



# **“Mejora al Mantenimiento y Conservación Vial en Chile”**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:

Francisco Javier Medina Alvarez

Profesor Guía:

Francisco Omar Lagos Peralta

Fecha:

Octubre 2021

Santiago, Chile

### **DEDICATORIA**

Dedicado a mi hijo Vicente Gaspar Medina Sánchez, la razón de fortalecerme, perseverar día a día y de ser un orgullo para el cómo padre y profesional.

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a cada persona participativa en mi experiencia laboral, pudiendo aportar tanto en lo negativo como en lo positivo, hoy me forjan con temperamento, seguridad de mí mismo, experiencias compartidas y reconocimiento a mi trabajo.

Gracias a dios por acompañarme en este solitario camino, con obstáculos y dificultades, pero con la protección y lección de vida para una mejora continua.

## RESUMEN

Una de las mayores representaciones en desarrollo socioeconómico de un país es su infraestructura vial, infraestructura que por décadas ha sido objetivo de conexión a diversos puntos desde niveles comunales, regionales y nacionales, hasta conectar internacionalmente países de distintos continentes. Sin embargo, el pasar de los años y el uso de estas rutas, conlleva un desgaste natural y en algunas ocasiones forzoso, donde cuyo mantenimiento y conservación constituye un gran índice de inversión. Los países deben enfrentar este desafío ante la gran producción automovilística e incremento vehicular en rutas que exigen una proyección de rutas aún más amplias, e incluso la modificación de rutas existentes.

Para la infraestructura vial, un mal programa, mal planteamiento y/o mala ejecución, promueve un deterioro y deficiencia incrementando los costos a los usuarios, reinversión en conservación, accidentes, entre otros. Disminuyendo de este modo el patrimonio y desarrollo socioeconómico del país.

El presente documento recopila antecedentes contribuyentes a un análisis de sistemas y experiencias a la gestión del mantenimiento vial nacional, realizando evaluaciones comparativas con países en acción de desarrollo efectivo, pudiendo también responder a nuevas tecnologías y sistemas sostenibles a las complejidades y déficit de vida útil en infraestructura vial nacional, de los cuales acrecientan los costos directos e indirectos del mantenimiento y conservación vial en el país.

El análisis de datos de países referentes sumado al significado conceptual de tipos de mantenimiento busca ofrecer una alternativa de mejora al mantenimiento y conservación, incorporando también nuevas tecnologías y gestión de mantenimiento por otros países comparativos, con eficacia en la conservación de infraestructura vial.

## SUMMARY

One of the greatest representations in socioeconomic development of a country is its road infrastructure, infrastructure that for decades has been the objective of connection to various points from communal, regional and national levels, to internationally connect countries on different continents. However, the passing of the years and the use of these routes, leads to a natural wear and tear and sometimes forced, where maintenance and conservation is a great investment index. Countries must face this challenge in the face of high automobile production and vehicle growth on routes that require the projection of even wider routes, and even the modification of existing routes.

For road infrastructure, a bad program, bad planning and/or bad execution, promotes deterioration and deficiency, increasing costs to users, reinvestment in conservation, accidents, among others. Thus diminishing the country's patrimony and socioeconomic development.

The present document compiles antecedents that contribute to an analysis of systems and experiences to the management of national road maintenance, making comparative evaluations with countries in action of effective development, being able also to respond to new technologies and sustainable systems to the complexities and deficit of useful life in national road infrastructure, which increase the direct and indirect costs of road maintenance and conservation in the country.

The analysis of data from reference countries added to the conceptual meaning of types of maintenance seeks to offer an alternative of improvement to maintenance and conservation, also incorporating new technologies and maintenance management by other comparative countries, with effectiveness in the conservation of road infrastructure.

## INDICE

|           |                                                 |           |
|-----------|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>CAPÍTULO, MARCO INTRODUCTORIO.....</b>       | <b>11</b> |
| 1.1.      | INTRODUCCIÓN.....                               | 11        |
| 1.2.      | ANTECEDENTES GENERALES.....                     | 12        |
| 1.3.      | OBJETIVO GENERAL.....                           | 12        |
| 1.4.      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                      | 13        |
| 1.4.1.    | PRIMER OBJETIVO.....                            | 13        |
| 1.4.2.    | SEGUNDO OBJETIVO.....                           | 13        |
| 1.4.3.    | TERCER OBJETIVO.....                            | 13        |
| 1.5.      | JUSTIFICACIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....           | 13        |
| 1.6.      | LIMITACIONES.....                               | 14        |
| 1.1.      | LA INVESTIGACIÓN.....                           | 15        |
| <b>2.</b> | <b>CAPÍTULO, MARCO TEÓRICO.....</b>             | <b>16</b> |
| 2.1.      | ANTECEDENTES DE CARÁCTER NACIONAL.....          | 16        |
| 2.1.1.    | INFRAESTRUCTURA VIAL EN CHILE.....              | 16        |
| 2.1.2.    | MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL EN CHILE..... | 21        |
| 2.1.3.    | ESTADO DE LA INFRAESTRUCTURA EN CHILE.....      | 27        |
| 2.2.      | ANTECEDENTES DE CARÁCTER INTERNACIONAL.....     | 32        |
| 2.2.1.    | COLOMBIA.....                                   | 32        |
| 2.2.2.    | ESPAÑA.....                                     | 37        |
| 2.2.3.    | NUEVA ZELANDA.....                              | 49        |
| 2.3.      | EL MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN.....            | 60        |
| 2.3.1.    | CORRECTIVO.....                                 | 64        |
| 2.3.2.    | PREVENTIVO.....                                 | 65        |
| 2.3.3.    | PREDICTIVO.....                                 | 66        |
| 2.4.      | WDM EN LA INNOVACIÓN.....                       | 67        |
| 2.4.1.    | INSPECCIONES SCRIM.....                         | 69        |
| 2.4.2.    | LAS INSPECCIONES CON RAV/SCANNER.....           | 73        |
| 2.5.      | CONTRATOS AL MANTENIMIENTO.....                 | 75        |

|           |                                       |           |
|-----------|---------------------------------------|-----------|
| <b>3.</b> | <b>CAPÍTULO, HIPÓTESIS.....</b>       | <b>76</b> |
| 3.1.      | CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....       | 80        |
| 3.1.1.    | Cumplimiento al Primer Objetivo ..... | 80        |
| 3.1.2.    | Cumplimiento al Segundo Objetivo..... | 81        |
| 3.1.3.    | Cumplimiento al Tercer Objetivo.....  | 82        |
| <b>1.</b> | <b>CAPÍTULO, MARCO METÓDICO .....</b> | <b>83</b> |
| <b>2.</b> | <b>CONCLUSIÓN .....</b>               | <b>84</b> |
| <b>3.</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>             | <b>85</b> |
| <b>4.</b> | <b>GLOSARIO.....</b>                  | <b>86</b> |

## **INDICE ILUSTRATIVO**

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1, Esquema General de los Activos para el Cálculo del Patrimonio Vial. (Fuente: Valor del Patrimonio Vial de la Red Nacional-Año2013.) – Elaboración Propia.....                                       | 14 |
| Ilustración 2, Clasificación de los Suelos. (Fuente: Valor del Patrimonio Vial de la Red Nacional-Año2013.) – Elaboración Propia.....                                                                              | 15 |
| Ilustración 3, Distribución de Red Vial Nacional (Fuente: Estadísticas Viales 2020, Chile). ....                                                                                                                   | 17 |
| Ilustración 4, Red Vial Pavimentada Nacional (Fuente: Red Vial Nacional Dimensionamiento y características 2021, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad) – Elaboración Propia. ...                      | 18 |
| Ilustración 5, Relación Tipo de Camino y Tipo de Pavimento (Fuente: Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características 2021, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad) – Elaboración Propia. ....       | 18 |
| Ilustración 6, Tipo de Caminos Pavimentados en Red Vial Nacional (Fuente: Red Vial Nacional Dimensionamiento y características 2021, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad) – Elaboración Propia. .... | 19 |

|                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 7, Evolución de Caminos Pavimentados vs No Pavimentados. (Fuente: Estadísticas Viales 2020, Chile) – Elaboración Propia. ....                                                                      | 20 |
| Ilustración 8, Gráfico de Evolución de Caminos Pavimentados vs No Pavimentados. (Fuente: Estadísticas Viales 2020, Chile) – Elaboración Propia. ....                                                           | 21 |
| Ilustración 9, Organigrama Dirección de Vialidad (Fuente: MOP). ....                                                                                                                                           | 22 |
| Ilustración 10, Trabajos de Mantenimiento esquina de avenida las Américas con calle tres, Alto Hospicio (Fuente: Diario Longino, 29 de junio del 2019). ....                                                   | 25 |
| Ilustración 11, Tabla 7.003.3 Manual de carreteras, Volumen 7. ....                                                                                                                                            | 25 |
| Ilustración 12, Ecuación ICP para Pavimentos Asfálticos. (Fuente: política Conservación Vial 2010, Chile). ....                                                                                                | 28 |
| Ilustración 13, Ecuación ICP para Tratamientos Superficiales (Fuente: política Conservación Vial 2010, Chile). ....                                                                                            | 28 |
| Ilustración 14, Ecuación ICP para Pavimentos de Hormigón (Fuente: política Conservación Vial 2010, Chile). ....                                                                                                | 28 |
| Ilustración 15, Límites del ICP para asignación del estado de pavimentos. (Fuente: Política Conservación Vial 2010, Chile). ....                                                                               | 29 |
| Ilustración 16, Organización Administrativa de Vías en Colombia (Fuente: Instituto Nacional de Vías - INVIAS). ....                                                                                            | 33 |
| Ilustración 17, Clasificación de Red Vial de Colombia (Fuente: INVIAS 2010) - Elaboración Propia. ....                                                                                                         | 34 |
| Ilustración 18, Mapa de Red Vial de Colombia (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- Acumulado 2019 a marzo de 2021). .... | 34 |

|                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 19, Estado del Pavimento en Colombia - 2021 (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- Acumulado 2019 a marzo de 2021) – Elaboración Propia.....  | 35 |
| Ilustración 20, Estado del Pavimento en Colombia - 2021 (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI (Acumulado 2019 a marzo de 2021) – Elaboración Propia. .... | 35 |
| Ilustración 21, Plan Nacional de Desarrollo (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- Acumulado 2019 a marzo de 2021).....                                   | 36 |
| Ilustración 22, Avance Indicadores Plan Nacional de Desarrollo (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- Acumulado 2019 a marzo de 2021). ....               | 36 |
| Ilustración 23, Avances Indicadores Plan Nacional de Desarrollo (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- (Acumulado 2019 a marzo de 2021). ....             | 37 |
| Ilustración 24, Estructura y Organización de la Dirección General de Carreteras de España (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera). ....                                                    | 38 |
| Ilustración 25, Variaciones de Déficit en Red Vial Española (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera). ....                                                                                  | 39 |
| Ilustración 26, Calificación de Estado de Pavimento (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera). ....                                                                                          | 42 |
| Ilustración 27, Ficha Técnica de Estudio (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera). ....                                                                                                     | 42 |
| Ilustración 28, Evolución de Caminos Pavimentados (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera). ....                                                                                            | 43 |
| Ilustración 29, Evidencia de Estado de Pavimentos en España (Fuente: Asociación Española de la Carretera).....                                                                                                                                 | 43 |

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 30, Indicador Territorial del Estado de los Firmes (Asociación Española de la Carretera).                                                       | 44 |
| Ilustración 31, Indicador Territorial de Caminos Pavimentados en España (Fuente: Asociación Española de la Carretera).                                      | 45 |
| Ilustración 32, Indicador Territorial de Estado de Caminos Pavimentados en España (Fuente: Asociación Española de la Carretera).                            | 46 |
| Ilustración 33, Indicador General de Caminos Pavimentados en España (Fuente: Asociación Española de la Carretera).                                          | 47 |
| Ilustración 34, Valorización de Déficit en Estado Vial Español (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera). | 48 |
| Ilustración 35, Valorización de Déficit Acumulado (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera).              | 48 |
| Ilustración 36, Camino Pavimentado Tipo en Nueva Zelanda (Fuente: fotografiando.com).                                                                       | 49 |
| Ilustración 37, Estructura y Organización de Agencia de Transporte NZ.                                                                                      | 50 |
| Ilustración 38, Niveles de Rugosidad (Fuente: NZTA 2020-2021).                                                                                              | 54 |
| Ilustración 39, Índice de aspereza o rugosidad del pavimento (Fuente: NZTA 2020-2021).                                                                      | 55 |
| Ilustración 40, Índice de promedio nacional en aspereza o rugosidad del pavimento (Fuente: NZTA 2020-2021).                                                 | 56 |
| Ilustración 41, Puente Bailey en Nueva Zelanda.                                                                                                             | 57 |
| <i>Ilustración 42, Vehículo de Inspección SCRIM+ de la agencia de transportes de Nueva Zelanda (Fuente: NZTA).</i>                                          | 59 |
| Ilustración 43, Tipos de Mantenimiento.                                                                                                                     | 61 |

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 44, Relación Mantenimiento Correctivo/Preventivo (Fuente: Mobley, 2002).                                                                | 62 |
| Ilustración 45, Relación costo/Nvl Mantenimiento Preventivo. (Fuente: Mobley, 2002).                                                                | 63 |
| Ilustración 46, Gráfico Mantenimiento Correctivo.                                                                                                   | 64 |
| Ilustración 47, Gráfico Mantenimiento Preventivo.                                                                                                   | 65 |
| Ilustración 48, Gráfico Mantenimiento Predictivo.                                                                                                   | 66 |
| Ilustración 49, Primer Vehículo SCRIM, 1967 (Fuente WDM-INT).                                                                                       | 67 |
| Ilustración 50, Vehículo SCRIM actual (Fuente: WDM-INT).                                                                                            | 71 |
| Ilustración 51, Vehículo de inspección RAV.                                                                                                         | 74 |
| Ilustración 52, Deterioro Calzada Vicuña Mackenna c/ Vespucio Sur (Evidencia Fotográfica Propia).                                                   | 76 |
| Ilustración 53, Evidencia Fotográfica Estado de Calzadas en Pasaje y Avenida, Santiago Centro (Fuente: Reportaje Nacional TVN "Hoyos en Santiago"). | 77 |
| Ilustración 54, Encuesta realizada en plataforma LinkedIn.                                                                                          | 78 |
| Ilustración 55, Votación a favor de un mal control de calidad.                                                                                      | 79 |
| Ilustración 56, Votación a favor de problemas administrativos.                                                                                      | 79 |
| Ilustración 57, Votación a favor de todos los factores expuestos en encuesta.                                                                       | 80 |
| Ilustración 58, Flota de vehículos de inspección de carreteras SCRIM® de W.D.M. (Fuente: WDM-INT).                                                  | 81 |

## **1. CAPÍTULO, MARCO INTRODUCTORIO**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Tesis para optar al título de Constructor Civil impartido por la escuela de ingeniería en construcción de la Universidad Mayor.

Se entiende que la infraestructura vial constituye gran parte de la utilidad del patrimonio nacional chileno, permitiendo la comunicación, conexión y cobertura de habitantes entre puntos extensos por condiciones geográficas en territorio nacional. La extensa red de rutas y caminos existentes constituye una de las más altas inversiones de propiedad pública. La falta de conservación y deficiencia en la mantención vial puede provocar con el tiempo pérdidas millonarias del patrimonio y una proyección decadente de infraestructura vial.

El presente documento busca recopilar antecedentes que contribuyan a un análisis del sistema de gestión al mantenimiento vial nacional, realizando evaluaciones comparativas con países en acción de desarrollo efectivo, pudiendo también responder a nuevas tecnologías y sistemas sostenibles a las complejidades y déficit de vida útil en infraestructura vial, de los cuales acrecientan los costos directos e indirectos del mantenimiento y conservación vial en el país.

## **1.2. ANTECEDENTES GENERALES**

Una de las mayores representaciones en desarrollo socioeconómico de un país es su infraestructura vial, donde cuyo mantenimiento y conservación constituye un gran índice de inversión. El deterioro y deficiencia en su mantenimiento incrementan los costos de los usuarios, inversión en trabajos de conservación, seguridad vial, entre otros factores. Disminuyendo de este modo el patrimonio y desarrollo socioeconómico del país. Así también estancando la destinación de recursos en avance por sostener los problemas de mantenimiento en la actualidad.

La muestra de decadencia y carencia en términos de infraestructura vial en el mundo emergente por falta de innovación y aplicación de nuevas metodologías responden a una precariedad en sus diseños sumado a una falta de financiamiento. Por otro lado, los problemas del mundo desarrollado se focalizan en la falta de adecuado y oportuno mantenimiento, donde mucha de su infraestructura tiene antigüedad superior a medio siglo (The Economist, “Crumbling infrastructure is a worldwide problem”, agosto 18 de 2018). No obstante, aquellos países de actual y constante desarrollo, ha destinado recursos de estudio e investigación para la incursión en materias de sustentabilidad y sostenibilidad que permitan cumplir las exigencias del hoy en día junto a nuevas tecnologías, materialidad y metodología de gran nivel.

## **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Proponer mejoras que ayuden al plan de mantenimiento y conservación de rutas existentes, incorporando variantes en la gestión del mantenimiento de acuerdo a países comparativos con eficacia en la conservación de infraestructura vial.

## **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

### **1.4.1. PRIMER OBJETIVO**

Establecer una categorización y planificación de los accesos hacia y entre ciudades de vías y/o rutas que permitan clasificar y especificar el tipo y flujo vehicular.

### **1.4.2. SEGUNDO OBJETIVO**

Abordar de acuerdo a nuevas metodologías y tecnologías referidas desde países en desarrollo, apoyos en planes de mantenimiento y conservación vial nacional.

### **1.4.3. TERCER OBJETIVO**

Analizar y proponer sistema de contrato u organizaciones con referencia internacional en cumplimiento a un mantenimiento.

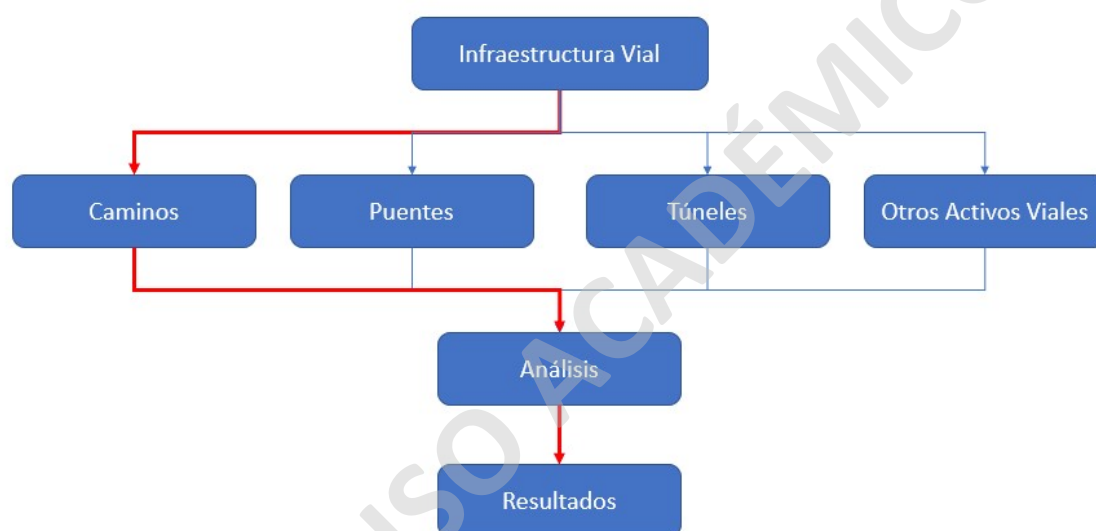
## **1.5. JUSTIFICACIÓN A LA INVESTIGACIÓN**

Dada las condiciones actuales de deterioro prematuro y decadencia investigada en materia de infraestructura vial nacional, es preciso analizar y comparar mediante mejoras efectivas respecto a otros países, de los cuales nos permitan integrar una mejora en el sistema de control y calidad, que nos permita una extensión en la vida útil de caminos, pudiendo así minorizar los costos de mantenimiento y conservación, actuando de manera oportuna.

Actualmente existe programas de mantenimiento con resultados de deterioro a corto plazo. Sin embargo, cuando hablamos de plazos, solo se vuelven extensos y fuera de limite cuando de proceso de ejecución hablamos.

## 1.6. LIMITACIONES

La infraestructura vial comprende una gran cantidad de factores, variables y participantes, de los cuales genera desglose de detalles que sobrepasan y hacen ambiguo el enfoque establecido en objetivos del presente documento. Por lo anterior, el presente documento recopilará y analizará respuestas en términos generales de otros países respecto al déficit en mantenimiento y conservación vial para caminos pavimentados.



*Ilustración 1, Esquema General de los Activos para el Cálculo del Patrimonio Vial. (Fuente: Valor del Patrimonio Vial de la Red Nacional-Año2013.) – Elaboración Propia.*

Para todos aquellos caminos pavimentados cuyo tratamiento NPT (Nivel de Piso Terminado) se constituya por composición asfáltica, hormigón o tratamiento superficial. A nivel general, el asfalto es en gran medida el más utilizado en redes viales nacionales, esto por motivo de tener un menor costo inicial y flexibilidad. La red vial nacional cuenta con cerca de 82 mil km, de los cuales, el 21% es constituido por asfalto (MOP).



Ilustración 2, Clasificación de los Suelos. (Fuente: Valor del Patrimonio Vial de la Red Nacional-Año2013.) –  
 Elaboración Propia.

## 1.1. LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la relevancia de antecedentes visuales que día a día usuarios de vehículos y logística de transporte requiere para una mejor y mayor conectividad en términos de infraestructura vial, nace la curiosidad de investigar las causales de falta y déficit en el mantenimiento y conservación vial en términos de calidad. Dicho lo anterior, se elabora una estructura de desarrollo investigativo y analítico de acuerdo a las siguientes etapas:

- En la primera etapa de desarrollo, se recopila antecedentes que indicien la búsqueda de fuentes duras relacionadas al mantenimiento y conservación vial, pudiendo con esto generar aristas y cuestionamientos con base a estudios, entidades del estado, entrevistas y otros.
- En la segunda etapa de desarrollo, se recopila información de fuentes directas y responsables a identificar el patrimonio y mantenimiento de la infraestructura vial a

nivel nacional. Tanto en su estado de infraestructura vial actual, como su deterioro y metodología de aplicación propuesta al mantenimiento.

- En la tercera etapa de desarrollo, se busca recopilar antecedentes de desarrollo, adaptabilidad y aplicación al mantenimiento de infraestructura vial en otros países, siendo estos vinculados de alguna manera en ciertas tipologías y/o metodologías de nuestro país. Cuyos resultados detonaran en su estado actual y eficacia en su aplicación.
- En la cuarta etapa de desarrollo, se analizará y comparará de acuerdo a las etapas anteriormente mencionadas los resultados obtenidos en función a la metodología y políticas públicas de la infraestructura vial, obteniendo de esto deducciones al cumplimiento en parámetros de calidad para la conservación y mantenimiento de red vial.

## **2. CAPÍTULO, MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DE CARÁCTER NACIONAL**

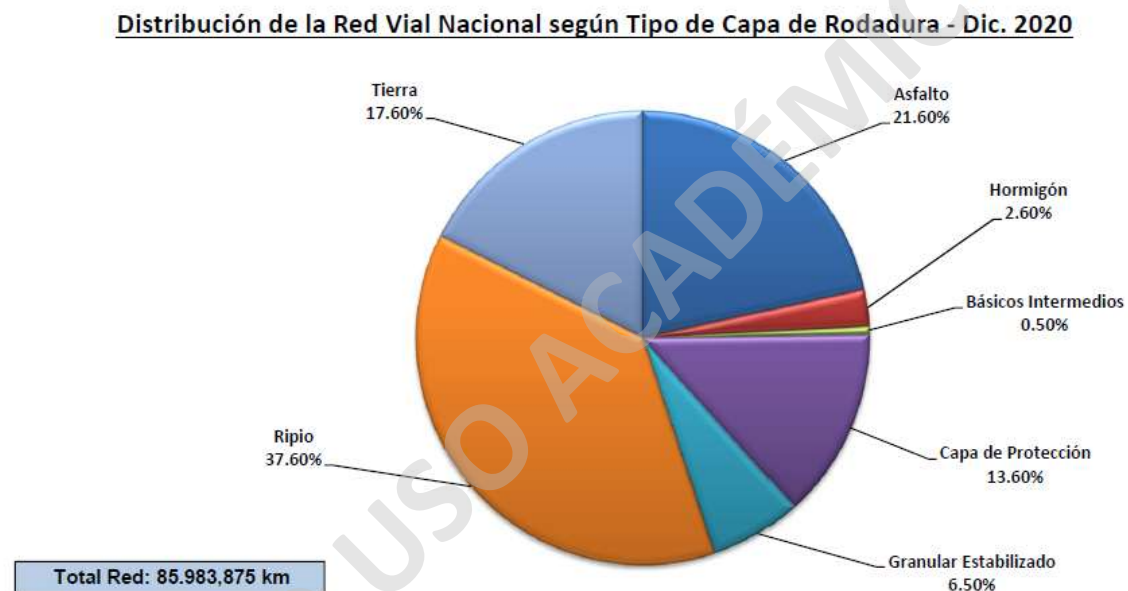
#### **2.1.1. INFRAESTRUCTURA VIAL EN CHILE**

Uno de los gastos más influyentes a nivel nacional es el desarrollo y mantenimiento de infraestructura vial, sin embargo, esta muestra una decadencia por conceptos de falta de calidad y mantenimiento oportuno, existiendo un deterioro constante de la infraestructura vial interurbana en la actualidad, sumado a la ocurrencia de emergencias y otros eventos que inutilizan parcial o totalmente un camino por concepto de reparaciones y/o mantención, afectando la conectividad vehicular y peatonal.

La inversión en materias de mantenimiento y conservación vial siempre está responsabilizada de un ente apoyado por el estado, que, para el caso de Chile es la Dirección de Vialidad la encargada de Mejorar la conectividad entre los distintos puntos y enlaces emplazados en territorio nacional chileno. La dirección de vialidad es también la encargada de planificar, proyectar, construir, conservar y explotar oportunamente la infraestructura vial necesaria para el desarrollo del país, resguardándose bajo parámetros de calidad, medio ambiente, e incorporando sistemática de tecnologías innovadoras en el ámbito vial y de transporte. Sin embargo, esta no se ha visto reflejada en rutas y caminos nacionales, aún se sigue evidenciando problemas de deterioro a poco tiempo de haberse aplicado el

mantenimiento. Por otro lado, los plazos en ejecución de dichos mantenimientos se ven extensos por posibles retrasos en obras producidos por falta de planificación, orden y utilidad de recursos utilizados al cumplimiento oportuno de actividades asociadas al mantenimiento.

El patrimonio de red vial nacional asciende a casi los 86 mil kilómetros de longitud, donde 21 mil kilómetros corresponden a caminos pavimentados, detallado y distribuido en el siguiente resumen:



*Ilustración 3, Distribución de Red Vial Nacional (Fuente: Estadísticas Viales 2020, Chile).*

| Tipo de Camino                  | Red Vial Pavimentada (Km.) - 2020 |                  |                |                             | Total             |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------------|----------------|-----------------------------|-------------------|
|                                 | Asfalto                           | Hormigón         | Asf./Horm.     | Caminos Básicos Intermedios |                   |
| Caminos Nacionales              | 7.835,400                         | 1.261,083        | 526,975        | -                           | 9.623,458         |
| Caminos Regionales Principales  | 5.336,505                         | 353,104          | 34,464         | 81,237                      | 5.805,310         |
| Caminos Regionales Provinciales | 1.986,281                         | 99,281           | 4,651          | 115,945                     | 2.206,158         |
| Caminos Regionales Comunales    | 2.881,026                         | 242,294          | 2,373          | 198,957                     | 3.324,650         |
| Caminos Regionales de Acceso    | 235,218                           | 23,937           | 0,173          | 69,603                      | 328,931           |
| <b>Total</b>                    | <b>18.274,430</b>                 | <b>1.979,699</b> | <b>568,636</b> | <b>465,742</b>              | <b>21.288,507</b> |

Ilustración 4, Red Vial Pavimentada Nacional (Fuente: Red Vial Nacional Dimensionamiento y características 2021, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad) – Elaboración Propia.

Según antecedentes de la dirección de vialidad nacional, Chile posee 7 tipos de capas para rutas y caminos de infraestructura vial, reflejando un porcentaje muy bajo de estándar y a su vez un problema de estanqueidad por problemas de mantenimiento y conservación que no permiten seguir avanzando en la calidad y estándar de caminos que nos permitan conectar el tránsito vehicular. Descrito lo anterior, en la red de caminos pavimentados tenemos 4 tipos de capas, de las cuales se distribuyen a nivel nacional en 5 tipos de caminos distintos.

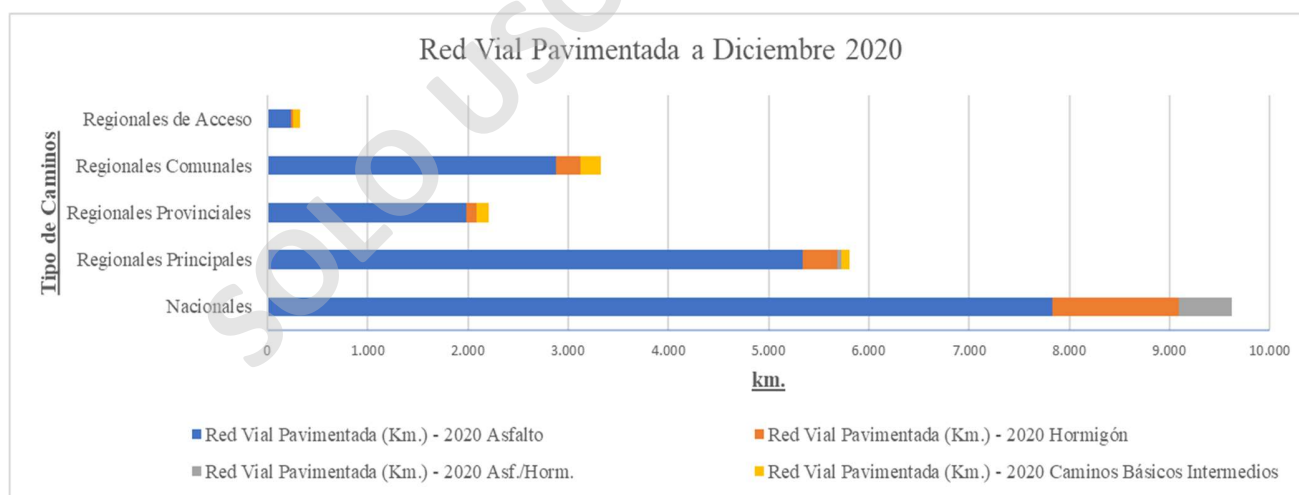
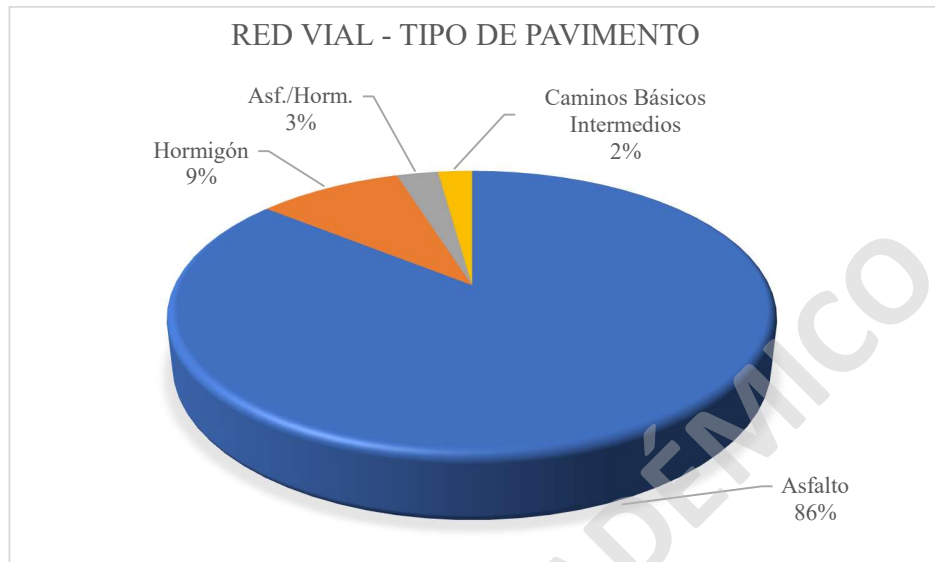


Ilustración 5, Relación Tipo de Camino y Tipo de Pavimento (Fuente: Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características 2021, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad) – Elaboración Propia.



*Ilustración 6, Tipo de Caminos Pavimentados en Red Vial Nacional (Fuente: Red Vial Nacional Dimensionamiento y características 2021, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad) – Elaboración Propia.*

Existe una evidente diferencia en la cantidad y calidad de infraestructura vial que segrega la capital respecto a regiones de Chile. La Región Metropolitana, pese a concentrar el mayor índice vehicular y poblacional, no posee una estandarización respecto a infraestructura vial, sólo parámetros de los cuales no compromete la misma cantidad de requisitos y cualidades entre regiones. Entendiendo que, las condiciones climáticas y la medición de flujos vehiculares son un factor influyente en drenaje y durabilidad de las obras viales.

Las obras viales, específicamente las rutas vehiculares se construyen pensando en una durabilidad máxima de 20 años, dependiendo del tipo y flujo vehicular, sin embargo, existe periodos en la actualidad vencidos o simplemente infraestructura vial que por mala calidad en su constructibilidad ha visto su vida útil acotada y reflejada en deterioros reiterados en las vías. Ante lo mencionado, existe planes de acción por medio de mantenimiento vial, dicho mantenimiento presenta una serie de problemas, desde su evaluación hasta su concepción, recopilando una serie de factores negativos en su producción, calidad de la construcción, plazos, organización transitoria de rutas bloqueadas, entre otros.

EVOLUCIÓN DE CAMINOS PAVIMENTADOS V/S  
CAMINOS NO PAVIMENTADOS - 1990 A 2020

(Longitud en Km)

| Año  | Pavimentado | No Pavimentado | Total      |
|------|-------------|----------------|------------|
| 1990 | 10.758,860  | 68.834,510     | 79.593,370 |
| 1991 | 11.000,960  | 68.592,410     | 79.593,370 |
| 1993 | 12.350,900  | 66.941,680     | 79.292,580 |
| 1995 | 12.379,260  | 66.653,480     | 79.032,740 |
| 1996 | 13.049,230  | 66.019,010     | 79.068,240 |
| 1997 | 13.415,240  | 65.662,560     | 79.077,800 |
| 1998 | 14.389,560  | 64.809,910     | 79.199,470 |
| 1999 | 14.972,230  | 64.381,150     | 79.353,380 |
| 2000 | 15.463,970  | 64.056,040     | 79.520,010 |
| 2001 | 16.056,340  | 63.548,390     | 79.604,730 |
| 2002 | 16.463,050  | 63.658,840     | 80.121,890 |
| 2003 | 16.551,060  | 63.953,930     | 80.504,990 |
| 2004 | 16.785,850  | 63.886,480     | 80.672,330 |
| 2005 | 16.967,490  | 63.683,620     | 80.651,110 |
| 2006 | 17.205,020  | 63.489,640     | 80.694,660 |
| 2007 | 17.256,570  | 63.271,770     | 80.528,340 |
| 2008 | 17.557,710  | 62.885,530     | 80.443,240 |
| 2009 | 17.609,010  | 60.815,870     | 78.424,880 |
| 2010 | 18.147,420  | 59.616,320     | 77.763,740 |
| 2011 | 18.436,740  | 59.166,430     | 77.603,170 |
| 2012 | 18.642,200  | 58.929,080     | 77.571,280 |
| 2013 | 19.064,880  | 58.386,390     | 77.451,270 |
| 2014 | 19.555,650  | 58.245,360     | 77.801,010 |
| 2015 | 19.850,320  | 60.732,780     | 80.583,100 |
| 2016 | 20.319,390  | 61.814,390     | 82.133,780 |
| 2017 | 20.582,250  | 64.638,610     | 85.220,860 |
| 2018 | 20.681,044  | 65.028,273     | 85.709,317 |
| 2019 | 21.023,694  | 64.902,671     | 85.926,365 |
| 2020 | 21.288,507  | 64.695,368     | 85.983,875 |

Ilustración 7, Evolución de Caminos Pavimentados vs No Pavimentados. (Fuente: Estadísticas Viales 2020, Chile) –  
Elaboración Propia.

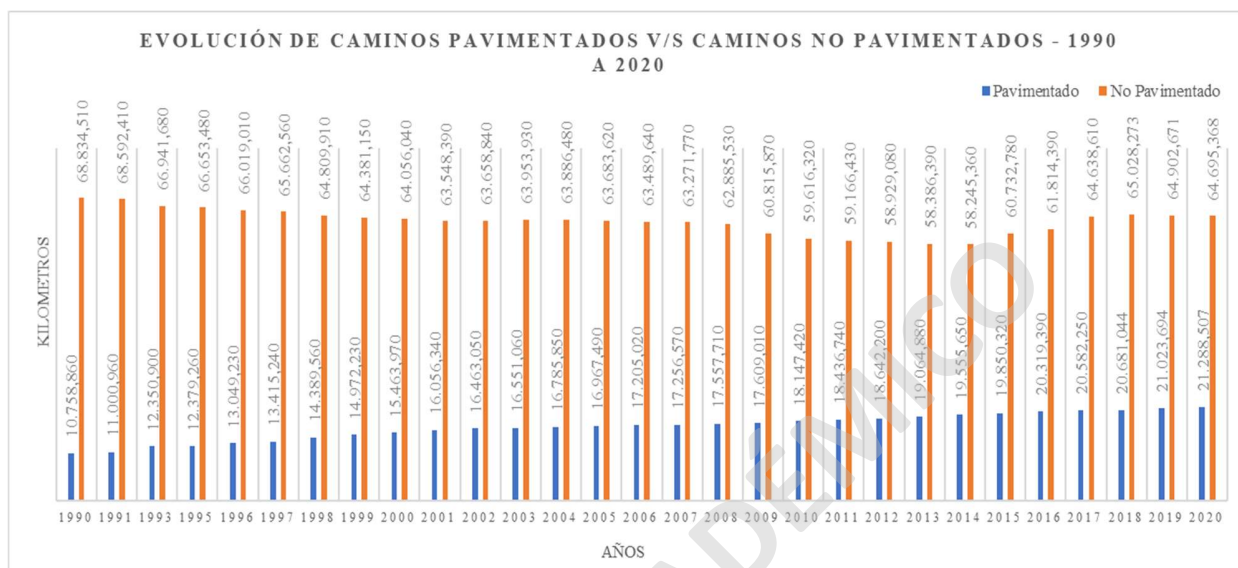


Ilustración 8, Gráfico de Evolución de Caminos Pavimentados vs No Pavimentados. (Fuente: Estadísticas Viales 2020, Chile) – Elaboración Propia.

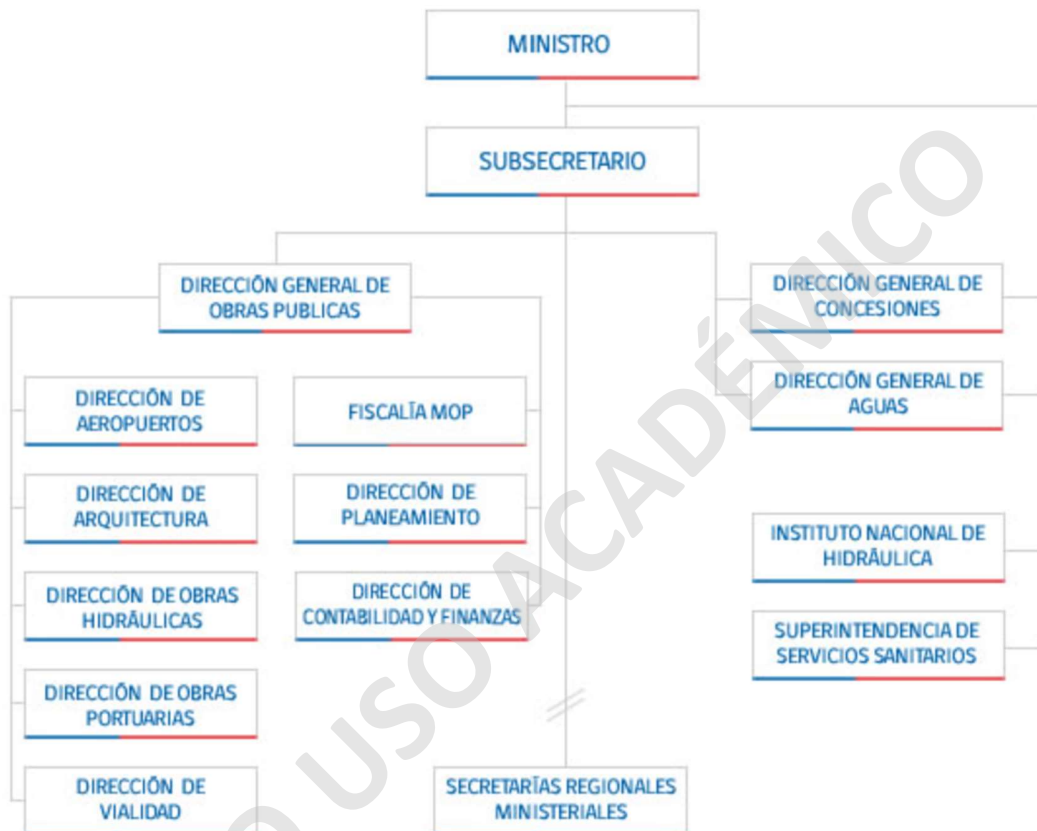
### 2.1.2. MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL EN CHILE

El año 1920 Chile instaura un programa de conservación y mantenimiento vial, que por ley se asigna recursos de manera permanente, con objetivo de construir, mantener y conservar la infraestructura vial. El programa en la actualidad consiste en una serie de acciones orientadas a evitar el deterioro prematuro de la red vial nacional de modo que las distintas vías puedan prestar el servicio para el cual fueron diseñadas y construidas (Fuente: Síntesis ejecutiva, programa de conservaciones viales, elaborada por la dirección de presupuestos, junio 2004).

La red de infraestructura vial emplazada en territorio nacional ha considerado importantes recursos tanto en su construcción como en su mantenimiento, siendo una inversión acumulada y reflejada por la dirección de vialidad al año 2010 en un patrimonio estimado de US\$24.656 millones.

En Chile las labores de mantenimiento y conservación vial se ejecutan por la Dirección de Vialidad del MOP (Ministerio de Obras Públicas), a través de las distintas Direcciones Regionales y las Delegaciones Provinciales, utilizando las modalidades de administración directa, contratos individuales (o tradicionales) o contratos de conservación global. Dicho

programa de mantenimiento y conservación abarca toda la red vial nacional, con excepción de vías concesionadas, e incluyendo algunas vías urbanas declaradas como caminos públicos.



*Ilustración 9, Organigrama Dirección de Vialidad (Fuente: MOP).*

Según fuente de la dirección de vialidad, existe un desafío importante al conservar los poco más de 85.000 kilómetros de caminos que conforman la red vial nacional, donde alrededor del 24% está pavimentado quedando alrededor de 75.000 kilómetros de camino carentes de atención por las distintas modalidades de conservación.

El programa de mantenimiento y conservación vial se constituye por una serie de componentes, de los cuales aseguran evaluar en términos estructurales, funcionales y de seguridad cumplir con el servicio adecuado a usuarios de territorio nacional.

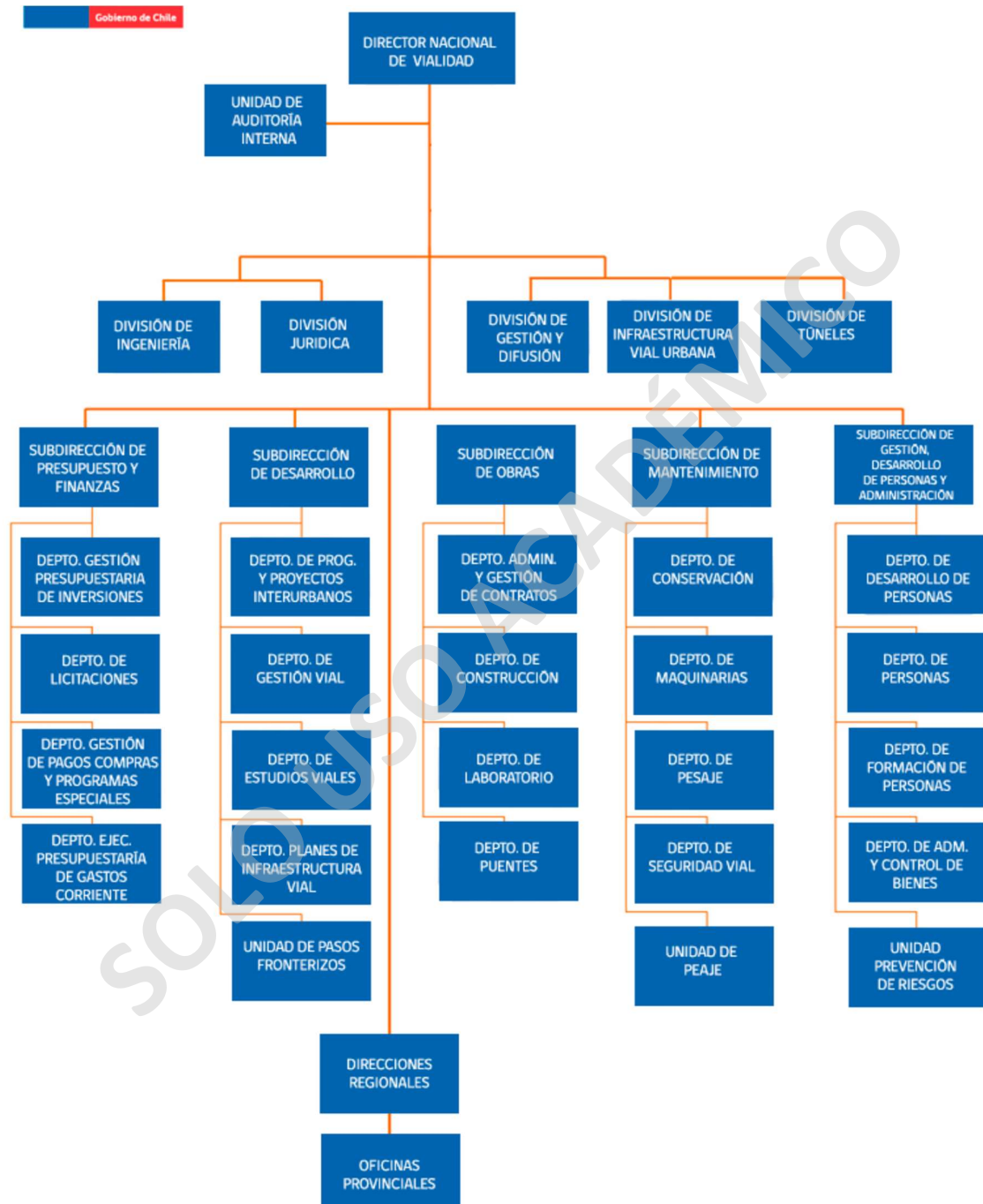


Ilustración 10, Organigrama Dirección de Vialidad.

### **2.1.2.1. Componentes del Mantenimiento y Conservación**

#### **Componente 1, Red Vial Saneada**

El primer componente destinado a mantener la red vial libre y despejada para su operatividad, cumpliendo como objetivo una vía funcional al tránsito vehicular sin impedimento ni obstaculización. Este componente también debe velar por mantener su operatividad en condiciones climáticas adversas, considerando sistema de drenaje para aguas lluvias.

Las labores aplicadas consisten en limpieza manual y mecanizada de la calzada, confección de fosos y contrafosos, confección de alcantarillas y reperfilados simples y con compactación.

#### **Componente 2, Red Vial con Señalización, defensas y demarcación adecuada.**

El segundo componente destinado al cumplimiento en parámetros de seguridad vial, debiendo realizar en casos necesarios labores de instalación, reacondicionamiento y sustitución de señalética, demarcaciones, defensas y barreras para rutas y caminos.

#### **Componente 3, Superficies de Rodadura de la Red Vial Conservada.**

El tercer componente factor principal para el programa de conservación y mantenimiento vial, consistente en mantener la rigurosidad de la carpeta de rodadura de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas. De esta manera, se realizan labores de perfilado y recebo de carpeta en vías ripiadas, y distintos tipos de sellos, bacheos, recapados y otras reparaciones para caminos pavimentados.

#### **Componente 4, Otras Actividades de Programa.**

El cuarto componente comprende una serie de actividades participe para todos los componentes anteriores, esta tiene como objetivo realizar actividades de conservación y en algunos casos de construcción, como también la integración de obras complementarias como defensas fluviales, pasarelas, terraplenes, puentes, entre otros. De acuerdo a lo anterior, es necesario muchas veces realizar estudios de ingeniería, asesorías a la inspección fiscal y expropiaciones parte de este cuarto componente.



Ilustración 11, Trabajos de Mantenimiento esquina de avenida las Américas con calle tres, Alto Hospicio (Fuente: Diario Longino, 29 de junio del 2019).

A nivel nacional se estipula de acuerdo a lo descrito en manual de carreteras volumen n°7 (Mantenimiento Vial) la existencia de corporaciones viales. Entidades sin fines de lucro, conformadas para la conservación de caminos comunales con aportes de entidades públicas y privadas. Por otra parte, la dirección de vialidad aporta con maquinaria, personal y asesoría técnica para el cumplimiento de los parámetros y especificaciones técnicas.

Los alcances de mantenimiento y conservación vial medidos a nivel nacional para contratos se regirán de acuerdo a la siguiente tabla:

|                                  |                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pavimentos:                      | Índice de Rugosidad Internacional (IRI).<br>Ahuellamientos.<br>Agrietamientos.<br>Baches.<br>Escalonamientos.<br>Resistencia al resbalamiento (fricción transversal). |
| Señalización Vertical:           | Nivel de deterioro.                                                                                                                                                   |
| Demarcación de Pavimento:        | Visibilidad nocturna.                                                                                                                                                 |
| Barreras Metálicas de Seguridad: | Nivel de deterioro.                                                                                                                                                   |
|                                  | Visibilidad nocturna.                                                                                                                                                 |
|                                  | Geometría.                                                                                                                                                            |
|                                  | Nivel de oxidación.                                                                                                                                                   |
|                                  | Deformación. Elementos<br>retroreflectantes. Destrucción<br>por accidentes, etc.                                                                                      |
| Conservación Rutinaria:          | Roce y Limpieza de la Faja.                                                                                                                                           |
|                                  | Reconstrucción de fosos y contrafosos.                                                                                                                                |
|                                  | Limpieza de Alcantarillas.                                                                                                                                            |
|                                  | Limpieza de Cunetas.                                                                                                                                                  |
|                                  | Conservación de Puentes, etc.                                                                                                                                         |

Ilustración 12, Tabla 7.003.3 Manual de carreteras, Volumen 7.

Para aquellas empresas ejecutoras de obras en materia de infraestructura vial, independiente el contrato en el que se encuentre, deberá bajo su responsabilidad elaborar un programa de conservación de las obras ejecutadas, siendo de estricta consideración incorporar:

- Política de conservación elegida.
- Niveles de deterioro admisibles de acuerdo con los umbrales de intervención exigidos.
- Cronograma con las operaciones de conservación.

#### **2.1.2.2. Modalidades de Aplicación al Mantenimiento y Conservación Vial**

Para la ejecución de componentes derivados al mantenimiento y conservación vial, la dirección de vialidad estipula modalidades de aplicación, dichas modalidades se instauran bajo una administración directa y/o contrato. La distribución de los recursos del Programa entre administración directa y contratos tradicionales se hace de modo de entregar recursos suficientes para asegurar la plena operatividad de los equipos, personal y maquinaria para administración directa. En cuanto a los contratos globales, dado que la mayoría tiene una duración de dos años, el criterio utilizado para la asignación de recursos es financiar los compromisos adquiridos (arrastre), incorporando nuevos contratos en función de los recursos disponibles en el presupuesto de cada año.

##### **a. Administración Directa.**

se caracteriza porque las labores de conservación son ejecutadas con personal y equipo propio. Cerca de un 68% de la red mantenida por esta modalidad corresponde a caminos con carpeta de rodadura de ripio o tierra.

##### **b. Contratos Tradicionales.**

Contratos Tradicionales, consiste en la externalización de la ejecución de acciones predefinidas de mantenimiento de caminos o tramos de la red vial a una empresa contratista, durante un tiempo determinado que oscila entre los 3 y 6 meses; siendo de preferencia dichas acciones operaciones de conservación periódica. Estos contratos son licitados e inspeccionados por las regiones.

### **c. Contratos Globales.**

Contratos Globales, corresponde a contratos de conservación de una red de caminos cuya longitud total varía entre 400 y 500 kilómetros, durante un plazo de 2 a 3 años. Normalmente la red bajo este tipo de conservación está conformada mayoritariamente por caminos con carpeta de rodadura de grava y tierra. Los pagos de las operaciones rutinarias se hacen mediante estados de pago que se formulan con los precios unitarios del contrato y las cantidades de obra efectivamente recibidas por la Comisión de recepción mensual.

### **d. Contratos por Nivel de Servicio**

En forma piloto se realizaron entre 1995 y 2002 Contratos por Nivel de Servicio, en este caso el contratista debía programar y ejecutar acciones de conservación necesarias para que cada camino estuviera siempre mejor o a lo sumo igual que detalladas condiciones de estado (niveles de servicio) estipuladas en las bases de licitación. El pago era a suma alzada mensual por kilómetro y era variable en función del grado de cumplimiento de los niveles de servicio. Sin embargo, esta modalidad se discontinuó.

## **2.1.3. ESTADO DE LA INFRAESTRUCTURA EN CHILE**

La metodología para determinar este tipo de estados en caminos pavimentados se basa de acuerdo al índice de condición del pavimento (ICP), donde a través de ecuaciones algebraicas es capaz de correlacionar los deterioros presentados de acuerdo a la percepción de personal experto en materia de infraestructura vial. Dicho lo anterior, se deberá agregar valores de IRI, datos medidos anualmente por laboratorio nacional de vialidad o a través de contratación de servicios. Ambos valores registrados ICP e IRI, son medidos a lo largo de dos años para la evaluación del estado general de todos los caminos pavimentados.

Las ecuaciones en cuestión entregan datos de correlación procesados por rigurosos métodos estadísticos para la validación de sus resultados tanto en valores cuantitativos como cualitativos. Para estas ecuaciones, se diferencian por tipo de carpeta de rodadura y rangos de asignación del estado en función de la clasificación administrativa vigente de caminos.

$$\text{ICP} = 9,64 - 0,637 \text{ IRI} - 0,046 \text{ Ahuell.} - 0,047 \text{ Baches} - 0,034 \text{ G. Fatiga} - 0,027 \text{ Exudación} - 0,02 \text{ G. Lineales}$$

$$R^2 = 0,95 \quad r = -0,97 \quad S = 0,586 \quad DW = 1,76$$

Ilustración 13, Ecuación ICP para Pavimentos Asfálticos. (Fuente: política Conservación Vial 2010, Chile).

$$\text{ICP} = 10,707 - 0,642 \text{ IRI} - 0,059 \text{ Ahuell.} - 0,053 \text{ Baches} - 0,045 \text{ Grietas} - 0,023 \text{ Exudación} - 0,013 \text{ P. Áridos}$$

$$R^2 = 0,97 \quad r = -0,98 \quad S = 0,52 \quad DW = 1,51$$

Ilustración 14, Ecuación ICP para Tratamientos Superficiales (Fuente: política Conservación Vial 2010, Chile).

Si el porcentaje de juntas transversales en estado bueno (B) y el porcentaje de juntas longitudinales en estado bueno (B) son mayores o iguales que 25%, entonces:

$$\text{ICP} = 10,68 - 0,85 \text{ IRI} - 0,057 \text{ Losas agrietadas (+ de 3 trozos)}$$

De lo contrario:

$$\text{ICP} = 10,68 - 0,85 \text{ IRI} - 0,057 \text{ Losas agrietadas} - 1,0$$

$$R^2 = 0,98 \quad r = -0,99 \quad S = 0,34 \quad DW = 1,41$$

Ilustración 15, Ecuación ICP para Pavimentos de Hormigón (Fuente: política Conservación Vial 2010, Chile).

- $R^2$ : Coeficiente de determinación.
- $R$ : Coeficiente de correlación.
- $S$ : Error estándar.
- $DW$ : Estadístico Durbin Watson.

| Estado    | Camino Nacional-Regional | Camino Comunal |
|-----------|--------------------------|----------------|
| Muy Bueno | 9,0 a 10,0               | 8,0 a 10,0     |
| Bueno     | 8,0 a 9,0                | 5,0 a 8,0      |
| Regular   | 5,0 a 8,0                | 3,5 a 5,0      |
| Malo      | 2,5 a 5,0                | 2,0 a 3,5      |
| Muy Malo  | 1,0 a 2,5                | 1,0 a 2,0      |

*Ilustración 16, Límites del ICP para asignación del estado de pavimentos. (Fuente: Política Conservación Vial 2010, Chile).*

Para cuya red vial compuesta por caminos pavimentados, en términos aplicables para planes de mantenimiento y conservación vial, son clasificados en 5 categorías según su condición y estado de vida útil.

**a. Primera categoría, Muy bueno:**

Camino correspondiente a nuevo, denominado muy bueno y apto para el tránsito vehicular. Su valor patrimonial es equivalente al punto en que se construyó.

**b. Segunda categoría, Bueno:**

Caminos en gran medida libre de defectos y/o deterioro, estos cuentan con un mantenimiento rutinario y en algunas ocasiones tratamiento superficial como requerimiento. El mantenimiento para estos casos hace que dichos caminos categorizados como “bueno” pase a ser “muy bueno”, recuperando así su valor patrimonial a cuando se construyó.

**c. Tercera categoría, Regular:**

Caminos que presentan deterioro y/o irregularidades que tratar estructuralmente. Para este caso es preciso realizar mantenimiento de renovación o tratamiento superficial, sin necesidad de demoler la estructura existente.

**d. Cuarta categoría, Malo:**

Caminos que presentan deterioro y daños estructurales con un plan de mantenimiento de rehabilitación inmediata. El camino deberá sectorizarse para realizar trabajos de

demolición de manera parcial. La rehabilitación en esta categorización vuelve al camino a considerarse como “muy bueno”, sin embargo, este mantiene su ciclo de vida útil desde su origen constructivo.

#### e. Quinta categoría, Muy Malo:

Caminos con daños irreversibles y deterioro constante, se requiere de reconstrucción, previa demolición en gran parte del camino. Estos caminos no son aptos ni deben estar habilitados para el tránsito vehicular, de ser así, la seguridad en el tránsito vehicular es alterado por posibles accidentes. La reconstrucción de estos caminos reinicia su ciclo de vida, como en sus costos.

El casi 25% de caminos pavimentados en territorio nacional se encuentran afectados de evaluación por su estado y/o condición por deterioro, según esta evaluación se puede reflejar casi un 40% en estado de regular a muy malo.

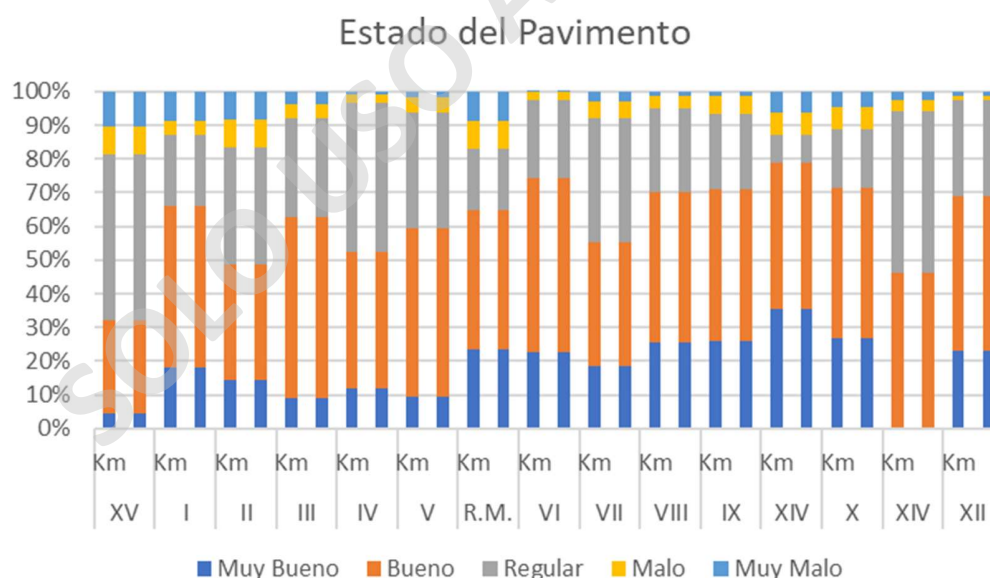


Ilustración 16, Distribución Regional de Calzadas Pavimentadas. (Fuente: Política Conservación Vial 2010, Chile) - Elaboración Propia.

| Región       |    | Estado    |          |          |        |          |           |
|--------------|----|-----------|----------|----------|--------|----------|-----------|
|              |    | Muy Bueno | Bueno    | Regular  | Malo   | Muy Malo | Total     |
| XV           | Km | 9,88      | 58,75    | 105,75   | 17,67  | 22,31    | 214,36    |
|              | %  | 4,6%      | 27,4%    | 49,3%    | 8,2%   | 10,4%    | 100,0%    |
| I            | Km | 111,88    | 298,68   | 130,19   | 25,20  | 54,25    | 620,20    |
|              | %  | 18,0%     | 48,2%    | 21,0%    | 4,1%   | 8,7%     | 100,0%    |
| II           | Km | 245,26    | 596,52   | 596,31   | 140,03 | 145,43   | 1723,55   |
|              | %  | 14,2%     | 34,6%    | 34,6%    | 8,1%   | 8,4%     | 100,0%    |
| III          | Km | 65,57     | 389,43   | 215,11   | 27,50  | 29,00    | 726,61    |
|              | %  | 9,0%      | 53,6%    | 29,6%    | 3,8%   | 4,0%     | 100,0%    |
| IV           | Km | 40,70     | 139,86   | 152,77   | 9,10   | 3,00     | 345,43    |
|              | %  | 11,8%     | 40,5%    | 44,2%    | 2,6%   | 0,9%     | 100,0%    |
| V            | Km | 44,41     | 234,94   | 162,59   | 21,33  | 7,79     | 471,06    |
|              | %  | 9,4%      | 49,9%    | 34,5%    | 4,5%   | 1,7%     | 100,0%    |
| R.M.         | Km | 130,75    | 229,00   | 101,36   | 45,70  | 48,63    | 555,44    |
|              | %  | 23,5%     | 41,2%    | 18,2%    | 8,2%   | 8,8%     | 100,0%    |
| VI           | Km | 196,44    | 446,98   | 198,56   | 20,50  | 2,27     | 864,75    |
|              | %  | 22,7%     | 51,7%    | 23,0%    | 2,4%   | 0,3%     | 100,0%    |
| VII          | Km | 168,53    | 338,71   | 338,93   | 43,64  | 29,12    | 918,93    |
|              | %  | 18,3%     | 36,9%    | 36,9%    | 4,7%   | 3,2%     | 100,0%    |
| VIII         | Km | 344,46    | 593,02   | 336,08   | 47,65  | 18,45    | 1.339,66  |
|              | %  | 25,7%     | 44,3%    | 25,1%    | 3,6%   | 1,4%     | 100,0%    |
| IX           | Km | 229,88    | 394,20   | 199,22   | 46,73  | 10,35    | 880,38    |
|              | %  | 26,1%     | 44,8%    | 22,6%    | 5,3%   | 1,2%     | 100,0%    |
| XIV          | Km | 200,06    | 246,54   | 47,03    | 36,30  | 36,71    | 566,64    |
|              | %  | 35,3%     | 43,5%    | 8,3%     | 6,4%   | 6,5%     | 100,0%    |
| X            | Km | 308,83    | 512,67   | 202,47   | 77,50  | 52,13    | 1.153,60  |
|              | %  | 26,8%     | 44,4%    | 17,6%    | 6,7%   | 4,5%     | 100,0%    |
| XIV          | Km | 1,00      | 140,04   | 144,93   | 10,12  | 8,17     | 304,26    |
|              | %  | 0,3%      | 46,0%    | 47,6%    | 3,3%   | 2,7%     | 100,0%    |
| XII          | Km | 145,75    | 294,27   | 180,50   | 8,81   | 7,75     | 637,08    |
|              | %  | 22,9%     | 46,2%    | 28,3%    | 1,4%   | 1,2%     | 100,0%    |
| <b>Total</b> | Km | 2.243,40  | 4.913,61 | 3.111,80 | 577,78 | 475,36   | 11.321,95 |
|              | %  | 19,8%     | 43,4%    | 27,5%    | 5,1%   | 4,2%     | 100,0%    |

*Ilustración 17, Distribución Regional de Calzadas Pavimentadas. (Fuente: Política Conservación Vial 2010, Chile) – Elaboración Propia.*

## **2.2. ANTECEDENTES DE CARÁCTER INTERNACIONAL**

La red de carreteras a nivel internacional es muy variable, esta varía según la región del mundo y su desarrollo. La Variable que diferencia cada país es grande y no siempre se corresponde con su extensión geográfica, si no de su desarrollo socioeconómico. El mantenimiento y conservación vial debe acudir al rescate de rutas y caminos que tienen origen por más de 100 años.

El país con mayor número caminos, tanto pavimentados como no pavimentados es Estados Unidos con 6.586.610 millones de kilómetros, seguido de la India con 4.699.024 millones de kilómetros y en tercer lugar China con 4.577.300 millones de kilómetros de redes viales (Fuente: Clasificación The World Fact Book). Precisamente China ofrece la mayor red de autopistas y autovía a nivel mundial con 111.950 kilómetros y 9.597.000 km<sup>2</sup> de extensión, muy por encima de los 77.017 kilómetros de Estados Unidos y 9.162.000 km<sup>2</sup> de extensión. Ambos países son los más grandes del mundo en extensión tras Rusia y Canadá.

Aunque no todas las carreteras del mundo están pavimentadas, la cantidad de kilómetros no es menor aún cuando nos referimos al mantenimiento y conservación vial.

### **2.2.1. COLOMBIA**

La red de infraestructura vial de Colombia está dirigida por la INVIAS (Instituto Nacional de Vías). Este organismo es de carácter público, con capacidad jurídica, autonomía administrativa y patrimonio propio, adscrito al Ministerio de transporte. Esta organización tiene por objetivo ejecutar las políticas y proyectos de infraestructura vial nacional de Colombia, entre ello, la inversión a la aplicación y desarrollo de mantenimiento en materia de infraestructura vial.

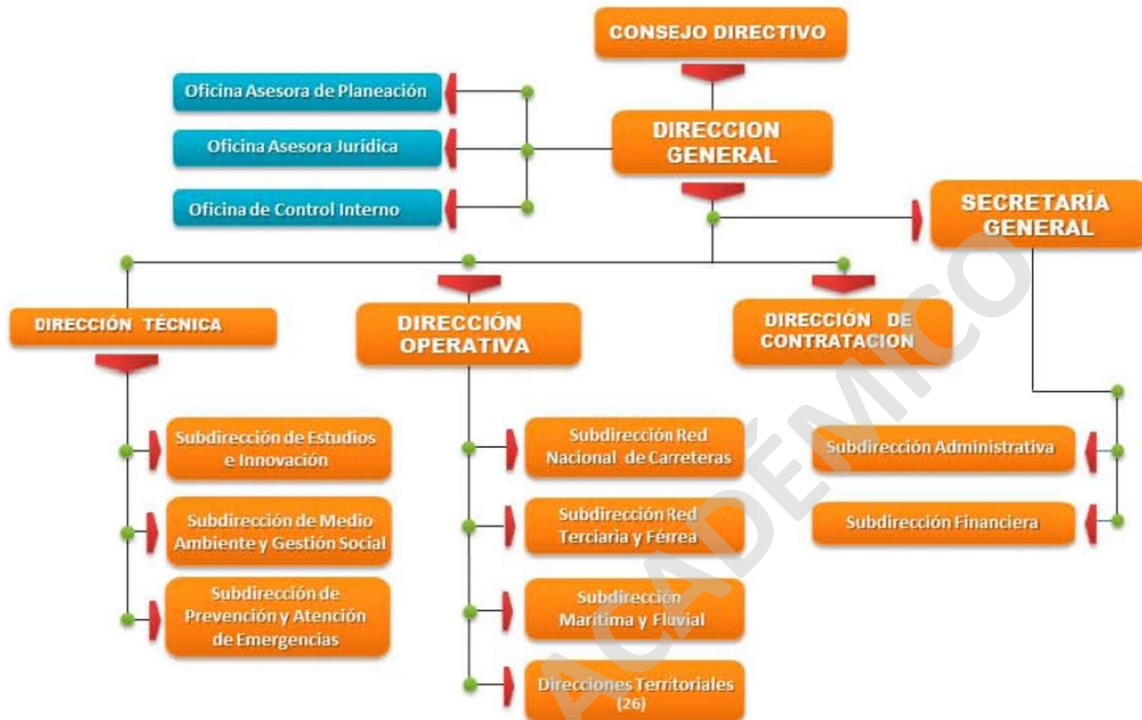


Ilustración 17, Organización Administrativa de Vías en Colombia (Fuente: Instituto Nacional de Vías - INVIAS).

El Instituto Nacional de Vías - INVIAS pertenece a la rama ejecutiva y se encuentra como organismo adscrito al Ministerio de Transporte. Los cerca de 13.000 kilómetros de extensión que tiene la infraestructura vial del país, se distribuye en 7 troncales, que recorren territorio colombiano de Norte a Sur, y 8 transversales que unen a dichas troncales en su tránsito Oriente - Occidente.

| Tipo de Adm.  | km             | %           |
|---------------|----------------|-------------|
| Primaria      | 17.143         | 13%         |
| INVIAS        | 11.463         | 9%          |
| ANI (INCO)    | 5.680          | 4%          |
| Secundaria    | 71.536         | 56%         |
| Departamento  | 36.618         | 28%         |
| Municipios    | 34.918         | 27%         |
| Terciaria     | 39.828         | 31%         |
| Vecinales INV | 27.577         | 21%         |
| Privados      | 12.251         | 10%         |
| <b>TOTAL</b>  | <b>128.507</b> | <b>100%</b> |

Ilustración 18, Clasificación de Red Vial de Colombia (Fuente: INVIAS 2010) - Elaboración Propia.

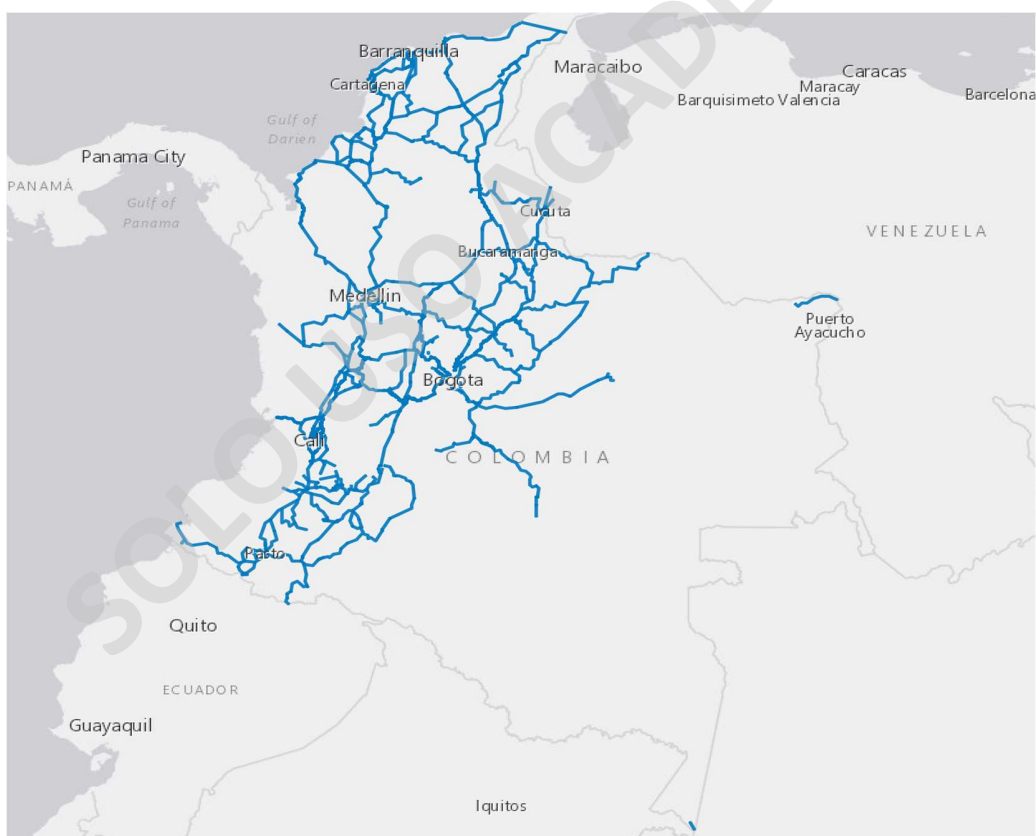
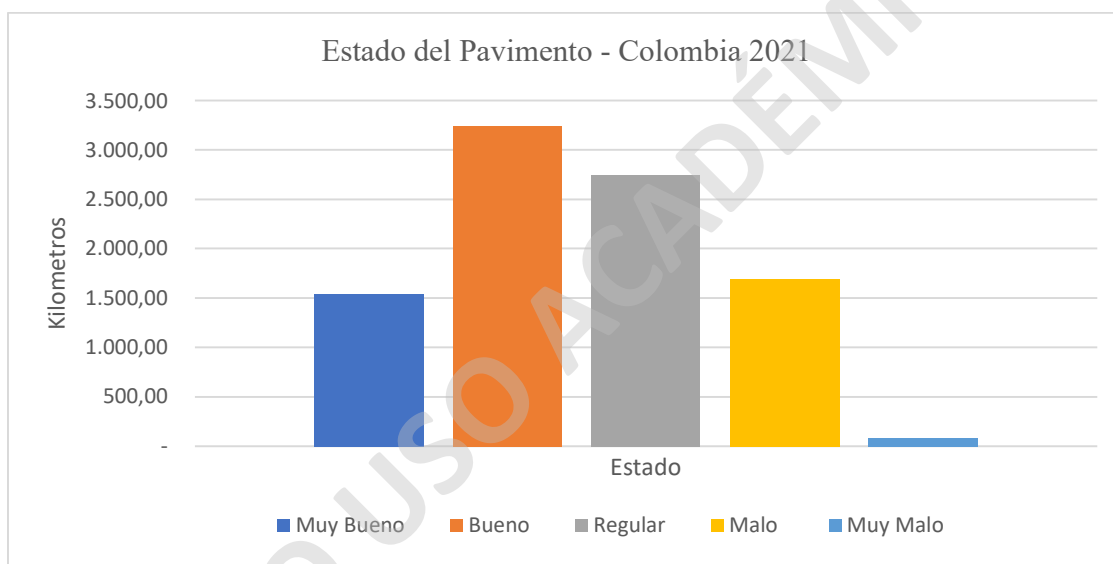


Ilustración 19, Mapa de Red Vial de Colombia (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- Acumulado 2019 a marzo de 2021)

|                       | Muy Bueno       | Bueno           | Regular         | Malo            | Muy Malo     |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| <b>TOTAL RED VIAL</b> | <b>1.537,93</b> | <b>3.241,31</b> | <b>2.745,43</b> | <b>1.693,35</b> | <b>82,58</b> |
|                       | <b>16,54%</b>   | <b>34,85%</b>   | <b>29,52%</b>   | <b>18,21%</b>   | <b>0,89%</b> |

*Ilustración 20, Estado del Pavimento en Colombia - 2021 (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- Acumulado 2019 a marzo de 2021) – Elaboración Propia.*



*Ilustración 21, Estado del Pavimento en Colombia - 2021 (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI (Acumulado 2019 a marzo de 2021) – Elaboración Propia.*

| INDICADOR                                                              | META CUATRIENIO 2019-2022 | META 2020 |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------|
| Vía primaria no concesionada con mantenimiento y rehabilitación        | 100 km                    | 25 km     |
| Vía primaria no concesionada mejorada                                  | 270 km                    | 60 km     |
| Vía terciaria con mantenimiento                                        | 15.000 km                 | 5.000 km  |
| Vía terciaria mejorada                                                 | 400 km                    | 498 km    |
| Muelles fluviales construidos, mejorados y mantenidos                  | 9                         | 2         |
| Accesos marítimos mejorados, construidos y profundizados               | 2                         | 0         |
| Elaboración del inventario de la red vial terciaria en municipios PDET | 100%                      | 38%       |

Ilustración 22, Plan Nacional de Desarrollo (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- Acumulado 2019 a marzo de 2021).



Ilustración 23, Avance Indicadores Plan Nacional de Desarrollo (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- Acumulado 2019 a marzo de 2021).

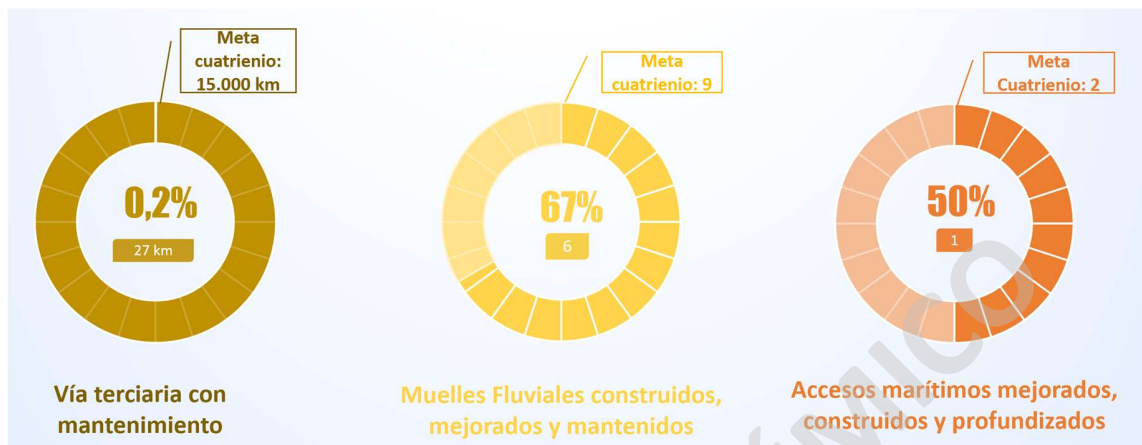


Ilustración 24, Avances Indicadores Plan Nacional de Desarrollo (Fuente: Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- (Acumulado 2019 a marzo de 2021).

### 2.2.2. ESPAÑA

La red de infraestructura vial de España está dirigida por el RCE (Red Carreteras del estado), dependiendo de manera directa por la secretaria general de infraestructura del ministerio de fomento, financiado y gestionado por medio de los presupuestos generales del estado.

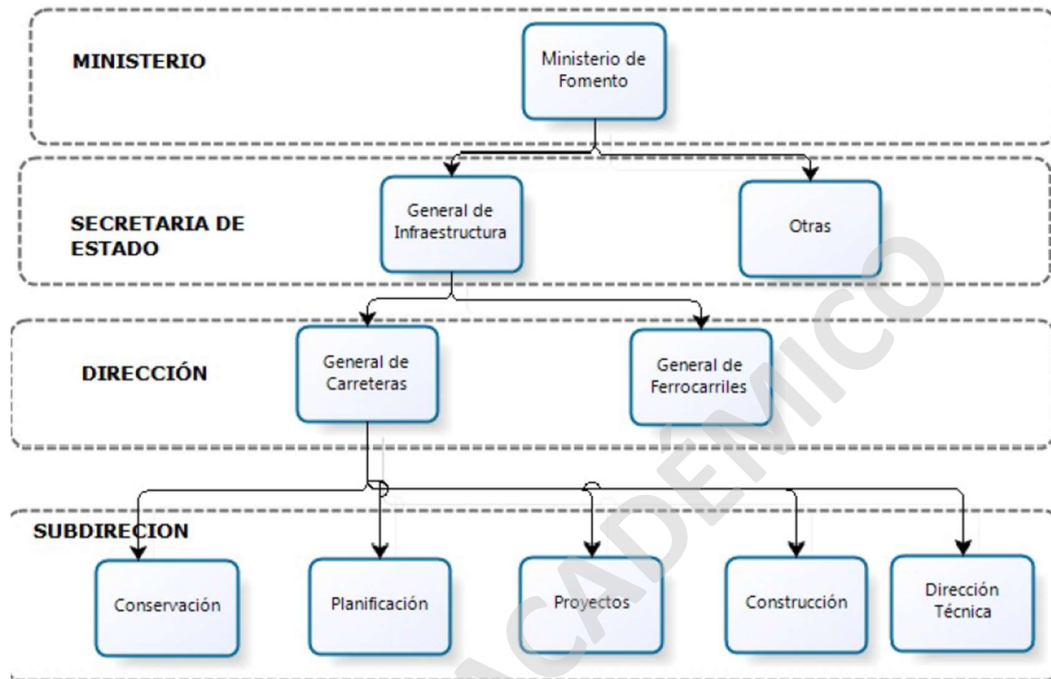


Ilustración 25, Estructura y Organización de la Dirección General de Carreteras de España (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera).

En términos generales la falta de conservación se hace notoria en la infraestructura vial española, un patrimonio valorado en 215.000 millones de euros (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera), y que, a partir del año 2009, ha sido abandonado por motivos de ajustes en presupuestos públicos. En concreto y para la red dependiente del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, entre 2009 y 2019 los recursos destinados a conservación y seguridad vial se han visto mermados en un 76%. Esto explica el hecho de que, de los 100.000 kilómetros de carreteras representados por la AEC (Auditoria de carreteras española), un total de 10.000 deterioros graves en más del 50% de la superficie del pavimento. Grietas superficiales, agrietamientos gruesos, desintegraciones, deformaciones y grietas erráticas son los daños más frecuentes, los cuales pueden afectar a la estructura de la plataforma, comprometiendo la comodidad, eficiencia y seguridad de la circulación e incrementando las emisiones de gases a la atmósfera<sup>1</sup>.

La investigación de la Asociación Española de la Carretera tiene su origen en las Campañas de Inspección Visual de la Red Viaria que la entidad comenzó a realizar en 1985 con el objetivo de conocer el estado de la pavimentación y del equipamiento, así como de estimar la inversión mínima necesaria para alcanzar niveles de servicio adecuados. En la serie estadística recogida en los resultados del presente informe, se observa cómo en el año 2001 la conservación de la red vial española aprobaba holgadamente el examen periódico de la AEC, para llegar a situarse en 2019, veinte años después, rozando el muy deficiente. Darle la vuelta a esta situación requiere una inversión mínima de 7.463 millones de euros, cantidad en la que la Asociación cifra el déficit que acumula el mantenimiento del conjunto de las infraestructuras vial española y que se reparte, para las redes del Estado y Autonómica y regional, como sigue:

- 2.376 millones de euros en la red que gestiona el Estado, la cual tiene una longitud de 25.000 kilómetros.
- 5.087 millones de euros en la que administran los gobiernos autonómicos y forales, que suma un total de 75.000 kilómetros.

Desde la última auditoría, realizada en 2017, las necesidades de conservación de las carreteras españolas se han incrementado un 5,7%, dando al traste con un tercio de su valor patrimonial en poco menos de una década. Una factura de 71.000 millones de euros que los españoles también habrán de asumir, y que se añade al aumento de las emisiones y al incremento en los consumos de combustible, que diversos estudios cifran en 1.200 millones de euros.

| Variación del Déficit Acumulado entre 2017 y 2019 | Total        |
|---------------------------------------------------|--------------|
| En Red de Carreteras del Estado                   | +7,5%        |
| En Redes de CCAA y Diputaciones Forales           | +5,0%        |
| <b>Total</b>                                      | <b>+5,7%</b> |

*Ilustración 26, Variaciones de Déficit en Red Vial Española (Fuente: NP Auditoría estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera).*

La conclusión más relevante para España sobre “Necesidades de Inversión en Conservación 2019- 2020”, es el acusado deterioro de los pavimentos, que obtienen una calificación media de “deficiente”, a escasos puntos del “muy deficiente”. El estado del pavimento en las carreteras titularidad del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana baja su nota en un 7% con respecto a 2017. Las vías autonómicas, por su parte, empeoran un 3% frente a la calificación obtenida en la auditoría anterior. En cuanto al déficit, el pavimento acumula el 94% del total, lo que se traduce en unas necesidades de inversión en reposición y refuerzo de firmes cifradas en 7.008 millones de euros para el conjunto de las carreteras españolas (un 6,5% más que en 2017). De ellos, la Red del Estado, de 25.000 kilómetros de longitud, precisa de 2.224 millones, y la Red Autonómica (con 75.000 kilómetros) de 4.784 millones. En el gráfico de evolución, el estudio de la Asociación Española de la Carretera otorga a la conservación de los firmes la peor nota de toda la serie histórica; en el caso de la Red del Estado se registra una pérdida de 97 puntos con respecto a la auditoría realizada en 2001. Por lo que se refiere a las carreteras autonómicas, el pavimento obtiene 84 puntos menos que hace 20 años.

España ha analizado e informa el siguiente estado actual de su infraestructura vial:

- Uno de cada 10 kms está en un estado deficiente e incompatible con una movilidad segura.
- El déficit de mantenimiento ha incrementado las emisiones un mínimo de 25 millones de toneladas de CO2 en una década
- Revertir la situación requiere inversiones de 7.500 millones de euros y la definición de un espacio de financiación propio
- El estado del pavimento obtiene la peor nota en 20 años
- Hay que renovar 374.000 señales, el 72% con el reflectante caducado
- Es necesario repintar las marcas viales en 38.500 kilómetros de carreteras
- Las barreras metálicas experimentan una tímida mejora
- El balizamiento empeora, aunque sigue gozando de buena salud
- El déficit de inversión en las carreteras españolas se incrementa un 5,7% en dos años

Las necesidades de inversión en conservación 2019-2020” ha sido desarrollado en el último semestre de 2019 por ocho evaluadores de la AEC, los cuales recorrieron distintos tramos que les fueron asignados. En total se han evaluado 3.000 tramos, de 100 metros cada uno, tanto en la Red de Carreteras del Estado como en la Red dependiente de las Comunidades

Autónomas y Diputaciones Forales. Cada tramo inspeccionado ha sido documentado gráficamente, habiéndose recopilado más de 30.000 fotografías.

Los Índices de Estado revelan, por comparación con una serie de valores dados, el estado de conservación de la infraestructura vial española. Tales Índices consisten en una nota ponderada obtenida a partir de los deterioros considerados en cada tramo, ofreciendo en los casos de la señalización vertical, horizontal, barreras metálicas y balizamiento, una cifra entre 0 y 10 acorde con la mayor presencia o ausencia de defectos (10 = muy buen estado). En cuanto a los caminos pavimentados (En España se conoce los caminos pavimentados como firmes), los valores utilizados para el establecimiento del grado de deterioro se sitúan en un intervalo de 0 a 400, representado el 400 la mejor situación posible. Únicamente se evalúan tramos de carreteras interurbanos, elegidos aleatoriamente. No se analizan autopistas de peaje. Se trata de una inspección visual, es decir, tan sólo se estudian los deterioros que se observan a simple vista (el informe no considera, por ejemplo, problemas que van más allá de la capa de rodadura del camino pavimentado, operaciones de conservación en obras de drenaje o en obras de fábrica, etc.). El método se caracteriza por los siguientes aspectos fundamentales:

- Aleatoriedad en la identificación de los tramos a evaluar.
- Representatividad de los tramos elegidos en relación al estado general de la carretera.
- Formación de los evaluadores que realizan el trabajo de campo.
- Sencillez en la recogida de información, de forma que se logre la máxima homogeneidad en el trabajo de los evaluadores.
- Tratamiento sistemático de la información, basado en un control de calidad específico.
- Resultados representativos del estado de conservación de las carreteras, con un alto nivel de fiabilidad.

El informe de la AEC ofrece, además, datos por Comunidades Autónomas, los cuales responden al denominado “Indicador Territorial”, un valor medio ponderado entre las calificaciones de la Red de Carreteras del Estado y las de la Red Autonómica en cada Región.

| Valor del índice de Estado | Calificación   |
|----------------------------|----------------|
| 300 - 400                  | Buena          |
| 200 - 300                  | Aceptable      |
| 100 - 200                  | Deficiente     |
| 0 - 100                    | Muy Deficiente |

Ilustración 27, Calificación de Estado de Pavimento (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera).

|                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 3.000 tramos de 100 metros, 30.000 fotografías.                                       |
|   | 4 Ingenieros de Caminos, 2 Periodistas, 8 evaluadores, más de 4.000 horas de trabajo. |
|  | 3 millones de m <sup>2</sup> de pavimento.                                            |
|  | 3.000 señales verticales de código.                                                   |
|  | 900 km de marcas viales.                                                              |
|  | 200 km de barreras metálicas.                                                         |
|  | 20.000 elementos de balizamiento.                                                     |

Ilustración 28, Ficha Técnica de Estudio (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera).

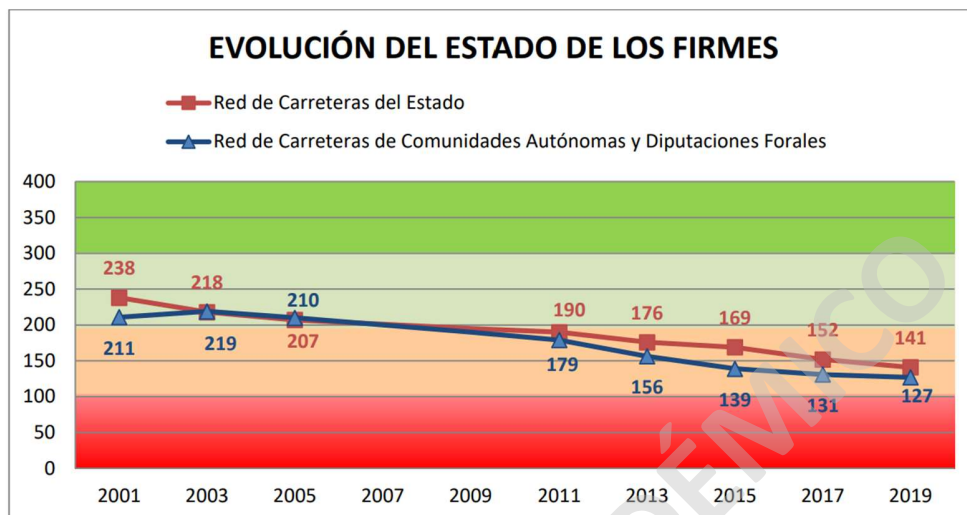
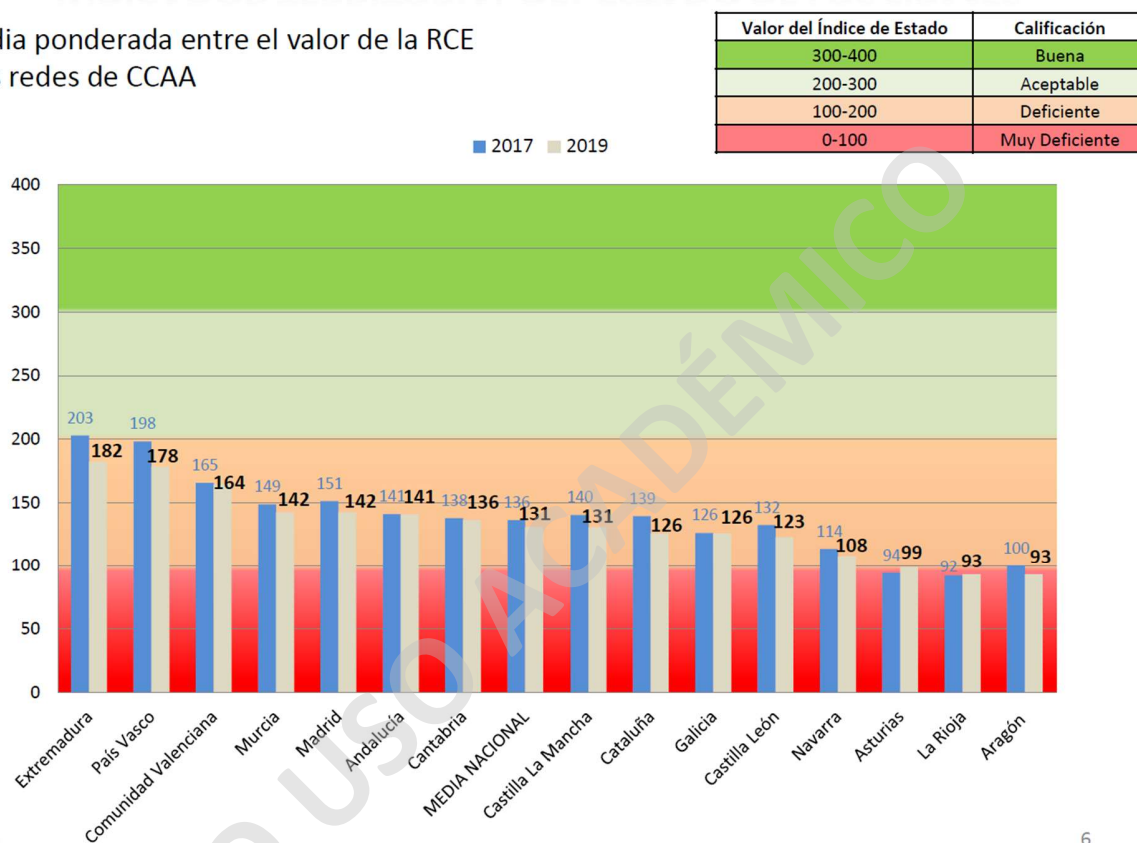


Ilustración 29, Evolución de Caminos Pavimentados (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020, Asociación Española de la Carretera).



Ilustración 30, Evidencia de Estado de Pavimentos en España (Fuente: Asociación Española de la Carretera).

Media ponderada entre el valor de la RCE y las redes de CCAA



6

Ilustración 31, Indicador Territorial del Estado de los Firms (Asociación Española de la Carretera).

Media ponderada entre el valor de la RCE  
y las redes de CCAA

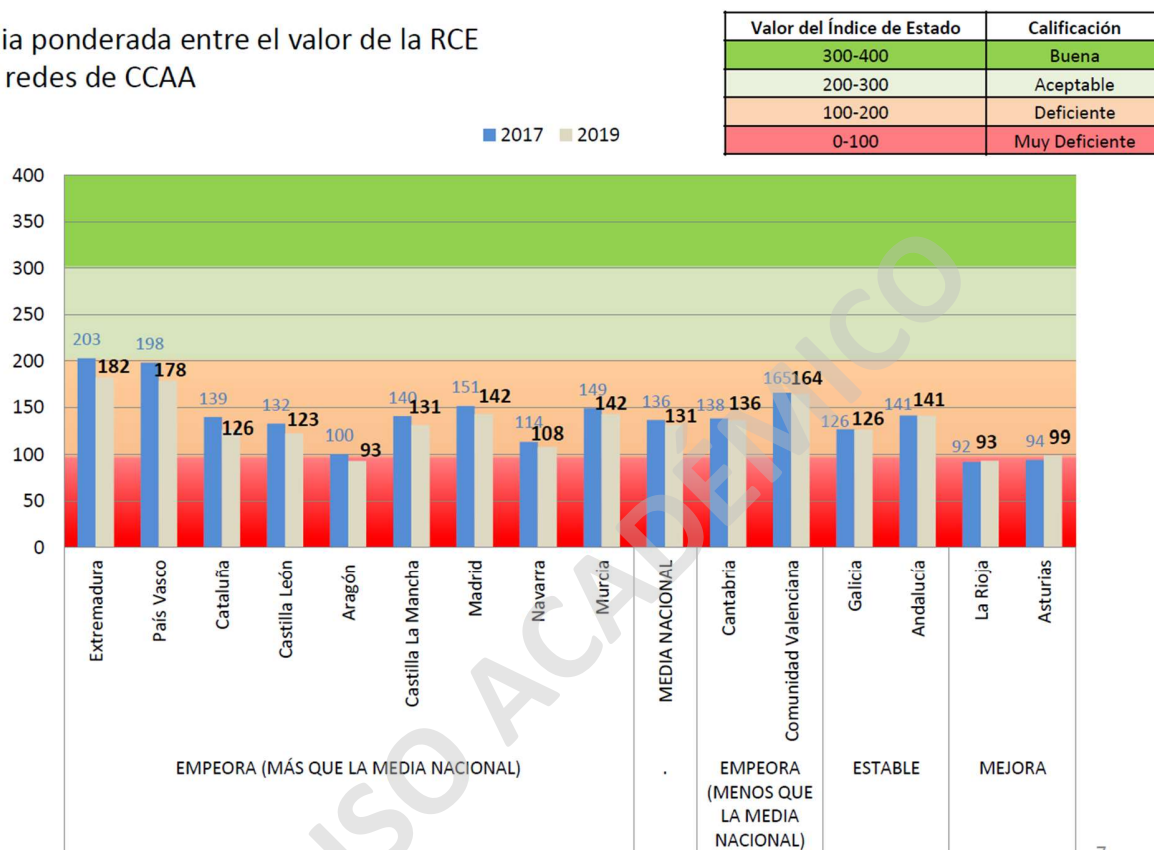


Ilustración 32, Indicador Territorial de Caminos Pavimentados en España (Fuente: Asociación Española de la Carretera).

| Valor del Índice de Estado | Calificación   |
|----------------------------|----------------|
| 300-400                    | Buena          |
| 200-300                    | Aceptable      |
| 100-200                    | Deficiente     |
| 0-100                      | Muy Deficiente |

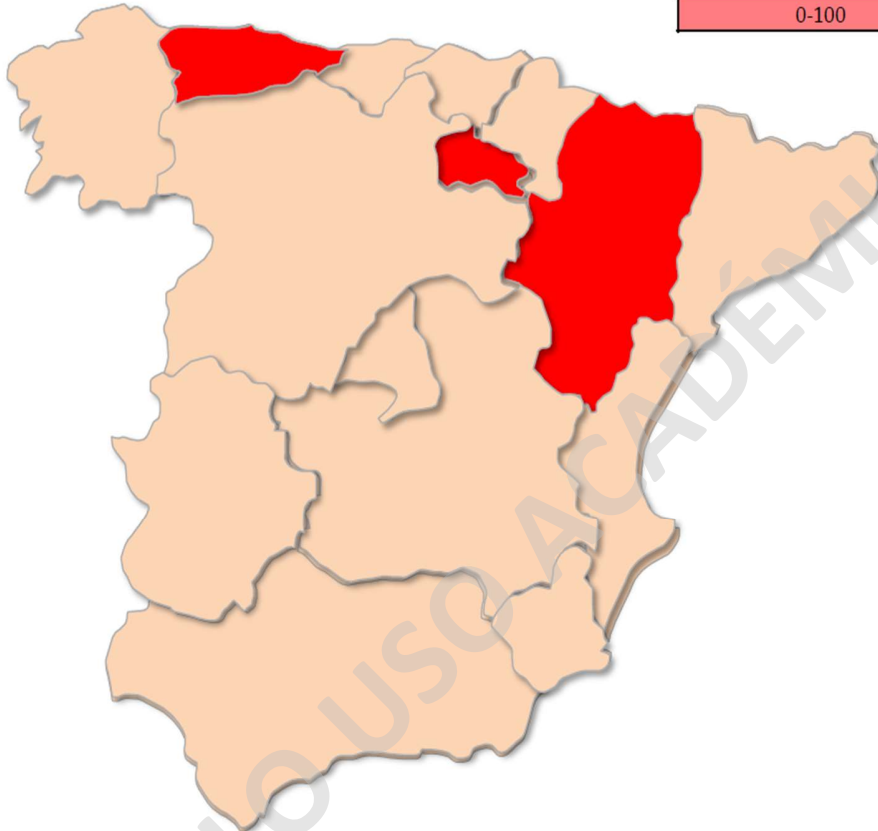


Ilustración 33, Indicador Territorial de Estado de Caminos Pavimentados en España (Fuente: Asociación Española de la Carretera).

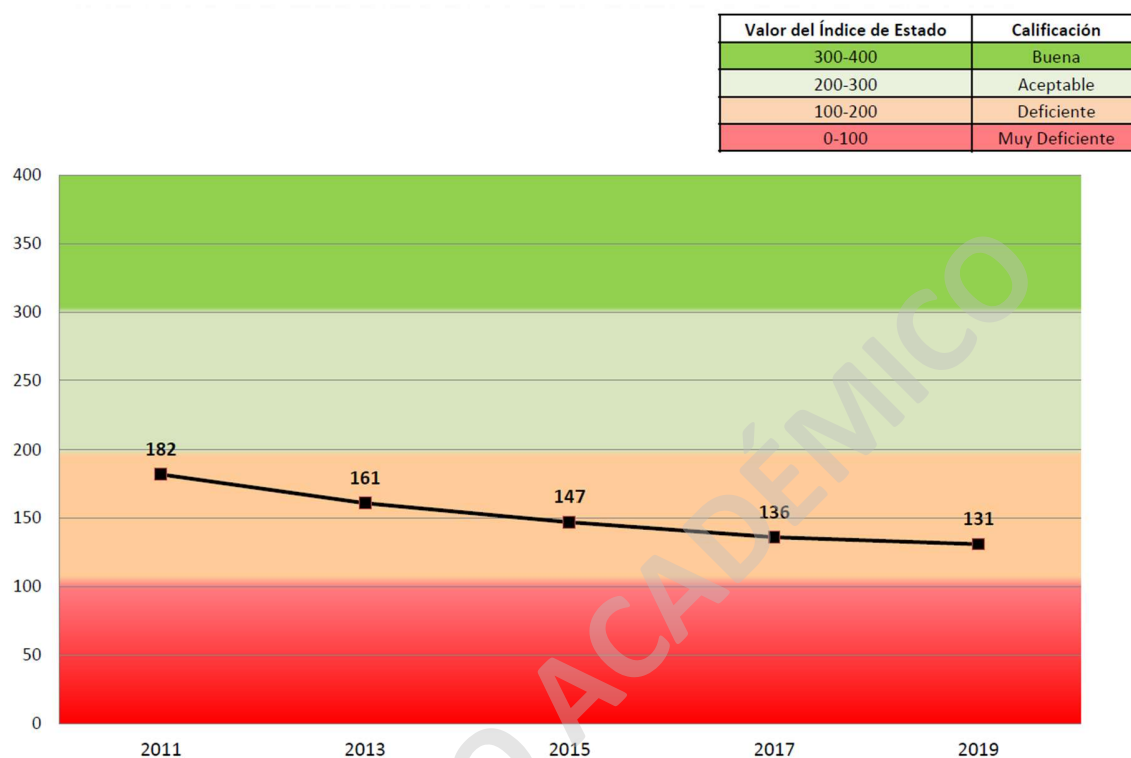


Ilustración 34, Indicador General de Caminos Pavimentados en España (Fuente: Asociación Española de la Carretera).

El déficit de inversión en las carreteras españolas se incrementa un 5,7% en dos años. El déficit de inversión en conservación de las carreteras en servicio ha crecido un 5,7% en dos años. En total, el informe de la Asociación Española de la Carretera estima que, en la actualidad, son necesarios cerca de 7.500 millones de euros para poner a punto las infraestructuras viarias de nuestro país.

|                                                                                                               | Pavimentos     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Déficit acumulado (millones de euros) en la red de carreteras del estado (25.000Km.)                          | 2.224 €        |
| Déficit acumulado (millones de euros) en las redes de comunidades autónomas y diputaciones forales (75.000Km) | 4.784 €        |
| <b>Total</b>                                                                                                  | <b>7.008 €</b> |

*Ilustración 35, Valorización de Déficit en Estado Vial Español (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera).*

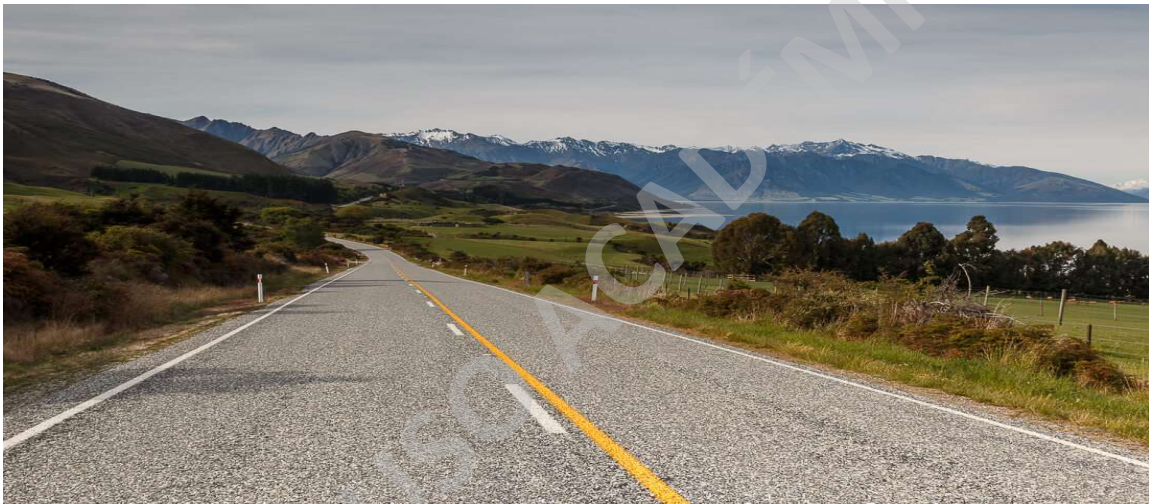
Por Comunidades Autónomas, se ofrecen los datos relativos al déficit acumulado total para ambas redes y desglosados por cada kilómetro de carretera que atraviesa la región que se trate.

|                 | Déficit acumulado en Conservación de Red del Estado, CCAA y Diputaciones forales en Millones de Euros. | Déficit acumulado en Conservación de Red del Estado, CCAA y Diputaciones forales (€/km). |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Andalucía       | 954                                                                                                    | 68.042 €                                                                                 |
| Aragón          | 718                                                                                                    | 86.656 €                                                                                 |
| Asturias        | 346                                                                                                    | 68.580 €                                                                                 |
| Cantabria       | 157                                                                                                    | 60.926 €                                                                                 |
| Castilla - La   | 934                                                                                                    | 75.442 €                                                                                 |
| Castilla y León | 1270                                                                                                   | 75.196 €                                                                                 |
| Cataluña        | 572                                                                                                    | 73.666 €                                                                                 |
| Comunidad       | 420                                                                                                    | 89.551 €                                                                                 |
| Extremadura     | 293                                                                                                    | 54.037 €                                                                                 |
| Galicia         | 612                                                                                                    | 77.071 €                                                                                 |
| La Rioja        | 148                                                                                                    | 78.740 €                                                                                 |
| Madrid          | 243                                                                                                    | 73.252 €                                                                                 |
| Murcia          | 260                                                                                                    | 75.417 €                                                                                 |
| Navarra         | 287                                                                                                    | 74.293 €                                                                                 |
| País Vasco      | 249                                                                                                    | 59.507 €                                                                                 |
| <b>Total</b>    | <b>7463</b>                                                                                            | <b>73.370 €</b>                                                                          |

*Ilustración 36, Valorización de Déficit Acumulado (Fuente: NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera).*

### 2.2.3. NUEVA ZELANDA

La red de infraestructura vial de Nueva Zelanda es administrada desde 2008 por la NZTA (New Zeland Transport agency), posterior a una serie de cambios, reformas y fusiones que permitieron unir una serie de organismos destinados a la construcción, mantenimiento y seguridad vial. Inicialmente, las entidades encargadas pertenecían al ministerio de obras publicas y desarrollo, donde posteriormente estas áreas fueron corporizadas, agrupándose en actividades de consultoría y obras. Finalmente, la NZTA es incorporada al ministerio de transporte, quien se encarga de entregar los fondos para la gestión y ejecución.



*Ilustración 37, Camino Pavimentado Tipo en Nueva Zelanda (Fuente: fotografiando.com).*

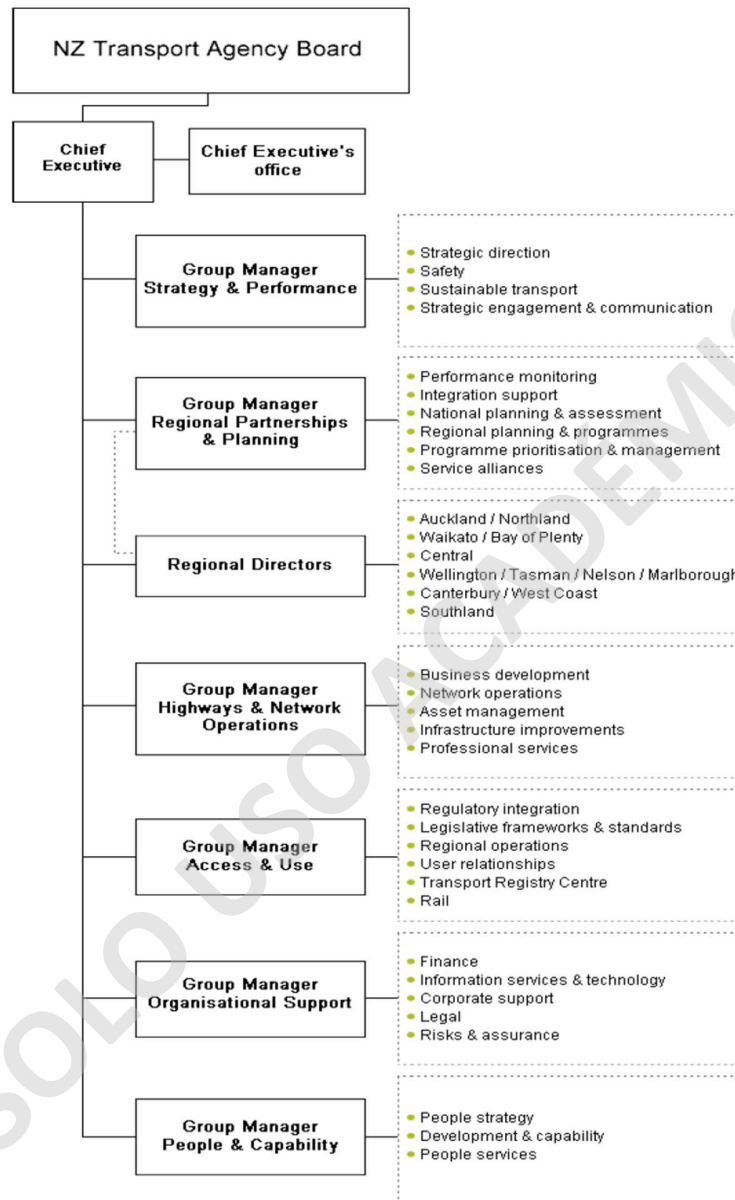


Ilustración 38, Estructura y Organización de Agencia de Transporte NZ.

El terreno y el clima plantean una serie de desafíos para la red de carreteras estatales de Nueva Zelanda. Desde laderas inestables hasta cambios estacionales significativos en la temperatura de la superficie, tales factores pueden provocar daños en las carreteras que pueden reducir el nivel de servicio que brindan. Un régimen intensivo de supervisión y presentación de informes nos ayuda a garantizar que se responda lo antes posible a problemas como carreteras bloqueadas o arrasadas y superficies de carreteras que se derriten o congelan.

Para la gestión en programas de mantenimiento en carreteras estatales existen criterios mínimos de condición y disponibilidad al mantener y operar la red. Para aquello, la participación de contratistas y consultores en cada una de nuestras 25 áreas de gestión de red en todo el país.

Los diferentes tipos de contrato utilizados para hacer esto juegan un papel importante para garantizar el cumplimiento de niveles en servicio para los usuarios. También existe el monitoreo al costo de los trabajos para determinar el punto en el que se requiere más que mantenimiento para cumplir con las expectativas de los usuarios de la carretera.

En términos contractuales, Nueva Zelanda utiliza cinco tipos de contratos para procurar el mantenimiento y operaciones de carreteras:

### **Alianzas**

Acuerdos especiales en los que grupos de organizaciones se combinan en asociación y trabajan juntos. Por ejemplo, actualmente se contrata una alianza para operar y mantener la red de autopistas de Auckland en un acuerdo a largo plazo que comenzó en 2008.

### **Contratos de rendimiento específico**

Otorgamiento por 10 años a proveedores únicos que son responsables de proporcionar todos los servicios (Operación y mantenimiento). Hay cinco contratos de este tipo que operan en Nueva Zelanda, incluido uno para el mantenimiento del puente del puerto de Auckland. La mayor parte del trabajo de repavimentación también se realiza bajo contratos de desempeño específico.

## **Contratos híbridos**

Otorgamiento por 5 años e involucran a consultores y empresas contratistas que trabajan en un acuerdo de asociación para brindar servicios.

## **Los contratos tradicionales**

Contratos por plazos variables e involucran consultores que administran proveedores que entregan obras físicas en la red de carreteras, de manera similar a los contratos tradicionales de construcción de ingeniería vial. La mayoría de los trabajos de refuerzo de pavimentos y reparaciones de puentes se gestionan a través de este tipo de contrato.

## **Contratos de resultados de red**

Este es un nuevo enfoque para el mantenimiento y operaciones carreteras, este garantizar la eficiencia y la eficacia a través de una mejor gestión de activos y prestación de servicios. Estos contratos se adjudican a proveedores primarios y se basan en el desempeño. Este es un nuevo modelo de contrato y los contratos se implementarán gradualmente durante los próximos dos años y medio (2022 a 2024).

Los requisitos para un mantenimiento de infraestructura vial basados en contratos para trabajos de mantenimiento de carreteras estatales especifican los niveles de servicio que deben alcanzarse. Estos se expresan como:

- Tiempos de respuesta a eventos, como inundaciones o estándares
- Niveles de intervención, como lo fácil que es leer o ver letreros y líneas de pintura, la altura del césped y la cantidad de basura al borde de la carretera.

A través de los contratos de mantenimiento se recopila información sobre los costos de mantenimiento por año y por kilómetro. Esto se almacena en la base de datos llamada RAMM (gestión de evaluación y mantenimiento de carreteras) de gestión de mantenimiento y evaluación de carreteras.

Los tipos de datos almacenados en RAMM incluyen:

- Que tan irregular es la carretera, su resistencia al deslizamiento en condiciones de humedad, la resistencia del pavimento y defectos como grietas, surcos y enrojecimiento.
- Un registro de los activos en las carreteras estatales, como la estructura de la carretera (capas de revestimiento y pavimento), letreros, barandas, muros de contención y desagües
- Registros de las actividades de mantenimiento de rutina
- Un plan de trabajo para el futuro mantenimiento de las carreteras.

El trabajo de consultores y contratistas, utiliza esta información RAMM para identificar las secciones de la red de carreteras estatales donde es posible hacer trabajos de renovación y fortalecimiento. Si cuesta menos reemplazar o fortalecer la carretera que continuar manteniéndola, el trabajo de renovación se convierte en una alta prioridad.

Las autoridades locales también utilizan RAMM para gestionar el inventario y el mantenimiento de sus redes. Esto tiene la ventaja de que es posible una comparación y recopilación nacional coherente de los datos y el estado de los activos.

Para describir ubicaciones a lo largo de la carretera de Nueva Zelanda para trabajos de mantenimiento, se utiliza un sistema de estación referencial basado en la distancia. Todas las carreteras tienen un punto 'cero' designado (por ejemplo, Cabo Rēinga es el punto cero de la carretera estatal 1 en la Isla Norte de Nueva Zelanda) y cualquier punto puede describirse utilizando puntos intermedios llamados 'estaciones de referencia'.

Las condiciones de caminos pavimentados en Nueva Zelanda son expresadas en informes anuales del estado, registrando el estado de la red de carreteras del estado, con base en datos de alta velocidad (HSD). Son una herramienta útil para monitorear varias medidas de desempeño relacionadas con la condición. Proporcionan análisis de tendencias, distribuciones de percentiles para algunas medidas y comparaciones con el promedio nacional y con otras áreas, en los límites del contrato de resultado de red (NOC).

Tenga en cuenta que aunque los informes se agrupan en el nivel de Clasificación de carreteras de una red (ONRC), los umbrales de rugosidad utilizados se basan en el tráfico diario promedio (ADT) y la clasificación urbana / rural como en la gestión de evaluación y mantenimiento de carreteras (RAMM).

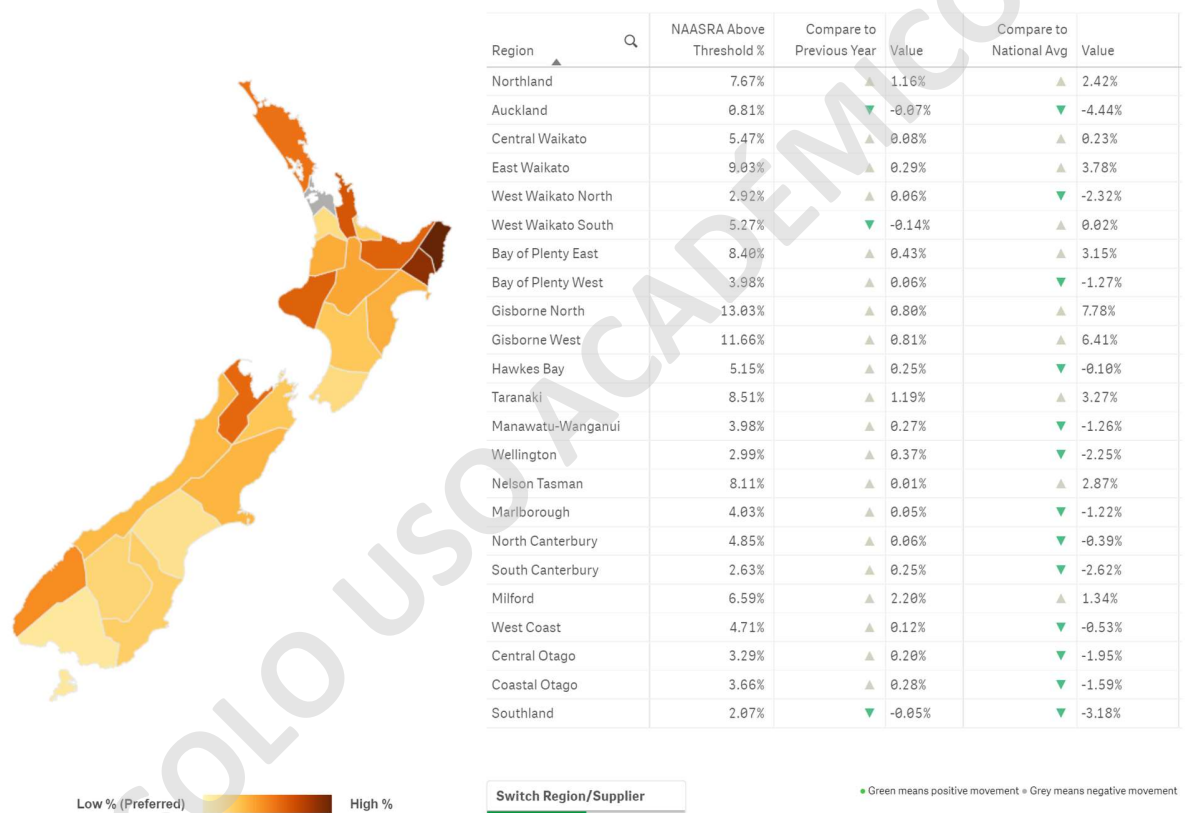


Ilustración 39, Niveles de Rugosidad (Fuente: NZTA 2020-2021).

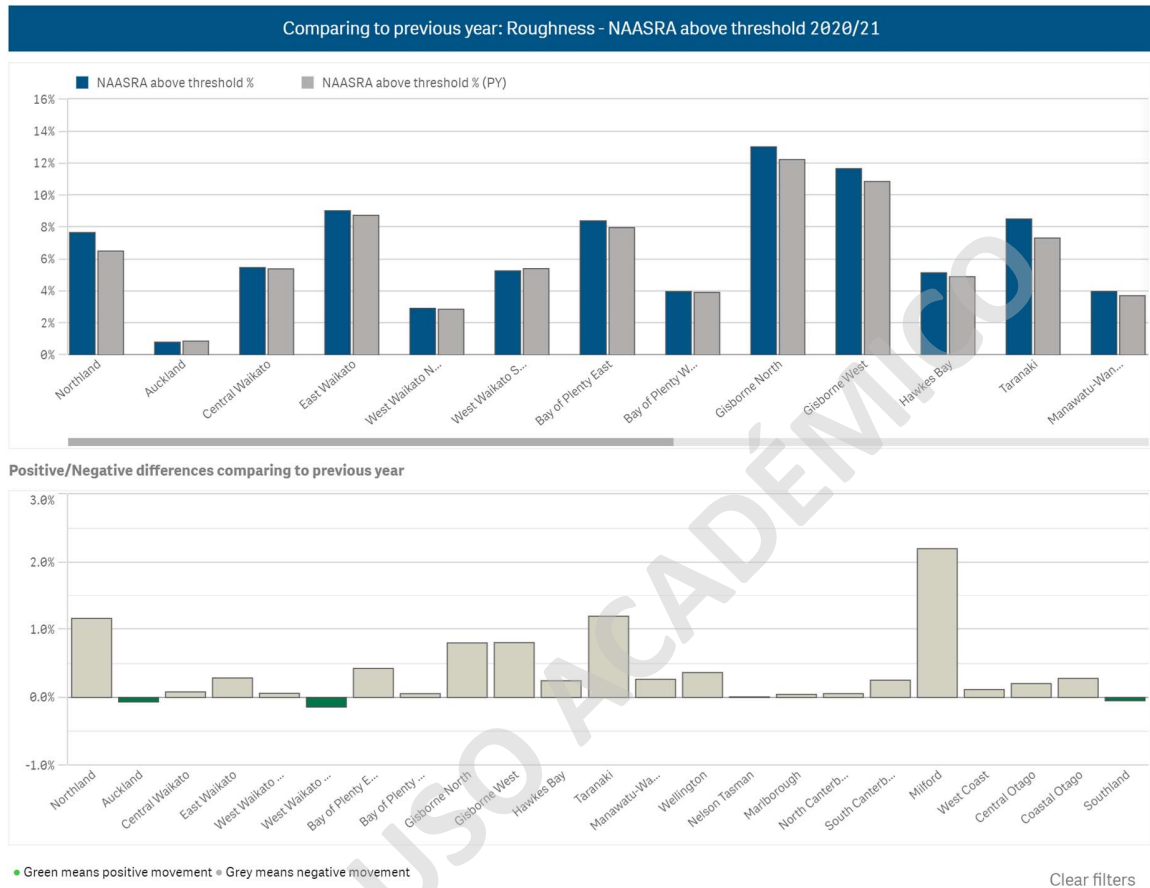


Ilustración 40, Índice de aspereza o rugosidad del pavimento (Fuente: NZTA 2020-2021).

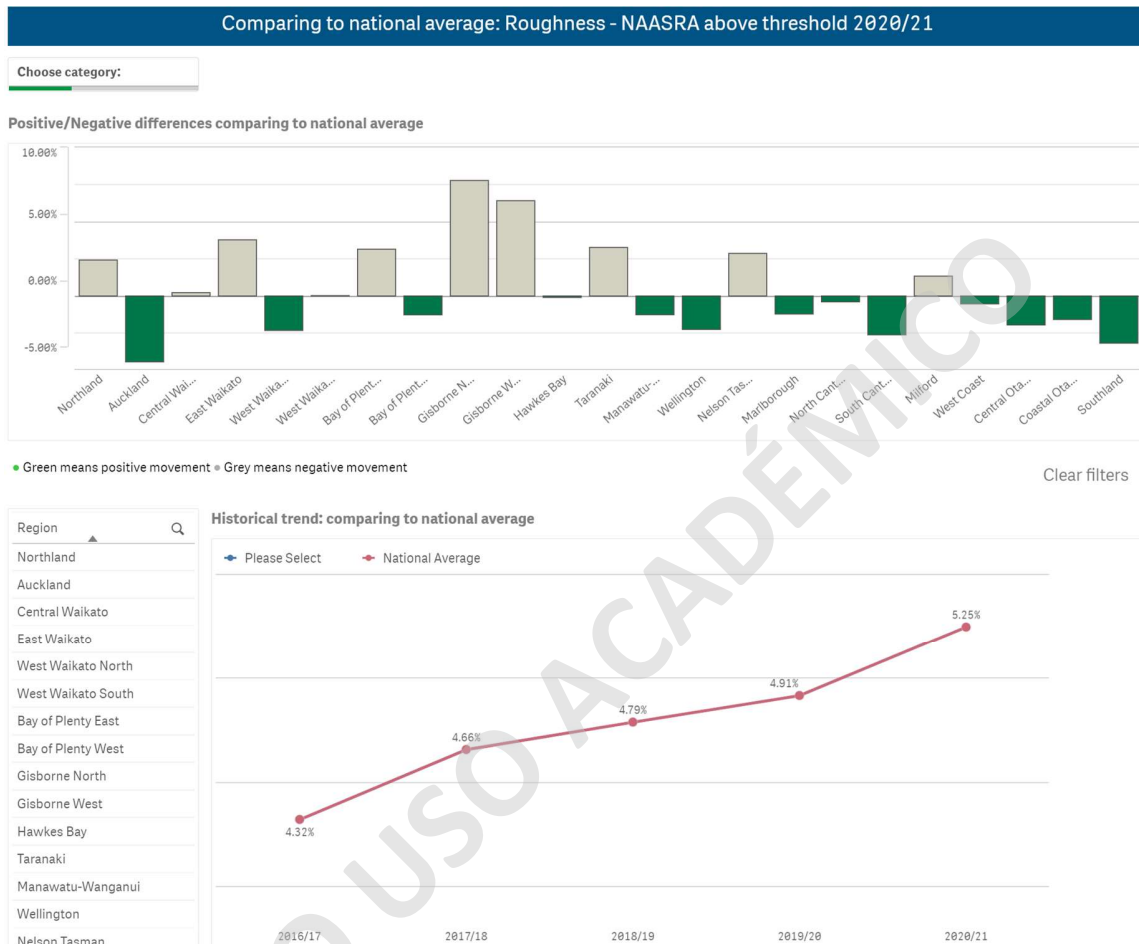


Ilustración 41, Índice de promedio nacional en aspereza o rugosidad del pavimento (Fuente: NZTA 2020-2021).

Para el mantenimiento de carreteras seguras y en buen estado, la Agencia de Transporte lleva a cabo el sellado y la reconstrucción de carreteras en las carreteras estatales durante el verano. El sellado generalmente implica esparcir virutas de piedra sobre una capa de betún rociado en caliente, y los nuevos sellos pueden tardar un tiempo en asentarse. Por otro lado, en caso que el mantenimiento vial requiera de acción urgente, se gasta alrededor de \$6 millones al año en mitigar estos riesgos, ocurren inundaciones, resbalones y choques. Cuando lo hacen, contratistas deben responder rápidamente para hacer frente a los bloqueos y actualizar la información de la carretera para los conductores. Por lo general, en términos económicos se permite \$50 millones cada año (o el 10% del presupuesto total de mantenimiento y operaciones) para responder a emergencias y restaurar el servicio para los usuarios.

Dentro de los planes de emergencia de Nueva Zelanda, proporciona puentes llamados Bailey para una variedad de eventos, incluidas las emergencias cuando los puentes existentes u otras estructuras se derrumban. Estos puentes de 'kit-set' son versátiles y relativamente rápidos de construir y desmontar.



*Ilustración 42, Puente Bailey en Nueva Zelanda.*

Nueva Zelanda implementa programas de mantenimiento de acuerdo a su diversidad climática. En verano, las temperaturas de la superficie pueden alcanzar los 60 grados centígrados, lo que requiere arena en las superficies de las carreteras que se derriten para evitar que las llantas de los vehículos recojan la superficie de la carretera. En invierno, el plan se adapta con el hielo y la nieve generalizada. Nueva Zelanda implementa una clave contra el hielo en las carreteras, es el acetato de calcio y magnesio (CMA), a veces mezclado con arena. Esta sustancia reduce la temperatura a la que se congela el agua en la superficie de la carretera. Sin embargo, es costoso, por lo que se usa donde es más efectivo, según el conocimiento local de los puntos de peligro y el mapeo térmico. Este proceso utiliza datos

de estaciones meteorológicas de informes remotos ubicadas estratégicamente para predecir en qué parte de la red es probable que ocurra la formación de hielo. La predicción se basa en el "mapa térmico" construido de la red a partir de sofisticadas técnicas de levantamiento.

También se utiliza estaciones meteorológicas de informes remotos para predecir la probabilidad de avalanchas. Nuestra ruta más peligrosa (State Highway 94 desde Te Anau hasta Milford Sound) solía estar cerrado durante muchas semanas al año debido a las duras condiciones invernales. Ahora, con un sofisticado programa de gestión de avalanchas mantiene la carretera abierta la mayor parte del tiempo. En 2008, este programa ganó un importante premio internacional por la gestión del mantenimiento.

Dentro de la implementación de recursos utilizados para el monitoreo y control de datos a programas de mantenimiento, se destaca la adquisición de vehículos SCRIM+, estos vehículos son capaces de recorrer toda la carretera de Nueva Zelanda levantando los datos técnicos necesarios para generar planes de mantenimiento oportunos y reevaluar criticidad de las carreteras. Entre octubre y marzo de cada año, cada encuesta SCRIM+ recopila información sobre:

- Resistencia al deslizamiento
- Textura
- Aspereza
- Geometría (gradiente, caída transversal y curvatura)
- Coordenadas GPS de la línea central.
- El vehículo de inspección también graba un 'video en red': lo que ve mientras conduce por la carretera.
- Además de responder a una condición inmediata, también usamos los resultados para:
- Monitorear el desempeño de la carretera
- Planificar futuros programas de trabajo
- Analizar tendencias
- Predecir cómo cambiará el estado de la carretera en el futuro.



*Ilustración 43, Vehículo de Inspección SCRIM+ de la agencia de transportes de Nueva Zelanda (Fuente: NZTA).*

Todos los datos son recopilados por SCRIM+ en una sola pasada, a una velocidad de levantamiento de hasta 80 km / h.

El Plan de gestión de activos de carreteras estatales (SHAMP) proporciona un mayor enfoque en las necesidades de Nueva Zelanda desde la red de carreteras estatales, integra un primer enfoque de usuario en las carreteras estatales y muestra cómo el mantenimiento, las operaciones y las mejoras juntas brindan servicios a los usuarios. Proporciona también, una orientación interna sobre cómo se puede desarrollar y administrar mejor la red de carreteras estatales para lograr los objetivos del gobierno y satisfacer las necesidades de los clientes, mientras se equilibran las demandas competitivas de financiamiento disponible durante el período.

El propósito clave del Plan Estatal de Carreteras es comunicar el programa de trabajo anual de carreteras estatales de la Agencia de Transporte de Nueva Zelanda y cómo encajan en el contexto establecido en el Plan de Gestión de Activos.

El borrador del Plan Estatal de Manejo de la Actividad de Carreteras (SHAMP) 2015-18 es la base para la licitación de carreteras estatales para el financiamiento futuro de mantenimiento, renovaciones, operaciones y mejoras del Fondo Nacional de Transporte Terrestre 2015-18. Este borrador de SHAMP (que sustituirá al Plan estatal de gestión de

activos de carreteras) se ha preparado para que los comités regionales de transporte formen el componente de carreteras estatales de los planes regionales de transporte terrestre (RLTP) 2015–18.

El SHAMP tiene un enfoque nacional y toma en consideración la contribución de las carreteras estatales al crecimiento económico y la seguridad, los cambios en el tráfico y el uso de la tierra, y los cambios en el medio ambiente en el que se opera. Describe las compensaciones hechas entre las diferentes prioridades de inversión, cómo se integra la gestión de la red de carreteras estatales con las redes adyacentes y cómo se gestiona la seguridad.

### **2.3. EL MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN**

El mantenimiento, de la mano con la tecnología, forma parte de la planificación y política pública. Se trata de una iniciativa europea que contempla el mantenimiento preventivo como política para mantener la red de carreteras y ferrocarriles en óptimo estado.

El mantenimiento tiene como objetivo garantizar la durabilidad del activo en el tiempo, en este caso rutas y caminos pertenecientes a una infraestructura vial. Dicha infraestructura puede presentar deterioro y desgaste a lo largo del tiempo, pudiendo en algunos casos ser prematuro al no cumplir los requisitos de los cuales fue construido, por ejemplo, rutas y caminos para vehículos livianos pueden verse afectados, acortando el ciclo de vida de dicha infraestructura por uso de vehículos pesados.

El mantenimiento y conservación vial puede dimensionarse, clasificarse y ajustarse de acuerdo a la necesidad del deterioro y/o daño de la infraestructura como activo, pudiendo ser para acciones inmediatas y de urgencia a daños estructurales en un mantenimiento correctivo. Por otro lado, para procurar mantener en un estado óptimo y fiel al cumplimiento de vida útil, se aplicará sistemas de mantenimiento programado, llamados preventivo y predictivo.

| Tipo de Mantenimiento   | Correctivo                                         | Preventivo programado                                                   | Preventivo predictivo                       |
|-------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| En función a            | $f$ (avería , falla)                               | $f$ (tiempo/uso)                                                        | $f$ (tendencias, monitoreo, análisis datos) |
| Momento de intervención | Fallas<br>Interrupciones<br>Averías<br>Emergencias | Periódico<br>Intervalos fijos<br>Momentos fijos<br>Límites establecidos | Predicción óptima                           |

Ilustración 44, Tipos de Mantenimiento.

Un indicador de mantenimiento que se puede considerar para el sector trasportes es el estado de la red vial. La vial rojo se desgasta por diversas razones (uso, tráfico, clima, tiempo, etc.) por ello, mantenimientos rutinarios y periódicos son requeridos para preservar su buen estado. Existe diferencias notorias entre tipos de mantenimiento, pudiendo afectar por su falta oportuna en términos económicos y de valorización. Como buen ejemplo, se expone el ciclo de vida de una locomotora en la siguiente imagen, donde la curva de tiempo promedio de falla tiene una curva con forma de U. Inicialmente, una máquina nueva tiene una alta probabilidad de fallar debido a problemas de instalación durante las primeras semanas de operación. Luego la probabilidad de falla se reduce a niveles muy bajos por un periodo largo hasta que se aproxime al fin de su vida útil en donde la probabilidad de falla vuelve a aumentar significativamente. De esta manera, se puede programar el mantenimiento durante una de dos etapas: i) durante la etapa de vida útil (mantenimiento preventivo) o ii) durante la etapa de desgaste (mantenimiento correctivo) (Mobley, 2002).

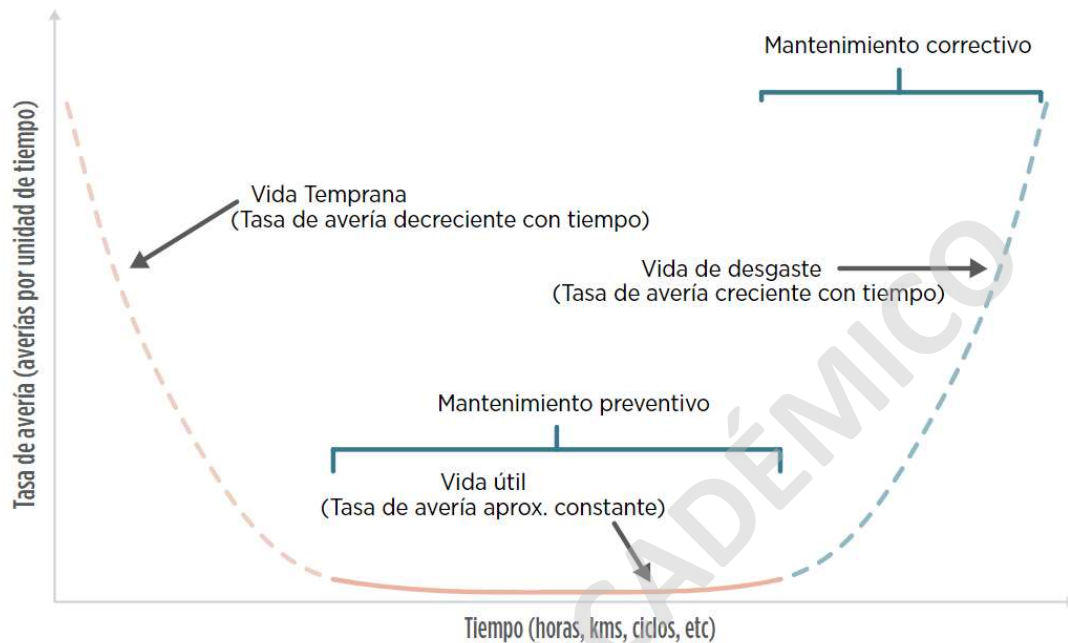


Ilustración 45, Relación Mantenimiento Correctivo/Preventivo (Fuente: Mobley, 2002).

Según la imagen anterior, entre ambos tipos de mantenimiento se muestra la interrelación entre el mantenimiento preventivo, el correctivo y las pérdidas de producción. El eje vertical representa el costo y el eje horizontal muestra el nivel de mantenimiento preventivo en porcentaje del 0 a 100. A mayor mantenimiento preventivo menor el mantenimiento correctivo y los costos de paralización. El reto consiste en encontrar el nivel óptimo.

Se pueden apreciar cuatro curvas en el gráfico: La curva rosa muestra los costos de mantenimiento preventivo. Esta curva tiene una pendiente positiva ya que a mayor mantenimiento preventivo mayor el costo asumido en este mantenimiento. La curva gris es la de costos de mantenimiento correctivo, la cual presenta una pendiente negativa, pues a mayor mantenimiento preventivo menor mantenimiento correctivo y, por ende, menor el costo en éste.

La curva azul muestra el costo de las pérdidas de producción originadas por las paradas por fallas (ingresos perdidos). Tiene una pendiente negativa pues a mayor mantenimiento preventivo, menores paradas por fallas y menor ingreso dejado de percibir. La curva celeste es la de costo total y representa la suma del costo del mantenimiento preventivo, del

mantenimiento correctivo y de los costos de paralización. Esta curva tiene una forma de U. Al lado izquierdo, la curva desciende porque a mayor mantenimiento preventivo se reducen los costos de mantenimiento correctivo y las paradas. En un escenario como el A, el costo total refleja la suma de los puntos 1, 2 y 3. Sin embargo mientras se va incrementando el costo total, los retornos producidos son cada vez menores hasta que la curva total toca su mínimo. En un escenario como el B, el costo total refleja la suma de los puntos 4, 5 y 6. Este es el punto óptimo X de mantenimiento preventivo justo donde los costos de éste siguen siendo menores a los gastos de mantenimiento correctivo más las paradas. Luego de ese punto, la curva de costo total asciende ya que el costo del mantenimiento preventivo supera los costos del mantenimiento correctivo más las paradas, como en un escenario como el C donde el costo total refleja la suma de los puntos 7, 8 y 9.

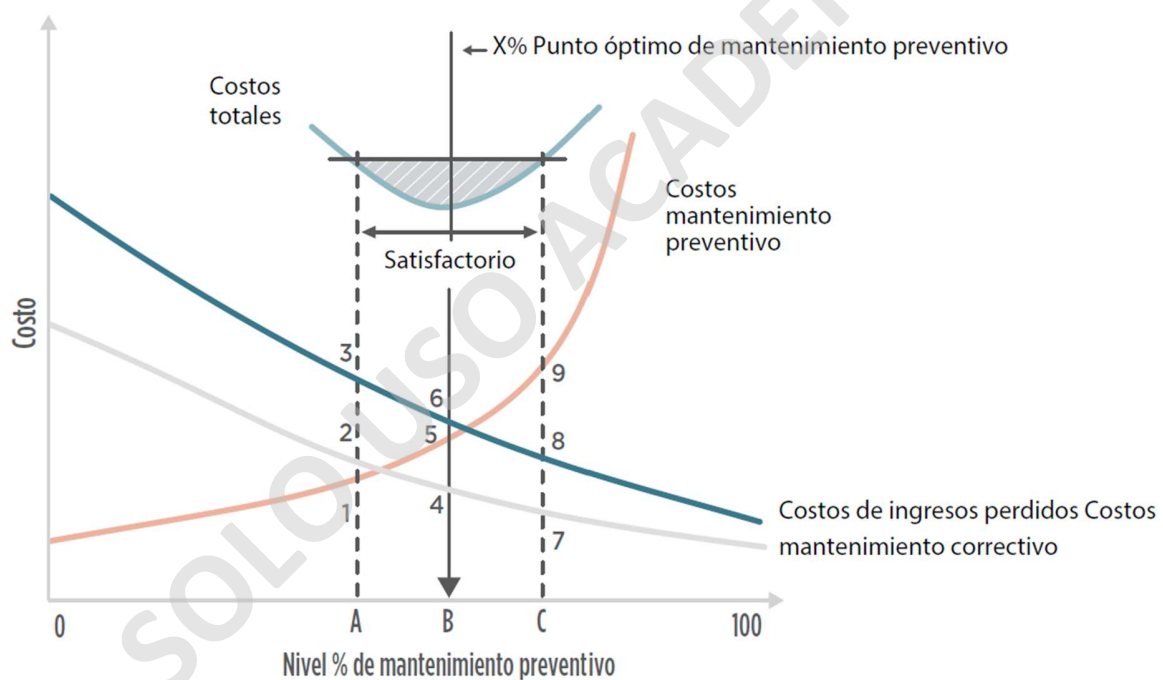
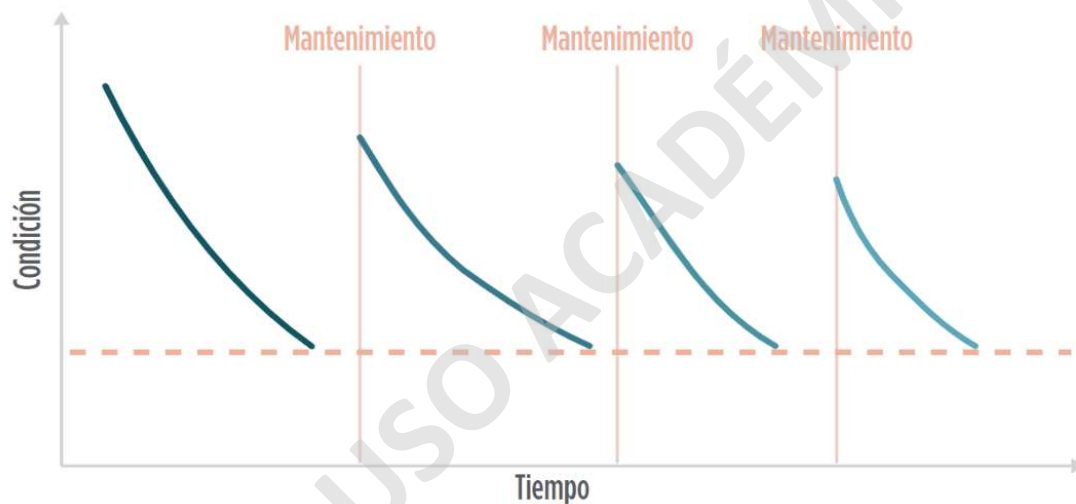


Ilustración 46, Relación costo/Nvl Mantenimiento Preventivo. (Fuente: Mobley, 2002).

### 2.3.1. CORRECTIVO

Este mantenimiento corrige las fallas o averías del activo una vez que son observadas. Así, normalmente se realiza después de aparecer la avería o falla, por lo que permite (en lugar de prevenir) el desgaste del activo. En este caso no se requiere mucha información del uso o comportamiento del activo, pues el mantenimiento solo se realiza post falla o avería.



*Ilustración 47, Gráfico Mantenimiento Correctivo.*

Un análisis más profundo del mantenimiento correctivo podría cuestionar si efectivamente se trata de un mantenimiento, o por el contrario, correspondería más a un enfoque de anti-mantenimiento, pues el funcionamiento adecuado de la infraestructura se ve interrumpido y las acciones tomadas son post avería. Por este motivo, los costos del mantenimiento correctivo son bastante elevados, pues involucra altos costos de repuestos a último momento o requiera mantener un inventario de estos repuestos, se presentan costos laborales de sobretiempo, se tienen horas muertas del activo y se le mantiene indisponible para ser productivo (Mobley, 2002). Esto sumado al costo de la depreciación irrecuperable de la vida útil del activo ya que muchas veces el mantenimiento muy tardío ya no puede revertir los daños.

### 2.3.2. PREVENTIVO

Este mantenimiento se realiza con una programada antelación a una avería con el objetivo de mantener un nivel de servicio determinado y extender la vida útil del activo. En especial porque la depreciación de los activos de infraestructura no es lineal, motivo por el cual el mantenimiento muy tardío ya no puede revertir los daños en muchos casos. En lugar de esperar a que ocurra una falla o que se presente un síntoma, se programan intervenciones anticipadas de manera sistemática. Este tipo de mantenimiento puede darse cuenta de dos maneras: a) se intervenciones fijas ob) se interviene conforme se vea la evolución del activo y sus indicadores.

En el primer caso, se trata de un mantenimiento preventivo programado. Normalmente se localiza intervalos de tiempo 5 o también de uso (especialmente para aquellos activos que tienen cambios en la carga de trabajo y un intervalo de tiempo se hace más difícil) en base a la experiencia, la data histórica o los análisis científicos. La figura 2 muestra un umbral mínimo de condición del activo y en un momento determinado (o nivel de uso) se realiza el mantenimiento para evitar que decaiga hasta dicho umbral. Este tipo de mantenimiento tiene una gran ventaja en cuanto a que se puede planear, programar y presupuestar desde antes. Asimismo, al ser preventivo alarga la vida útil del activo.

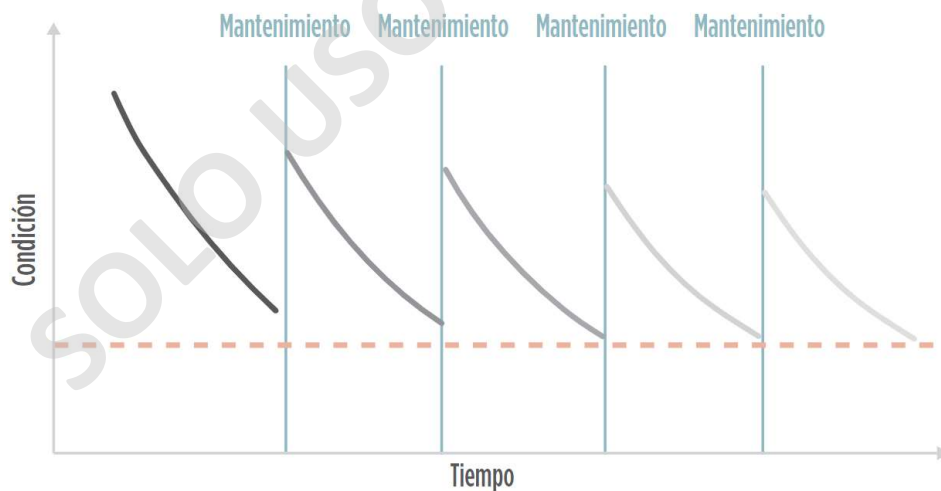


Ilustración 48, Gráfico Mantenimiento Preventivo.

### 2.3.3. PREDICTIVO

El segundo caso se trata de un mantenimiento preventivo predictivo. Este mantenimiento es aquel que se realiza como resultado de predicciones del estado y operatividad del equipo y, por ende, del momento en el que el equipo quedará fuera de servicio. Se realiza un monitoreo cercano de su funcionamiento determinando su evolución, y por lo tanto, el momento óptimo en el que las reparaciones deben efectuarse y así minimizar el costo de fallas no programadas. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. A medida que la tecnología avanza, el concepto de mantenimiento se vuelve flexible y adopta diferentes enfoques y herramientas y éste es el caso. El mantenimiento predictivo es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de conocimientos matemáticos, físicos y / o técnicos. La figura 3 muestra cómo se da el mantenimiento predictivo. La línea azul representa la condición esperada del activo mientras que la línea rosa la condición real. Se establece un límite para el estado del activo y de alcanzar la condición esperada este límite se realiza el mantenimiento. Podría ser que la condición real sea peor que la predicha, sin embargo, se espera que los modelos se asemejen mucho a la realidad y que, por ende, se estime el momento perfecto para el mantenimiento.

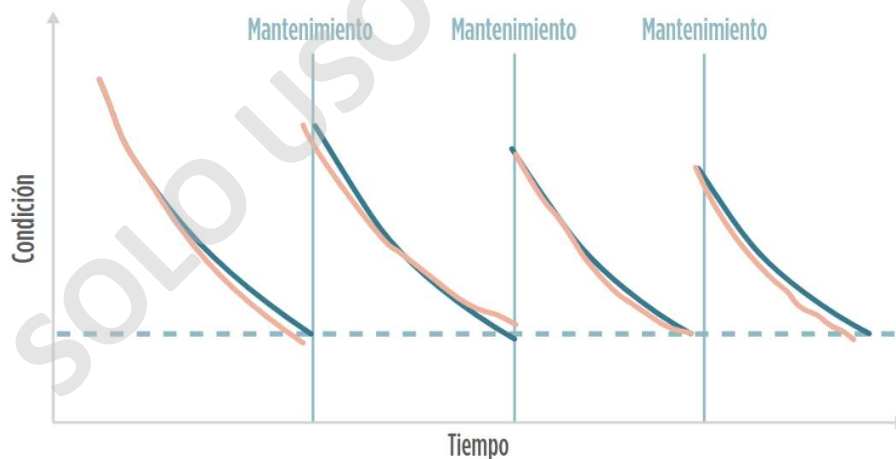


Ilustración 49, Gráfico Mantenimiento Predictivo.

## 2.4. WDM EN LA INNOVACIÓN

WDM es una empresa británica especializada en el diseño de equipos para el control del estado de carreteras y para la evaluación de las necesidades de mantenimiento vial. Hoy la empresa es ampliamente reconocida como líder mundial en la inspección del estado de las carreteras y la mejora de la seguridad vial.

El objetivo de WDM inicia en el apoyo en materia de ingeniería para la industria y el gobierno. Expandiéndose rápidamente en los años 50 y 60, mediante el diseño, fabricación e instalación de física de alta energía, alto vacío, manipulación mecánica y remota, túnel de viento hipersónico y equipos de purificación de gas.

La innovación en materia de infraestructura vial llegó con la fabricación y desarrollo innovador de la máquina de investigación rutinaria del coeficiente de fuerza lateral (SCRIM®, por sus siglas en inglés), fomentando con esto un crucial y exponencial desarrollo. Desde 1972, su equipo de investigación y desarrollo se ha servido de su experiencia sin igual y conocimientos técnicos para aumentar la gama de equipos de tecnología avanzada, software y servicios de inspección de carretera.



*Ilustración 50, Primer Vehículo SCRIM, 1967 (Fuente WDM-INT).*

La década de los años 70 observó el crecimiento del Departamento de Servicios de Inspección de carreteras, que utilizaba el equipo de la empresa para ofrecer evaluaciones del estado de carreteras de alta calidad. Se desarrolló una experiencia adicional en lo referente al

inventario manual, el estado de las carreteras y las inspecciones de seguridad vial mediante el uso de ordenadores portátiles. El Departamento de Servicios Informáticos se ha ampliado para incluir el suministro de sistemas informatizados e integrales para el mantenimiento de carreteras y los servicios de gestión de activos.

W.D.M. realiza operaciones verdaderamente a nivel mundial, pues suministra servicios de inspección de carreteras en toda Europa, así como en el Lejano Oriente y Australasia. Su equipo se ha vendido en 18 países, entre ellos China y Estados Unidos.

Los encargados de los proyectos de inspección del estado de las carreteras de la empresa, a menudo respaldados por los servicios de consultoría internos, trabajan con los clientes para desarrollar políticas y sistemas de gestión de carreteras con el fin de crear procedimientos para el mantenimiento de carreteras más rentables y para la seguridad vial.

WDM utiliza sus propios vehículos para las inspecciones de carretera en el extranjero y, a menudo, diseña y construye vehículos especialmente adaptados con objeto de proporcionar las mediciones especializadas necesarias en la configuración más rentable. Las adaptaciones incluyen variaciones en la carga del vehículo para que este cumpla con las normativas locales, manteniendo la máxima eficiencia en la operación de inspección.

Un ejemplo es el desarrollo de un vehículo para su uso en la inspección del estado de la carretera en Nueva Zelanda y Australia. Combina la prueba SCRIM y las mediciones de alta velocidad de la irregularidad, profundidad de baches, macrotextura y alineación, con un vídeo con derecho de vía en un solo vehículo. El vehículo está equipado con un eje portador trasero para permitir que se pueda instalar un tanque de agua más grande para las largas distancias entre los puntos de agua de ambos países, sin exceder los límites de carga del eje trasero.

En Nueva Zelanda y Tasmania, WDM ha asumido un papel principal en el trabajo con el cliente para evaluar la relación entre la resistencia al derrape y la tasa de accidentes por carretera húmeda para las condiciones locales. El resultado de este trabajo ha sido la creación de políticas de derrape, que mejoran la seguridad en toda su red de carreteras. En Nueva Zelanda, según el análisis del cliente, la introducción de las políticas ha dado como resultado una reducción de cerca del 40 % de la tasa de accidentes por carretera húmeda.

Otros ejemplos del trabajo de la empresa en el desarrollo de herramientas para las condiciones locales incluyen el uso de la resistencia a la textura y derrape para proporcionar un indicador del estado de las carreteras donde se ha producido un lavado. Esto permite que se dirijan métodos de agua a presión y otras técnicas apropiadas para el mantenimiento de

carreteras, y se utilicen modelos financieros y de estado para evaluar las estrategias a largo plazo.

Los contratos de larga duración han permitido también que WDM colabore estrechamente con los clientes, proporcionando a WDM la suficiente estabilidad como para tener en cuenta la dotación de recursos a largo plazo y la oportunidad de innovar, tanto en lo relacionado con las cambiantes necesidades de negocio del cliente como en el conocimiento de los desarrollos técnicos.

NZTA y WDM han colaborado estrechamente a lo largo de los años en el perfeccionamiento y desarrollo de un sistema pragmático pero preciso que permita incluir la influencia del clima y la estación en las mediciones de la resistencia al derrape. El cliente ha identificado el proceso de corrección como uno de alto riesgo y, en el enfoque de cooperación, WDM ha compartido libremente su experiencia internacional en el desarrollo de los procedimientos actuales.

Los contratos han aportado un beneficio para el medio ambiente que podría no haberse alcanzado de otra manera. Tres ejemplos significativos son el uso de un vehículo de prueba en lugar de dos vehículos independientes en Nueva Zelanda y Australia, la introducción de un nuevo vehículo con los más altos niveles de control de emisiones y la introducción de un dispositivo de control del agua para las pruebas de derrape.

WDM también ha exportado su tecnología mundial al construir máquinas SCRIM para su uso en Argentina, Bélgica, Canadá, Chile, China, Alemania, Italia, Eslovenia, Sudáfrica, España y los Estados Unidos.

#### **2.4.1. INSPECCIONES SCRIM**

Con el fin de ayudar a reducir las tasas de accidente mediante la identificación del riesgo de derrape en carreteras húmedas.

Desde mediados de los años 70, las autoridades viarias han utilizado la máquina de investigación rutinaria del coeficiente de fuerza lateral (SCRIM) para indicar las longitudes de carretera donde la resistencia al derrape está por debajo de los niveles de investigación.

Las normas se basan en más de 30 años de investigación, y se ha demostrado que guardan estrecha correlación con el riesgo excesivo de accidentes de derrape en carreteras húmedas. Unos estudios recientes realizados en Inglaterra, Escocia, Gales y Nueva Zelanda han confirmado que las normas actuales, publicadas en 2004, son altamente rentables, al igual que son adecuadas para el flujo de tráfico actual, los estados de las carreteras y los materiales. Los estudios realizados tanto en el Reino Unido como en Nueva Zelanda muestran que la introducción de una política sobre el derrape en carretera húmeda disminuirá los accidentes entre un 30 y 40 % y se situará por encima de los resultados de otros programas de mejora de seguridad.

W.D.M introduce las inspecciones de la máquina SCRIM periódicas, y la creación de una política sobre derrape basada en las normas actuales. Estas inspecciones ofrecen una opción rentable y efectiva para las autoridades locales a la hora de disminuir la tasa de accidentes de carretera. La máquina SCRIM se puede utilizar en todas las carreteras asfaltadas donde el volumen de tráfico justifique su uso y en el que el equipo, que se transporta en camión, puede viajar de forma segura a 50 km/h.

Los resultados de las inspecciones de SCRIM identifican aquellos lugares donde la resistencia al derrape está por debajo de los niveles de investigación y que se relacionan con el riesgo de accidente. El concepto que sustenta las normas es que debe haber un riesgo uniforme de accidente por derrape en carretera húmeda en toda la red.

Los conglomerados con menor resistencia al derrape son necesarios en autovías lejos de las zonas de cruce, mientras que los que tienen mayor resistencia son necesarios en los accesos a rotondas y pasos de peatones. Este enfoque proporciona una política sostenible al dirigir los mejores conglomerados a las áreas de mayor riesgo.

La gestión de la seguridad de una red y el control de los accidentes de derrape en carretera húmeda solo pueden lograrse si se conoce la resistencia al derrape de la red y estas medidas pueden relacionarse con los estándares nacionales.

Al conocer la resistencia al derrape, se puede llevar a cabo una investigación de los sitios deficientes para ayudar a reducir el número de accidentes, proporcionar una mejora continua de la tasa de accidentes y obtener los mejores resultados.



*Ilustración 51, Vehículo SCRIM actual (Fuente: WDM-INT).*

Las Mediciones de SCRIM+ se detallan en lo siguiente:

- Perfil longitudinal (rugosidad)

El perfil longitudinal se mide mediante dos láseres, uno en cada camino de rueda, junto con acelerómetros instalados en el haz transversal. Los efectos de la suspensión del vehículo se definen mediante los acelerómetros y se deducen de la salida del láser para proporcionar el perfil de la carretera. El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) se calcula a partir del perfil longitudinal utilizando el modelo Quarter Car del Banco Mundial y se informa cada 20 metros.

- Textura

La textura se mide con tres láseres de 32 kHz, uno en las trayectorias de las ruedas izquierda y derecha y otro entre las trayectorias de las ruedas. Los acelerómetros eliminan la mayor parte del movimiento del vehículo en relación con la carretera para proporcionar un perfil inercial estable a partir del cual se calcula el MPD (profundidad media del perfil). El MPD se mide y calcula de acuerdo con ISO 13473-1: 1997.

- Geometría

El sistema de medición de geometría SCRIM+ utiliza inclinómetros y giroscopios para detectar la actitud del vehículo a medida que avanza por la carretera. Los inclinómetros miden la inclinación hacia adelante o hacia atrás del vehículo para la pendiente y la inclinación de lado a lado de los ejes para la caída transversal. Los giroscopios se utilizan para detectar el movimiento del vehículo SCRIM+ alrededor de las esquinas para calcular la curvatura horizontal y vertical. Los datos de geometría se suavizan con un promedio móvil de 30 metros y se informan cada 10 metros.

- GPS

El SCRIM+ está equipado con equipo GPS de Trimble que toma muestras del satélite Omni-Star para registrar las coordenadas GPS diferenciales de la línea central. Los sensores de inclinación para caída cruzada y gradiente, junto con un giroscopio, brindan detalles de alineación cuando están fuera de la vista de los satélites.

- SCRIM

Una rueda de prueba que gira libremente se aplica a la superficie de la carretera bajo una carga conocida. Un flujo de agua controlado moja la superficie de la carretera inmediatamente delante de la rueda, de modo que cuando el vehículo se mueve hacia adelante, la rueda de prueba se desliza hacia adelante sobre una superficie de carretera mojada. La fuerza generada por la resistencia al deslizamiento indica la resistencia al deslizamiento húmedo de la superficie de la carretera. Los resultados de esta prueba se promedian para determinar la resistencia al deslizamiento de secciones continuas de 10 metros de la carretera.

#### **2.4.2. LAS INSPECCIONES CON RAV/SCANNER**

Los vehículos para la evaluación de carreteras (Road Assessment Vehicles - RAV) cuentan con un sistema de alta velocidad de adquisición de datos así como del registro del estado de la firmeza de la carretera, lo cual incluye el reconocimiento automático de grietas en el firme. Estos datos proporcionan indicadores de desempeño que hacen que se le de prioridad a trabajos de mantenimiento y se calculen los indicadores nacionales.

W.D.M. ha llevado a cabo la realización de inspecciones para la adquisición de datos a alta velocidad desde finales de 1980, y ha utilizado los RAV, que incluyen la medición automática del agrietamiento en carretera, desde el año 2000. Durante ese período, la empresa ha desarrollado una experiencia y habilidad experta para llevar a cabo las inspecciones rápidamente, pero con seguridad, y para procesar y proporcionar datos con precisión en los plazos acordados.

Estos vehículos son los principales proveedores de datos topográficos mediante SCANNER en todo el Reino Unido. Los vehículos están diseñados para inspeccionar a velocidades de hasta 100 km/h a la misma vez que miden y registran:

- la irregularidad en la trayectoria de la rueda izquierda
- la textura en el centro del carril de la trayectoria de la rueda izquierda y de la rueda derecha
- las profundidades de los baches individuales de trayectorias de ruedas medidas con una regla de 2 metros con 20 sensores en un ancho de 3,2 metros
- Los defectos del perfil transversal al borde
- Grabación en vídeo de la visión frontal que proporciona imágenes en intervalos de 5 metros
- El gradiente longitudinal, radio horizontal de curvatura, pendiente transversal del carril
- Las coordenadas GPS diferencialmente corregidas a OSGRS.

La suma del reconocimiento automático de grietas en las carreteras permite que los RAV reemplacen completamente las inspecciones visuales manuales con mediciones objetivas y mayor número de repeticiones, obtenidos con una mayor seguridad en un vehículo que viaja a velocidades normales de la carretera. Los defectos que se miden y registran en el camino pavimentado y en el firme de carreteras definen los últimos indicadores nacionales del Reino Unido en materia de carreteras principales y clasificadas. Cuando se introducen en un PMS, estos se pueden utilizar para definir los esquemas de mantenimiento y situar el trabajo en orden de prioridad.

Las mediciones de la alineación, junto con la grabación de vídeo, proporcionan una forma ideal de definir las categorías de sitios para su uso en inspecciones de resistencia de derrape.

En la actualidad, se han añadido dos nuevas medidas identificadas a partir de la inspección con SCANNER en el Reino Unido al resultado de los RAV. Estas miden el deterioro de los bordes y la rugosidad transversal, con las que se espera que se proporcionen más indicadores de las condiciones en las carreteras estrechas, especialmente de categoría inferior, donde los surcos convencionales no se desarrollan, pero el firme de la carretera se deforma.

La continua mejora y optimización de la flota de inspección de WDM es una parte integral del proceso de gestión de calidad de WDM.



*Ilustración 52, Vehículo de inspección RAV.*

## 2.5. CONTRATOS AL MANTENIMIENTO

En periodos desde 1990, la gestión de contratos de mantenimiento en infraestructura vial pasó de contratos de suministro hacia contratos basados en servicios y suministro. Este tipo de contratos inició en Argentina, luego se extendió a Uruguay, Chile, Colombia y Brasil. Dado los resultados efectivos en términos de mantenimiento vial, tanto por la seguridad en estándares de calidad exigidos y entregados, como la garantía de mantener un ciclo de vida según lo acordado. Se sumaron a este sistema países como Australia, Estados Unidos, Nueva Zelanda, España e India.

Los contratos de mantenimiento son elaborados posterior al estudio y especificaciones técnicas estandarizadas de una región o país, estos detalles especifican los niveles de servicio que debe constituir la infraestructura vial. Incluyendo en ello el servicio al usuario en la carretera y medidas de confort, así también la durabilidad a largo plazo del activo como infraestructura vial con pagos de suma global. Al tratarse de un contrato de gestión, este tiene parámetros designados para pagos, estos no se realizan por el volumen de obras si no por el cumplimiento del estado predeterminado de los caminos. Las normas son sobre la condición física de los caminos dejando flexibilidad para que la empresa contratada determine la mejor manera de alcanzar los niveles predeterminados y cumplimiento a especificaciones técnicas y estándares regionales.

Las responsabilidades y cumplimientos se asumen y dan por hecho tanto por la eficiencia, como por la eficacia de las intervenciones. De darse una aplicación correcta, estos contratos motivan la mejora continua y la innovación por parte del contratista para reducir los costos de alcanzar los indicadores de servicio establecidos. Además, se da una mayor transparencia y rentabilidad, así como todos los beneficios de mejorar las condiciones de la red para los usuarios. No obstante, las evaluaciones de estos contratos son escasas y perjudican la veracidad del cumplimiento al mantenimiento. Según antecedentes publicado en el mantenimiento como herramienta para conseguir infraestructura de alta calidad y durabilidad” expuesto por Pastor Cinthya el año 2019, encontraron que en Uruguay la calidad del pavimento es de mayor calidad en segmentos administrados por este tipo de contratos versus caminos mantenidos bajo contratos de compras públicas tradicionales.

### 3. CAPÍTULO, HIPÓTESIS

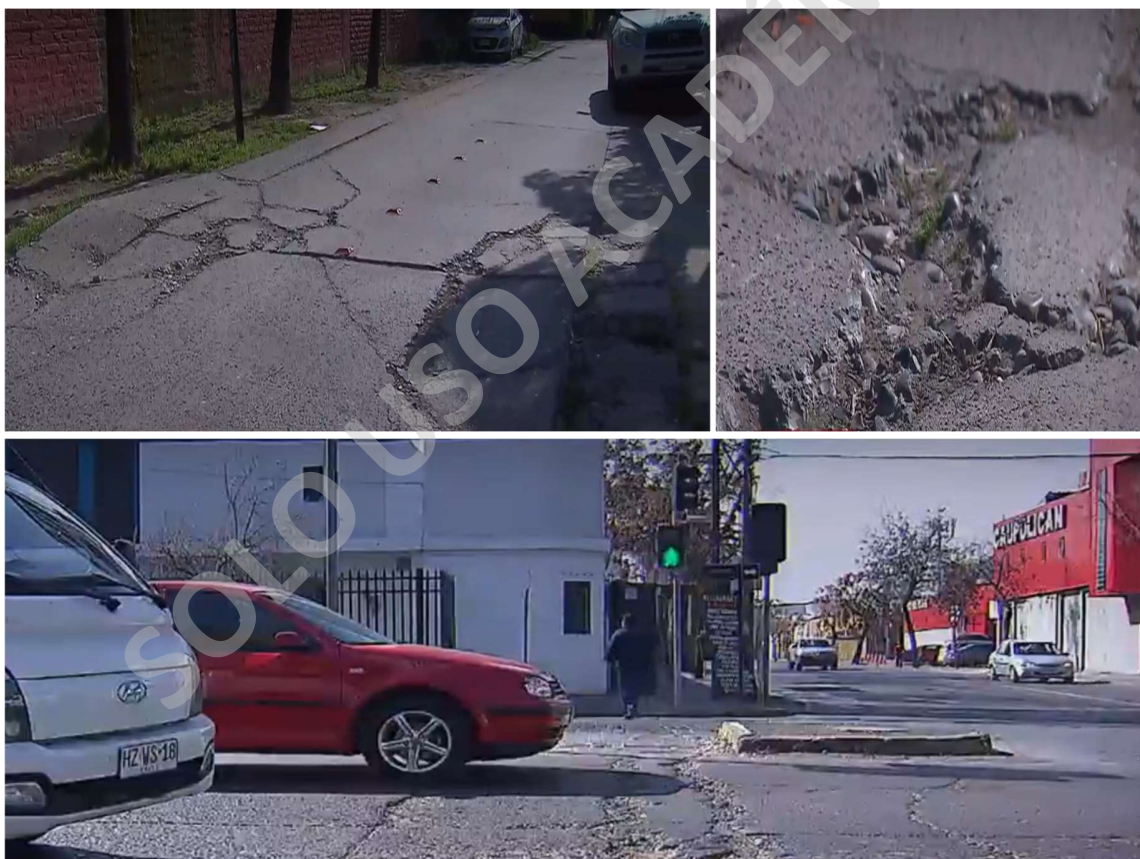
El mantenimiento y conservación vial ha sido considerado exponencialmente al paso de los años, pues uno de los mayores referentes patrimoniales de una nación corresponde una buena conectividad, transporte e infraestructura vial. Chile pese a poseer una extensa cobertura geográfica, su patrimonio en términos de infraestructura vial es bajo, considerando que de un 100% de los caminos casi el 25% de ello es pavimentado. Además, el impedimento de poder avanzar en los próximos años a superar dicho 25%, es obstaculizado por los malos resultados de mantenimiento y conservación vial, promoviéndose una serie de dudas respecto a si realmente estamos cumpliendo técnicamente, si tenemos problemas de calidad en el desarrollo de trabajos de mantenimiento y conservación, si existen problemas administrativos que gatillan una serie de factores económicos, logísticos, de recursos, etc. No obstante, también existe que las posibilidades sean mezcladas como complementadas negativamente en su totalidad.

El patrimonio nacional en caminos pavimentados de acuerdo a manual de carreteras especifica que las rutas vehiculares se construyen pensando en un ciclo de vida de 20 años, posterior a ello, se debe aplicar la debida restauración, reparación y/o reconstrucción. Sin embargo, en Chile contamos con trabajos reconstructivos de manera reiterada y en periodo menores a 10 años, es decir, actualmente el ciclo de vida de mucho de los caminos pavimentados presenta deterioro al cabo del 50% de su ciclo de vida útil, los datos respaldados en el marco teórico muestran casi un 40% de deterioro desde estados regulares a muy malos. Además, se procura que por sistemas administrativos estas acciones mantengan y mejoren de manera activa los caminos de acuerdo a las especificaciones técnicas estipuladas en base de licitación en momentos de su construcción. Así también, los contratos por empresas contratistas deben entregar de manera “estricta” un programa de conservación asociado a mediciones de niveles de deterioro y operaciones de conservación. ¿Es esto real?, ¿a quienes se entrega este programa?, ¿Quién es responsable de aplicar dicho programa?.



*Ilustración 53, Deterioro Calzada Vicuña Mackenna c/ Vespucio Sur (Evidencia Fotográfica Propia).*

Como bien sabemos en el presente documento, logramos recopilar antecedentes expuestos por las principales entidades responsables de infraestructura vial en el país, donde la existencia de metodologías como el ICP. Los datos son medidos anualmente por laboratorio nacional de vialidad o a través de contratación de servicios. Valores registrados como el ICP e IRI, son medidos a lo largo de dos años para la evaluación del estado general de todos los caminos pavimentados. ¿Es esto real?, ¿Dónde se exponen los datos cada dos años?, ¿Qué ente, equipo y/o maquinaria utilizamos para levantar estos valores?. De cumplirse objetivamente las preguntas antes señaladas, entonces podemos decir que a pesar de los datos y registros levantados en caminos a lo largo de territorio nacional no cumple políticas establecidas como 20 años de ciclo de vida útil del pavimento, ni tampoco procurar mantener y mejorar las condiciones técnicas del pavimento inicialmente.



*Ilustración 54, Evidencia Fotográfica Estado de Calzadas en Pasaje y Avenida, Santiago Centro (Fuente: Reportaje Nacional TVN "Hoyos en Santiago").*

Respecto a lo anterior, se ha consultado abiertamente a personas del rubro de la ingeniería civil, mecánica, CEO, constructores e inspectores, todo bajo plataforma de redes sociales comerciales y laborales “LinKedin”. Dicha consulta fue complementada con una breve reseña informativa nacional respecto a las condiciones de caminos pavimentados, respaldada en los siguientes recortes de imagen.



**Francisco Javier Medina Alvarez**

Consultor Independiente

3 días •

Como información, pese al desarrollo de obras viales, Chile cuenta en promedio del 25% del patrimonio de red vial pavimentada. Sin embargo, este 25% tiende a estancarse en su avance cuando se busca el mantener y/o conservar el patrimonio actual. En vista de ello el mantenimiento efectuado en calles, pasajes y calzadas en general, marca una respuesta negativa en plazos de ejecución, costos, deterioro y reducción de la vida útil del pavimento, entre otros.

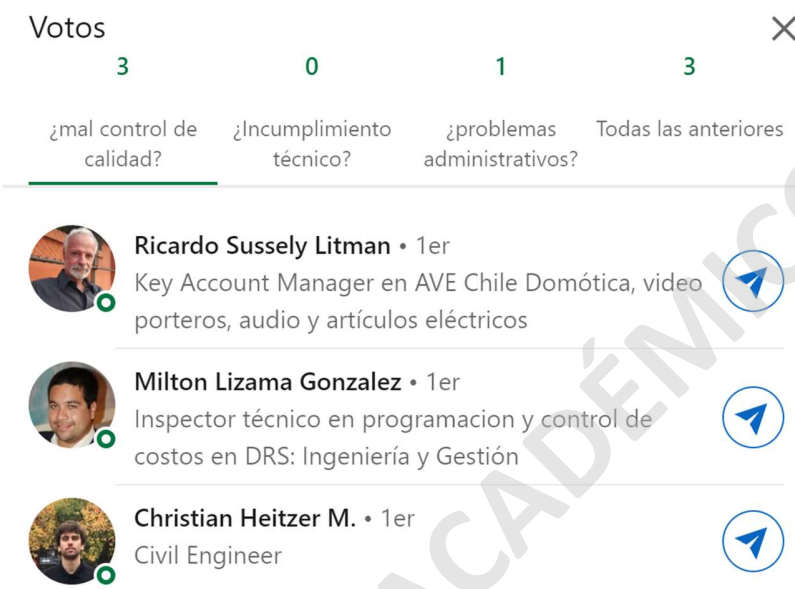
[#chile](#) [#obras](#) [#obrasciviles](#) [#constructores](#) [#constructoras](#) [#constructor](#)  
[#ingenierosciviles](#) [#constructora](#)

**¿Cuál crees tú que son los factores de su baja durabilidad?**

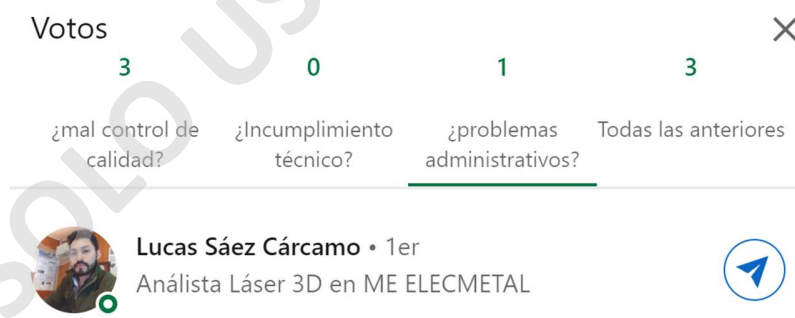
Puedes ver los votos de los miembros. [Más información](#)

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| ¿mal control de calidad?    | 43% |
| ¿Incumplimiento técnico?    | 0%  |
| ¿problemas administrativos? | 14% |
| Todas las anteriores        | 43% |

*Ilustración 55, Encuesta realizada en plataforma LinkedIn.*



*Ilustración 56, Votación a favor de un mal control de calidad.*



*Ilustración 57, Votación a favor de problemas administrativos.*



*Ilustración 58, Votación a favor de todos los factores expuestos en encuesta.*

Claramente existe noción y conocimiento del mal mantenimiento expuesto en caminos pavimentados. Por otro lado, se aborda con mayor pronunciación un mal control de calidad, cuestionando la participación de estos durante el desarrollo y termino de obras.

### **3.1. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS**

#### **3.1.1. Cumplimiento al Primer Objetivo**

Chile debe ser capaz de llegar a un análisis colectivo de expertos multidisciplinarios en materias sociales, de tránsito, ingeniería vial, ciencias, economía, arquitectura y urbanismo, donde un mayor enfoque en las necesidades territoriales y de tránsito en Chile, pueda generar en la red de caminos pavimentados el mantenimiento, las operaciones y las mejoras juntas, el servicio optimo a los usuarios. Así también, proporcionar orientación interna sobre cómo se puede desarrollar y administrar mejor la red de caminos pavimentados

para lograr los objetivos del gobierno y satisfacer las necesidades de los usuarios, mientras se equilibran las demandas competitivas de financiamiento disponible durante el período.

Las autopistas deben ser de uso exclusivo para vehículos livianos, evitando la participación de camiones de alto tonelaje. En vista de la carencia de rutas, es preciso entonces designar horarios de bajo tránsito vehicular para el recorrido de estos. Además, se debe considerar autopistas y calles pensando en el tránsito que hoy en día no está segregado.

El uso de caminos pavimentados debe estar regulado de acuerdo al levantamiento de datos de tránsito.

### **3.1.2. Cumplimiento al Segundo Objetivo**

Es preciso incorporar sistema de control y seguimiento al estado de infraestructura vial más eficaces, con capacidad de entregar datos mediante una recopilación de antecedentes automatizado, garantizando mediante soporte de software avanzados la modificación a los programas de mantenimiento de acuerdo a los requerimientos, criticidad y prioridades.

La incorporación de vehículos de inspección de la empresa WDM al sistema estatal como recurso de inspección, responde a las necesidades y comentarios antes mencionado, pudiendo también generar un avance y análisis en tiempo casi real del estado de caminos pavimentados en Chile.



*Ilustración 59, Flota de vehículos de inspección de carreteras SCRIM® de W.D.M. (Fuente: WDM-INT).*

La integración de estos vehículos reduciría enormemente el periodo de dos años propuesto por el departamento de vialidad en Chile, pues este propone entregar datos mediante a levantamiento visual a criterio con algunos ensayos a grandes distancias, para luego ser pasado a sistemas de fórmulas algebraicas que entregan rangos de estado del cual evaluar y ponderar en escalas de muy bueno a muy malo. Sin embargo, el factor inicialmente visual, es un dato a modo de criterio, del cual no es exacto ni responde a las necesidades técnicas que pudiese necesitar el camino pavimentado en materia de mantenimiento.

La entrega de datos técnicos en un menor periodo puede alcanzar a evadir un deterioro extenso de manera oportuna. Estos datos pueden ser utilizados también para evaluar los métodos constructivos en la cobertura de distintas zonas climáticas emplazadas en territorio nacional, mejorando las condiciones de confort para el usuario y una mejor conservación al patrimonio de infraestructura vial.

### **3.1.3. Cumplimiento al Tercer Objetivo**

Se requiere de un mayor protagonismo y recursos específicos destinados en materia de infraestructura vial, subcategorizando hacia fines de mantenimiento y conservación. Es importante generar alianzas y fortalecerse en materia de mantenimiento vial, pues es gran parte del patrimonio reflejado al desarrollo socioeconómico del país.

La red de vialidad debe asumir un protagonismo aún mayor, debiendo medirse en su respuesta al mantenimiento mediante objetivos y resultados. Dicho lo anterior, es necesario integrar organismos asesores con respaldo en objetivos anteriores. Establecer encargados de inspección a los proyectos del estado de caminos pavimentados, respaldado por servicios de consultoría internos, que garanticen mediante mediciones de cumplimiento de políticas y sistemas de gestión de carreteras con el fin de crear programas dinámicos para el mantenimiento de carreteras más rentables y para la seguridad vial.

## **1. CAPÍTULO, MARCO METÓDICO**

En la necesidad de responder las reparaciones repetitivas en calles y calzadas en general, con algunos casos de resultados negativos. Con un incremento vehicular, variados colapsos en rutas por tránsito vehicular, reparaciones de baches uno sobre otro, es curioso no preguntarse sobre el estatus de los caminos pavimentados que hoy en día se emplaza en Chile. Es de cuestionar los bajos resultados técnicos y de vida útil de las reparaciones.

Inicialmente se realiza la investigación y recopilación de datos referentes a los caminos pavimentados de la infraestructura vial nacional, para luego abordar de igual manera en materia internacional. Un par latinoamericano, uno europeo y otro de Oceanía, específicamente este último de gran avance y desarrollo.

El levantamiento de datos cuantitativos de kilómetros abarcados en estos países desglosa una serie de componentes, entre ellos, el estado de sus caminos y algunos alcances en términos administrativos de responsabilidad en esta materia. Los datos recopilados, son fielmente el detalle expuesto de sus organismos y/o entidades responsables. Dicho lo anterior, se busca transparentar la realidad nacional junto a como se aborda la proyección del déficit en términos de infraestructura vial, haciendo alusión al mantenimiento como un recurso necesario para la conservación del patrimonio vial.

El concepto de mantenimiento se encuentra expresado versátilmente para toda materia, en este caso, los caminos pavimentados de la infraestructura vial. Es preciso explicar los conceptos, tipos y significados del mantenimiento.

El resalte de nuevas metodologías, organizaciones, entre otros, conlleva a ir más allá, pudiendo descubrir tecnologías que permiten atacar desde la raíz mejoras integrales al déficit del mantenimiento vial en Chile.

Como medio de respaldo, se realiza una serie de tomas a la infraestructura vial nacional actual, conjunto a ello, y para demostrar que esto es algo que tomar en cuenta en la actualidad, se realiza una encuesta abierta por red social laboral LinkedIn, pudiendo entregar una breve descripción e información del estado actual en materia de caminos pavimentados en Chile. De ello, se expone alternativas que son parte de la problemática del mantenimiento, obteniendo respuestas de distintas especialidades, en mayoría, del rubro de la ingeniería.

El cierre de una hipótesis debe ser basada de acuerdo a los antecedentes y significados recopilados a lo largo del marco teórico, pudiendo con esto responder los objetivos declarados inicialmente en el presente documento.

## **2. CONCLUSIÓN**

El mantenimiento en términos de infraestructura vial contiene un déficit de los cuales no cumple a estándares y especificaciones técnicas que se vean reflejada en la durabilidad o ciclo de vida proyectado. La infraestructura vial normalmente se construye y no se mantiene, o tiene un mantenimiento deficiente. Generalmente se espera hasta la aparición de deterioro o daño estructural. Esto para países desarrollados y en proyección al desarrollo está cambiando en los últimos años. Por un lado, se han dado incidentes y accidentes que han expuesto la falta de mantenimiento a la infraestructura vial. Además, las exigencias de clientes más informados y proactivos generan presión para que las empresas del sector mejoren los activos y servicios de infraestructura vial. Por otro lado, los avances tecnológicos permiten que empresas especialistas en el rubro de la infraestructura vial realicen una implementación costo efectiva para cumplir con las necesidades del futuro. Así, a medida que la tecnología avanza, el concepto de mantenimiento cobra protagonismo ya que se vuelve flexible y adopta diferentes enfoques y herramientas. El uso de sensores, drones e imágenes satelitales está ayudando a reducir los costos de mantenimiento en los servicios públicos para países desarrollados, sin embargo, estas metodologías pueden ser sobre estudiadas para minorizar los costos y aumentar en términos de innovación para replicarse en territorio nacional.

Hay empresas que ante una competitividad de innovar e introducirse en un mercado de avance sostenible y sustentable, han logrado posicionarse a la vanguardia de este tema. Algunas empresas de la región están empezando a aplicar estas tecnologías, pero todavía a menor escala o en proyectos piloto, pero ya es un avance del cual Chile debe interiorizarse y procurar ser activo y proactivo en materia de estudio, desarrollo, calidad y eficiencia. Pues el mantenimiento, de la mano con la tecnología, debe ser parte de la planificación y política pública, asegurando el mantenimiento preventivo como política para mantener la red de carreteras de primera categoría, con un ciclo de vida útil más extenso y seguro, pudiendo destinar próximos recursos a la caminos y rutas no pavimentadas, en vista de superar el 25% nacional de rutas y caminos pavimentados.

### 3. **BIBLIOGRAFÍA**

- Manual de Carreteras: Volumen 5, Especificaciones técnicas generales de construcción.
- The Economist, “Crumbling infrastructure is a worldwide problem”, agosto 18 de 2018
- Clasificación The World Fact Book.
- Manual de Carreteras: Volumen 7, Mantenimiento Vial.
- Síntesis Ejecutiva N°13, Programa de Conservaciones Viales, Ministerio de Hacienda Dirección de Presupuestos, 2004.
- Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características 2021, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad
- Política de Conservación Vial 2020, Etapa I – Caminos Pavimentados.
- Estadísticas Viales 2010, Departamento de Gestión Vial, Dirección de Vialidad.
- Estadísticas Viales 2020, Departamento de Gestión Vial, Dirección de Vialidad.
- Informe Proposiciones de Acciones de Mantenimiento y Estado de la Calzada y Bermas para Caminos Pavimentados de la Red Vial Nacional, 2021, Departamento de Gestión Vial, Dirección de Vialidad.
- Diario Longino, 29 de junio del 2019
- Instituto Nacional de Vías – INVIAS (Colombia).
- Seguimiento Indicadores Plan Nacional de Desarrollo- PND- y Plan Marco de Implementación del Acuerdo de Paz – PMI- Acumulado 2019 a marzo de 2021 (Colombia).
- NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020. Asociación Española de la Carretera (España).
- fotografiando.com, rutas maravillosas (Nueva Zelanda).
- Agencia de Transportes NZTA (Nueva Zelanda).
- Empresa WDM <https://www.wdm-int.es/>.
- El mantenimiento, Mobley, 2002.

#### 4. GLOSARIO

- NZTA: Agencia de transportes de Nueva Zelanda.
- RAMM: Gestión de evaluación y mantenimiento de carreteras (Nueva Zelanda).
- HSD: Datos de alta velocidad (Nueva Zelanda).
- NOC. Límite del contrato de resultados de red (Nueva Zelanda).
- ONRC: Clasificación de carreteras de una red (Nueva Zelanda).
- ADT: Tráfico diario promedio (Nueva Zelanda).
- NAASRA: Límite de aspereza en el pavimento (Nueva Zelanda).
- CMA: Acetato de calcio y magnesio (Nueva Zelanda).
- SHAMP: Plan de gestión de activos de carreteras estatales (Nueva Zelanda)
- INVIAS:
- NPT: Nivel de piso terminado.
- MOP: Ministerio de obras públicas (Chile).
- IRI: Índice de rigurosidad.
- ICP: Índice de condición del pavimento (Chile).
- PND: Plan de desarrollo nacional (Colombia).
- PMI: Plan marco de implementación (Colombia).
- RCE: Red carreteras del estado (España).
- AEC: Auditoria estado carreteras (España).
- CCAA: Carreteras Autónomas (España).