia total del vehículo**, es la suma de la potencia tractor, otorgada por el motor, la potencia otorgada por los mecanismos del vehículo y la potencia requerida para vencer la fricción interna del motor.
- ✓ **La fuerza aerodinámica** es una fuerza resistente producida por la fricción que ejerce el aire sobre la superficie del vehículo. El modelo no posee constantes de calibración, sino que más bien datos de entrada, variables implícitas y propiedades de la flota vehicular.
- ✓ **La resistencia a la rodadura** se define como las fuerzas friccionales inducidas en la interfaz neumático – pavimento. Depende de la velocidad de circulación, de las características superficiales del pavimento y de las características del neumático.
- ✓ **La resistencia al gradiente** es la fuerza que se opone al movimiento en pendientes ascendentes y contribuye al movimiento en pendientes descendentes. En este modelo solo se requiere un parámetro de flota: la masa total del vehículo.
- ✓ **La resistencia a la curvatura** se produce por la deformación transversal de los neumáticos cuando los vehículos circulan por curvas horizontales. Esta fuerza resistente es proporcional a la fuerza de fricción lateral aplicada a la rueda y al ángulo de deslizamiento del vehículo.
- ✓ **La resistencia inercial** se produce cuando un vehículo acelera, producto de los diferentes componentes del vehículo, tales como el motor, los neumáticos y el tren direccional. El efecto neto es el incremento en la masa total estática. La masa resultante se denomina masa efectiva.

Para cada una de las fuerzas descritas anteriormente, basta con conocer las características de los vehículos, tales como tipo de neumáticos, cilindrada del motor, peso total del vehículo, coeficiente aerodinámico. Sin embargo, la calibración realizada no contempla calibración de nivel 3 (levantamiento mayor de datos de terreno y experimentos controlados para mejorar los modelos predictivos o desarrollar modelos nuevos con características propias, sustituyendo totalmente los modelos y por tanto los códigos de HDM-4), por ende, los factores de calibración propios de HDM-4, no fueron modificados. En la Tabla 3-12, se presentan las características propia de cada vehículo, a utilizar en la calibración del modelo de fuerzas.

Tabla 3-12 Descripción de Parámetros de Flota Requeridos Para Modelo de Fuerzas Resistentes

Variables de Flota	Designación	Unidades	Fuente
Coficiente Aerodinámico de cada clase de vehículo	C _D	Adimensional	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 15 Tabla 2-13
Área frontal de cada clase de vehículo	A _F	m ²	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 14 Tabla 2-13
Diámetro de la rueda de cada clase de vehículo	D _w	m	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 11 Tabla 2-13
Número de ruedas de cada clase de vehículo	N _w	Adimensional	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 10 Tabla 2-13
Masa del vehículo	M	kg	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 13 Tabla 2-13
Cilindrada de cada clase de vehículo	DENG	lt	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 12 Tabla 2-13
Numero de marchas de cada clase de vehículo	H	Adimensional	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 16 Tabla 2-13
Radio de giro del neumático	r _g	m	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 17 Tabla 2-13
Radio de rodadura del neumático	r	m	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 18 Tabla 2-13
Ancho nominal del neumático de cada clase de vehículo	XXX	mm	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 7 Tabla 2-13

Variables de Flota	Designación	Unidades	Fuente
Relación de aspecto del neumático de cada clase de vehículo	YY	Adimensional	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 8 Tabla 2-13
Diámetro del aro del neumático	ZZ	pulgadas	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 9 Tabla 2-13
Peso total de la rueda	TMW	kg	Propiedad de la Flota Vehicular Columna 19 Tabla 2-13

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Los valores representativos de cada uno de los parámetros descritos en la tabla anterior, se entregan en la Tabla 3-13.

Tabla 3-13 Valores Representativos de la Flota para el Modelo de Fuerzas

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Id	Tipo	Grupo	Marca	Modelo	Tipo de Neumático	XXX (mm)	YY (%)	ZZ (pulg.)	Nw	Dw (m ²)	DENG, (lt)	M (kg)	A _F (m ²)	C _D	H	rg (m)	r (m)	TMW (kg)
2	Automóvil	A1	Chevrolet	Spark	Radial	155	70	14	4	0,57	1,200	1360	2,16	0,33	5	0,23	0,29	17,7
3		A2	Renault	Symbol	Radial	185	65	15	4	0,62	1,600	1600	2,74	0,35	5	0,25	0,31	25,2
4		A3	Ford	Mustang	Radial	235	50	18	4	0,69	5,000	1800	2,35	0,29	6	0,28	0,35	35,9
5	Camioneta	C1	Fiat	Strada Working	Radial	175	70	14	4	0,60	1,400	705	2,36	0,30	5	0,24	0,30	23,2
6		C2	Nissan	NP300	Radial	195	60	15	4	0,62	2,300	4100	2,79	0,37	6	0,25	0,31	25,7
		C3	Chevrolet	Silverado	Radial	265	65	18	4	0,80	5,300	3300	3,37	0,41	6	0,32	0,40	65,0
7	SUV	SUV1	Nissan	Qashqai	Radial	215	60	17	4	0,69	2,000	1840	2,55	0,30	6	0,28	0,34	35,2
		SUV2	Toyota	4Runner	Radial	245	70	17	4	0,77	3,000	2860	2,99	0,36	5	0,31	0,39	57,4
		SUV3	Toyota	FjCruiser	Radial	265	75	16	4	0,80	4,000	2525	3,02	0,40	6	0,32	0,40	72,2
12	VAN	VAN1	Peugeot	5008	Radial	215	50	17	4	0,65	1,600	2265	2,74	0,29	6	0,26	0,32	28,2
		VAN2	Ssang Yong	Stavic	Radial	225	65	16	4	0,70	2,200	2850	3,19	0,40	7	0,28	0,35	41,2
8	Camión Simple	CS1	Hyundai	HD 78	Radial	195	60	16	6	0,64	3,933	7800	3,97	0,86	5	0,26	0,32	27,0
9		CS2	Freightliner	M2 106	Radial	295	80	22,5	6	1,04	8,900	17000	6,20	0,60	10	0,42	0,52	127,3
10		CS3	FAW	F 3237	Radial	295	80	22,5	10	1,04	11,040	32000	6,72	0,86	10	0,42	0,52	127,3
11	Camión Articulado	CA1	Ford	C-1933	Radial	295	80	22,5	6	0,86	8,900	45150	9,30	0,86	13	0,42	0,52	127,3
		CA2	SCANIA	G 360	Radial	295	80	22,5	10	0,63	12,700	45150	7,96	0,63	12	0,42	0,52	127,3
		CA3	Freightliner	CL120	Radial	295	80	22,5	10	0,60	14,000	45150	6,53	0,60	18	0,42	0,52	127,3
13	Buses	B1	Higer	H72.29	Radial	215	75	17,5	6	0,70	3,800	7300	5,11	0,70	5	0,31	0,38	47,5
14		B2	Mercedes Benz	O500 U 1826	Radial	295	80	22,5	6	0,70	7,200	18500	3,53	0,70	6	0,42	0,52	127,3
16		B3	Mercedes Benz	O500	Radial	295	80	22,5	6	0,70	11,967	24000	3,84	0,70	6	0,42	0,52	127,3

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

3.1.6 Calibración del Modelo de Velocidad de Estado Estacionario para la Flota Vehicular

El modelo de estimación de velocidad de HDM-4, determina la velocidad de estado estable en términos de los factores que restringen la velocidad: potencial del vehículo, pendiente, rugosidad, curvatura, límites legales y velocidad deseada, de tal manera que un conductor que circula en un vehículo de una de las categorías de HDM-4 por una ruta, estabiliza su velocidad en términos de las restricciones mencionadas, sin considerar las condiciones del tránsito.

En términos genéricos, el modelo de velocidad de estado estable de HDM-4 está explicado por la Ecuación 2-3. Dicha ecuación, obedece a una distribución de probabilidades de valores extremos, parametrizada mediante una distribución Weibull con factor de forma β y error σ .

$$VSS = \frac{\sigma^2}{e^{\frac{\sigma^2}{2}}} \left[\sum_{i=1}^6 \left(\frac{1}{V_i} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right]^{\beta} \quad \text{(Ecuación 2-3)}$$

Donde:

VSS:	Velocidad en estado estable, en m/s
V1 = VDRIVE:	Velocidad restringida por la potencia, en m/s
V2 = VBRAKE:	Velocidad límite en bajada, en m/s
V3 = VCURVE:	Velocidad restringida en curvas horizontales, en m/s
V4 = VROUGH:	Velocidad restringida por la rugosidad del pavimento, en m/s
V5 = VDESIR:	Velocidad deseada, en m/s
V6 = VLIMIT:	Velocidad restringida por límites de velocidad, en m/s
β :	Parámetro de forma que gobierna la diferencia entre la velocidad límite y las velocidades restringidas
σ :	Parámetro que considera la desviación de las velocidades en estado estable individuales por cada clase de vehículo

Las características específicas de un tramo homogéneo que determinan la velocidad de estado estable son las que se mencionan en la Tabla 3-14.

Tabla 3-14 Propiedades Físicas de un Tramo Homogéneo que Determinan las Velocidades Limitantes y de Estado Estable

Característica	Variable	Unidad	Nomenclatura
Alineamiento Vertical	Gradiente o Pendiente	Adimensional	GR
Alineamiento Horizontal	Curvatura	Rad/km	C
	Peralte	Adimensional	SP
Superficie	Tipo de Superficie	--	TS
	Irregularidad	m/km	IRI

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

- ✓ La calibración de **VDRIVE** se realiza mediante el modelo mecanicista de fuerzas en un camino recto para no incluir la resistencia por curvatura. Asimismo, se desprecia la resistencia inercial.
- ✓ La calibración de **VBRAKE** se realiza en pendientes descendentes. En este caso, se debe diferenciar en la calibración, los 3 grandes grupos de vehículo. Lo anterior ocurre, a que en pendientes descendentes prologadas, existe una probabilidad de que los vehículos pesados sufran desvanecimiento del sistema de frenos (“brake fade”), por lo cual es necesario determinar cuál es el valor de la pendiente crítica, que induce ese efecto.
- ✓ **VCURVE**, corresponde al modelo de velocidad de operación en curvas horizontales. Solamente se ha calibrado modelos de velocidad de operación en caminos bidireccionales Chilenos para vehículos pesados y livianos. No existen, por el contrario, calibraciones de este tipo de modelos para caminos de más de dos pistas por sentido. Sin embargo, se puede interpretar que el utilizar la calibración para caminos bidireccionales, es la condición más conservadora, ya que estos modelos no dependen del número de pistas en tanto se preserve la condición de velocidad de flujo libre.
- ✓ La velocidad limitante por rugosidad, **VROUGH**, busca modelar el efecto en reducción de velocidad producto de la rugosidad. Para ello, el modelo básico considera que la velocidad de circulación de un vehículo, que se expresa en términos del producto de la velocidad de circulación (V , m/s) por la pendiente promedio rectificadora (ARS, en mm/m), que puede entenderse como un indicador de la rugosidad de la superficie del pavimento.
- ✓ **VDESIR**, es la velocidad deseada correspondiente al percentil 85 de la distribución de velocidades que los conductores eligen desarrollar en tramos de carretera sin restricciones climáticas, geométricas, operativas y de control. Esto es en la práctica, tramos de carretera rectos, planos, con bermas amplias, peligrosidad de las zonas laterales baja, sin señales de límites de velocidad no fiscalización, condiciones climáticas favorables y ausencia de flujo en ambos sentidos del tramo.
- ✓ Se define, VLIMIT, como el producto entre la velocidad máxima permitida y el factor de cumplimiento de la velocidad límite.

A continuación, en la Tabla 3-15 se presenta los valores del modelo de velocidad estable que trae por defecto el programa. Mientras, en la Tabla 3-16, se presenta los valores calibrados para la flota vehicular de Chile. Observe que las grandes diferencias se encuentran en la velocidad por efecto de la curvatura y los parámetros del modelo VSS. El resto de los parámetros en orden de magnitud resultan ser semejantes.

Tabla 3-15 Parámetros por Defecto del Modelo de Velocidad en Estado Estable de HDM-4

Id	Tipo de Vehículo	VDRIVE	VBRAKE	VCURVE		VROUGH		VDESIR			VLIMIT	Parámetros del modelo de VSS	
		Pb kW	Pb kW	a ₀	a ₁	ARVMAX mm/s	A ₂	a ₀ m/s	a ₁	WF	ENFAC	σ	β
2	A1	26	20	3.9	0.34	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
3	A2	33	20	3.9	0.34	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
4	A3	36	20	3.9	0.34	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
5	C1	40	25	3.9	0.34	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
6	C2	40	20	3.9	0.34	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
	C3	40	20	3.9	0.34	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
7	SUV1	45	25	3.9	0.34	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
	SUV2	45	25	3.9	0.34	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
	SUV3	45	25	3.9	0.34	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
8	CS1	50	45	4.8	0.29	200	1.15	25.2	0.0028	0.73	1.10	0	0.191
9	CS2	87	70	4.8	0.29	200	1.15	25.2	0.0028	0.73	1.10	0	0.164
10	CS3	227	255	4.6	0.28	180	1.15	24.1	0.0033	0.73	1.10	0	0.110
11	CA1	227	255	4.2	0.27	160	1.15	26.3	0.0039	0.73	1.10	0	0.110
	CA2	227	255	4.2	0.27	160	1.15	26.3	0.0039	0.73	1.10	0	0.110
	CA3	227	255	4.2	0.27	160	1.15	26.3	0.0039	0.73	1.10	0	0.110
12	VAN1	40	26	3.9	0.34	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
	VAN2	40	26	3.9	0.34	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.10	0	0.151
13	B1	50	45	4.8	0.29	200	1.15	25.2	0.0028	0.73	1.10	0	0.191
14	B2	65	70	4.8	0.29	200	1.15	25.2	0.0028	0.78	1.10	0	0.191
16	B3	180	180	4.6	0.28	180	1.15	24.1	0.0033	0.78	1.10	0	0.110

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Tabla 3-16 Parámetros Calibrados del Modelo de Velocidad en Estado Estable de HDM-4

Id	Tipo de Vehículo	VDRIVE	VBRAKE	VCURVE		VROUGH		VDESIR			VLIMIT	Parámetros del modelo de VSS	
		Pb kW	Pb kW	a ₀	a ₁	ARVMAX mm/s	a ₂	a ₀ m/s	a ₁	WF	ENFAC	β	σ
2	A1	22	25.6	26.9	0.2	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,245	0,0289
3	A2	22	27.9	26.9	0.2	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,198	0,0289
4	A3	92	29.7	26.9	0.2	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,341	0,0289
5	C1	31	19.6	26.9	0.2	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,297	0,0289
6	C2	45	51.1	26.9	0.2	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,245	0,0289
	C3	95	43.7	26.9	0.2	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,312	0,0436
7	SUV1	37	30.1	26.9	0.2	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,287	0,0289
	SUV2	74	39.6	26.9	0.2	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,227	0,0289
	SUV3	72	36.5	26.9	0.2	200	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,307	0,0436
8	CS1	62	85.5	24.0	0.2	200	1.15	25.2	0.0028	0.73	1.09	0,264	0,0436
9	CS2	134	171.1	24.0	0.2	200	1.15	25.2	0.0028	0.73	1.09	0,264	0,0436
10	CS3	253	310.6	24.0	0.2	180	1.15	24.1	0.0033	0.73	1.09	0,100	0,0562
11	CA1	357	432.9	24.0	0.2	160	1.15	26.3	0.0039	0.73	1.09	0,173	0,0562
	CA2	522	432.9	24.0	0.2	160	1.15	26.3	0.0039	0.73	1.09	0,183	0,0627
	CA3	411	432.9	24.0	0.2	160	1.15	26.3	0.0039	0.73	1.09	0,177	0,0724
12	VAN1	33	34.1	26.9	0.2	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,207	0,0724
	VAN2	48	39.5	26.9	0.2	203	1.15	27.6	0.0020	0.75	1.26	0,207	0,0724
13	B1	58	80.9	24.0	0.2	200	1.15	25.2	0.0028	0.73	1.09	0,100	0,0436
14	B2	146	185.1	24.0	0.2	200	1.15	25.2	0.0028	0.78	1,09	0,189	0,0524
16	B3	190	236.2	24.0	0.2	180	1.15	24.1	0.0033	0.78	1.09	0,196	0,0524

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

3.1.7 Calibración de Modelos de Consumo de la Flota Vehicular

3.1.7.1 Modelo de Consumo de Combustible

El modelo de consumo de combustible de HDM-4 utiliza el modelo ARFCOM. Este considera las fuerzas que se oponen al movimiento, las fuerzas internas del vehículo, la velocidad del motor y es transferible a cualquier tipo de vehículo. La formulación base se describe a continuación.

El consumo instantáneo de combustible (IFC, en mL/s), es función de la potencia requerida para vencer las fuerzas tractivas (P_{tr}) y de la suma de la potencia demandada por los accesorios del vehículo (P_{acc}) y la inercia interna del motor (P_{eng}).

La calibración del modelo de consumo de combustible, considera la modificación de parámetros por defecto de HDM-4, generando relaciones predictivas con datos locales medidos u obtenidos de los parámetros de flota y manteniendo según el caso, algunos parámetros por defecto. En la Tabla 3-17, se muestran las variables requeridas para la calibración y sus fuentes de obtención.

Tabla 3-17 Requerimientos de Variables Para el Modelo de Consumo de Combustible

Variables	Designación	Unidades
Cilindrada del motor	DENG	Litros
Disminución de eficiencia a potencias elevadas	ehp	Adimensional
Potencia máxima del motor	P_{max}	kW
Potencia requerida para vencer las fuerzas tractivas	P_{tr}	kW
Constante de calibración Peng	ceng	Adimensional
Constante de calibración Peng	beng	Adimensional
Eficiencia base	ξ_b	(mL/kW/s)

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Tabla 3-18 Parámetros Propuestos para el Modelo de Consumo de Combustible

Id	Tipo	Parámetros del modelo de velocidad del motor										Parámetros Peng	
		a0	a1	a2	a3	α	ξb	ehp	Pmax	edt	ceng	beng	
		RPM	RPM/(km/h)	RPM/(km/h) ²	RPM/(km/h) ³	mL/s	mL/kW/s		kW				
2	A1	1910	-12.311	0.2228	-0.0003	0.236	0.067	0.25	81	0.90	4.46	2.11	
3	A2	1910	-12.311	0.2228	-0.0003	0.303	0.067	0.25	77	0.90	4.24	2.00	
4	A3	1910	-12.311	0.2228	-0.0003	0.618	0.067	0.25	324	0.90	17.82	8.42	
5	C1	1910	-12.311	0.2228	-0.0003	0.270	0.067	0.25	63	0.90	3.47	1.64	
6	C2	2035	-20.036	0.3560	-0.0009	0.404	0.057	0.10	124	0.86	6.82	3.22	
	C3	2035	-20.036	0.3560	-0.0009	0.624	0.067	0.25	264	0.90	14.52	6.86	
7	SUV1	2035	-20.036	0.3560	-0.0009	0.363	0.067	0.25	104	0.90	5.72	2.70	
	SUV2	2035	-20.036	0.3560	-0.0009	0.486	0.067	0.25	205	0.90	11.28	5.33	
	SUV3	2035	-20.036	0.3560	-0.0009	0.571	0.067	0.25	179	0.90	9.85	4.65	
12	VAN1	1910	-12.311	0.2228	-0.0003	0.303	0.057	0.10	89	0.86	4.90	2.31	
	VAN2	1910	-12.311	0.2228	-0.0003	0.391	0.057	0.10	131	0.86	7.21	3.41	
8	CS1	2035	-20.036	0.3560	-0.0009	0.567	0.057	0.10	127	0.86	6.99	3.30	
9	CS2	1926	-32.352	0.7403	-0.0027	0.429	0.056	0.10	172	0.86	9.46	4.47	
10	CS3	1905	-12.988	0.2494	-0.0004	0.076	0.055	0.10	276	0.86	15.18	7.18	
11	CA1	1900	-10.178	0.1521	0.00004	0.429	0.056	0.10	246	0.86	13.53	6.40	
	CA2	1900	-10.178	0.1521	0.00004	-0.319	0.055	0.10	265	0.86	14.58	6.89	
	CA3	1900	-10.178	0.1521	0.00004	-0.703	0.055	0.10	336	0.86	18.48	8.74	
13	B1	2035	-20.036	0.3560	-0.0009	0.557	0.057	0.10	105	0.86	5.78	2.73	
14	B2	1926	-32.352	0.7403	-0.0027	0.583	0.056	0.10	188	0.86	10.34	4.89	
16	B3	1926	-32.352	0.7403	-0.0027	-0.131	0.055	0.10	310	0.86	17.05	8.06	

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

3.1.7.2 Modelo de Consumo de Lubricantes

Este modelo considera el consumo de lubricantes (OIL, en litros/1000 km), en términos de las pérdidas por contaminación (OILCONT, en litros/1000 km), de las pérdidas por operación (OILOPER, en litros/1000 km) y del consumo de combustible (SFC, en litros/1000 km).

Para el caso del modelo de consumo de lubricantes, se utiliza un enfoque de nivel 1, en el que se actualizan los valores de las variables del modelo a partir de la flota vehicular representativa. El modelo considera pérdidas regulares debido a la operación, que para vehículos modernos son despreciables, por lo que solo se considera la calibración de OILCONT. En la Tabla 3-19, se muestran las variables y la respectiva fuente de obtención.

Tabla 3-19 Requerimientos de Variables Para el Modelo de Consumo de Lubricantes

Variables	Designación	Unidades	Fuente
Capacidad de aceite en litros del motor	OILCAP	lt	Catálogo de cada vehículo de la flota
Periodicidad de cambio de lubricantes en miles de km	DISTCHNG	Miles de km	Recomendaciones del fabricante
Consumo de combustible cada 1000 veh-km	SFC	1000 veh-km	Modelo de consumo de combustible
Pérdida de lubricantes debido a operación cada 1000 veh-km	OILOPER	1000 veh-km	Valor por defecto de HDM-4

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Con los catálogos de mantenimiento de cada vehículo, se obtuvieron los valores calibrados para OILCAP y DISTCHNG. Estos valores se muestran en la Tabla 3-20.

Tabla 3-20 Parámetros Propuestos Para el Modelo de Consumo de Lubricantes

Id (1)	Tipo (2)	Grupo (3)	Marca (4)	Modelo (5)	OILCAP (lt) (6)	DISTCHNG, (miles de km) (7)	OIL (1000 veh-km) (8)
2	Automóvil	A1	Chevrolet	Spark	3.8	12	0.32
3		A2	Renault	Symbol	4.8	20	0.24
4		A3	Ford	Mustang	7.6	16	0.48
5	Camioneta	C1	Fiat	Strada Working	3	20	0.15
6		C2	Nissan	NP300	7.7	48	0.16
		C3	Chevrolet	Silverado	7.6	12	0.63
7	SUV	SUV1	Nissan	Qashqai	7.4	32	0.23
		SUV2	Toyota	4Runner	5.8	8	0.73
		SUV3	Toyota	FjCruiser	6.1	16	0.38
12	VAN	VAN1	Peugeot	5008	4.25	20	0.21
		VAN2	Ssang Yong	Stavic	9	10	0.90
8	Camión Simple	CS1	Hyundai	HD 78	14	20	0.70
9		CS2	Freightliner	M2 106	27.6	32	0.86
10		CS3	FAW	F 3237	20	10	2.00
11	Camión Articulado	CA1	Ford	C-1933	25.6	30	0.85
		CA2	SCANIA	G 360	40	30	1.33
		CA3	Freightliner	CL120	25	32	0.78
13	Buses	B1	Higer	H72.29	14	15	0.93
14		B2	Mercedes Benz	O500 U 1826	28	15	1.87
16		B3	Mercedes Benz	O500	26	15	1.73

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

3.1.7.3 Modelo de Consumo de Neumáticos

El modelo de consumo de neumáticos de HDM-4 es el mismo modelo de HDM-III, con una variación en el modelo de energía de deslizamiento, que permite considerar vehículos ligeros. El consumo total de neumáticos de un vehículo es función del número de ruedas (Nw) y el número equivalente de neumáticos nuevos (EQNT).

En la Tabla 3-21, se muestran las variables requeridas para la calibración y las fuentes de obtención de estas.

Tabla 3-21 Requerimientos de Variables Para el Modelo de Consumo de Neumáticos

Variables	Designación	Unidades	Fuente
Número de ruedas	Nw	Sin unidades	Tabla 2-13. Columna 10
Costo de recauchaje	RREC	Fracción del costo de un neumático nuevo	Empresas de recauchaje
Número de recauchajes	NR	Sin unidades	Estudio COPER 1989
Volumen de caucho que se desgasta	VOL	dm ³	Estudio LEN 2006
Vida equivalente del neumático	TLIFE	Miles de km	
Ruido de aceleración	σ_a	(m/s ²)	Próximo a Entregar en Dirección de Vialidad
Constante de calibración	C0tc	Adimensional	Valor por defecto de HDM-4
Constante de calibración	Ctcte	Adimensional	Valor por defecto de HDM-4

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Para la calibración del modelo de consumo de neumáticos se utilizan las variables previamente mencionadas. Algunas variables provienen de sub-modelos, otras se obtienen de la literatura y otras por medio de levantamiento de información. El costo de recauchaje se obtiene desde las empresas del rubro, el número de recauchajes desde el estudio COPER. Los valores para cada uno de los parámetros de entrada del modelo de consumo de neumáticos se muestran en la Tabla 3-22.

Tabla 3-22 Parámetros Propuestos para el Modelo de Consumo de Neumáticos

Id	Tipo	Grupo	Marca	Modelo	RREC (%)	NR	Nw	VOL (dm ³)	C0tc	Ctcte
2	Automóvil	A1	Chevrolet	Spark	-	0	4	1.15	0.01935	0.00204
3		A2	Renault	Symbol	-	0	4	1.33	0.01595	0.00204
4		A3	Ford	Mustang	-	0	4	2.26	0.03066	0.00204
5	Camioneta	C1	Fiat	Strada Working	-	0	4	1.13	0.01795	0.00187
6		C2	Nissan	NP300	-	0	4	1.48	0.02706	0.00187
		C3	Chevrolet	Silverado	-	0	4	2.4	0.03624	0.00187
7	SUV	SUV1	Nissan	Qashqai	-	0	4	1.68	0.04606	0.00187
		SUV2	Toyota	4Runner	-	0	4	2.48	0.04606	0.00187
		SUV3	Toyota	FjCruiser	-	0	4	2.4	0.04606	0.00187
12	VAN	VAN1	Peugeot	5008	-	0	4	1.68	0.02400	0.00187
		VAN2	Ssang Yong	Stavic	-	0	4	1.73	0.02400	0.00187
8		CS1	Hyundai	HD 78	50	1.334	6	1.48	-0.00159	0.00187

Id	Tipo	Grupo	Marca	Modelo	RREC (%)	NR	Nw	VOL (dm ³)	C0tc	Ctcte
9	Camión Simple	CS2	Freightliner	M2 106	50	1.334	6	6.95	-0.00159	0.00201
10		CS3	FAW	F 3237	50	1.334	10	6.95	-0.00159	0.00275
11	Camión Articulado	CA1	Ford	C-1933	50	1.326	6	6.95	0.02564	0.00311
		CA2	SCANIA	G 360	50	1.575	10	6.95	0.03624	0.00311
		CA3	Freightliner	CL120	50	1.575	10	6.95	0.03176	0.00311
13	Buses	B1	Higer	H72.29	50	1.887	6	2.98	0.01269	0.00169
14		B2	Mercedes Benz	O500 U 1826	50	1.342	6	6.95	0.01269	0.00207
16		B3	Mercedes Benz	O500	50	1.342	6	6.95	0.01269	0.00241

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

3.1.7.4 Modelo de Consumo de Repuestos

El modelo de consumo de repuestos de HDM-4 se expresa como una fracción del valor de un vehículo nuevo por cada 1000 km.

En este modelo se consideró una calibración de nivel 1. Es decir, se propusieron los datos nuevos correspondientes a la flota vehicular característica. Los parámetros de costo se obtuvieron directamente de las concesionarias de vehículos que comercializan las marcas-modelos de la flota vehicular característica. En la Tabla 3-23, se especifica la fuente de obtención de estas variables. En la Tabla 3-24, se resumen los datos y parámetros asociados a los costos.

Tabla 3-23 Variables Modelo de Consumo de Repuestos

VARIABLES	Designación	Unidades	Fuente
Consumo de repuestos por cada 1000 km-veh, expresado como fracción del precio promedio del vehículo nuevo	PC	Fracción del valor de un vehículo por cada 1000 km	Encuestas a concesionarias
Edad promedio vehículo en km recorridos	CKM	km	Estudio LEN 2006
Rugosidad mínima utilizada por el modelo	IRI ₀	m/km	
Factor cambio incremental por cambios de velocidad del consumo de repuestos	CPCON		Valor por defecto de HDM-4 (0.1)
Factor consumo adicional combustible	dFUEL		Modelo de consumo de combustible
Factor de forma	a3		Valor por defecto
Coefficiente de CKM en modelo	KP		Valor por defecto
Parámetro constante	a0		Valor por defecto
Coefficiente de rugosidad	a1		Valor por defecto
Factor rotacional	K0pc	Adimensional	Parámetro a calibrar
Factor traslacional	K1pc	Adimensional	Parámetro a calibrar

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Tabla 3-24 Costos de Mantenimiento de la Flota Vehicular Característica

Id	Tipo	Grupo	Marca	Modelo	Gasto repuestos \$/1000km	Precio Vehículo nuevo \$	PC % del valor vehículo nuevo
2	Automóvil	A1	Chevrolet	Spark	7200	5490000	0.13
3		A2	Renault	Symbol	19044	6690000	0.28
4		A3	Ford	Mustang	25750	27990000	0.09
5	Camioneta	C1	Fiat	Strada Working	15900	7128100	0.22
6		C2	Nissan	NP300	18720	16100700	0.12
		C3	Chevrolet	Silverado	30100	20932100	0.14
7	SUV	SUV1	Nissan	Qashqai	21760	13490000	0.16
		SUV2	Toyota	4Runner	29422	22990000	0.13
		SUV3	Toyota	FjCruiser	29422	28290000	0.10
12	VAN	VAN1	Peugeot	5008	18500	18290000	0.10
		VAN2	Ssang Yong	Stavic	50400	17890000	0.28
8	Camión Simple	CS1	Hyundai	HD 78	25940	19290000	0.13
9		CS2	Freightliner	M2 106	73700	38000000	0.19
10		CS3	FAW	F 3237	49820	38000000	0.13
11	Camión Articulado	CA1	Ford	C-1933	46500	42000000	0.11
		CA2	SCANIA	G 360	68900	43000000	0.16
		CA3	Freightliner	CL120	73700	68425000	0.11
13	Buses	B1	Higer	H72.29	51700	22000000	0.24
14		B2	Mercedes Benz	O500 U 1826	74500	40000000	0.19
16		B3	Mercedes Benz	O500	74500	46000000	0.16

Fuente: Estudio Básico "Actualización Parámetros Modelos HDM-4" – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Para la estimación del parámetro CKM se utiliza una homologación de los datos obtenidos en la actualización de la metodología para la estimación de los costos de operación vehicular (MOP, 2006). Estos se muestran en la Tabla 3-25.

Tabla 3-25 Valores del Parámetro CKM

Id	Tipo	Grupo	Antigüedad (km)
2	Automóvil	A1	153765
3		A2	116968
4		A3	120408
5	Camioneta	C1	167701
6		C2	160055
		C3	160055
7	SUV	SUV1	144715
		SUV2	144715
		SUV3	144715
12	VAN	VAN1	152385
		VAN2	152385
8	Camión Simple	CS1	492592
9		CS2	492592
10		CS3	1077324
11	Camión Articulado	CA1	927619
		CA2	927619
		CA3	927619
13	Buses	B1	1211088

Id	Tipo	Grupo	Antigüedad (km)
14		B2	1211088
16		B3	742558

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Finalmente, la calibración se realiza variando el parámetro traslacional (K_{1pc}) de tal forma que el valor de PC estimado a través de encuestas no difiera del valor modelado. Los factores K_{1pc} , PC observado y PC modelado se muestran en la Tabla 3-26 para cada uno de las categorías de la flota vehicular característica.

Tabla 3-26 Parámetros Calibrados del Modelo de Consumo de Repuestos

Id	Grupo	PC observado	K_{0pc}	CKM	k_p	a_{0E-5}	a_{1E-6}	RI	K_{1pc}	CPCON	dFUEL	PC modelado
2	A1	0.13	1	153765	0.308	3.694	6.2	3.25	0.1252	0.1	0.1998	0.13
3	A2	0.28	1	116968	0.308	3.694	6.2	3.25	0.2743	0.1	0.1313	0.28
4	A3	0.09	1	120408	0.308	3.694	6.2	3.25	0.0868	0.1	0.1278	0.09
5	C1	0.22	1	167701	0.308	3.694	6.2	3.25	0.2141	0.1	0.1676	0.22
6	C2	0.13	1	160055	0.308	3.694	6.2	3.25	0.1253	0.1	0.1904	0.13
	C3	0.13	1	160055	0.308	3.694	6.2	3.25	0.1253	0.1	0.1904	0.13
7	SUV1	0.13	1	144715	0.371	0.729	2.96	3.25	0.1267	0.1	0.1476	0.13
	SUV2	0.13	1	144715	0.371	0.729	2.96	3.25	0.1267	0.1	0.1476	0.13
	SUV3	0.13	1	144715	0.371	0.729	2.96	3.25	0.1267	0.1	0.1476	0.13
8	CS1	0.13	1	152385	0.371	0.729	2.96	3.25	0.1251	0.1	0.2757	0.13
9	CS2	0.19	1	492592	0.371	1.158	2.96	3.25	0.1822	0.1	0.2757	0.19
10	CS3	0.13	1	492592	0.371	1.158	2.96	3.25	0.1217	0.1	0.4457	0.13
11	CA1	0.13	1	1077324	0.371	1.358	2.96	3.25	0.1171	0.1	0.7296	0.13
	CA2	0.13	1	1077324	0.371	1.358	2.96	3.25	0.1171	0.1	0.7296	0.13
	CA3	0.13	1	1077324	0.371	1.358	2.96	3.25	0.1171	0.1	0.7296	0.13
12	VAN1	0.19	1	927619	0.308	3.676	6.2	3.25	0.1830	0.1	0.1654	0.19
	VAN2	0.19	1	927619	0.308	3.676	6.2	3.25	0.1830	0.1	0.1654	0.19
13	B1	0.24	1	1211088	0.371	1.014	1.97	3.25	0.2277	0.1	0.4033	0.24
14	B2	0.19	1	1211088	0.483	0.057	0.49	3.25	0.1807	0.1	0.4078	0.19
16	B3	0.16	1	742558	0.483	0.064	0.46	3.25	0.1522	0.1	0.4122	0.16

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

3.1.7.5 Modelo de Horas de Mano de Obra

El modelo queda expresado por la Ecuación 3-4, en la cual LH es el consumo de mano de obra en (h/1000 km), K_{0lh} y K_{1lh} son los factores de calibración rotacional y traslacional respectivamente, PC es el consumo de repuestos expresado como una fracción del valor de un vehículo nuevo por cada 1000 km, a_0 y a_1 son parámetros de calibración.

$$LH = K_{0lh}[a_0PC^{a_1}] + K_{1lh} \quad (\text{Ecuación 3 - 4})$$

Se considera una calibración de nivel 1, ajustando los parámetros de calibración del modelo para que el resultado se condiga con los datos obtenidos mediante encuestas a concesionarias autorizadas. Este modelo depende de los resultados del consumo de repuestos y es proporcional a dichos resultados. La Tabla 3-27, muestra las variables requeridas para la calibración y su fuente de obtención.

Tabla 3-27 Requerimiento de Variables para el Modelo de Horas de Mano de Obra

Variables	Designación	Unidades	Fuente
Horas de trabajo en mantención	LH	Hrs-1000km	Encuestas a concesionarias autorizadas
Consumo de repuestos	PC	% del valor de un vehículo nuevo – 1000km	Modelo de consumo de repuestos
Parámetro constante	a0		Valor por defecto HDM-4.
Parámetro constante	a1		Valor por defecto HDM-4.
Factor rotacional	K0lh	Adimensional	Parámetro a calibrar
Factor traslacional	K1lh	Adimensional	Parámetro a calibrar

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

La calibración del modelo se realizó ajustando los parámetros rotacionales y traslacionales, de tal modo de reproducir el valor observado de las horas de mano de obra. Los valores calibrados del modelo de consumo de mano de obra se muestran en la Tabla 3-28.

Tabla 3-28 Parámetros Calibrados del Modelo de Consumo de Horas de Mano de Obra

ID	Grupo	LH observado (horas por 1000 veh-km)	PC modelado	a0	a1	K0lh	K1lh	LH modelado (horas por 1000 veh-km)
2	A1	0.33	0.13	77.14	0.547	0.013059	0	0.33
3	A2	0.27	0.28	77.14	0.547	0.006944	0	0.27
4	A3	0.37	0.09	77.14	0.547	0.017903	0	0.37
5	C1	0.33	0.22	77.14	0.547	0.009792	0	0.33
6	C2	0.37	0.13	77.14	0.547	0.014789	0	0.37
	C3	0.37	0.13	77.14	0.547	0.014789	0	0.37
7	SUV1	0.17	0.13	77.14	0.547	0.006608	0	0.17
	SUV2	0.17	0.13	77.14	0.547	0.006608	0	0.17
	SUV3	0.17	0.13	77.14	0.547	0.006608	0	0.17
8	CS1	1.60	0.13	242.03	0.519	0.01906	0	1.60
9	CS2	1.60	0.19	242.03	0.519	0.015652	0	1.60
10	CS3	1.60	0.13	301.46	0.519	0.015301	0	1.60
11	CA1	1.60	0.13	301.46	0.519	0.015302	0	1.60
	CA2	1.60	0.13	301.46	0.519	0.015302	0	1.60
	CA3	1.60	0.13	301.46	0.519	0.015302	0	1.60
12	VAN1	1.60	0.19	77.14	0.547	0.051447	0	1.60
	VAN2	1.60	0.19	77.14	0.547	0.051447	0	1.60
13	B1	1.60	0.24	242.03	0.519	0.013864	0	1.60
14	B2	1.60	0.19	293.44	0.517	0.012866	0	1.60
16	B3	1.60	0.16	293.44	0.517	0.014063	0	1.60

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

3.1.7.6 Modelo de Costo de Capital

Este modelo considera la depreciación ($DEP_{\$}$ en $\$/1000$ km) de los vehículos y los intereses ($INT_{\$}$ en $\$/1000$ km), los que, sumados, constituyen el costo de capital total ($CAP_{\$}$ en $\$/1000$ km) de cada vehículo durante su operación.

Para el modelo de costo de capital, se realizó una calibración de nivel 1, utilizando los parámetros constantes de HDM-4 y valores relativos de la flota característica para las variables que se indican en la Tabla 3-29.

Tabla 3-29 Variables Requeridas Para el Modelo de Costo de Capital

Variables	Designación	Unidades	Fuente
Valor vehículo nuevo	NVP	\$	Concesionarias autorizadas
Valor vehículo nuevo menos los neumáticos	NVPLT	\$	Páginas de venta de neumáticos
Tasa de interés anual	AINV	%	Certificado Mensual de Tasas de Interés de la Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras (SBIF) de Chile
Número de ruedas	Nw	número	Tabla 2-13
Porcentaje de vehículos presentes en la flota	PCTV	%	Anuario de la ANAC

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

Los parámetros propuestos para el modelo de costo de capital se muestran en la Tabla 3-30.

Tabla 3-30 Parámetros Calibrados del Modelo de Consumo de Horas de Mano de Obra

Id	Tipo	Grupo	Marca	Modelo	AINV (%)	NVP (\$)	NVPLT (\$)	Nw	PCTV (%)
2	Automóvil	A1	Chevrolet	Spark	23.96	5490000	5284400	4	34.77
3		A2	Renault	Symbol	23.96	6690000	6426000	4	11.91
4		A3	Ford	Mustang	23.96	27990000	27195600	4	0.39
5	Camioneta	C1	Fiat	Strada Working	23.96	7128100	6924900	4	1.73
6		C2	Nissan	NP300	23.96	16100700	15766300	4	5.87
		C3	Chevrolet	Silverado	23.96	20932100	19918500	4	0.21
7	SUV	SUV1	Nissan	Qashqai	23.96	13490000	12554800	4	20.59
		SUV2	Toyota	4Runner	23.96	22990000	22218800	4	3.29
		SUV3	Toyota	FjCruiser	23.96	28290000	27565200	4	0.33
12	VAN	VAN1	Peugeot	5008	23.96	18290000	17562800	4	0.16
		VAN2	Ssang Yong	Stavic	23.96	17890000	17197600	4	1.34
8	Camión Simple	CS1	Hyundai	HD 78	23.96	19290000	18448800	6	0.95
9		CS2	Freightliner	M2 106	23.96	38000000	36476000	6	0.60
10		CS3	FAW	F 3237	23.96	38000000	35460000	10	0.25
11	Camión Articulado	CA1	Ford	C-1933	23.96	42000000	40476000	6	0.03
		CA2	SCANIA	G 360	23.96	43000000	40460000	10	0.68
		CA3	Freightliner	CL120	23.96	68425000	65885000	10	0.11
13	Buses	B1	Higer	H72.29	23.96	22000000	21145000	6	7.14
14		B2	Mercedes Benz	O500 U 1826	23.96	40000000	38476000	6	2.28
16		B3	Mercedes Benz	O500	23.96	46000000	44476000	6	7.37

Fuente: Estudio Básico “Actualización Parámetros Modelos HDM-4” – Informe 5 (APSA & DDQ, 2017)

3.2 Estándares de Trabajo

Al diseñar y construir un camino, idealmente se esperaría que durante toda su “vida útil” este se desempeñaría de manera óptima. Sin embargo, la “vida útil” del pavimento, es sencillamente un valor teórico que no se condice necesariamente con el desempeño que experimenta el pavimento cuando se encuentra en función. Por ello, comúnmente es posible encontrar que antes del fin del período de diseño del pavimento, este se encuentra deteriorado.

Los deterioros se pueden clasificar en funcionales y estructurales. Los deterioros funcionales, comprenden a los relacionados a la serviciabilidad y seguridad de la vía, como los son el escalonamiento e IRI. Por otra parte, el deterioro estructural se encuentra relacionado a la pérdida de capacidad portante del suelo o de alguna capa que componga el pavimento, tal es el caso del ahuellamiento, grietas, baches, etc.

Que el pavimento se encuentre deteriorado antes de lo predicho puede deberse a diversos factores, tales como: comportamiento del tránsito (mayor crecimiento vehicular de lo pronosticado, mala estimación del TMDA, mal cálculo de los FEC, etc), factores ambientales (temperatura, radiación, precipitaciones, etc) y calidad de la construcción (expresados en HDM-4 en los factores CDS y CDB). Dado que estos factores no son controlados por el diseñador, se hace necesario aplicar medidas de conservación sobre los pavimentos.

La necesidad de realizar medidas de conservación en el momento propicio, afecta positivamente en tres situaciones:

- Aumenta la seguridad de conducción y su comodidad.
- El tiempo de viaje disminuye junto con los costos de operación vehicular.
- El costo de inversión en la vía será menor que si espera un mayor nivel de deterioro del pavimento.

En base a lo anterior, es que se hace necesario establecer límites máximos de deterioros permitidos en los pavimentos. De acuerdo a la importancia de la vía, seguridad y gestión eficaz de los recursos.

3.2.1 Tipos de Estándares Según la Superficie de Rodadura

Los estándares de conservación se pueden categorizar en tres tipos: conservación rutinaria, periódica y mayor.

- a. Conservación rutinaria: Corresponde a todas aquellas acciones, realizadas a la vía, durante el año. Estas operaciones se realizan independiente del nivel de tránsito y el clima. Ejemplo de este tipo de conservación son limpieza de faja, saneamiento, etc.
- b. Conservación periódica: Son todas aquellas operaciones de carácter preventivo y que se realizan en espacios de tiempo superiores al año. Su fin es brindar un cierto estándar de servicio del pavimento.
- c. Conservación mayor: Este tipo de conservación involucra un mejoramiento de la capacidad estructural y funcional del pavimento. Es por ello que aquí encuentran obras tales como recapados, repavimentaciones o reconstrucciones.

3.2.1.1 Pavimentos Asfálticos

Como es inevitable la existencia de fallas en los pavimentos, existen diversas medidas que ayudan a retardar la progresión de los deterioros o en su defecto recomponer la capacidad de soporte de la estructura. De acuerdo la Dirección de Vialidad, las acciones implementadas sobre los pavimentos asfálticos se resumen en 10, las cuales se visualizan en la Tabla 3-31.

Tabla 3-31 Trabajos de Conservación en Pavimentos Asfálticos

Tipo de Conservación	Acciones de conservación
Rutinaria	Limpieza de Faja y Saneamiento
	Sello de grietas
	Bacheo
Periódica	Riego Neblina
	Sellos asfálticos: Lechadas Asfálticas, Sellos de agregados
	Fresado y reemplazo
	Recapado delgado (Funcional)
Mayor	Recapado estructural
	Reciclado
	Reconstrucción

Fuente: Proposiciones de Acciones de Mantenimiento y Estado de la Calzada (Dirección de Vialidad, 2014)

Limpieza de faja y Saneamiento: Estos trabajos corresponden a la eliminación de vegetación, escombros o basura; ya sea en forma manual o mecánica, de fosos, contrafosos, cunetas y alcantarillas. Este tipo de trabajo permite mantener en un buen estado el sistema de drenaje.

Sello de grietas: Esta medida de conservación se refiere al sello con asfalto de algunos tipos de grietas que se producen en los pavimentos flexibles. El objetivo de esta conservación es minimizar la infiltración de agua y oxidación del asfalto.

Bacheo: Corresponde a la reparación de los baches y el reemplazo de las zonas del pavimento que se encuentran deterioradas, siempre que el deterioro afecte solamente a la rodadura asfáltica; en el caso del bacheo superficial. Por otro lado, si el daño es severo y afectan a las otras capas del pavimento, se debe realizar un bacheo profundo.

Riego neblina: Corresponde a una emulsión asfáltica de quiebre lento, que se diluye con agua sobre el pavimento existente. Se emplea para renovar superficies envejecidas y para sellar grietas pequeñas y superficies porosas.

Sellos asfálticos:

- a) **Lechada Asfáltica:** Además de rejuvenecer la carpeta asfáltica, detiene el desgaste superficial y mejora la fricción entre pavimento y neumático. La lechada es una mezcla de emulsión asfáltica de quiebre lento, agua, arena y eventualmente un relleno fino–filler, para adicionar la fracción fina que pueda faltar. Se aplica en condiciones bastante fluidas, lo que permite ingresar en grietas y nivelar fácilmente.
- b) **Sello de agregados:** Se aplica con los mismos objetivos que las lechadas asfálticas. Se trata de un tratamiento superficial simple, es decir, un riego de una emulsión de quiebre rápido seguido de un riego de gravilla de tamaño máximo 10 mm. Cuando el tratamiento se aplica sobre una base granular se denomina tratamiento superficial simple, y cuando

se aplica para conservar una capa asfáltica se le denomina sello de agregados o sello tipo tratamiento superficial simple.

- c) **Otta Seal:** Un caso particular de sello de agregados lo constituye Otta Seal. Al igual que en los tratamientos superficiales, se le puede aplicar sobre una superficie antigua bajo las mismas condiciones que las que se aplica sobre una base granular. La ventaja es que se logra una mejor adherencia al regar un ligante asfáltico a una temperatura sobre los 150° C.

Fresado y reemplazo: Consiste en el recorte en frío, de un determinado espesor del pavimento, para luego reemplazar el espesor faltante con una capa equivalente de asfalto.

Recapado delgado: Consiste en la colocación de una nueva capa de rodadura sobre el pavimento existente. El espesor de la nueva capa no debe sobrepasar los 50 [mm]

Recapados estructurales: Aplicación de una o varias capas de asfalto, con el objeto de aumentar la capacidad de soporte del pavimento.

Reciclado: Consiste en procesar, una parte de la mezcla asfáltica antigua del pavimento con una mezcla de nuevos materiales, de manera tal de producir una mezcla nueva que cumpla con los requisitos que se le exigen al pavimento.

El reciclado puede ser en caliente o en frío, como también la mezcla puede colocarse en el mismo camino o en otro lugar.

Reconstrucción: La reconstrucción es el retiro del antiguo pavimento, con una parte o la totalidad de las capas granulares, para luego ser reemplazado por otro nuevo.

Aunque los términos utilizados en HDM-4, para designar a las respectivas conservaciones, no necesariamente pueden ser los mismos que los utilizados por Dirección de Vialidad. Se pueden homologar ambos términos, tal como se presentan en la Tabla 3-32, teniendo presente que el trabajo realizado sea el mismo.

Tabla 3-32 Vocabulario de Homologación de Conservaciones en Pavimentos Asfálticos

PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	
Dirección de Vialidad	HDM-4
Tratamiento superficial doble	Doble riego de sello
Fresado y reemplazo (repavimentación)	Fresado y reemplazo
Lechada asfáltica	Mortero asfáltico
Reconstrucción	Reconstrucción del pavimento
Bacheo	Reparaciones
Sello granular	Riego de sello
Recapado	Sobrecarpeta de mezcla densa
Rutinario	Diversos

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.2 Pavimentos de Hormigón

Según lo señalado en la Tabla 3-33, los trabajos de conservación que realiza dirección de vialidad, en los pavimentos rígidos, son los siguientes:

Tabla 3-33 Trabajos de Conservación en Pavimentos de Hormigón

Tipo de Conservación	Acciones de conservación
Rutinaria	Limpieza de Faja y Saneamiento
Periódica	Sello de juntas y grietas
	Reparación de losas en parte o en todo su espesor
	Cepillado de juntas y puntos altos
	Reemplazo de losas
Mayor	Recapados
	Pulverizado
	Reconstrucción

Fuente: Proposiciones de Acciones de Mantenimiento y Estado de la Calzada (Dirección de Vialidad, 2014)

Limpieza de faja y Saneamiento

Sello de juntas y grietas: Aplicación de un material sellante (asfalto o silicona) en las juntas y grietas del pavimento, con el objeto de evitar la entrada de materiales incompresible o agua.

Reparación de losas en parte o en todo su espesor: Cuando se habla de reparación en parte de la losa, se refiere a la conservación de las juntas del pavimento que presentan saltaduras en sus aristas, pero solo afectan la parte superior del hormigón (menor a un tercio del espesor de la losa). Por su parte, la reparación en todo su espesor corresponde al reemplazo de la parte deteriorada, entendiéndose que la parte deteriorada debe abarcar como mínimo, el ancho de la losa y 0,5 [m] en la dirección de la vía.

Cepillado de juntas y puntos altos: Medida utilizada con objeto de reducir las irregularidades, mejorando la serviciabilidad y prolongando la vida útil. El cepillado, trabaja con una máquina que contiene una rueda cortadora, el cual elimina las irregularidades generadas por el escalonamiento de las juntas y aumenta la fricción entre el neumático y el pavimento.

Reemplazo de losas: Retiro y reemplazo de las losas que se encuentran muy deterioradas.

Recapados: Aplicación de una carpeta de rodadura, ya sea de hormigón o asfalto, con el objetivo de aportar en el desempeño estructural del pavimento.

Pulverizado: Conservación que utiliza una máquina capaz de pulverizar el hormigón, pudiendo utilizarse este material, como una capa base para el nuevo pavimento.

Reconstrucción

De manera particular, en HDM-4 solo para pavimentos de hormigón, el software tiene como trabajo de conservación la colocación de drenes.

Reemplazo de drenes: Comprende la remoción del antiguo dren, provisión de materiales y ejecución de los trabajos que se requieran para el reemplazo del dren por uno nuevo. Se incluye

la reparación de las bermas afectadas, de manera de dejarlas en igual estado al que tenían previos a los trabajos. En HDM-4, se cuantifica por kilómetro de dren de pavimento.

En la Tabla 3-34, se presenta la homologación de términos de los trabajos de conservación en pavimentos rígidos, entre Dirección de Vialidad y HDM-4.

Tabla 3-34 Vocabulario de Homologación de Conservaciones en Pavimentos Rígidos

PAVIMENTOS RÍGIDOS	
Dirección de Vialidad	HDM-4
Reemplazo de drenes	Colocación de drenes laterales
Cepillado	Fresado
Reemplazo de losas	Reemplazo de losas
Sello de juntas	Sello de juntas
Reparación de espesor parcial	Reparación a espesor parcial
Reparación en todo el espesor	Reparación a espesor total
Colocación de barras de traspaso de carga	Restitución de la transferencia de carga
Rutinario	Diversos

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.3 Caminos Básicos con Capa de Protección Asfáltica (Tratamiento Superficial)

Los caminos básicos se pueden clasificar en dos tipos de soluciones:

- Estabilización de carpeta granular: la adición de algún producto estabilizador o supresor de polvo al material de la carpeta granular.
- Capa de protección: la aplicación de una capa de protección asfáltica al material granular, el que en este caso actúa como base.

En el presente apartado, no será tratada la solución de estabilización de carpeta granular, ya que el comportamiento del camino junto a las intervenciones que comúnmente les son realizadas, en HDM-4, corresponden a caminos no pavimentados. Estos caminos serán descritos en el siguiente apartado.

Para la determinación del estado de la ruta en los caminos básicos la medición de los deterioros debe realizarse como mínimo en tramos de 100 metros por cada kilómetro, realizando las extrapolaciones correspondientes para obtener el valor por kilómetro, tal como se observa en la Figura 3-1.

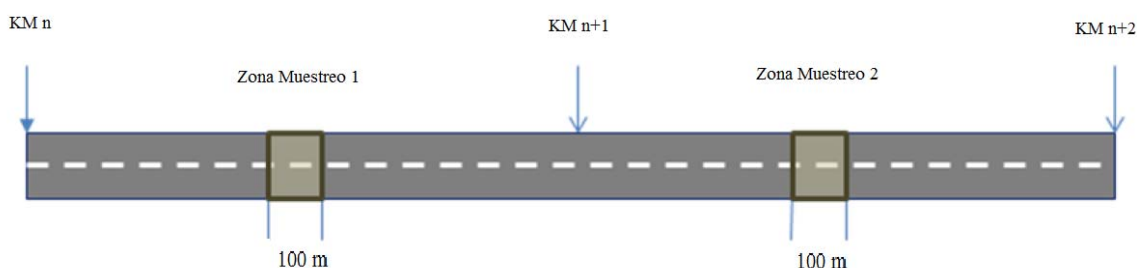


Figura 3-1 Zona de muestreo en caminos básicos
Fuente: Política de Conservación Vial (Dirección de Vialidad, 2012)

En la calidad de un camino básico con capa de protección asfáltica, queda definida principalmente por los siguientes deterioros: Baches, pérdida de áridos y la erosión de los bordes. Las características de estos deterioros ya fueron mencionadas en el Capítulo 1.

Para contrarrestar los efectos de los deterioros mencionados anteriormente, la conservación periódica de caminos con solución asfáltica comprende tres tipos de técnicas (con excepción del Otta Seal), donde el objetivo es adicionar una capa de recubrimiento para restituir la impermeabilidad y la textura superficial. En los tres casos la superficie debe estar preparada previamente, bacheando y rellenando grietas si es necesario. Estas soluciones de conservación son exactamente las mismas empleadas para pavimentos asfálticos tradicionales, las cuales son: Riego de Neblina, Bacheo superficial y profundo, lechada asfáltica, sello de agregados, otta seal.

3.2.1.4 Caminos No Pavimentados

La periodicidad de las intervenciones sobre los caminos no pavimentados, en adición a al establecimiento de intervalos de tiempo, en HDM-4 se pueden determinar de acuerdo a la pérdida de espesor de material de la carpeta de rodadura y al IRI de la vía. Ambos parámetros ya fueron descritos con anterioridad en el Capítulo 1.

Las medidas de conservación utilizadas comúnmente en el mantenimiento de las vías no pavimentadas, son las siguientes:

Reperfilado: Consiste en reconformar la plataforma del camino, incluyendo las cunetas, a condiciones similares a las originales de diseño o a un diseño mínimo. Incluye la restitución de bombeos y peraltes, reacondicionamientos de las cunetas, eliminación de las deformaciones longitudinales, tales como: ahuellamientos y acumulación de materiales y de las deformaciones transversales, tales como: ondulaciones (calamina) y el emparejamiento de baches.

El trabajo incluye los eventuales escarificados de las zonas consolidadas que impidan lograr la sección transversal propuesta. Este escarificado se debe ejecutar sólo hasta una profundidad que permita obtener los propósitos deseados, sin comprometer los suelos subyacentes.

En el caso de la reconformación de las cunetas existentes, se deben remover todos los materiales depositados en ella, de manera de asegurar una sección transversal uniforme y una pendiente longitudinal libre de obstáculos. También contempla la rehabilitación o construcción de ventanas o sangrías, que permitan evacuar el agua de las cunetas en forma rápida y eficiente.

Escarificado y riego: Si la reperfiladura incluye un escarificado y riego del material, la plataforma debe escarificarse primero hasta una profundidad no inferior a 100 mm, o hasta que se logre eliminar el ahuellamiento y los baches. Si aparece material de tamaño superior a 75 mm (3”), éste debe retirarse manualmente y llevarse a botaderos autorizados. Posteriormente, se procede a revolver el material resultante, adicionándole agua de manera de humedecerlo homogéneamente, a continuación se prosigue con el perfilado de modo similar al reperfilado.

Reperfilado con compactación: Previo a la reperfiladura con compactación, se escarifica toda la superficie de la calzada existente en una profundidad de 0,15 m o hasta que se logre eliminar el ahuellamiento y los baches existentes, eliminando de paso el sobre tamaño superior a 75 mm (3”). Posteriormente, se procede a revolver, acordonar y regar el material existente, homogeneizándolo hasta que alcance la humedad óptima de compactación. Luego, se perfila

igual como lo descrito anteriormente y se compacta hasta alcanzar, a lo menos, el 95% de la D.M.C.S. o el 80% de la Densidad Relativa. La consolidación del material se debe realizar desde los bordes de la calzada hacia el eje del camino.

Recebo de Capas de Rodadura y Bermas Granulares: Esta operación consiste en reconformar la plataforma de una calzada no pavimentada, incluyendo las cunetas, a una condición cercana a la original de diseño, en cuanto a dimensiones y características. Considera la adición de material de reemplazo del material perdido. El objetivo es devolverle a la capa de rodadura las condiciones de transitabilidad y geometría originales. En este sentido existen varios tipos de recebo según el tamaño máximo del árido considerado: con adición de material chancado, con incorporación de suelo plástico, con adición de estabilizador, recebo de carpetas de maicillo y recebo con provisión externa de material, entre otros.

Cambio de estándar: Si bien es cierto que no corresponde a una tarea de conservación propiamente tal, el cambio de estándar en un camino no pavimentado, constituye un mejoramiento de las condiciones estructurales, geométricas y superficiales de éste. En este caso, la decisión de elevar el nivel de servicio del camino no pavimentado, considera otro tipo de umbrales, ligados principalmente a factores de rentabilidad social que consideran al tránsito (TMDA) como uno de los parámetros fundamentales.

A continuación, en la Tabla 3-35, se presenta la convalidación de términos entre Dirección de Vialidad y HDM-4.

Tabla 3-35 Vocabulario de Homologación de Conservaciones en Caminos No Pavimentados

NO PAVIMENTADOS	
Dirección de Vialidad	HDM-4
Recebo	Recarga (Total o Parcial)
Reperfilado	Renivelación

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Estándares de Trabajo Sugeridos

Los umbrales de intervención son los valores límites (máximos o mínimos) de los parámetros de deterioro (funcional o estructural), por sobre o bajo los cuales se entenderá necesario realizar una acción de conservación sobre la calzada para restablecer el estado de cumplimiento del respectivo parámetro o indicador. Estas acciones corresponden a acciones rutinarias y periódicas.

Dicho lo anterior, los umbrales de intervención constituyen una suerte de “válvula de regulación” de los estándares de conservación, cuando estos contienen acciones de conservación activadas por una condición de respuesta, dado que a través del manejo de dichos valores límites es posible “controlar” el nivel de servicio que se desea reestablecer a la calzada, tal como se observa en la Figura 3-2.

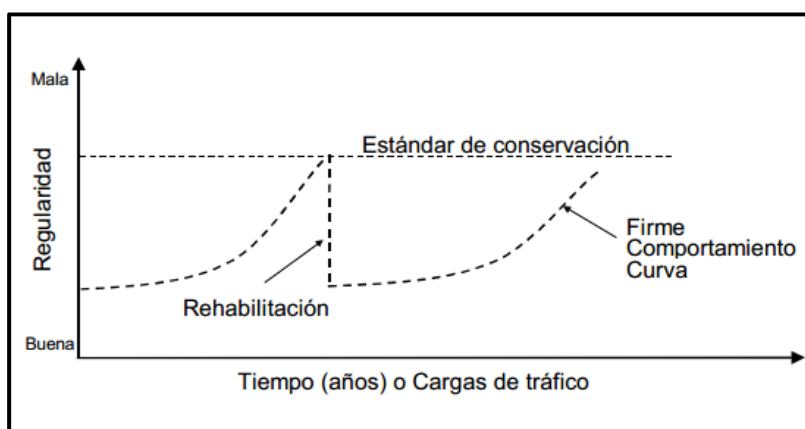


Figura 3-2 Efecto del Estándar de Conservación en la Regularidad Superficial
Fuente: Visión General de HDM-4 v.1 (Kerali, 2001)

3.2.2.1 Pavimentos Asfálticos

En los trabajos de conservación, utilizados por Dirección de Vialidad e indicados en los precios unitarios del respectivo apartado, se establecen operaciones de conservación denominados por tipo de actividad. En la Tabla 3-36, se muestra el tipo de actividad y el diseño de ella. Estas actividades de manera preliminar, servirán como base para la sugerencia de medidas a realizar en los pavimentos asfálticos, sin embargo, se advierte que una cantidad considerable no será utilizada, por ser intervenciones que no se condicen con tales como recapados de 21 cm. Las actividades con las cuales trabaja Dirección de Vialidad son mostradas en el **Anexo A**, el cual es digital, donde en la parte izquierda se muestra lo entregado por Vialidad y en la parte derecha, la propuesta planteada por la consultora. En ella, se podrá determinar el umbral de intervención, trabajo, diseño, efectos, etc.

Las conservaciones de los caminos básicos de tratamiento superficial, se plantean como vías colectoras y locales/desarrollo de bajo o muy bajo tránsito.

Tabla 3-36 Descripción de las Actividades en Pavimentos Asfálticos

Tipo de Actividad	Descripción de la Actividad
Recapado Asfáltico Tipo 1	Recapado con 50 mm de carpeta asfáltica
Recapado Asfáltico Tipo 2	Recapado con 60 mm de carpeta asfáltica
Recapado Asfáltico Tipo 3	Recapado con 50 mm de carpeta y 80 mm de base asfáltica
Recapado Asfáltico Tipo 4	Recapado con 50 mm de carpeta, 60 mm de binder y 80 mm de base asfáltica
Recapado Asfáltico Tipo 5	Recapado con 50 mm de carpeta, 70 mm de binder y 90 mm de base asfáltica
Reconstrucción Asfáltica Tipo 1	Reconstrucción con 60 mm de carpeta, 150 mm de base granular y 150 mm de subbase
Reconstrucción Asfáltica Tipo 2	Reconstrucción con 50 mm de carpeta, 90 mm de base asfáltica, 150 mm de base granular y 150 mm de subbase
Reconstrucción Asfáltica Tipo 3	Reconstrucción con 70 mm de carpeta, 120 mm de base asfáltica, 150 mm de base granular y 150 mm de subbase

Tipo de Actividad	Descripción de la Actividad
Reconstrucción Asfáltica Tipo 4	Reconstrucción con 60 mm de carpeta, 70 mm de binder, 80 mm de base asfáltica, 150 mm de base granular y 150 mm de subbase
Reconstrucción Asfáltica Tipo 5	Reconstrucción con Tratamiento Superficial Doble
Repavimentación Asfáltica Tipo 1	Repavimentación con 60 mm de carpeta
Repavimentación Asfáltica Tipo 2	Repavimentación con 70 mm de carpeta y 80 mm de base asfáltica
Repavimentación Asfáltica Tipo 3	Repavimentación con 50 mm de carpeta, 60 mm de binder y 80 mm de base asfáltica
Repavimentación Asfáltica Tipo 4	Repavimentación con 60 mm de carpeta, 70 mm de binder y 100 mm de base asfáltica
Repavimentación Asfáltica Tipo 5	Repavimentación con Tratamiento Superficial Doble

Fuente: Política de Conservación Vial. Etapa 1 - Caminos Pavimentados (Dirección de Vialidad, 2010)

En base a las actividades planteadas en por dirección de vialidad, la consultora sugiera utilizar las siguientes medidas de conservaciones en pavimentos asfálticos, mostradas en la Tabla 3-37.

Tabla 3-37 Estándares de Trabajos Sugeridos para los Pavimentos de Asfalto

Tipo de Via	Volumen	SNP	Actividad	Intervención	Diseño	Efectos
Autopistas	Muy Alto	> 6	Recapado 3	18 < Ejes Equivalentes Acumulados < 24 e IRI>3,1 [m/km]	Espesor Nueva Capa: 130 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Repavimentación 1	IRI>3,2 [m/Km] o Ahuellamiento > 10 [mm]	Espesor Nueva Capa: 60 mm Profundidad Fresado: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total>5% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos
			Reconstrucción 4	58 < Ejes Equivalentes Acumulados < 64 o Intervalo > 20 años e IRI> 3 [m/km]	SNP: 5,67 Espesor Superficial: 210 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Rutinaria	Cada 1 Año	-	-
	Alto	5 – 5,5	Recapado 3	15 < Ejes Equivalentes Acumulados < 20 e IRI > 3,3 [m/km]	Espesor Nueva Capa: 130 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Repavimentación 1	IRI>3,4[m/Km] o Ahuellamiento > 12 [mm]	Espesor Nueva Capa: 60 mm Profundidad Fresado: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total > 7% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos
			Reconstrucción 4	40 < Ejes Equivalentes Acumulados < 50 o Intervalo > 20 años e IRI > 3,1 [m/km]	SNP: 5,67 Espesor Superficial: 210 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Rutinaria	Cada 1 Año	-	-
	Medio	4,5-5,5	Recapado 3	12 < Ejes Equivalentes Acumulados < 16 e IRI > 3,4 [m/km]	Espesor Nueva Capa: 130 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Repavimentación 1	IRI>3,5 [m/Km] o Ahuellamiento > 15 [mm]	Espesor Nueva Capa: 60 mm Profundidad Fresado: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total> 7% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos

Tipo de Via	Volumen	SNP	Actividad	Intervención	Diseño	Efectos
Autorrutas			Reconstrucción 3	30 < Ejes Equivalentes Acumulados < 40 o Intervalo > 20 años e IRI > 3,2 [m/km]	SNP: 5,12 Espesor Superficial: 190 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Rutinaria	Cada 1 Año	-	-
	Muy Alto	4,5-5,5	Recapado 2	15 < Ejes Equivalentes Acumulados < 20 e IRI>3,4[m/Km]	Espesor Nueva Capa: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Repavimentación 1	IRI > 3,5 [m/Km] o Ahuellamiento > 12 [mm]	Espesor Nueva Capa: 60 mm Profundidad Fresado: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total > 7% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos
			Reconstrucción 4	35< Ejes Equivalentes Acumulados <45 o Intervalo > 20 años e IRI > 3,3 [m/Km]	SNP: 5,67 Espesor Superficial: 210 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Rutinaria	Cada 1 Año	-	-
			Alto	4,3-5,3	Recapado 2	12 < Ejes Equivalentes Acumulados < 15 e IRI > 3,5 [m/km]
	Repavimentación 1	IRI > 3,7 [m/km] o Ahuellamiento > 15 [mm]			Espesor Nueva Capa: 60 mm Profundidad Fresado: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
	Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total>10% o SFC < 0,45			Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos
	Reconstrucción 3	28 < Ejes Equivalentes Acumulados < 32 o Intervalo > 20 años e IRI>3,45 [m/km]			SNP: 5,12 Espesor Superficial: 190 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
	Rutinaria	Cada 1 Año			-	-
	Medio	4-4,5			Recapado 2	9 < Ejes Equivalentes Acumulados < 12 e IRI > 3,8[m/Km]
			Repavimentación 1	IRI>3,9 [m/Km] o Ahuellamiento > 18 [mm]	Espesor Nueva Capa: 60 mm Profundidad Fresado: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm

Tipo de Via	Volumen	SNP	Actividad	Intervención	Diseño	Efectos	
Primaria						Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65	
			Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total > 10% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos	
			Reconstrucción 3	20 < Ejes Equivalentes Acumulados < 25 o Intervalo > 20 años e IRI > 3,75 [m/km]	SNP: 5,12 Espesor Superficial: 190 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65	
				Rutinaria	Cada 1 Año	-	-
	Alto	4-4,5		Recapado 2	10 < Ejes Equivalentes Acumulados < 13 e IRI > 4,15 [m/Km]	Espesor Nueva Capa: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
				Repavimentación 1	IRI > 4,2 [m/Km] o Ahuellamiento > 18 [mm]	Espesor Nueva Capa: 60 mm Profundidad Fresado: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
				Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total > 12% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos
				Reconstrucción 3	22 < Ejes Equivalentes Acumulados < 26 o Intervalo > 20 años e IRI > 4,1 [m/km]	SNP: 5,12 Espesor Superficial: 190 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
				Rutinaria	Cada 1 Año	-	-
	Medio	3,7-4,3		Recapado 1	7 < Ejes Equivalentes Acumulados < 10 e IRI > 4,45 [m/Km]	Espesor Nueva Capa: 50 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Repavimentación 1	IRI > 4,5 [m/Km] o Ahuellamiento > 20 [mm]	Espesor Nueva Capa: 60 mm Profundidad Fresado: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65	
			Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total > 15% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos	
			Reconstrucción 2	15 < Ejes Equivalentes Acumulados < 20 o Intervalo > 20 años e IRI > 4,4 [m/km]	SNP: 4,46 Espesor Superficial: 140 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65	
			Rutinaria	Cada 1 Año	-	-	
Bajo		3,5-4,2		Recapado 1	5 < MESAL < 8 e IRI > 4,9 [m/Km]	Espesor Nueva Capa: 50 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6

Tipo de Via	Volumen	SNP	Actividad	Intervención	Diseño	Efectos
						Res. Deslizamiento: 0,65
			Repavimentación 1	IRI > 5,0 [m/Km] o Ahuellamiento > 25 [mm]	Espesor Nueva Capa: 60 mm Profundidad Fresado: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total > 18% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos
			Reconstrucción 1	8 < Ejes Equivalentes Acumulados < 10 o Intervalo > 20 años e IRI > 4,8 [m/km]	SNP: 3,67 Espesor Superficial: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Rutinaria	Cada 1 Año	-	-
Colectora	Medio	3,7-4,3	Recapado 1	IRI > 5,0 [m/Km]	Espesor Nueva Capa: 50 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Bacheo	Baches > 1 n°/km	-	Sólo Baches: 100% Retraso: < 2 Semanas
			Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total > 18% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm	Deducidos
			Reconstrucción 2	8 < Ejes Equivalentes Acumulados < 11 o Intervalo > 20 años e IRI > 4,9 [m/km]	SNP: 4,46 Espesor Superficial: 140 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Rutinaria	Cada 1 Año	-	-
	Bajo	3,2-3,7	Recapado 1	IRI > 5,5 [m/km]	Espesor Nueva Capa: 50 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Bacheo	Baches > 1 n°/km	-	Sólo Baches: 100% Retraso: 1 Mes
			Mortero Asfáltico	Agrietamiento Estructural Total > 20% o SFC < 0,45	Espesor Nueva Capa: 10 mm Profundidad Fresado: 0 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Reparación de Borde	Rotura de Borde > 5 m ² /km	-	Rotura de Borde: 100%
			Reconstrucción 1	3 < Ejes Equivalentes Acumulados < 6 o Intervalo > 20 años e IRI > 5,2 [m/km]	SNP: 3,67 Espesor Superficial: 60 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65

Tipo de Via	Volumen	SNP	Actividad	Intervención	Diseño	Efectos	
Muy Bajo (Camino Básico)	2,8-3,2		Rutinaria	Cada 1 Año	-	-	
			Sobrecarpeta Delgada	TMDA en Ambos Sentidos > 600 e IRI > 5,2 [m/km]	Espesor Nueva Capa: 30 mm	Deducidos	
			Mortero Asfáltico	Área Dañada >25 % o SFC < 0,40	Espesor Nueva Capa: 10 mm Profundidad Fresado: 0 mm	Deducidos	
			Reconstrucción 5	IRI > 5,5 [m/km] y TMDA en Ambos Sentidos < 600	SNP: 3,12 Espesor Superficial: 20 mm	Irregularidad: 2,5 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65	
			Reparación de Borde	Rotura de Borde > 10 m ² /km	-	Rotura de Borde: 50%	
			Bacheo	Baches > 5 n°/km	-	Sólo Baches: 100% Retraso: 1 Mes	
			Rutinaria	Cada 1 Año	-	-	
Local o Desarrollo	Bajo (Camino Básico)	2,5-2,8	Mortero Asfáltico	Área Dañada >30% o SFC < 0,40	Espesor Nueva Capa: 10 mm Profundidad Fresado: 0 mm	Deducidos	
			Bacheo	Baches > 10 n°/km	-	Sólo Baches: 100% Retraso: 2 Mes	
			Sobrecarpeta Delgada	TMDA en Ambos Sentidos > 600 e IRI > 5,5 [m/km]	Espesor Nueva Capa: 30 mm	Deducidos	
			Reparación de Borde	Rotura de Borde > 20 m ² /km	-	Rotura de Borde: 50%	
			Reconstrucción 5	IRI > 6 [m/km] y TMDA en Ambos Sentidos < 600	SNP: 3,12 Espesor Superficial: 20 mm	Irregularidad: 2,5 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65	
			Rutinaria	Cada 1 Año	-	-	
	Muy Bajo (Camino Básico)	< 2,5		Mortero Asfáltico	Área Dañada > 35% o SFC < 0,40	Espesor Nueva Capa: 10 mm Profundidad Fresado: 0 mm	Deducidos
				Sobrecarpeta Delgada	TMDA en Ambos Sentidos > 600 e IRI >5,5 [m/km]	Espesor Nueva Capa: 30 mm	Deducidos
				Reparación de Borde	Rotura de Borde > 25 m ² /km	-	Rotura de Borde: 25%
				Reconstrucción 5	IRI > 7 [m/km] y TMDA en Ambos Sentidos < 600	SNP: 3,12 Espesor Superficial: 20 mm	Irregularidad: 2,5 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
				Bacheo	Baches > 10 n°/km	-	Sólo Baches: 100% Retraso: 3 Mes
				Rutinaria	Cada 1 Año	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Las actividades de reconstrucción están sujetas a la verificación de la vida remanente del pavimento en conjunto con sus condiciones de serviciabilidad, por tanto, los millones de ejes equivalentes indicados en la tabla anterior constituyen valores referenciales para dicha verificación.

Observe que, finalmente se utilizaron 3 tipos de recapado y 1 repavimentación, dado que lo usual es utilizar capas de 5 – 7 [cm] de rodadura en las conservaciones.

El significado de la nomenclatura utilizada en la conservación de pavimentos asfálticos del “Object Maestro”, se presenta en el ANEXO E.

3.2.2.2 Pavimentos de Hormigón

A continuación, en la Tabla 3-38, se presentan los umbrales de intervención para los pavimentos de hormigón, propuestos por la consultora.

Las conservaciones de los caminos básicos de hormigón de losas cortas, se plantean como vías colectoras y locales/desarrollo de bajo o muy bajo tránsito.

Tabla 3-38 Estándares de Trabajos Sugeridos para los Pavimentos de Hormigón

Tipo de Vía	Volumen	Espesor Losa [mm]	Actividad	Intervención	Efectos
Autopistas	Muy Alto	> 250	Cepillado	IRI > 3 m/Km o Escalonamiento > 5 mm	Espesor: 6 mm Irregularidad: 1,8 [m/km]
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 2%	Reparación Juntas: 100%
			Restitución de transferencia de Carga	Escalonamiento > 5 mm	Diámetro Pasajuntas: 32 mm Coef. Trans. Carga: 80% Protección Anticorrosión: Sí
			Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 5 %	Reposición Losas: 100%
			Sellado Juntas	2 -3 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
	Alto	220 - 250	Cepillado	IRI > 3,2 m/Km o Escalonamiento > 5 mm	Espesor: 6 mm Irregularidad: 1,8 [m/km]
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 2%	Reparación Juntas: 100%
			Restitución de transferencia de Carga	Escalonamiento > 5 mm	Diámetro Pasajuntas: 32 mm Coef. Trans. Carga: 80% Protección Anticorrosión: Sí
			Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 5 %	Reposición Losas: 100%
			Sellado Juntas	2 -3 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
	Medio	200 - 220	Cepillado	IRI > 3,5 m/Km o Escalonamiento > 5 mm	Espesor: 6 mm Irregularidad: 1,8 [m/km]
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 2%	Reparación Juntas: 100%
			Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 5 %	Reposición Losas: 100%
			Sellado Juntas	2 -3 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
	Autorrutas	Muy Alto	> 230	Cepillado	IRI > 3,3 m/Km o Escalonamiento > 5 mm
Reparación a Espesor Parcial				Despontillamiento > 4%	Reparación Juntas: 100%
Restitución de transferencia de Carga				Escalonamiento > 5 mm	Diámetro Pasajuntas: 32 mm Coef. Trans. Carga: 80% Protección Anticorrosión: Sí
Reemplazo de Losas				Agrietamiento Transversal > 7 %	Reposición Losas: 100%
Sellado Juntas				3 - 4 Años	Sellado Junta: Silicona
Rutinaria				Cada 1 Año	-

Tipo de Vía	Volumen	Espesor Losa [mm]	Actividad	Intervención	Efectos
	Alto	210 - 230	Cepillado	IRI > 3,5 m/Km o Escalonamiento > 6 mm	Espesor: 6 mm Irregularidad: 1,8 [m/km]
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 4%	Reparación Juntas: 75%
			Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 10 %	Reposición Losas: 75%
			Sellado Juntas	3 - 4 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
	Medio	190 - 210	Cepillado	IRI > 3,7 m/Km o Escalonamiento > 6 mm	Espesor: 6 mm Irregularidad: 1,8 [m/km]
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 6%	Reparación Juntas: 75%
			Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 10 %	Reposición Losas: 75%
			Sellado Juntas	3 - 4 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
Primarias	Alto	> 200	Cepillado	IRI > 4 m/Km o Escalonamiento > 6 mm	Espesor: 6 mm Irregularidad: 1,8 [m/km]
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 6%	Reparación Juntas: 70%
			Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 15 %	Reposición Losas: 70%
			Sellado Juntas	4 -5 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
	Medio	180 - 200	Cepillado	IRI > 4 m/Km y Escalonamiento > 7 mm	Espesor: 6 mm Irregularidad: 1,8 [m/km]
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 8%	Reparación Juntas: 60%
			Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 15 %	Reposición Losas: 60%
			Sellado Juntas	4 -5 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
	Bajo	160 - 180	Sobrecarpeta Ligada	Agrietamiento Transversal > 20 %	Espesor: 50 mm Irregularidad: 2 [m/km] Sellado Juntas: Silicona Reposición Losas: 60%
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 10%	Reparación Juntas: 50%
			Sellado Juntas	4 - 5 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
Colectora	Medio	170 - 190	Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 10%	Reparación Juntas: 50%

Tipo de Vía	Volumen	Espesor Losa [mm]	Actividad	Intervención	Efectos
			Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 25 %	Reposición Losas: 50%
			Sellado Juntas	6 - 8 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
	Bajo	150 - 170	Sobrecarpeta Ligada	Agrietamiento Transversal > 25 %	Espesor: 50 mm Irregularidad: 2 [m/km] Sellado Juntas: Silicona Reposición Losas: 50%
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 12%	Reparación Juntas: 40%
			Sellado Juntas	Cada 7 - 9 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
	Muy Bajo (Camino Básico)	130 - 150	Sobrecarpeta Ligada	Agrietamiento Transversal > 30 %	Espesor: 50 mm Irregularidad: 2 [m/km] Sellado Juntas: Silicona Reposición Losas: 50%
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 15%	Reparación Juntas: 40%
			Sellado Juntas	Cada 10 Años	Sellado Junta: Silicona
			Rutinaria	Cada 1 Año	-
	Local o Desarrollo	Bajo (Camino Básico)	100 - 130	Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 30 %
Reparación a Espesor Parcial				Despontillamiento > 20%	Reparación Juntas: 30%
Rutinaria				Cada 1 Año	-
Muy Bajo (Camino Básico)		80 - 100	Reemplazo de Losas	Agrietamiento Transversal > 40 %	Reposición Losas: 30%
			Reparación a Espesor Parcial	Despontillamiento > 20%	Reparación Juntas: 20%
			Rutinaria	Cada 1 Año	-

Fuente: Elaboración Propia

Observe en la tabla anterior, que el uso de cepillados se hace necesario solamente en volúmenes de tránsito, medios o altos. Para grandes volúmenes de tránsitos, se necesitan espesores de losas altos, lo cual ocasiona que el daño por grietas sea mínimo, sin embargo el deterioro que actúa por efectos de las pasadas del vehículo es el escalonamiento. Este deterioro hará necesario el hacer uso de barras de transferencia y de cepillados. Por otra parte, para losas delgadas, aunque el tránsito sea bajo, se hará habitual el reemplazo de losas o una sobrecarpeta, para disminuir la tasa de crecimiento de las grietas.

En lo que respecta al sello de juntas, seleccione el de silicona, ya que es el único tipo de sello que genera inicio y progresión del despontillamiento. Cuando el sello es de asfalto, HDM-4, arroja valores nulos de despontillamiento.

El significado de la nomenclatura utilizada en la conservación de los pavimentos rígidos del “Object Maestro”, se presenta en el ANEXO E.

3.2.2.3 Caminos No Pavimentados

La periodicidad de los estándares de mantenimientos de los caminos no pavimentados, está exclusivamente dada en su mayoría por el IRI y el tránsito que circule en la vía. De allí que caminos con muy bajo tránsito, rara vez se les observe un perfilado de la superficie y bajo esa premisa los estándares a sugerir se deben de plantear. En la Tabla 3-39, se entregan los estándares de conservación propuestos en HDM-4, para las vías no pavimentadas.

Tabla 3-39 Estándares de Trabajos Sugeridos para Caminos No Pavimentados

Tipo de Vía	Característica Tránsito	Espesor Capa Grava	Actividad	Intervención	Diseño	Efectos
Grava	50 < TMDA < 90	50	Perfilado	IRI > 12 [m/Km]	Con equipo ligero	Calculada
			Perfilado	Cada 180 días	Con equipo ligero	Calculada
			Recarga Aislada	Cada 1 Año	Pérdida a Reemplazar: 25%	Calculada
			Recarga Aislada	Espesor Capa Material < 35 mm	Pérdida a Reemplazar: 25%	Calculada
			Recarga Total/Tratamiento Superficial	TMDA en Ambos Sentidos > 90	Material Superficial: Grava de Cuarcita Espesor final Grava: 100 mm Método de Compactación: Mecánica	Calculada
			Recarga Total/Tratamiento Superficial	Espesor Capa Material < 20 mm	Material Superficial: Grava de Cuarcita Espesor final Grava: 50 mm Método de Compactación: Mecánica	Calculada
	90 < TMDA < 150	100	Perfilado	IRI > 10 [m/Km]	Con equipo ligero	Calculada
			Perfilado	Cada 90 días	Con equipo ligero	Calculada
			Recarga Aislada	Cada 180 días	Pérdida a Reemplazar: 50%	Calculada
			Recarga Aislada	Espesor Capa Material < 90 mm	Pérdida a Reemplazar: 50%	Calculada
			Recarga Total/Tratamiento Superficial	TMDA en Ambos Sentidos > 150	Material Superficial: Grava de Cuarcita Espesor final Grava: 150 mm Método de Compactación: Mecánica	Calculada
			Recarga Total/Tratamiento Superficial	Espesor Capa Material < 70 mm	Material Superficial: Grava de Cuarcita Espesor final Grava: 100 mm Método de Compactación: Mecánica	Calculada
	150 < TMDA < 300	150	Perfilado	IRI > 8 [m/Km]	Con equipo pesado	Calculada
			Perfilado	Cada 60 días	Con equipo pesado	Calculada
			Recarga Aislada	Cada 90 días	Pérdida a Reemplazar: 75%	Calculada
			Recarga Aislada	Espesor Capa < 120 mm	Pérdida a Reemplazar: 75%	Calculada
			Recarga Total/Tratamiento Superficial	TMDA en Ambos Sentidos > 300	Material Superficial: Grava de Cuarcita Espesor final Grava: 200 mm Método de Compactación: Mecánica	Calculada

Tipo de Vía	Característica Tránsito	Espesor Capa Grava	Actividad	Intervención	Diseño	Efectos
			Recarga Total/Tratamiento Superficial	Espesor Capa Material < 100 mm	Material Superficial: Grava de Cuarzita Espesor final Grava: 150 mm Método de Compactación: Mecánica	Calculada
	300 <TMDA < 400	200	Perfilado	IRI > 6 [m/Km]	Con equipo pesado	Calculada
			Perfilado	Cada 30 días	Con equipo pesado	Calculada
			Recarga Aislada	Cada 60 días	Pérdida a Reemplazar: 80%	Calculada
			Recarga Aislada	Espesor Capa Material < 180 mm	Pérdida a Reemplazar: 80%	Calculada
			Recarga Total/Tratamiento Superficial	Espesor Capa Material < 150 mm	Material Superficial: Grava de Cuarzita Espesor final Grava: 200 mm Método de Compactación: Mecánica	Calculada
	TMDA > 400	200	Pavimentación Tratamiento Superficial Doble (Estándar de Mejora)*	TMDA en Ambos Sentidos > 400	Pavimento: Tratamiento Superficial sobre Base Granular Ancho después Trabajos: 6 m SNP: 3,12 Espesor Superficial: 20 mm	Irregularidad: 2,5 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Pavimentación Carpeta Delgada de Hormigón (Estándar de Mejora)**	TMDA en Ambos Sentidos > 400	Pavimento: JPCP sin pasajuntas Ancho después Trabajos: 6 m Espesor Losa: 120 mm Espesor Base: 150 mm Módulo Base: 186 [MPa] Módulo Reacción Subrasante: 55 MPa/m	Irregularidad: 1,8 [m/km]
	Ejes Equivalentes Acumulados > 0,3 MESAL	200	Pavimentación Carpeta Delgada Asfalto (Estándar de Mejora)*	Ejes Equivalentes Acumulados > 0,3 MESAL	Pavimento: Mezcla asfáltica sobre Base Granular Ancho después Trabajos: 6 m SNP: 3,5 Espesor Superficial: 50 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
			Pavimentación Carpeta Delgada de Hormigón (Estándar de Mejora)**	Ejes Equivalentes Acumulados > 0,3 MESAL	Pavimento: JPCP sin pasajuntas Ancho después Trabajos: 6 m Espesor Losa: 120 mm Espesor Base: 150 mm Módulo Base: 186 [MPa] Módulo Reacción Subrasante: 55 MPa/m	Irregularidad: 1,8 [m/km]
Tierra	< 50	-	Perfilado	IRI > 15 [m/Km]	Con equipo ligero	Calculada

Tipo de Vía	Característica Tránsito	Espesor Capa Grava	Actividad	Intervención	Diseño	Efectos
			Perfilado	Cada 1 Año	Con equipo ligero	Calculada
			Recarga Total/Tratamiento Superficial	TMDA en Ambos Sentidos > 50	Material Superficial: Grava de Cuarcita Espesor final Grava: 50 mm Método de Compactación: Mecánica	Calculada

Fuente: Elaboración Propia

Nota: * En **Efectos**, en el recuadro "Editar calibración detallada ...", debe ingresar los factores de calibración indicados en el Capítulo 1 del presente informe, según sea el tipo de pavimento, nivel de tránsito, clima y adecuación estructural, que se desee lograr con la mejora.

** En **Pavimento**, en el recuadro "Editar detalles de la capa superficial", debe ingresar los factores de calibración indicados en el Capítulo 1 del presente informe, según sea el tipo de pavimento, nivel de tránsito, clima y adecuación estructural, que se desee lograr con la mejora. Por otra parte, en Temperatura de la losa, debe ingresar los gradientes térmicos del pavimento, sino seleccionar "Usar valores por omisión".

Para aquellos caminos de ripio, el nivel de recarga, dependerá del espesor de capa remanente que contenga el camino. Por otro lado, a medida que el tránsito va en aumento, el espesor de la capa de grava también irá aumentando, para finalmente, cuando el TMDA supere los 400 vehículos/día, derechamente se plantee la pavimentación de la vía.

El significado de la nomenclatura utilizada en la conservación de los caminos no pavimentados del “Object Maestro”, se presenta en el ANEXO E.

3.2.3 Estándares de Mejoras en Caminos Pavimentados

Los estándares de mejoras se encuentran principalmente asociados los niveles de servicio y capacidad de la vía. A diferencia de los estándares de conservación, los cuales se relacionan a la serviciabilidad del camino. Dado que en la Tabla 3-39, ya se presentaron los estándares de mejoras de la vía no pavimentados, solamente en este apartado se presentaran los estándares de mejoras de vías pavimentadas, los cuales consistirán en adición de pista, ensanchamientos y cambios del tipo de rodadura. Estas obras, estarán asociadas a los volúmenes de tránsito y grados de saturación. Los estándares de mejora, son presentados en la Tabla 3-40.

Tabla 3-40 Estándares de Mejoras para Vías Pavimentadas

Tipo de Vía Inicial	Cambio de Estándar a Vía	Actividad	Intervención***	Diseño	Pavimento	Efectos
Autopista o Autorruta de Asfalto	Autopista o Autorruta de Hormigón	Modernización**	TMDA en Ambos Sentidos > 60.000 Veh/día o Ejes Equivalentes Acumulados > 30 MESAL/carril e IRI > 3 [m/km]	Tipo de velocidad/capacidad: Carreteras Unidireccionales de 2 Pistas Por Sentido o Carreteras Unidireccionales de 3 Pistas Por Sentido, según sea el caso Tipo de Pavimento: JPCP sin Pasajuntas Incremento en Ancho: 0 m	Espesor: Según Proyecto Capa de Base: Estabilizada con Asfalto Espesor Base: 150 mm Módulo: 1000 MPa Módulo de Reacción de la Subrasante: 55 MPa/m	Irregularidad: 1,8 [m/km]
Autopista o Autorruta de 2 Pistas por Sentido	Autopista o Autorruta de 3 Pistas por Sentido	Adición de Pista*	TMDA en Ambos Sentidos > 30.000 Veh/día o Relación volumen capacidad en horas peak > 0,8	Tipo de Velocidad/capacidad: Carreteras Unidireccionales de 3 Pistas Por Sentido Ancho después de los trabajos: 10,5 m (Análisis por Calzada) o 21 m (Análisis considerando Ancho de las 2 Calzadas)	SNP: 5,67 Espesor Superficial: 210 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
Colectoras o Primaria Bidireccionales	Autopista o Autorruta de 2 Pistas por Sentido	Adición de Pista*	TMDA en Ambos Sentidos > 6000 Veh/día o Relación volumen capacidad en horas peak > 0,8	Tipo de Velocidad/capacidad: Carreteras Unidireccionales de 2 Pistas Por Sentido Ancho después de los trabajos: 7 m (Análisis por Calzada) o 14 m (Análisis Considerando Ancho de las 2 Calzadas)	SNP: 5,12 Espesor Superficial: 190 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65
Local o Desarrollo	Colectora o Primaria	Ensanchamiento*	TMDA en Ambos Sentidos > 600 Veh/día	Tipo de velocidad/capacidad: Carreteras Bidireccionales (Vías Primarias o colectoras)	SNP: 3,5 Espesor Superficial: 50 mm	Irregularidad: 1,8 [m/km] Ahuellamiento: 0 mm Textura Sup: 0,6 Res. Deslizamiento: 0,65

Tipo de Vía Inicial	Cambio de Estándar a Vía	Actividad	Intervención***	Diseño	Pavimento	Efectos
				Pavimento: Mezcla asfáltica sobre Base Granular Ancho después de los trabajos: 7m		

Fuente: Elaboración Propia

Nota: * En **Efectos**, en el recuadro “Editar calibración detallada ...”, debe ingresar los factores de calibración indicados en el Capítulo 1 del presente informe, según sea el tipo de pavimento, nivel de tránsito, clima y adecuación estructural, que se desee lograr con la mejora.

** En **Pavimento**, en el recuadro “Editar detalles de la capa superficial”, debe ingresar los factores de calibración indicados en el Capítulo 1 del presente informe, según sea el tipo de pavimento, nivel de tránsito, clima y adecuación estructural, que se desee lograr con la mejora. Por otra parte, en Temperatura de la losa, debe ingresar los gradientes térmicos del pavimento, sino seleccionar “Usar valores por omisión”.

*** Cuando deba evaluar la realización de un mejoramiento sobre el camino, en el inicio del ciclo de vida, usted debe borrar los umbrales que tendrá por defecto la mejora, e ingresar el siguiente umbral de intervención: Año > 1.

3.2.3.1 Valor Residual

Según el “Análisis del costo del ciclo de vida: Una herramienta para evaluar mejor las inversiones y decisiones técnicas en pavimentación” (ACPA, 2012), el valor residual (VR) se puede definir como:

- El valor neto del pavimento si este fuese reciclado, al cabo de su período de análisis.
- Valor remanente al final del período de análisis.
- El valor del pavimento como capa de soporte para un sobrecarpeta, al final del período de análisis.

Se recomienda que el valor residual sea un porcentaje de la inversión inicial, expresada en términos sociales (Ministerio de Desarrollo Social, 2011).

Diversos estudios indican que los pavimentos rígidos tienen un mayor valor residual que los pavimentos asfálticos (ACPA, 2012), y este último, mayor al de un tratamiento superficial.

Por ende, en la Tabla 3-41, se presentan los valores residuales propuestos para los mejoramientos del HDM-4. Estos estarán diferenciados por materialidad del camino y el tipo de vía, asumiendo que las vías de mayor importancia deben tener un mayor valor residual.

Tabla 3-41 Valores Residuales de los Mejoramientos

	Valor Residual Mejoramientos [%]									
	Ensanchamiento			Pista Adicional			Rectificación / Realineamiento		UpGrade Ripio a Pavimento (Modernización)	
	Hormigón*	Asfalto	Tratamiento Superficial	Hormigón* Tradicional / Losas Cortas	Asfalto	Tratamiento Superficial	Hormigón*	Asfalto	Hormigón	Asfalto
Autopista / Autorruta	90	85	-	90	85	-	90	85	-	-
Primaria / Colectora	85	75	65	85	75	65	85	80	85	60
Local / Desarrollo (Camino Básico)	80	65	50	80	65	50	80	65	80	55

Fuente: Elaboración Propia

Nota: * Si el pavimento a realizar un mejoramiento, es de hormigón, deberá ingresar el tramo en la red de carreteras como un pavimento asfáltico y realizar el respectivo mejoramiento, pero como una modernización del tipo: Cambio de estándar de Pavimento Asfáltico a Hormigón. Dentro del cambio de estándar debe ingresar las consideraciones cómo si hubiese realizado un ensanchamiento, pista adicional o rectificación.

3.2.4 Tramos de Construcción Nueva

Dentro del Módulo de Estándares de Trabajo, existe un tercer tipo de trabajo, denominado “Tramos de Construcción Nueva”. Este permite realizar proyectos de construcción en sectores donde no existe camino, tales como by pass o abrir huella de camino.

La interfaz de los tramos de construcción nueva, es idéntica a la de un tramo de la red de carretera, el cual en el siguiente capítulo se describirá. Los tramos nuevos se diferencian de un tramo de la red de carreteras, en que la nueva construcción considera una pestaña con los costos que relacionados a la construcción.

Dado que los tramos nuevos, dependen únicamente del diseño mismo de la carretera, se crean en el object, estructuras representativas según sea el volumen de tránsito. No existen umbrales que permitan determinar cuándo realizar un nuevo camino, sino que el programa lo desarrolla como una decisión exógena de una red o más bien política.

El significado de la nomenclatura utilizada en los tramos nuevos del “Object Maestro”, se presenta en el ANEXO E.

3.2.4.1 Valor Residual

Para los Tramos Nuevos, se proponen los siguientes valores de Valor Residual, visualizados en la Tabla 3-42.

Tabla 3-42 Valores Residuales de los Tramos Nuevos

	Valor Residual Tramo Nuevo [%]				
	Hormigón Tradicional / Losa Corta	Asfalto	Hormigón Ultradelgado con Fibra	Tratamiento Superficial	Grava
Autopista / Autorruta	95	90	-	-	-
Primaria / Colectora	85	80	-	65	-
Local / Desarrollo (Camino Básico)	80	70	75	55	50

Fuente: Elaboración Propia

3.2.5 Precios de Conservación

Los precios de conservación planteados en el presente informe, se obtuvieron del informe “Evaluación Técnica Económica de la Red Vial Pavimentada Año 2014” (Dirección de Vialidad, 2014), en su Anexo A. Estos precios son presentados en la Tabla 3-43, sin embargo se advierte que no se encuentran ajustados al valor del presente año.

En la modelación de pavimentos rígidos, ya sean construidos o en proyectos, cuando el sello de juntas sea asfalto, este deberá señalarse como si fuese de silicona. Pero en la sección donde se ingresan los precios unitarios debe ingresarse el valor correspondiente al respectivo sello de asfalto. Se señala lo anterior, por motivos que el software HDM-4 no modela despontillamiento cuando el sello de juntas es de asfalto.

El consultor considera que el precio unitario para la reparación de las losas se encuentra sobreestimado, lo cual provoca un sesgo en los análisis en evaluación de alternativas, provocando cierta inviabilidad en la utilización de pavimentos rígidos. A manera de ejemplo, si se tiene un losa de espesor de 20 cm, el costo económico por reparar la losa es de \$276.610 por cada metro cúbico de hormigón a precios de finales del año 2013. De allí que se sugiere corregir el precio de reparación, a valores que se condicen a la realidad del precio de un losa de hormigón instalada en terreno junto a la demolición y retiro de la antigua losa. En adición, se debe de hacer una diferenciación en los precios de reparación de acuerdo a los espesores de las losas.

Tabla 3-43 Precios Unitarios de Políticas de Conservación

OPERACIÓN DE CONSERVACIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO			
		US\$		\$	
		FINANCIERO	ECONÓMICO	FINANCIERO	ECONÓMICO
ASFALTO					
ZONA NORTE					
Bacheo	m2	29,40	22,05	15.397	11.548
Slurry Seal	m2	4,37	3,28	2.291	1.718
Sello Asfáltico	m2	7,04	5,28	3.687	2.765
Recapado Tipo 1	m2	15,22	11,42	7.972	5.979
Recapado Tipo 2	m2	18,05	13,53	9.452	7.089
Reconstrucción Tipo 1	m2	30,33	22,74	15.884	11.913
Reconstrucción Tipo 2	m2	55,21	41,41	28.916	21.687
Reconstrucción Tipo 3	m2	69,83	52,37	36.576	27.432
Reconstrucción Tipo 4	m2	20,11	15,08	10.534	7.901
Reconstrucción Tipo 5	m2	19,57	14,68	10.251	7.688
Repavimentación Tipo 1	m2	20,67	15,50	10.824	8.118
Repavimentación Tipo 2	m2	48,21	36,16	25.249	18.937
Repavimentación Tipo 3	m2	62,50	46,87	32.735	24.551
Repavimentación Tipo 4	m2	10,45	7,84	5.475	4.106
Repavimentación Tipo 5	m2	9,91	7,43	5.192	3.894
Conservación Rutinaria	Km/año	4.623,41	3.467,56	2.421.557	1.816.168
ZONA CENTRO					
Bacheo	m2	27,16	20,37	14.227	10.670
Slurry Seal	m2	4,04	3,03	2.117	1.588
Sello Asfáltico	m2	6,50	4,88	3.407	2.555
Recapado Tipo 1	m2	15,74	11,81	8.244	6.183
Recapado Tipo 2	m2	18,69	14,01	9.787	7.340
Reconstrucción Tipo 1	m2	30,04	22,53	15.733	11.800
Reconstrucción Tipo 2	m2	55,87	41,90	29.264	21.948
Reconstrucción Tipo 3	m2	71,13	53,34	37.253	27.940
Reconstrucción Tipo 4	m2	18,55	13,91	9.716	7.287
Reconstrucción Tipo 5	m2	18,06	13,54	9.457	7.093
Repavimentación Tipo 1	m2	21,84	16,38	11.438	8.579
Repavimentación Tipo 2	m2	50,45	37,83	26.421	19.816
Repavimentación Tipo 3	m2	65,23	48,93	34.167	25.626
Repavimentación Tipo 4	m2	10,35	7,76	5.421	4.066
Repavimentación Tipo 5	m2	9,86	7,39	5.162	3.872
Conservación Rutinaria	Km/año	6.102,90	4.577,18	3.196.455	2.397.341
ZONA SUR					
Bacheo	m2	36,20	27,15	18.961	14.221
Slurry Seal	m2	5,76	4,32	3.019	2.264
Sello Asfáltico	m2	9,28	6,96	4.858	3.644
Recapado Tipo 1	m2	16,08	12,06	8.420	6.315
Recapado Tipo 2	m2	19,05	14,29	9.977	7.483
Reconstrucción Tipo 1	m2	36,14	27,11	18.930	14.198
Reconstrucción Tipo 2	m2	62,36	46,77	32.662	24.497
Reconstrucción Tipo 3	m2	77,75	58,31	40.724	30.543
Reconstrucción Tipo 4	m2	24,15	18,11	12.646	9.485
Reconstrucción Tipo 5	m2	23,68	17,76	12.402	9.301
Repavimentación Tipo 1	m2	22,75	17,06	11.916	8.937
Repavimentación Tipo 2	m2	51,77	38,82	27.113	20.335
Repavimentación Tipo 3	m2	66,84	50,13	35.008	26.256
Repavimentación Tipo 4	m2	10,75	8,06	5.632	4.224
Repavimentación Tipo 5	m2	10,29	7,71	5.387	4.041
Conservación Rutinaria	Km/año	7.628,63	5.721,47	3.995.569	2.996.677
HORMIGÓN					
Reparación de losas de hormigón	m2	140,83	105,62	73.762	55.322
Sellado de juntas y grietas de Pavimentos de Hormigón (asfalto)	ml	7,83	5,87	4.099	3.074
Sellado de juntas y grietas de Pavimentos de Hormigón (silicona)	ml	12,51	9,38	6.554	4.915
Cepillado	m2	9,07	6,80	4.752	3.564
Reposición de drenes	Km/año	39.949,49	29.962,12	20.923.946	15.692.959

1 US\$ = \$ 523,76 Valor a Diciembre de 2013

UF= \$ 23.309,56 Valor a Diciembre de 2013

Fuente: Evaluación Técnica Económica de la Red Vial Pavimentada Año 2014” (Dirección de Vialidad, 2014)

I. Nota: Zona Norte comprende las regiones XV, I, II, III y IV; Zona Centro las regiones V, VI, VII y Metropolitana; y Zona Sur, las regiones VIII, IX, XIV, X, XI y XII.

Dado que los precios de las conservaciones se encuentran desactualizados, la consultora en base a precios de mercado y entidades públicas, propone los siguientes precios económicos y financieros a utilizar en el Object, los cuales son visualizados en la Tabla 3-44 a la Tabla 3-46.

Tabla 3-44 Precios de Conservaciones en Pavimentos Asfálticos

Actividad	Unidad	Costo Económico [\$]	Costo Financiero [\$]
Reconstrucción 1	m2	26400	35110
Reconstrucción 2	m2	35000	46550
Reconstrucción 3	m2	43000	57000
Reconstrucción 4	m2	47000	62500
Reconstrucción 5	m2	22000	29260
Recapado 1	m2	8400	11170
Recapado 2	m2	9670	12861
Recapado 3	m2	19340	25722
Repavimentación 1	m2	9670	12861
Sobrecarpeta Delgada [3 cm]	m2	5000	6650
Reparación de Borde	m2	3500	4655
Micropavimento	m2	3500	4655
Tratamiento Superficial Doble	m2	4000	5320
Tratamiento Superficial Simple	m2	3500	4655
Bacheo	m2	13000	17290
Rutinaria	Km	2400000	3192000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-45 Precios de Conservaciones en Pavimentos Hormigón Tradicional o Losa Corta

Actividad	Unidad	Costo Económico [\$]	Costo Financiero [\$]
Reemplazo Losas [22 - 25 cm]	m2	31500	41900
Reemplazo Losas [19 - 22 cm]	m2	29000	38570
Reemplazo Losas [17 - 19 cm]	m2	26100	34700
Reemplazo Losas [100 - 120 cm]	m2	14500	19285
Reemplazo Losas [80 - 100 cm]	m2	12000	15960
SobreCarpeta Ligada [5 cm], Losa de 17 [cm]	m2	26410	30810
SobreCarpeta Ligada [5 cm], Losa de 15 [cm]	m2	22840	30370
SobreCarpeta Ligada [5 cm], Losa de 13 [cm]	m2	21200	28220
Reparación Espesor Parcial	m	200000	266000
Cepillado [6 mm]	m2	5000	6650
Restitución de Transferencia de Carga ϕ 32	m2	40000	53200
Sellado de Juntas	m	1150	1530
Rutinaria	Km	2400000	3192000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-46 Precios de Conservaciones en Camino No Pavimentados

Actividad	Unidad	Costo Económico [€]	Costo Financiero [€]
Recarga Total	m3	11000	14630
Perfilado con Máquina Liviana	km	50000	65500
Perfilado con Máquina Pesada	km	100000	130000
Recarga Aislada	m3	11000	14630
Rutinaria	Km	500000	650000

Fuente: Elaboración Propia

Al comparar los precios que del año 2014, con los precios actualizados, encontramos que los precios de las conservaciones son mayores a los reportados por el Ministerio de Obras Públicas. Mientras, los precios de las reparaciones de las losas se encuentran sobrestimados en casi un 90 % por parte del Ministerio de Obras Públicas, lo cual provocaría una inviabilidad en la construcción de pavimentos rígidos.

4 IMPLEMENTACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DEL HDM-4 EN EL MDS

4.1 Red de Carreteras

En HDM-4, en el módulo de red de carreteras es donde se definen las características de los tramos de carreteras a analizar. Una red de carreteras en el HDM-4 almacena los detalles de las rutas que desea analizar. Cada red de carreteras está constituida por diversos tramos viales (pavimentados o no pavimentados, estructuras diversas, etc). Un tramo normalmente corresponde a un segmento de carretera, pero también puede ser un tramo ‘representativo’, creado exclusivamente a efectos del análisis.

El HDM-4 usa el concepto de ‘tramos homogéneos’, donde cada tramo tiene una resistencia, geometría, tráfico y características de condición uniformes en toda su longitud.

Una red de carreteras está asociada a una serie de calibración que define coeficientes de calibración para el rango de tipos de pavimento encontrados en la red. Los tramos con características semejantes pueden usar la misma calibración.

Cada red de carreteras está asociada a una flota vehicular en particular. En la red de carreteras solamente basta definir el TMDA del tráfico para cada tramo o sección.

Es por ello, que es en la red de carreteras, la configuración previamente cargada en los módulos de configuración y flota, encuentran su utilidad. Por ende, en este módulo de HDM-4, no existe calibración de los parámetros, sino que se emplea la información recolectada.

Dado que en la red de carreteras, se ingresa la información representativa del estado actual de los tramos de la red, de manera simplista y de fácil comprensión, podríamos hablar que la tramos de la red serían como la *“alternativa base sin proyecto”*.

4.2 Herramientas de Análisis

HDM-4, tiene tres modalidades para análisis los proyectos: Análisis de Proyectos, Análisis de Programa y Análisis de Estrategia, donde cada uno se pueda adaptar en los diversos análisis en la gestión de carreteras.

En las herramientas de análisis, es donde se debe ingresar, para cada tramo de la red de carreteras a analizar, los siguientes parámetros:

- Tasa de Crecimiento de la Flota
- Alternativas de Conservación y Mejora

Mientras que el período de análisis y tasa de descuento, es representativo para todos los tramos de la red a analizar. También es en estas herramientas donde se deben ingresar los costos por accidentes. En los Anexos B y C, se explica cómo utilizar estas herramientas para realizar los respectivos análisis.

4.2.1 Análisis de Proyecto

El análisis de proyecto se encuentra relacionado a la evaluación de proyectos de carreteras y sus opciones de inversión. Para ello el software analiza cada tramo de la red con los respectivos estándares seleccionados para el tramo, con sus costos y beneficios, los cuales proyectan hasta el final del período de análisis.

El análisis de proyecto permite estimar la viabilidad técnica y económica de los proyectos viales.

Por otro lado, el análisis de proyecto se diferencia del análisis por estrategia y de programa, los análisis de proyecto debe existir cierto nivel de detalle en los datos, mientras que los análisis por estrategia o programa, los valores son más genéricos o representativos. De allí que los análisis de proyectos debiesen de utilizar valores de auscultaciones realizadas en el tramo, pero para el análisis de estrategia y de programa bastaría con caracterizar el tramo como bueno, regular o malo.

Es en esta herramienta, donde los planes de preinversión e inversión se deben evaluar. Ya sea de pavimentación de vías, by-pass, conservación de caminos, etc.

En los Anexos B y C, se entregan las propuestas de manuales de capacitación de HDM-4, a través de la herramienta de análisis Proyecto. El Anexo C, es un manual simplificado para la utilización de HDM-4, mientras que el Anexo B, presenta mayor detalle en cuanto a ingreso de tasas de crecimiento, análisis de by-pass, ingreso de los trabajos a realizar en los tramos, ingreso de costos de accidentes, etc.

4.2.2 Análisis de Estrategia

A diferencia del análisis por proyecto, el cual se analiza cada tramo de manera particular, el análisis de estrategia requiere tener en cuenta las necesidades de toda la red.

Por ello, el análisis por estrategia abarca a la red completa o sub redes de esta, que se encuentran gestionadas por una única entidad. De allí, que entidades como Dirección Vial, el cual debe

mantener el patrimonio vial del país, les es útil realizar análisis de toda la red nacional, a través de esta herramienta.

Dado que en un análisis de toda la red de caminos, resulta difícil de subdividir en tramos particulares, ya que la entidad debe velar por varios miles de kilómetros. Por ende, los usuarios pueden definir parámetros representativos de los factores que más afectan a los costos del transporte.

El análisis por estrategia, permite realizar estimaciones a mediano y largo plazo, de las conservaciones y desarrollo de las carreteras de toda la red, bajo diferentes supuestos de presupuesto.

4.2.3 Análisis de Programa

Este tipo de análisis, asigna prioridades a una lista de proyectos de carreteras, bajo restricciones presupuestarias. Esta lista de proyectos, son analizados de manera discreta dentro de la red.

El análisis de programa se diferencia del análisis por estrategia, en que el análisis de programa realiza su modelaciones sobre los tramos de manera individual. Mientras, en el análisis por estrategia, los tramos pierden sus características individuales, para ser agrupados en segmentos cuyos elementos más pequeños tienen características similares.

Ya sea para análisis por estrategia o por programas, en ambos la resolución del problema se plantea en la búsqueda de la combinación de alternativas que optimizan una función objetivo, como puede ser maximizar el VAN o minimizar el valor IRI de la red.

5 BIBLIOGRAFÍA

- ACPA. (2012). Análisis del costo del ciclo de vida. *Una herramienta para evaluar mejor las inversiones y decisiones técnicas en pavimentación*. EE.UU.
- APSA & DDQ. (2016). Estudio Básico Actualización Parámetros Modelos HDM-4. *Informe de Etapa 1 "Análisis de Antecedentes y Propuesta Metodológica"*. Santiago, Chile.
- APSA & DDQ. (2017). Estudio Básico Actualización Parámetros Modelos HDM-4. *Informe de Etapa 5 "Calibración de Parámetros del Modelo de Costos de Operación Vehicular"*. Santiago, Chile.
- APSA & DDQ. (2017). Estudio Básico Actualización Parámetros Modelos HDM-4. *Informe de Etapa 3 "Calibración de Parámetros de Modelos de Deterioro de Pavimentos Flexibles"*. Santiago, Chile.
- APSA & DDQ. (2017). Estudio Básico Actualización Parámetros Modelos HDM-4. *Informe de Etapa 4 "Calibración de Parámetros de Modelos de Deterioro de Pavimentos de Hormigón"*. Santiago, Chile.
- APSA & DDQ. (2017). Estudio Básico Actualización Parámetros Modelos HDM-4. *Informe de Etapa 2 "Auscultación de Deterioros, Determinación de la Flota Vehicular Representativa y Metodología Detallada para Calibrar el VOC"*. Santiago, Chile.
- CNR & CIREN. (1997). Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile. *Informe Final*. Santiago, Chile.
- Departamento de Obras Civiles, U.T.F.S.M. (23 de Septiembre de 2014). *Guía para la utilización del método AASHTO 2008 para el diseño de pavimentos rígidos en Chile*. Valparaíso, V Región, Chile.
- di Castri, F., & Hajek, E. (Julio de 1976). *Bioclimatología de Chile*. Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile.
- Dirección de Vialidad. (2010). *Política de Conservación Vial*. Etapa 1 - Caminos Pavimentados, Santiago.
- Dirección de Vialidad. (2011). *Política de Conservación Vial*. Etapa 2 - Caminos Básicos, Santiago.
- Dirección de Vialidad. (2012). *Política de Conservación Vial*. Etapa 3 - Caminos No Pavimentados, Santiago.
- Dirección de Vialidad. (2014). *Evaluación Técnica Económica de la Red Vial Pavimentada Año 2014*. Departamento de Gestión Vial, Santiago.
- Dirección de Vialidad. (2014). *Proposiciones de Acciones de Mantenimiento y Estado de la Calzada*. Santiago, Chile.
- Kerali, H. (2001). HDM-4, v.1. *Visión General de HDM-4*. París, Francia.
- Kerali, H. (2001). The Highway Development and Management Series, Volume 4. *Analytical Framework and Model Descriptions*. Francia.
- LaTercera. (30 de Octubre de 2016). *Tacos de hasta cinco horas se registraron a la salida de Santiago*. Recuperado el 07 de Marzo de 2017, de <http://diario.latercera.com/2016/10/30/01/contenido/pais/31-226025-9-tacos-de-hasta-cinco-horas-se-registraron-a-la-salida-de-santiago.shtml>
- Ministerio de Desarrollo Social. (2011). *Parámetros para Evaluaciones a Nivel de Perfil Proyectos Vialidad Interurbana*. Santiago.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: Conservación Vial. I*. Lima, Perú.
- MOP. (Junio de 1997). *Manual de Carreteras, Volumen 1, Tomo II. Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos*. Gobierno de Chile.

- MOP. (2016). Manual de Carreteras, Volumen 3. *Instrucciones y Criterios de Diseño*. Gobierno de Chile.
- MOP. (2016). Manual de Carreteras, Volumen 5. *Especificaciones Técnicas Generales de Construcción*. Gobierno de Chile.
- MOP. (2016). Manual de Carreteras, Volumen 6. *Seguridad Vial*. Gobierno de Chile.
- MOP. (2016). Manual de Carreteras, Volumen 7 . *Mantenimiento Vial*. Gobierno de Chile.
- OECD, & IRTAD. (2016). Road Safety Annual Report 2016. 121-122. París, Francia.
- Riley, M., Morosiuk, G., & Odoki, J. (Mayo de 2004). HDM-4, Volume 6. *Modelling Road Deterioration and Works Effects, Version 2*. Birmingham, Inglaterra.
- SECTRA. (2007). *Análisis y Definición de una Metodología para la evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas*. Informe Final, Santiago.
- SNIP. (2015). Pautas Metodológicas para el Uso y Aplicación del HDM-4 en la Formulación y Evaluación Social. Lima, Perú.
- Universidad Católica. (s.f.). *Cartografía interactiva de los climas de Chile*. Recuperado el 2017 de Febrero de 14, de http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva/Continental/Paginas/UntitledFrameset-1.htm