

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

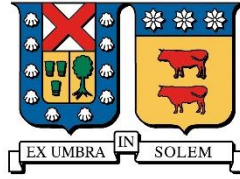
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

**DESARROLLO DE UN MODELO DE
VALORIZACIÓN DE PAVIMENTOS DE
HORMIGÓN DE CARRETERAS CONCESIONADAS
INTERURBANAS COMPATIBLE CON EL NIVEL
DE SERVICIO A LOS USUARIOS**

LUIS SEBASTIÁN ARCE PINILLA

Ingeniero Civil
Magíster en Ciencias de la Ingeniería Civil

Marzo de 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

**DESARROLLO DE UN MODELO DE
VALORIZACIÓN DE PAVIMENTOS DE
HORMIGÓN DE CARRETERAS CONCESIONADAS
INTERURBANAS COMPATIBLE CON EL NIVEL
DE SERVICIO A LOS USUARIOS**

Tesis de Grado y Memoria de Título presentada por

LUIS SEBASTIÁN ARCE PINILLA

como requisito parcial para optar al título de

Ingeniero Civil

y al grado de

Magíster en Ciencias de la Ingeniería Civil

Profesor Guía
Rodrigo Andrés Delgadillo Sturla

Marzo de 2023

TÍTULO DE LA TESIS

DESARROLLO DE UN MODELO DE VALORIZACIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN DE CARRETERAS CONCESIONADAS INTERURBANAS COMPATIBLE CON EL NIVEL DE SERVICIO A LOS USUARIOS

AUTOR

LUIS SEBASTIÁN ARCE PINILLA

TRABAJO DE TESIS, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el **Título de Ingeniero Civil y el Grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería Civil** de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Rodrigo Delgadillo Sturla

Alelí Osorio Lird

Tomás Echaveguren Navarro

Valparaíso, Chile, Marzo de 2023

Agradecimientos

En primer lugar, gracias a mis padres, hermanos, abuelos, tíos y primos por su apoyo constante e incondicional durante todos estos años, que hizo posible este logro. Los quiero y les agradezco por ser lo que son.

Agradecimientos a mis amigos y compañeros, con quienes compartí largas jornadas de estudio y trabajo, así como también, buenos momentos de distensión que amenizaron mi estadía en la universidad.

Gracias a mis profesores, cuyo conocimiento y experiencia transmitida han contribuido en mi aprendizaje y el fortalecimiento de mis capacidades académicas y profesionales. Un especial agradecimiento a mi profesor guía, Rodrigo Delgadillo, cuyo compromiso y continua retroalimentación, facilitaron el desarrollo de este trabajo.

Agradecimientos a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile, por financiar este trabajo a través de su programa FONDEF, Concurso IDeA I+D 2020, código de proyecto ID20I10072, “Metodología de Valorización del Patrimonio Vial Compatible con el Nivel de Servicio a los Usuarios”, y a través de la beca de estudios de postgrado ANID-Subdirección de Capital Humano/Magíster Nacional/2022-22220557.

Finalmente, agradecimientos a la Dirección General de Postgrado y Programas de la Universidad Técnica Federico Santa María por el apoyo a través de la beca de arancel que hizo posible el desarrollo de este trabajo de tesis.

Dedicatoria

A mis padres, Ximena y Luis, por el apoyo incalculable que me han entregado durante toda mi vida.

A mis tatas Paul y Chito, quienes partieron de este mundo y vieron este logro desde un lugar aún mejor.

Resumen

La valorización de activos viales se define como el proceso de estimar el valor monetario de un activo físico de infraestructura vial y es considerada un elemento clave en la gestión de carreteras y caminos. Existen diversos métodos para la valorización de activos viales y su selección depende fundamentalmente de los objetivos de las partes interesadas en cuestión. En efecto, la valorización de activos es una herramienta que ha sido utilizada en diferentes partes del mundo por agencias viales para cumplir con múltiples propósitos financieros y de gestión.

En Chile, existe una metodología de valorización del patrimonio vial, que ha sido utilizada para la valorización de carreteras concesionadas interurbanas. Sin embargo, dicha metodología fue desarrollada por la Dirección de Vialidad para la valorización de la red vial no concesionada, con el propósito de justificar necesidades de financiamiento. Por lo tanto, se requiere una metodología adaptada a los objetivos de gestión a nivel de proyecto de las concesiones viales interurbanas, que incluya modelos de valorización para todos los activos relevantes en este tipo de proyectos. Por otro lado, dentro de estos activos relevantes se encuentran los pavimentos de hormigón, que pueden abarcar entre el 10% a 25% de la longitud total de pistas. No obstante, para estos pavimentos no se cuenta actualmente con un modelo de valorización adaptado a los estándares correspondientes.

El objetivo de este trabajo de tesis es desarrollar y evaluar un modelo de valorización para pavimentos de hormigón, que sea implementable en bases de licitación de carreteras concesionadas interurbanas. Para cumplir con lo anterior, se realiza en primer lugar una revisión bibliográfica sistemática respecto a la valorización de activos viales, para identificar los distintos métodos de valorización existentes a nivel nacional e internacional. Luego, se identifican los métodos de valorización aplicables en carreteras concesionadas para evaluar la gestión de un operador privado. Posteriormente, se propone un modelo de valorización para los pavimentos de hormigón de carreteras concesionadas interurbanas basado en el método de Valor Neto Residual, válido para una configuración típica de Pavimento de Hormigón Simple con Juntas. En el modelo, el pavimento se divide en secciones de 50 metros para cada pista, y el valor de cada sección de pavimento equivale a la diferencia entre su costo histórico de construcción y su costo de rehabilitación. Por último, el modelo propuesto es aplicado, sensibilizado y verificado en casos de estudio usando datos reales de carreteras concesionadas interurbanas chilenas en fase de explotación y diferentes escenarios de gestión.

A partir de los resultados de los casos de estudio, se concluye que el modelo propuesto es una mejor herramienta que los modelos actuales para la valorización de los pavimentos de hormigón de concesiones viales interurbanas, al tener mayores niveles de exactitud y precisión. La mayor exactitud se refleja en la obtención de un costo histórico intermedio respecto a los modelos actuales, al utilizar los espesores de capas correspondientes a cada sección de pavimento según información de inventario disponible. En efecto, los modelos actuales consideran espesores iguales para todas las secciones según estructuraciones estándar para el pavimento. Por otro lado, la mayor precisión se refleja en la mayor sensibilidad del costo de rehabilitación a los cambios de desempeño ocurridos en el tiempo para los diferentes escenarios de gestión. Esta mayor sensibilidad ocurre debido a que el modelo propuesto considera los estándares correspondientes a carreteras concesionadas interurbanas en fase de explotación, y no a caminos de la red vial nacional no concesionada como los modelos actuales. Por último, se recalca que el modelo propuesto es susceptible de ser implementado en bases de licitación para permitir al Estado evaluar la gestión de la conservación del valor de los activos llevada a cabo por el concesionario. Dicha implementación puede ser efectiva siempre y cuando la información requerida por el modelo propuesto sea evaluada y procesada correctamente, y que se desarrollen todos los mecanismos de incentivos y penalización en función de sus resultados.

Abstract

Road asset valuation is defined as the process of estimating the monetary value of a physical road infrastructure asset and is considered a key element in road asset management. There are different valuation methods for road assets and their selection depends fundamentally on the objectives of the stakeholders concerned. Indeed, asset valuation is a tool that has been used in different parts of the world by road agencies to fulfill multiple financial and management purposes.

In Chile, there is a methodology for the valuation of road heritage, which has been used for the valuation of interurban road concessions. However, this methodology was developed by the Road Directory for the valuation of the non-concessioned road network, with the purpose of justifying financing needs. Therefore, a methodology adapted to the project-level management objectives of interurban road concessions is required, including valuation models for all relevant assets in these projects. On the other hand, within these relevant assets are Portland Cement Concrete Pavements, also known as rigid pavements, which can cover between 10% to 25% of the total length of runways. However, currently for these pavements there is not a valuation model adapted to the corresponding standards.

The objective of this thesis work is to develop and evaluate a valuation model for rigid pavements, which is implementable in bidding bases of interurban road concessions. To comply with the above, a systematic literature review regarding road asset valuation is first carried out, to identify the different valuation methods existing at national and international level. Then, the valuation methods applicable on road concessions to evaluate the management of a private operator are identified. Subsequently, a valuation model is proposed for rigid pavements of interurban road concessions based on the Net Salvage Value method, valid for a typical configuration of Jointed Plain Concrete Pavement. In the model, the pavement is divided into 50-meter sections for each lane, and the value of each pavement section is equal to the difference between its historical construction cost and its rehabilitation cost. Finally, the proposed model is applied, sensitized, and verified in case studies using real data from Chilean interurban road concessions in the operation phase and different management scenarios.

From the results of the case studies, it is concluded that the proposed model is a better tool than current models for the valuation of rigid pavements of interurban road concessions, having higher levels of accuracy and precision. The greater accuracy is reflected in obtaining an intermediate historical cost with respect to current models, by using the layer thicknesses corresponding to each section of pavement according to available inventory data. Indeed, current models consider equal thicknesses for all sections according to standard pavement structures. On the other hand, the greater precision is reflected in the greater sensitivity of the rehabilitation cost to performance changes that occurred over time for different management scenarios. This greater sensitivity occurs because the proposed model considers the standards corresponding to interurban road concessions in the operation phase, and not to roads of the non-concessioned national road network as the current models. Finally, it is emphasized that the proposed model is susceptible to be implemented in bidding bases, to allow the State to evaluate the management of the road asset value preservation carried out by the concessionaire. Such implementation can be effective if the information required by the proposed model is evaluated and processed correctly, and that all incentive and penalty mechanisms based on its results are developed.

Resumen Extendido

A nivel mundial, la gestión de carreteras está pasando desde un enfoque en las obras mismas a un enfoque en distintos objetivos estratégicos, como la entrega de un adecuado nivel de servicio a los usuarios, la conservación del patrimonio vial, y el beneficio a la comunidad y medio ambiente. Debido que la evaluación agregada de estos objetivos no permite asegurar el cumplimiento de ellos de forma individual, se han realizado esfuerzos de investigación con el objetivo de desarrollar modelos para la evaluación diferenciada de cada uno. En Chile, particularmente, un modelo de evaluación del nivel de servicio ha sido propuesto y se encuentra actualmente en implementación en concesiones viales interurbanas, siendo el próximo paso el desarrollo de un modelo que permita evaluar la conservación del patrimonio vial en dicho tipo de proyectos.

Para evaluar la conservación del patrimonio vial, una de las alternativas existentes corresponde a la valorización de activos viales. Dicha herramienta ha sido ampliamente utilizada en diferentes partes del mundo por agencias viales a nivel de red, con el propósito de justificar necesidades de financiamiento de la infraestructura. En el caso de proyectos de concesiones viales, su uso también ha sido promovido, ya que existe una preocupación por parte del Estado en cuanto a la capacidad de gestión de la conservación de las obras por parte del operador privado. En Chile, en particular, la valorización de las obras se ha incorporado incipientemente en bases de licitación de contratos de concesiones viales interurbanas, para definir un pago final del Estado al concesionario por el valor residual de la infraestructura. Sin embargo, dicha incorporación se ha realizado a través de una metodología que no está adaptada a los estándares de carreteras concesionadas, ya que fue desarrollada originalmente para la red vial no concesionada con propósitos financieros. Esto último puede incrementar la variabilidad y el riesgo asumido por las diferentes partes interesadas en este tipo de proyectos, por lo que se hace necesario el desarrollo e implementación de una metodología adaptada a sus estándares y objetivos. Además, nuestro país tiene compromisos internacionales de contabilidad, entre los cuales está la tarea de valorizar toda la infraestructura pública administrada por el Estado, por lo que una metodología de dichas características se vuelve aún más necesaria.

Uno de los activos más importantes una carretera concesionada corresponde a los pavimentos. Hasta la fecha, un modelo de valorización para pavimentos asfálticos ha sido propuesto para ser implementado en bases de licitación de concesiones viales interurbanas. Sin embargo, lo anterior no ha ocurrido para el caso de los pavimentos de hormigón, los cuales pueden abarcar entre el 10% a 25% de la longitud total de pistas de la vía principal en algunas rutas concesionadas de la zona centro y sur del país.

En función de lo anterior, este trabajo de tesis presenta el desarrollo y evaluación de un modelo de valorización para pavimentos de hormigón de carreteras concesionadas interurbanas, que sea implementable en bases de licitación y compatible con el nivel de servicio a los usuarios. Para cumplir con lo anterior, en primer lugar, se lleva a cabo un procedimiento de revisión bibliográfica sistemática respecto a la valorización de activos viales. Luego, se identifican los métodos de valorización aplicables en carreteras concesionadas para evaluar la gestión de la conservación de los operadores privados. Posteriormente, se propone un modelo de valorización para pavimentos de hormigón implementable en carreteras concesionadas interurbanas chilenas basado en el método de Valor Neto Residual, válido para una configuración típica de Pavimento de Hormigón Simple con Juntas. En el modelo, el pavimento se divide en secciones de 50 metros para cada pista, y el valor de cada sección de pavimento equivale a la diferencia entre su costo histórico de construcción y su costo de rehabilitación en el momento de evaluación. Por último, se aplica, sensibiliza y verifica el modelo de valorización propuesto en casos de estudio utilizando datos reales de carreteras concesionadas interurbanas chilenas en etapa de explotación y diferentes escenarios de gestión.

Tras la revisión bibliográfica se identifica que la valorización de los activos viales es un aspecto clave de la gestión vial y que debe ser incorporado como una medida de desempeño. Sin embargo, existen

dificultades para realizar lo anterior, ya que no hay un acuerdo universal sobre cuál es el método más apropiado y los métodos existentes entregan diferentes resultados, debido a que tienen diferentes objetivos que dependen de las distintas partes interesadas en la valorización de la infraestructura vial. En efecto, los métodos de valorización pueden estar basados en los costos, en los beneficios y/o el valor de mercado de los activos. Los métodos del primer grupo consideran los costos incurridos en la construcción y conservación de la infraestructura, pudiendo ser ajustados de acuerdo al desempeño actual y/o la vida útil remanente. Los del segundo grupo consideran los beneficios socioeconómicos percibidos por los usuarios de la carretera, la comunidad aledaña y el medio ambiente, así como también, los ingresos que generan los administradores viales por el concepto de peajes. Los del tercer grupo consideran el precio que un comprador estaría dispuesto a pagar para adquirir los activos, basado en la venta de activos similares en el mercado.

En cuanto a la revisión de las prácticas nacionales e internacionales de valorización de activos viales, se distingue tanto aplicaciones a nivel de red con fines contables y/o presupuestarios, así como también, a nivel de proyecto con fines de gestión de una carretera en particular. A nivel de red, las prácticas más avanzadas son llevadas cabo por Australia y Reino Unido, mientras que en el resto de los países se ha encontrado un menor nivel de desarrollo, siendo Estados Unidos y Canadá los países en donde se han realizado mayores esfuerzos de investigación para mejorar sus prácticas actuales. A nivel de proyecto, es posible encontrar prácticas de valorización en el contexto de asociaciones público-privadas en el continente americano. En particular, en Chile se ha incorporado recientemente la valorización de las obras en las bases de contratos de concesiones viales, mientras que, en países como Estados Unidos, Costa Rica, Perú y Paraguay, se han incluido conceptos relacionados con la valorización, como la vida útil de los activos, los costos y beneficios asociados, pero no la valorización de las obras propiamente tal.

En el caso de carreteras concesionadas, se identifican partes interesadas específicas y condiciones de operación establecidas en las bases de licitación del contrato entre el Estado y el concesionario, que definen diferentes condiciones de borde que propiciarán o no la aplicación de los métodos de valorización. Las partes interesadas son el concesionario, el usuario de la carretera, la comunidad y el medio ambiente aledaño a la carretera, la agencia gubernamental encargada de la infraestructura, y el Estado o contribuyentes del país. Las condiciones de borde corresponden a definir una metodología clara y precisa que permita gestionar los riesgos de la licitación, valorizar considerando solo aspectos que dependan del concesionario por contrato, definir el valor inicial y la forma de calcular las pérdidas de valor al momento de la licitación, compatibilizar el valor de los activos con el nivel de servicio brindado a los usuarios y no incrementar innecesariamente los costos de operación incurridos por el concesionario.

En base a las condiciones de borde anteriormente mencionadas y la opinión de diversos autores, se realiza una comparación de las ventajas y desventajas de cada método de valorización, para hacer una selección preliminar de los métodos que pueden implementados en contratos de carreteras concesionadas. Los métodos más apropiados corresponden a aquellos que consideran los costos pasados de la infraestructura, y solo para activos de valor alto respecto al valor total de una carretera es justificable el uso de métodos sofisticados que consideren la condición actual evaluada través de indicadores técnicos de desempeño. Para activos de baja importancia en términos de valor en la carretera, lo anterior no es justificable ya que los costos de implementación serían mayores a los beneficios que puede traer una valorización tan sofisticada. Por otra parte, se establece que la selección del método para cada activo vial depende del análisis de cada una de las ventajas y desventajas existentes, de las brechas actuales para su implementación, de la importancia de cada activo en términos de valor, y de la potencial obsolescencia tecnológica y normativa de los activos.

Tras una revisión a la gestión actual de los pavimentos de hormigón, se constata que existe una amplia variedad de características e indicadores técnicos que pueden ser evaluados y que representan tanto su capacidad funcional como estructural. Sin embargo, no todas las características e indicadores

deben ser incluidos en el modelo de valorización, ya que algunos no están relacionados directamente con el valor del activo o no pueden ser relacionadas directamente con alguna actividad de rehabilitación específica. En cuanto a las actividades de rehabilitación, algunas no forman parte de las actividades recomendadas para carreteras de alto estándar y/o contempladas en las bases de licitación de concesiones viales interurbanas, por lo que tampoco pueden ser todas incluidas en el modelo. Sin perjuicio de lo anterior, el método seleccionado para la valorización de los pavimentos de hormigón corresponde al Valor Neto Residual, al no existir mayor brecha para su implementación, y al ya ser utilizado actualmente para la valorización de pavimentos por parte de la Dirección de Vialidad. Dicho método establece que el valor del activo corresponde a su costo histórico de construcción, menos el costo de rehabilitación necesario para devolver el pavimento a su condición prístina o “como nuevo”.

Se propone un modelo de valorización para los pavimentos de hormigón de calzada de la vía principal en concesiones viales interurbanas. En el modelo propuesto se establece que la valorización debe realizarse cada 50 metros, por lo que se definen formulaciones para el costo histórico y de rehabilitación para cada sección de pavimento de dicha longitud en cada pista. Ambos costos se deben obtener a partir de los precios unitarios definidos en las bases de licitación y las cubicaciones de las partidas correspondientes. Para el costo histórico se considera las partidas de construcción asociadas a cada capa de la estructura del pavimento, mientras que para el costo de rehabilitación se considera las actividades de rehabilitación correspondientes. En particular, para el costo de rehabilitación se considera el costo asociado a cada indicador técnico del pavimento por separado, incluyendo indicadores que representan la condición funcional y estructural del pavimento. Los indicadores funcionales incluidos representan la regularidad longitudinal, la resistencia al deslizamiento y el nivel de ruido de rodadura. Dichos indicadores forman parte de un modelo de nivel de servicio actualmente en implementación en bases de licitación, existiendo así una compatibilidad del modelo de valorización con el nivel de servicio entregado a los usuarios. Por otro lado, los indicadores de integridad y capacidad estructural corresponden a la transferencia de carga entre losas, el agrietamiento y la presencia de baches. Para el agrietamiento y baches, el costo de rehabilitación asociado corresponde directamente al costo de reemplazo de las losas agrietadas de la sección y de la reconstrucción de la sección completa, respectivamente. Para el resto de los indicadores se define un porcentaje del costo de la actividad de rehabilitación asociada, de acuerdo con el nivel de desempeño que tengan en el momento de la evaluación. Por último, se establece que, cuando en una sección el costo de rehabilitación supera al costo histórico, su valor es cero, puesto que no se considera posible que una sección tenga valor negativo. El valor negativo ocurrido en algunas secciones de pavimento se contabiliza en un monto denominado “penalización por desempeño”.

Tras la recolección de datos para la aplicación del modelo, se constata que la información disponible actualmente cuenta con algunas limitaciones, como por ejemplo la inexistencia o incompletitud de datos de condición, o bien, las diferencias de formato para la evaluación y reporte de los indicadores. Pese a lo anterior, fue posible la aplicación del modelo propuesto en casos de estudio llevados a cabo en 4 rutas concesionadas interurbanas del país.

Para estudiar la relevancia de los elementos de la estructura del pavimento e indicadores técnicos en los resultados del modelo, este es aplicado en primera instancia solo en secciones de 50 metros con datos disponibles en cada ruta analizada. Se concluye que las losas de hormigón son el elemento de mayor contribución al costo histórico, seguida por la base y/o subbase granular, o bien, la base estabilizada en caso de existir. La preparación de la subrasante corresponde a la partida de menor peso en el costo histórico. En cuanto a los indicadores del pavimento, los que están asociados a una mayor pérdida de valor corresponden al porcentaje de losas agrietadas y de transferencia de carga. En particular, el costo de rehabilitación asociado al primer indicador en las diferentes rutas alcanza desde un 8.5% a un 83.1% respecto al costo histórico, mientras que el asociado al segundo alcanza desde un 32.2% a un 76.5% respecto al costo histórico. Lo anterior se debe al alto costo de la actividad de

rehabilitación asociada a dichos indicadores, y al bajo o inexistente nivel de exigencia en las bases de licitación vigentes durante la explotación de las carreteras estudiadas. Las pérdidas de valor asociadas a los indicadores de funcionalidad son considerablemente menores, debido al bajo costo de la actividad de rehabilitación asociada, y al continuo control por parte del concesionario debido a las exigencias de las bases de licitación.

Para estudiar las diferencias de resultados del modelo propuesto respecto a los modelos actuales utilizados en Chile, estos son aplicados en secciones de 200 m para concesiones tipo de 20 años basadas en los datos reales de cada ruta analizada. Para las concesiones tipo se definen tres escenarios de gestión por parte del concesionario, en donde la progresión de deterioro de los indicadores, y, por ende, su desempeño, siguen diferentes trayectorias en el tiempo. Para las concesiones tipo, se define que los datos reales disponibles corresponden a un escenario pesimista, debido a las menores exigencias de las bases de licitación vigentes durante la explotación de la carretera, respecto a las del modelo propuesto. Para los escenarios realista y optimista se toman las mediciones reales y se varían en un cierto rango para tener un nivel de desempeño mejor, donde el concesionario se ajusta a los niveles de servicio mínimos exigidos (escenario realista) y donde tiene un desempeño aún mejor que ajustarse a las exigencias mínimas de servicio (escenario optimista). Además, para la definición de las concesiones tipo y los diferentes escenarios, se realizan algunas consideraciones y supuestos razonables, como el uso de datos de secciones aledañas en secciones sin información, la interpolación de datos de condición en años sin información al respecto, y el supuesto de que en el año inicial todos los indicadores se encuentran en nivel de desempeño “Muy Bueno”.

Para las concesiones tipo, con el modelo propuesto se obtienen resultados de costo histórico mayores respecto al modelo actual utilizado en Chile para la red vial no concesionada, y menores respecto al modelo actual utilizado en concesiones viales interurbanas. En particular, las diferencias de resultados obtenido con el modelo propuesto respecto a los actuales no superan el 9% del costo histórico obtenido con el modelo actual utilizado en concesiones viales interurbanas. Se concluye que la principal diferencia en el cálculo de costo histórico corresponde a que el modelo propuesto considera los espesores de capas correspondientes a cada sección del pavimento según los datos de inventario disponibles. En cambio, los modelos actuales consideran espesores iguales para todas las secciones, que corresponden a valores promedio definidos a partir del inventario o de la zona geográfica en donde se emplaza el proyecto, sub o sobreestimando el costo histórico en algunas secciones.

Por otro lado, para las concesiones tipo, con el modelo propuesto se obtienen pérdidas de valor mayores y más sensibles a los diferentes escenarios de gestión que las pérdidas obtenidas con los modelos actuales. En particular, para un escenario pesimista de gestión basado en los datos históricos de concesiones viales interurbanas, el valor mínimo obtenido con el modelo propuesto para las diferentes rutas analizadas alcanza desde un 8.7% a un 43.1% respecto al costo histórico, mientras que con el modelo actual utilizado en concesiones viales se obtiene desde un 70.7% a un 76.5% respecto al costo histórico. Por otro lado, la variación entre un escenario pesimista y optimista de los valores mínimos respecto al costo histórico obtenidos con el modelo propuesto para las diferentes rutas alcanza desde un 37% a un 67.4%, mientras que con el modelo actual utilizado en concesiones viales no supera el 0.4%. La variación entre un escenario realista y optimista de los valores mínimos respecto al costo histórico obtenidos con el modelo propuesto para las diferentes rutas alcanza desde un 6.6% a un 22.1%, mientras que con el modelo actual utilizado en concesiones viales es de 0%.

Si se adapta el modelo actual utilizado en concesiones viales, sensibilizándolo a la condición estructural del pavimento de forma de representar fielmente lo exigido actualmente en bases de licitación para la valorización, los resultados cambian para los distintos escenarios. En particular, para un escenario pesimista, el valor mínimo obtenido para las diferentes rutas analizadas alcanza desde un 85.1% a un 90.1% del costo histórico. En cuanto a la variación entre un escenario pesimista y optimista de los valores mínimos respecto al costo histórico para las diferentes rutas, esta alcanza desde un 8.9% a un 13.6%, mientras que dicha variación entre un escenario realista y optimista va

desde un 0.8% a un 1.9%. Es importante mencionar que, esta adaptación solo ha sido abordada en este trabajo y no ha sido adoptada para la valorización de carreteras concesionadas en los estudios integrales correspondientes. Además, de todas formas, entrega una menor pérdida de valor y sensibilidad a los escenarios de gestión que el modelo de valorización propuesto. Por otro lado, si no se considera la transferencia de carga en la valorización, los resultados para el modelo propuesto cambian considerablemente para las diferentes rutas y escenarios, pudiendo ser mayores o menores que los resultados obtenidos con el modelo actual utilizado en la red vial no concesionada, que tampoco considera la transferencia de carga. Sin embargo, es importante recalcar que, los resultados entregados por el primero siguen siendo más sensibles a los escenarios de gestión que los resultados entregados por el segundo, y que, al no considerar la transferencia de carga, ninguno de los dos modelos representa fielmente la capacidad estructural del pavimento en la valorización.

Se concluye que las anteriores diferencias se deben principalmente a las diferencias en el cálculo de costo de rehabilitación entre el modelo propuesto y los actuales. En particular, existen diferencias en la forma de tratar la relación entre las actividades de rehabilitación y los indicadores técnicos del pavimento, así como también, la relación entre los porcentajes de intervención para cada actividad y el nivel de desempeño de los indicadores técnicos. A su vez, estas diferencias están estrechamente relacionadas con los objetivos de cada modelo de valorización. En efecto, el modelo propuesto está enfocado en valorizar el pavimento con objetivos de gestión a nivel de proyecto en un contrato de concesión vial interurbana, mientras que los modelos actuales se basan en una metodología desarrollada originalmente para la red vial nacional no concesionada, con el objetivo de justificar necesidades de financiamiento para el mantenimiento de los caminos.

Además de los análisis anteriores, se realiza una sensibilización de los resultados del modelo propuesto a diferentes criterios para el procesamiento de los indicadores de transferencia de carga y agrietamiento. Lo anterior debido a la alta sensibilidad de la pérdida de valor asociada a dichos indicadores, a las limitaciones de la información disponible actualmente y a los diferentes criterios para su procesamiento. De los resultados obtenidos en la sensibilización, se recalca la importancia de evaluar y reportar correctamente estos indicadores de acuerdo a lo especificado en las fichas técnicas correspondientes. De esta forma, se puede asegurar que la pérdida de valor obtenida con el modelo propuesto represente la condición estructural del pavimento de manera precisa en el tiempo, y no existan sub o sobreestimaciones debido a aspectos externos a la gestión del concesionario en la conservación del valor de las obras.

Finalmente, se concluye que el modelo propuesto es una mejor herramienta que los modelos actuales para la valorización de los pavimentos de hormigón de concesiones viales interurbanas, al tener mayores niveles de exactitud y precisión. La mayor exactitud se refleja en la obtención de un costo histórico intermedio respecto a los modelos actuales utilizados en concesiones viales y en la red no concesionada, de acuerdo a los datos de espesores de capas correspondientes a cada sección de pavimento, y no a espesores estándares e iguales para todas las secciones. Por otra parte, la mayor precisión se refleja en la mayor sensibilidad del modelo propuesto respecto a los actuales, a los cambios de desempeño ocurridos en el tiempo para los diferentes escenarios de gestión. La mayor sensibilidad ocurre principalmente porque el modelo propuesto considera los estándares y objetivos correspondientes a carreteras concesionadas interurbanas en fase de explotación. Lo anterior no ocurre para los modelos actuales, que se basan en una metodología desarrollada originalmente para la valorización de la red vial nacional no concesionada. Además, el modelo propuesto es susceptible de ser implementado en bases de licitación con el objetivo de permitir al Estado evaluar la gestión de la conservación del valor de los activos llevada a cabo por el concesionario. Dicha implementación puede ser efectiva siempre y cuando la información requerida por el modelo sea evaluada y procesada correctamente, y que se desarrollen todos los mecanismos de incentivos y penalización en función de sus resultados, necesarios para asegurar una adecuada gestión de la conservación de los pavimentos en el tiempo.

Índice de contenido

Agradecimientos	VII
Dedicatoria	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
Resumen Extendido	XI
Índice de contenido	XVI
Índice de tablas	XX
Índice de figuras	XXV
Introducción.....	1
Hipótesis.....	5
Objetivos	6
1. Métodos de valorización de activos viales	7
1.1. Criterios de clasificación de métodos de valorización	7
1.2. Métodos basados en el costo	8
1.2.1. Métodos tradicionales	8
1.2.2. Métodos no tradicionales.....	19
1.3. Métodos basados en los beneficios	23
1.3.1. Métodos tradicionales	23
1.3.2. Métodos no tradicionales.....	26
1.4. Métodos basados en el valor de mercado	30
1.4.1. Métodos tradicionales	30
1.4.2. Métodos no tradicionales.....	30
2. Prácticas de valorización de activos viales en diferentes países	33
2.1. Prácticas de valorización con fines contables o a nivel de red	33
2.1.1. África	33
2.1.2. Asia	33
2.1.3. Europa	34
2.1.4. Oceanía.....	35
2.1.5. América	36
2.2. Prácticas de valorización de activos viales en carreteras concesionadas	38
2.2.1. Australia	38
2.2.2. Estados unidos	38
2.2.3. Chile.....	39

2.2.4.	Otros países latinoamericanos	40
3.	Selección del método de valorización para pavimentos de hormigón.....	41
3.1.	Contratos de Asociación Público-Privada (PPP) en infraestructura vial.....	41
3.2.	Condiciones de borde para la valorización de activos en concesiones viales	42
3.2.1.	Gestión de riesgos de la licitación	42
3.2.2.	Valorizar solo la infraestructura conservada por el concesionario	43
3.2.3.	Condiciones del contrato se definen al momento de la licitación.....	43
3.2.4.	Compatibilidad con el nivel de servicio a los usuarios	44
3.2.5.	Costos de operación del concesionario no deben aumentar innecesariamente	44
3.3.	Métodos de valorización aplicables para evaluar a un operador privado.....	45
3.3.1.	Comparación de ventajas y desventajas de cada método	45
3.3.2.	Métodos aplicables a activos de alto valor	51
3.3.3.	Métodos aplicables a activos de bajo valor	51
3.4.	Gestión de la conservación de pavimentos de hormigón	52
3.4.1.	Componentes y elementos del activo.....	52
3.4.2.	Características e indicadores técnicos	53
3.4.3.	Actividades de rehabilitación	57
3.5.	Selección del método de valorización y análisis de brechas	60
4.	Modelo de valorización para pavimentos de hormigón de la calzada de la vía principal.....	61
4.1.	Datos requeridos para la valorización	61
4.1.1.	Datos de inventario	61
4.1.2.	Datos de condición.....	61
4.1.3.	Datos de precios unitarios	62
4.2.	Cálculo del costo histórico	63
4.3.	Cálculo del costo de rehabilitación.....	64
4.3.1.	Pérdidas por nivel de desempeño para cada indicador técnico.....	65
4.3.2.	Formulación del costo de rehabilitación	66
4.4.	Costos adicionales para la valorización	68
4.4.1.	Costos por demarcación del pavimento.....	68
4.4.2.	Costos indirectos.....	69
4.5.	Cálculo de valor de activo.....	70
4.5.1.	Formulación del valor del activo	70
4.5.2.	Pasos a seguir para la valorización	71
5.	Casos de estudio.....	72
5.1.	Ruta I.....	73

5.1.1.	Caracterización de la vía e información disponible	73
5.1.2.	Aplicación del modelo propuesto en secciones con datos disponibles	75
5.1.3.	Comparación entre modelo propuesto y modelos actuales en el tiempo.....	79
5.2.	Ruta II	95
5.2.1.	Caracterización de la vía e información disponible	95
5.2.2.	Aplicación del modelo propuesto en secciones con datos disponibles	96
5.2.3.	Comparación entre modelo propuesto y modelos actuales en el tiempo.....	100
5.3.	Ruta III.....	114
5.3.1.	Caracterización de la vía e información disponible	114
5.3.2.	Aplicación del modelo propuesto en secciones con datos disponibles	115
5.3.3.	Comparación entre modelo propuesto y modelos actuales en el tiempo.....	120
5.4.	Ruta IV.....	134
5.4.1.	Caracterización de la vía e información disponible	134
5.4.2.	Comparación entre modelo propuesto y modelos actuales en el tiempo.....	135
6.	Conclusiones y recomendaciones	149
6.1.	Conclusiones por objetivos	149
6.2.	Comentarios generales y recomendaciones.....	153
6.3.	Investigaciones futuras.....	155
	Referencias	156
	Anexos	164
A.	Indicadores técnicos del modelo de nivel de servicio.....	164
A.1.	Mean Roughness Index (MRI)	164
A.2.	SFC equivalente.....	165
A.3.	Overall A-Weighted Sound Intensity Level (OASI).....	166
A.4.	Porcentaje de Losas Agrietadas	168
A.5.	Porcentaje de Transferencia de Carga	169
B.	Revisión de actividades y umbrales de rehabilitación	171
C.	Casos de estudio: Desempeño en el tiempo de los indicadores	173
C.1.	Ruta I.....	173
C.2.	Ruta II.....	176
C.3.	Ruta III	179
C.4.	Ruta IV	182
D.	Sensibilidad a diferentes consideraciones para la transferencia de carga	185
D.1.	Ruta I.....	186
D.2.	Ruta II.....	189

D.3. Ruta III	190
D.4. Ruta IV	192
E. Sensibilidad a diferentes consideraciones para el agrietamiento	195
E.1. Ruta I	196
E.2. Ruta II	197
E.3. Ruta III	198
E.4. Ruta IV	199
F. Comparación entre rutas de resultados de valorización con modelo propuesto	200

Índice de tablas

Tabla 1.1. Formulación para la valorización de cada tipo de activo vial en estudio en Colorado. ..	21
Tabla 2.1. Estructura de pavimentos de hormigón según zona y tipo de tráfico (MOP, 2014).	37
Tabla 2.2. Límites del ICP para la asignación del estado de los pavimentos según DV (MOP, 2020d).	38
Tabla 2.3. Límites del ICP para la asignación del estado de pavimentos en estudios integrales de concesiones viales (MOP, 2021e).	39
Tabla 3.1. Condiciones de borde para la valorización de carreteras concesionadas.	45
Tabla 3.2. Ventajas posibles para métodos de valorización y condiciones de borde involucradas..	47
Tabla 3.3. Desventajas posibles para métodos de valorización y condiciones de borde involucradas.	48
Tabla 3.4. Ventajas, desventajas y costo de implementación (Z) de métodos tradicionales de valorización basados en el costo.	49
Tabla 3.5. Ventajas, desventajas y costo de implementación (Z) de métodos no tradicionales de valorización basados en el costo.	49
Tabla 3.6. Ventajas, desventajas y costo de implementación (Z) de métodos de valorización basados en los beneficios.	50
Tabla 3.7. Ventajas, desventajas y costo de implementación (Z) de métodos de valorización basados en el valor de mercado.	50
Tabla 3.8. Partidas de obra de pavimentos de hormigón en bases de licitación de concesiones viales interurbanas (MOP, 2019a, 2021a).	52
Tabla 4.1. Características a considerar para el cálculo del costo de rehabilitación e indicadores técnicos correspondientes.	62
Tabla 4.2. Umbrales de nivel de desempeño para cada indicador técnico.	62
Tabla 4.3. Ejemplos de partidas involucradas en el cálculo del costo histórico de pavimentos de hormigón.	63
Tabla 4.4. Ejemplos de partidas involucradas en el cálculo del costo de rehabilitación de pavimentos de hormigón.	63
Tabla 4.5. Actividades de rehabilitación asociadas a cada indicador técnico.	65
Tabla 4.6. Porcentajes de pérdida respecto al costo de rehabilitación según el nivel de desempeño.	65
Tabla 4.7. Partidas y bases de medición para el cálculo del costo histórico de la demarcación.	69
Tabla 5.1. Estructura y espesores del pavimento de hormigón en la Ruta I (MOP, 2020c).	73
Tabla 5.2. Precios unitarios de partidas de pavimento de hormigón en la Ruta I (MOP, 2021d).	74
Tabla 5.3. Promedio por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I). ..	75
Tabla 5.4. Desviación estándar por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I).	76
Tabla 5.5. Máximo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I).	76
Tabla 5.6. Mínimo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I).	76

Tabla 5.7. Costo histórico por pista y total del pavimento de hormigón (Ruta I).....	76
Tabla 5.8. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el agrietamiento en 2020 (Ruta I).....	77
Tabla 5.9. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para la transferencia de carga en 2020 (Ruta I).	77
Tabla 5.10. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador MRI en 2020 (Ruta I).....	77
Tabla 5.11. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador SFC en 2020 (Ruta I).....	78
Tabla 5.12. Costo de rehabilitación total diferenciado por pista e indicador técnico (Ruta I).....	78
Tabla 5.13. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta I).	78
Tabla 5.14. Valor en UF y respecto al costo histórico (Ruta I).	79
Tabla 5.15. Costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales (Ruta I).....	82
Tabla 5.16. Umbrales admisibles según bases de licitación y modelo de propuesto (Ruta I).	82
Tabla 5.17. Umbrales admisibles y rangos de variación para los diferentes escenarios (Ruta I). ...	83
Tabla 5.18. Longitud total en km de losas agrietadas por escenario (Ruta I).	84
Tabla 5.19. Progresión de la calificación global del agrietamiento por escenario (Ruta I).	86
Tabla 5.20. Progresión de la calificación global de transferencia de carga por escenario (Ruta I)..	86
Tabla 5.21. Progresión de la calificación global del indicador MRI por escenario (Ruta I).	86
Tabla 5.22. Progresión de la calificación global del indicador SFC por escenario (Ruta I).....	86
Tabla 5.23. Mínimo, promedio y máximo para el porcentaje de valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales en cada escenario (Ruta I).	92
Tabla 5.24. Diferencias en cálculo de costo de rehabilitación entre modelo de valorización propuesto y modelos actuales utilizados en Chile.	94
Tabla 5.25. Estructura y espesores del pavimento de hormigón en la Ruta II (MOP, 2021b).....	95
Tabla 5.26. Promedio por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II).97	
Tabla 5.27. Desviación estándar por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II).	97
Tabla 5.28. Máximo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II). 97	
Tabla 5.29. Mínimo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II). .	98
Tabla 5.30. Costo histórico por pista y total del pavimento de hormigón (Ruta II).....	98
Tabla 5.31. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el agrietamiento en 2020 (Ruta II).	98
Tabla 5.32. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para la transferencia de carga en 2020 (Ruta II).	98
Tabla 5.33. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador MRI en 2020 (Ruta II).	99

Tabla 5.34. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador SFC en 2020 (Ruta II).	99
Tabla 5.35. Costo de rehabilitación total diferenciado por pista e indicador técnico (Ruta II).	99
Tabla 5.36. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta II).	99
Tabla 5.37. Valor en UF y respecto al costo histórico (Ruta II).	100
Tabla 5.38. Costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales (Ruta II).	102
Tabla 5.39. Umbrales admisibles según bases de licitación y modelo de propuesto (Ruta II).	102
Tabla 5.40. Umbrales admisibles y rangos de variación para los diferentes escenarios (Ruta II).	103
Tabla 5.41. Longitud total en km de losas agrietadas por escenario (Ruta II).	104
Tabla 5.42. Progresión de la calificación global del agrietamiento por escenario (Ruta II).	106
Tabla 5.43. Progresión de la calificación global de transferencia de carga por escenario (Ruta II).	106
Tabla 5.44. Progresión de la calificación global del indicador MRI por escenario (Ruta II).	106
Tabla 5.45. Progresión de la calificación global del indicador SFC por escenario (Ruta II).	106
Tabla 5.46. Mínimo, promedio y máximo para el porcentaje de valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales en cada escenario (Ruta II).	112
Tabla 5.47. Estructura y espesores del pavimento de hormigón en la Ruta III (MOP, 2019c).	114
Tabla 5.48. Precios unitarios de partidas de pavimento de hormigón en la Ruta III (MOP, 2019b).	115
Tabla 5.49. Promedio por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).	116
Tabla 5.50. Desviación estándar por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).	117
Tabla 5.51. Máximo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).	117
Tabla 5.52. Mínimo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).	117
Tabla 5.53. Costo histórico por pista y total del pavimento de hormigón (Ruta III).	117
Tabla 5.54. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el agrietamiento en 2018 (Ruta III).	118
Tabla 5.55. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para la transferencia de carga en 2018 (Ruta III).	118
Tabla 5.56. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador MRI en 2018 (Ruta III).	118
Tabla 5.57. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador SFC en 2018 (Ruta III).	119
Tabla 5.58. Costo de rehabilitación total diferenciado por pista e indicador técnico (Ruta III).	119
Tabla 5.59. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta III).	119
Tabla 5.60. Valor en UF y respecto al costo histórico (Ruta III).	120

Tabla 5.61. Costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales (Ruta III).	122
Tabla 5.62. Umbrales admisibles según bases de licitación y modelo de propuesto (Ruta III).	122
Tabla 5.63. Umbrales admisibles y rangos de variación para los diferentes escenarios (Ruta III). 123	
Tabla 5.64. Longitud total en km de losas agrietadas por escenario (Ruta III).	124
Tabla 5.65. Progresión de la calificación global del agrietamiento por escenario (Ruta III).	126
Tabla 5.66. Progresión de la calificación global de transferencia de carga por escenario (Ruta III).	126
Tabla 5.67. Progresión de la calificación global del indicador MRI por escenario (Ruta III).	126
Tabla 5.68. Progresión de la calificación global del indicador SFC por escenario (Ruta III).	126
Tabla 5.69. Mínimo, promedio y máximo para el porcentaje de valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales en cada escenario (Ruta III).	132
Tabla 5.70. Estructura y espesores del pavimento de hormigón en la Ruta IV (MOP, 2020b).	134
Tabla 5.71. Costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales (Ruta IV).	137
Tabla 5.72. Umbrales admisibles según bases de licitación y modelo de propuesto (Ruta IV).	137
Tabla 5.73. Umbrales admisibles y rangos de variación para los diferentes escenarios (Ruta IV). 138	
Tabla 5.74. Longitud total en km de losas agrietadas por escenario (Ruta IV).	139
Tabla 5.75. Progresión de la calificación global del agrietamiento por escenario (Ruta IV).	141
Tabla 5.76. Progresión de la calificación global de transferencia de carga por escenario (Ruta IV).	141
Tabla 5.77. Progresión de la calificación global del indicador MRI por escenario (Ruta IV).	141
Tabla 5.78. Progresión de la calificación global del indicador SFC por escenario (Ruta IV).	141
Tabla 5.79. Mínimo, promedio y máximo para el porcentaje de valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales en cada escenario (Ruta IV).	147
Tabla C.1. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para agrietamiento en Ruta I [%].	173
Tabla C.2. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para transferencia de carga en Ruta I [%].	173
Tabla C.3. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para MRI en Ruta I [%].	174
Tabla C.4. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para SFC en Ruta I [%].	174
Tabla C.5. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelo EI (Ruta I) [%].	175
Tabla C.6. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelos DV-BALI (Ruta I) [%].	175
Tabla C.7. Porcentaje de secciones por calificación de TC según modelo BALI (Ruta I) [%].	175
Tabla C.8. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para agrietamiento en Ruta II [%].	176
Tabla C.9. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para transferencia de carga en Ruta II [%].	176
Tabla C.10. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para MRI en Ruta II [%].	177

Tabla C.11. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para SFC en Ruta II [%].	177
Tabla C.12. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelo EI (Ruta II) [%].	178
Tabla C.13. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelos DV-BALI (Ruta II) [%].	178
Tabla C.14. Porcentaje de secciones por calificación de TC según modelo BALI (Ruta II) [%].	178
Tabla C.15. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para agrietamiento en Ruta III [%].	179
Tabla C.16. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para transferencia de carga en Ruta III [%].	179
Tabla C.17. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para MRI en Ruta III [%].	180
Tabla C.18. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para SFC en Ruta III [%].	180
Tabla C.19. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelo EI (Ruta III) [%].	181
Tabla C.20. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelos DV-BALI (Ruta III) [%].	181
Tabla C.21. Porcentaje de secciones por calificación de TC según modelo BALI (Ruta III) [%].	181
Tabla C.22. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para agrietamiento en Ruta IV [%].	182
Tabla C.23. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para transferencia de carga en Ruta IV [%].	182
Tabla C.24. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para MRI en Ruta IV [%].	183
Tabla C.25. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para SFC en Ruta IV [%].	183
Tabla C.26. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelo EI (Ruta IV) [%].	184
Tabla C.27. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelos DV-BALI (Ruta IV) [%].	184
Tabla C.28. Porcentaje de secciones por calificación de TC según modelo BALI (Ruta IV) [%].	184

Índice de figuras

Figura 1.1. Formas sigmoidal y sigmoidal inversa (Dojutrek et al., 2012).	12
Figura 1.2. Representación gráfica del método de Valor Neto Residual (Dojutrek et al., 2012). ...	16
Figura 1.3. Formas de funciones de utilidad según diferentes actitudes hacia el riesgo (Zhang & Peters, 2014).	28
Figura 5.1. Esquema de la enumeración de las pistas en la Ruta I (MOP, 2021c).	73
Figura 5.2. Diagrama de caja y bigotes de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I).	75
Figura 5.3. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas desde 2007 a 2020 (Ruta I).	80
Figura 5.4. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de transferencia de carga en 2007 y 2020 (Ruta I).	80
Figura 5.5. Diagrama de caja y bigotes del indicador MRI desde 2007 a 2020 (Ruta I).	81
Figura 5.6. Diagrama de caja y bigotes del indicador SFC desde 2007 a 2020 (Ruta I).	81
Figura 5.7. Porcentaje de secciones en los diferentes niveles de desempeño en porcentaje de losas agrietadas para los tres escenarios (Ruta I).	85
Figura 5.8. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta I).	87
Figura 5.9. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta I).	87
Figura 5.10. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta I).	88
Figura 5.11. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta I).	88
Figura 5.12. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta I).	89
Figura 5.13. Valor en UF obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta I).	90
Figura 5.14. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta I).	90
Figura 5.15. Valor en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta I).	91
Figura 5.16. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta I).	91
Figura 5.17. Esquema de la enumeración de las pistas en la Ruta II (MOP, 2021b).	95
Figura 5.18. Diagrama de caja y bigotes de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II).	97
Figura 5.19. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas en 2018 y 2020, y transferencia de carga en 2020 (Ruta II).	101

Figura 5.20. Diagrama de caja y bigotes del indicador MRI en 2010, 2013, 2018 y 2020 (Ruta II).	101
Figura 5.21. Diagrama de caja y bigotes del indicador SFC en 2010, 2013, 2018 y 2020 (Ruta II).	101
Figura 5.22. Porcentaje de secciones en los diferentes niveles de desempeño en transferencia de carga para los tres escenarios (Ruta II).	105
Figura 5.23. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta II).	107
Figura 5.24. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta II).	107
Figura 5.25. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta II).	108
Figura 5.26. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta II).	108
Figura 5.27. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta II).	109
Figura 5.28. Valor en UF obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta II).	110
Figura 5.29. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta II).	110
Figura 5.30. Valor en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta II).	111
Figura 5.31. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta II).	111
Figura 5.32. Esquema de la enumeración de las pistas en la Ruta III (MOP, 2018).	114
Figura 5.33. Diagrama de caja y bigotes de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).	116
Figura 5.34. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas en 2018 y 2020, y transferencia de carga en 2018 (Ruta III).	121
Figura 5.35. Diagrama de caja y bigotes del indicador MRI en 2018 y 2020, y SFC en 2020 (Ruta III).	121
Figura 5.36. Porcentaje de secciones en los diferentes niveles de desempeño del indicador SFC para los tres escenarios (Ruta III).	125
Figura 5.37. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta III).	127
Figura 5.38. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta III).	127
Figura 5.39. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta III).	128
Figura 5.40. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta III).	128
Figura 5.41. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta III).	129

Figura 5.42. Valor en UF obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta III).....	130
Figura 5.43. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta III).	130
Figura 5.44. Valor en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta III).....	131
Figura 5.45. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta III).	131
Figura 5.46. Esquema de la enumeración de las pistas en la Ruta IV (MOP, 2020b).	134
Figura 5.47. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas y transferencia de carga en 2020 (Ruta IV).	136
Figura 5.48. Diagrama de caja y bigotes del indicador MRI y SFC en 2020 (Ruta IV).	136
Figura 5.49. Porcentaje de secciones en los diferentes niveles de desempeño del indicador MRI para los tres escenarios (Ruta IV).....	140
Figura 5.50. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta IV).	142
Figura 5.51. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta IV).	142
Figura 5.52. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta IV).....	143
Figura 5.53. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta IV).	143
Figura 5.54. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta IV).	144
Figura 5.55. Valor en UF obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta IV).	145
Figura 5.56. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta IV).	145
Figura 5.57. Valor en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta IV).	146
Figura 5.58. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta IV).	146
Figura A.1. Ficha técnica para evaluar la regularidad longitudinal del pavimento (Muñoz, 2020).	164
Figura A.2. Protocolo de calificación del indicador MRI por sección de la carretera (Muñoz, 2020).	164
Figura A.3. Protocolo de calificación global del indicador MRI (Muñoz, 2020).	165
Figura A.4. Ficha técnica para evaluar la resistencia al deslizamiento del pavimento (Muñoz, 2020).	165
Figura A.5. Protocolo de calificación del indicador SFC por sección de la carretera (Muñoz, 2020).	166

Figura A.6. Protocolo de calificación global del indicador SFC (Muñoz, 2020).	166
Figura A.7. Ficha técnica para evaluar el ruido de rodadura del pavimento (Muñoz, 2020).	167
Figura A.8. Protocolo de calificación del indicador OASI por sección de la carretera (Muñoz, 2020).	167
Figura A.9. Protocolo de calificación global del indicador OASI (Muñoz, 2020).	167
Figura A.10. Ficha técnica para evaluar el agrietamiento del pavimento (Gómez, 2020).	168
Figura A.11. Protocolo de calificación del porcentaje de losas agrietadas por sección de la carretera (Gómez, 2020).	168
Figura A.12. Protocolo de calificación global del porcentaje de losas agrietadas (Gómez, 2020).	169
Figura A.13. Ficha técnica para evaluar la transferencia de carga del pavimento (Gómez, 2020).	169
Figura A.14. Protocolo de calificación del porcentaje de transferencia de carga por sección de la carretera (Gómez, 2020).	169
Figura A.15. Protocolo de calificación global del porcentaje de transferencia de carga (Gómez, 2020).	170
Figura B.1. Acciones de conservación para pavimentos de hormigón en red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d).	171
Figura B.2. Umbrales de intervención para pavimentos de hormigón en red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d).	171
Figura B.3. Árbol de decisión para pavimentos de hormigón para conservación en red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d).	171
Figura B.4. Estándares de trabajo sugeridos para pavimentos de hormigón de autopistas (MDS, 2017).	172
Figura D.1. Relación entre temperatura del pavimento y del aire (Ruta I).	186
Figura D.2. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2007 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta I).	187
Figura D.3. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2020 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta I).	188
Figura D.4. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2020 a diferentes alternativas de inclusión de la transferencia de carga (Ruta I).	188
Figura D.5. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2020 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta II).	189
Figura D.6. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2020 a diferentes alternativas de inclusión de la transferencia de carga (Ruta II).	190
Figura D.7. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2018 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta III).	191
Figura D.8. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2018 a diferentes alternativas de inclusión de la transferencia de carga (Ruta III).	191
Figura D.9. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2020 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta IV).	192

Figura D.10. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 20 de la concesión tipo a diferentes alternativas de inclusión de la transferencia de carga (Ruta IV).	193
Figura E.1. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2020 a diferentes consideraciones para el agrietamiento (Ruta I).....	196
Figura E.2. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2020 a diferentes consideraciones para el agrietamiento (Ruta II).	197
Figura E.3. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2018 a diferentes consideraciones para el agrietamiento (Ruta III).	198
Figura E.4. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 20 de la concesión tipo a diferentes consideraciones para el agrietamiento (Ruta IV).	199
Figura F.1. Valor obtenido en año 0 y 20 con modelo propuesto en las diferentes rutas para un escenario pesimista.	200
Figura F.2. Valor en año 0 y 20, y valor mínimo obtenido con modelo propuesto en las diferentes rutas para un escenario realista.	201
Figura F.3. Valor en año 0 y 20, y valor mínimo obtenido con modelo propuesto en las diferentes rutas para un escenario optimista.	201

Introducción

Problema y oportunidad de investigación

A nivel mundial, la gestión de carreteras está pasando desde un enfoque en las obras mismas a un enfoque en distintos objetivos estratégicos (de Solminiach et al., 2018). La literatura coincide en que tres de los principales objetivos estratégicos de la gestión de carreteras son la entrega de un adecuado nivel de servicio a los usuarios, la conservación del patrimonio vial y el beneficio a la comunidad y medio ambiente (Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos [CICCP], 2005; Delgadillo et al., 2018; Ebensperger, 2020; Muñoz, 2020; Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2001a). Sin embargo, en Chile, tanto en la red vial pública como concesionada la gestión de la conservación del patrimonio y el nivel de servicio se realiza de una manera agregada, sin evaluar de manera diferenciada los aspectos que importan a los administradores de las carreteras de los que importan a los usuarios de los vehículos que transitan por la vía (Ministerio de Obras Públicas [MOP], 2019a, 2020d). Además, la evaluación del impacto a la comunidad y medio ambiente aledaño no es tomado en cuenta en la fase de explotación de carreteras (MOP, 2021k; Servicio de Evaluación Ambiental [SEA], 2021). En función de lo anterior, se han realizado esfuerzos de investigación con el objetivo de desarrollar modelos para la evaluación diferenciada de cada uno de los tres objetivos estratégicos antes mencionados, que funcionen de manera conjunta durante la fase de explotación de carreteras concesionadas interurbanas chilenas (Ebensperger, 2020; Gómez, 2019; Muñoz, 2020).

La valorización de activos viales es una alternativa para evaluar y/o asegurar la conservación del patrimonio vial que se ha llevado a cabo en diferentes países del mundo. En particular, la valorización de las obras se ha incorporado incipientemente en bases de contratos de concesiones viales en nuestro país para definir un pago final del Estado a la empresa concesionaria por el valor residual de la infraestructura al final del período de concesión (MOP, 2019, 2021). Sin embargo, dicha incorporación se ha realizado a través de una metodología que no está adaptada a los estándares de carreteras concesionadas. En particular, se hace referencia a un estudio básico realizado por la Dirección de Vialidad para definir una metodología para valorizar la red vial no concesionada del país, con el objetivo de justificar necesidades de financiamiento. Esto último puede incrementar la variabilidad y el riesgo tomado por el concesionario, lo cual, a su vez, se puede traducir en un aumento de tarifas de peaje cobrada a los usuarios. Por otro lado, variabilidades significativas tampoco son aceptadas por el sector financiero, ya sea público o privado, lo cual puede perjudicar el financiamiento de este tipo de obras, que tienen una gran importancia económica y social (MOP, 2016a). Además, nuestro país tiene compromisos internacionales de contabilidad tras incorporarse a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), entre los cuales está la tarea de valorizar toda la infraestructura administrada por el Ministerio de Obras Públicas (Contraloría General de la República de Chile [CGR], 2015).

Por otro lado, los pavimentos son el activo vial más importante en carreteras concesionadas, llegando a representar un porcentaje importante del valor total de este tipo de carreteras en Chile (MOP, 2019b, 2021e, 2021d). Hasta la fecha, se han realizado esfuerzos de investigación destinados a desarrollar un modelo de valorización para pavimentos asfálticos, implementable en bases de licitación de concesiones viales interurbanas (Marzal et al., 2021). Sin embargo, esto último no ha ocurrido para el caso de pavimentos de hormigón, los cuales abarcan entre el 10% y 25% de la longitud total de pistas de la vía principal en algunas carreteras interurbanas concesionadas de la zona centro y sur del país, teniendo una configuración típica de Pavimento de Hormigón Simple con Juntas (MOP, 2019b, 2021e, 2021d).

De esta forma, surge la necesidad de desarrollar un modelo de valorización para los pavimentos de hormigón de carreteras concesionadas interurbanas, que sea precisa y objetiva, y que permita evaluar la gestión de la conservación llevada a cabo por el concesionario en el tiempo. Además, dicho modelo

debe formar parte de una metodología de valorización, que incluya todos los activos relevantes de una carretera concesionada en términos de valor, y funcione en conjunto con un modelo de evaluación del nivel de servicio a los usuarios que se encuentra actualmente en implementación por parte de la Dirección General de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas (Delgadillo et al., 2020).

Definiciones e importancia de la valorización de activos viales

En la literatura es posible encontrar variadas definiciones para la valoración de activos, que dependen principalmente de quién o quiénes deseen hacer la valorización y cuáles son los objetivos de la misma. Marston (1970) la define como el arte de estimar la medida monetaria justa de la conveniencia de la posesión de propiedades específicas para un propósito específico, basado fundamentalmente en la capacidad de producir algún tipo de servicio durante su vida útil futura esperada (Acharya, 2014; Falls et al., 2004). También ha sido definida como el proceso de estimar el valor de un activo específico en una fecha determinada, midiendo su valor relativo o la riqueza del activo a lo largo del tiempo (Alyami & Tighe, 2016; Herabat et al., 2002). Otros consideran que la valorización de activos es el proceso de estimar el valor monetario de un activo físico en base a su costo histórico, edad, condición y valor depreciado (Federal Highway Administration [FHWA], 2016; Turnbull, 2015; Weldemicael et al., 2018).

Independientemente de la definición utilizada, la valoración de activos es considerada un elemento clave de la gestión de activos viales, al contribuir en los siguientes aspectos: apoyar a la supervisión de alto nivel para verificar si se están utilizando correctamente los fondos de los contribuyentes (Alyami & Tighe, 2016; Dojutrek et al., 2012); determinar el efecto de las estrategias de inversión en el valor futuro de los activos (Turnbull, 2015); evaluar el riesgo y la resiliencia de la infraestructura (Colorado Department of Transportation [CDOT], 2016); evaluar inversiones usando el valor monetario en lugar de otros criterios que tienen distintas unidades y escalas (Dojutrek et al., 2012; Falls et al., 2005); justificar necesidades de financiamiento de la infraestructura vial (Alyami & Tighe, 2016; CDOT, 2016; Dojutrek et al., 2014; Ellis & Thompson, 2007; FHWA, 2016; London Bridges Engineering Group [LoBEG], 2012; Slavinska et al., 2017; Turnbull, 2015); optimizar y/o priorizar las inversiones en mantenimiento y rehabilitación vial (Acharya, 2014; Do & Jung, 2018); proveer una base para calcular el valor de peajes en redes con cobro (Timár, 2016); proveer una base precisa para la formulación de mejores políticas por parte del gobierno y legisladores (Weldemicael et al., 2018); vincular la planificación de inversiones y la contabilidad financiera (Dojutrek et al., 2012; FHWA, 2016). Además, el valor de activos puede ser incorporado en la gestión de activos viales como una medida de desempeño, que traduce la condición de la infraestructura en términos monetarios que pueden ser fácilmente comunicados y entendidos por distintas partes interesadas en la infraestructura, como los encargados de formular políticas, agencias viales, usuarios y el público general (Alyami, 2017; Turnbull, 2015).

Debido a la importancia de la valoración de activos, su necesidad ha sido incorporada en distintos países a través de requerimientos legales de contabilidad (Alyami, 2017; Ellis & Thompson, 2007; Falls et al., 2004; Weldemicael et al., 2018), los cuales deben seguir procedimientos estandarizados. Ejemplos de dichos requerimientos son: Government Accounting Standards Board's Statement 34 (GASB 34) en Estados Unidos; Public Sector Accounting and Auditing Board (PSAAB) en Canadá; European System of Account (ESA) en Europa; y Australian Accounting Standards Board (AASB) en Australia.

Objetivos y partes interesadas en la valorización

La valoración de activos es ambigua en el sentido que tiene diferentes significados para diferentes disciplinas. Por ejemplo, para un economista el valor de un activo o infraestructura consiste en su contribución a la actividad económica, mientras que para un empresario o persona de negocios el valor lo determina el potencial de generación de ingresos o el precio de mercado de activos similares (FHWA, 2016). Se ha mencionado que una forma de evitar esta ambigüedad es no considerar los

beneficios generados por los activos (Turnbull, 2015). Por lo mismo, un inconveniente en la determinación del valor de los activos es que no hay un método de valorización universalmente aceptado, dificultando de distinta forma a cada una de las motivaciones anteriores (Alyami & Tighe, 2016). Por ejemplo, en la gestión de activos viales, debido a la gran cantidad de métodos existentes no se ha podido relacionar de manera efectiva la depreciación de los activos con la inversión en mantenimiento (Falls et al., 2005). Otro problema que se presenta es la incertidumbre de los métodos de valorización y la falta de comprensión de los modelos de predicción del desempeño de los activos, lo que ha creado obstáculos en la aceptación de la valorización basada en el desempeño por parte de la comunidad financiera (Falls et al., 2004).

De acuerdo con lo anterior, los activos viales pueden tener distintos tipos de valor al mismo tiempo dependiendo del método de valorización utilizado (Amekudzi-Kennedy et al., 2019). La selección del método apropiado para cada caso dependerá de los objetivos y de las partes interesadas en la valorización, ya que para cada una de estas partes el valor de los activos tiene un significado diferente (Amekudzi et al., 2002). Por lo tanto, la selección de los métodos de valorización de activos viales más adecuados debe hacerse en función de los aspectos valorados por la parte interesada en cuestión (Amekudzi et al., 2002; Herabat et al., 2002).

En el contexto de carreteras los interesados principales son los propietarios y usuarios, ya que la carretera proporciona un acceso seguro, cómodo y conveniente al público (los usuarios) y es un componente importante para el crecimiento económico de la provincia o estado (el propietario) (Falls et al., 2004). Otra parte interesada relevante corresponde a las agencias administradoras que están a cargo de mantener las vías en condiciones operacionales aceptables, cuyo desempeño es posible de evaluar según la condición presente en el pavimento y según los costos de operación de los vehículos de los usuarios (Dewan & Smith, 2005). También se han señalado otras partes interesadas en la valorización de infraestructura vial, tales como los profesionales de ingeniería y construcción, responsables de decisiones y políticas de inversión, la comunidad y el público general (Amekudzi et al., 2002).

Para los usuarios de carreteras, se han definido distintos indicadores de valor, tales como la movilidad, accesibilidad, seguridad, durabilidad, calidad ambiental y obsolescencia funcional (Amekudzi et al., 2002), la conveniencia y satisfacción de la infraestructura (Falls et al., 2004), la condición de los activos (Dojutrek et al., 2012) y la capacidad de servicio (Leviäkangas et al., 2019). Por otro lado, para los propietarios de la infraestructura vial se han identificado como indicadores de valor la contabilidad y salud fiscal de las agencias viales (Amekudzi et al., 2002), el aumento de la productividad y la prosperidad (Falls et al., 2004), la conservación y durabilidad de los activos (Leviäkangas & Michaelides, 2014), y se ha asegurado que la forma más sencilla de relacionar al usuario y al propietario de carreteras es a través de la condición de los activos (Falls et al., 2004). En cuanto a los administradores de las agencias viales, entre los indicadores de valor se encuentran la eficiencia económica y los objetivos de usuarios (Amekudzi et al., 2002), aunque el valor también se ha definido en función de la vida útil restante (Dojutrek et al., 2014). Por último, Amekudzi et al. (2002) señalan que: a los profesionales de ingeniería y construcción les interesan las oportunidades de mejorar la infraestructura; a la comunidad y público general el impacto económico, social y ambiental; a los responsables de decisiones y políticas de inversión la condición y nivel de servicio general del sistema de transporte; a los sectores más desfavorecidos (bajos ingresos o edad avanzada) les importa la equidad en beneficios y costos de las mejoras en transporte.

Valorización de activos viales en asociaciones público-privadas

En vista del aumento de las necesidades de desarrollo de infraestructura y la contracción del presupuesto fiscal público, la participación de privados en la gestión de infraestructura pública ha incrementado los últimos años a nivel mundial (Islami & Hazhiyah, 2020). Las Asociaciones Público-Privadas (APP), en particular, son un mecanismo para mejorar la gestión de la infraestructura vial y

la selección de proyectos, así como también, para mejorar la gestión de proyectos y garantizar un mantenimiento adecuado basado en medidas de desempeño, evitando ciclos de construcción, seguidos de negligencia persistente y reconstrucciones de alto costo (The World Bank [TWB], 2017). En consecuencia, si los operadores privados descuidan ciertas medidas de desempeño podrían ser evaluados penalmente o entrar en incumplimiento, corriendo el riesgo de terminación del contrato y dejar de percibir los ingresos correspondientes (Turnbull, 2015).

Por otro lado, existe una fuerte preocupación del sector público en cuanto a la capacidad de gestión por parte del administrador privado en la conservación del valor de la infraestructura vial en el tiempo, y que esta sea devuelta en las condiciones establecidas en el contrato (Yuan & Li, 2018). Además, si es que hay datos que permitan evaluar el valor de la infraestructura, la valorización de esta podría incluirse como una medida de desempeño en los contratos de asociaciones público-privadas (Turnbull, 2015). Sin embargo, existen ciertas restricciones en cuanto a los métodos de valorización aplicables, referentes a las condiciones de operación y características propias de los contratos de carreteras bajo esta modalidad de administración, que deben ser estudiadas previamente a la selección de los métodos más apropiados.

Contenido del documento

El presente trabajo de tesis incluye 6 capítulos. En el capítulo 1 se presenta una revisión bibliográfica de los métodos de valorización para activos viales, incluyendo tanto métodos utilizados en la práctica como métodos propuestos a nivel de caso de estudio o de investigación. En el capítulo 2 se presentan algunas prácticas de valorización utilizadas en distintos países del mundo para la valorización de activos a nivel de red y en contratos de concesión. En el capítulo 3 se presenta la selección del método de valorización para los pavimentos de hormigón, discutiendo el contexto de la valorización de activos en carreteras concesionadas, analizando las ventajas y desventajas de los métodos disponibles en dicho contexto, y realizando una revisión de la gestión actual del activo. En el capítulo 4, se presenta el desarrollo del modelo de valorización propuesto para pavimentos de hormigón de la calzada de la vía principal, incluyendo todas las formulaciones e información necesaria para su aplicación. En el capítulo 5, se presenta la aplicación del modelo propuesto en cuatro casos de estudio utilizando datos reales de carreteras concesionadas interurbanas, y una comparación de resultados respecto a los modelos actuales de valorización utilizados en Chile para tres escenarios de gestión. Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones obtenidas en este trabajo, algunas recomendaciones y posibles investigaciones futuras.

Hipótesis

Una valorización de los pavimentos de hormigón de carreteras concesionadas interurbanas que sea compatible con el nivel de servicio y que incluya el estado de capacidad estructural de estos, posee mayor nivel de precisión y exactitud, que los procedimientos actuales de valorización para este activo vial.

Objetivos

Objetivo general:

- Desarrollar y evaluar un modelo de valorización para pavimentos de hormigón de carreteras concesionadas interurbanas, que sea implementable en bases de licitación y compatible con el nivel de servicio a los usuarios.

Objetivos específicos:

- Actualizar el estado del arte y de la práctica en la valorización de activos viales, identificando los distintos métodos de valorización existentes a nivel nacional e internacional.
- Identificar los métodos de valorización aplicables en carreteras concesionadas para evaluar la gestión de la conservación de los operadores privados.
- Proponer un modelo de valorización para los pavimentos de hormigón implementable en bases de licitación de carreteras concesionadas interurbanas.
- Aplicar, sensibilizar y verificar el modelo de valorización propuesto en casos de estudio utilizando datos reales de carreteras concesionadas interurbanas chilenas en etapa de explotación y diferentes escenarios de gestión.

1. Métodos de valorización de activos viales

En el presente capítulo se presenta la revisión del estado del arte en métodos de valorización de activos viales a nivel nacional e internacional. En base a esto, el capítulo se distribuye de la siguiente forma:

- En el apartado 1.1, se presentan los criterios existentes para clasificar los métodos de valorización de activos viales.
- En el apartado 1.2, se describen los métodos de valorización basados en los costos de construcción o conservación de los activos.
- En el apartado 1.3, se describen los métodos de valorización basados en los beneficios que traen los activos durante su vida útil.
- En el apartado 1.4 se describen los métodos de valorización basados en el valor de mercado de los activos.

Cabe mencionar que, en la descripción de los métodos se incluyen tanto los métodos tradicionalmente utilizados en la práctica como los que han sido desarrollados solo a nivel de investigación.

1.1. Criterios de clasificación de métodos de valorización

La valorización de activos viales tiene diferentes dimensiones. En particular, las dimensiones existentes para la valorización incluyen el tipo de valor considerado, el período de tiempo en que está basada, los indicadores de valor utilizados (relacionados con las partes interesadas) y si es que caracterizan o no los riesgos de inversión (Amekudzi et al., 2002). Además, se ha mencionado que los activos viales tienen una dimensión financiera, económica y técnica, que contribuyen al valor (Turnbull, 2015), siendo este último una cantidad subjetiva que debe abordarse dentro de un contexto de tiempo, lugar, propietarios potenciales y usuarios (Dewan & Smith, 2005). En conformidad con lo anterior, los criterios generalmente utilizados en la literatura para clasificar los métodos de valorización son los siguientes:

- **Tipo de valor considerado:** En general, el valor de la infraestructura vial puede atribuirse al valor del movimiento eficiente de bienes y personas, o el valor de capital de la infraestructura (OECD, 2001b). En consecuencia, los métodos de valorización se han clasificado a grandes rasgos, en métodos basados en costos, beneficios, ingresos, y valor de mercado (Amekudzi et al., 2002; Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Herabat et al., 2002; Li & Li, 2014; Slavinska et al., 2017; Weldemicael et al., 2018; Yuan & Li, 2018; Zhang & Peters, 2014; J. Zhu et al., 2020). Además, se ha indicado que los métodos basados en costos son los más adecuados para activos de infraestructura pública, debido a que su principal contribución es a la economía nacional y no son construidos con el propósito de generar ganancias (Yuan & Li, 2018). Estos métodos consisten en tomar como valor base el costo de reemplazo, histórico o de adquisición, y ajustarlo según la condición actual (Weldemicael et al., 2018).
- **Objetivos de la valorización:** Existen dos bases de contabilidad para la valorización de activos, siendo una la tradicional o “financiera” y la otra modificada o de “gestión”. La primera se basa en el uso del costo histórico ajustado por depreciación, y la segunda se basa principalmente en los costos de construcción históricos o de reemplazo de los activos, ajustados o no por su condición actual (Alyami, 2017; Ellis & Thompson, 2007). También se ha mencionado que los métodos que utilizan los costos históricos serían métodos contables, mientras que, los que ocupan el costo de reemplazo serían métodos ingenieriles (Lee & Lee, 2014).
- **Periodo de tiempo:** Existen métodos basados en costos o beneficios del pasado, presente y futuro (Alyami, 2017; Alyami & Tighe, 2016; Amekudzi et al., 2002).

Debido a la cantidad y variedad de estudios que clasifican los métodos de valorización de acuerdo al tipo de valor considerado, se utilizará este criterio para la clasificación y descripción de los métodos en este trabajo. Por otro lado, los beneficios pueden ser percibidos por diferentes partes interesadas en la infraestructura. Por ejemplo, están los beneficios económicos y sociales que trae una carretera para los usuarios y la comunidad (ahorros de tiempos de viaje, disminución de costos operativos de vehículos, aumento de negocios aledaños, etc.), así como también, los ingresos percibidos por propietarios y/o administradores durante la fase de explotación de una carretera (peajes). Por lo tanto, los métodos basados en ingresos forman un subconjunto de los métodos basados en beneficios, y los métodos de valorización encontrados en esta revisión serán clasificados en tres grupos: los métodos basados en el costo, en los beneficios y en el valor de mercado.

Es importante mencionar que, para todos los grupos anteriores, existen métodos tradicionales de valorización, los cuales han sido ampliamente utilizados en las prácticas de gestión y de contabilidad, y citados por diversos autores. También, existen métodos que han sido propuestos por diferentes grupos de investigación, los cuales no han sido utilizados en la práctica, o bien, han sido utilizados de manera incipiente y/o exploratoria por algunos departamentos o agencias de transporte. Todos estos métodos, con y sin experiencia práctica previa, serán descritos en los tres siguientes apartados.

1.2. Métodos basados en el costo

1.2.1. Métodos tradicionales

a. Enfoque de depreciación

El enfoque de depreciación es generalmente utilizado para la contabilidad financiera de activos fijos (Alyami, 2017; Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Zhang & Peters, 2014). El método de depreciación más citado corresponde al valor en libros o también conocido como valor “contable”, el cual considera el costo histórico de los activos y aplica diferentes formas de depreciación durante su vida útil (Dojutrek et al., 2012). Por otro lado, se ha mencionado, que utilizar este enfoque puede dar una falsa impresión de una gestión eficiente por parte de una agencia, en caso de que los activos no sean conservados de forma adecuada (Zhang & Peters, 2014).

Como se ha mencionado anteriormente, el Valor en Libros (BV) de un activo, corresponde a los costos históricos depreciados al presente, donde los costos históricos incluyen costos iniciales de construcción más los costos posteriores de mantenimiento y rehabilitación (Alyami & Tighe, 2016; Amekudzi et al., 2002; Falls et al., 2004; Plazak, 2010). En consecuencia, el valor del activo se calcula según lo indicado en la Ecuación 1.1:

$$BV_t = HC \cdot FD_t \quad (1.1)$$

Donde:

BV_t : Valor en libros del activo en el tiempo t.

HC : Costo histórico del activo.

FD_t : Factor de depreciación en el tiempo t.

Este método de valorización es usado comúnmente para propósitos de contabilidad financiera de activos públicos y puede ser un indicador de salud fiscal de las agencias viales (Alyami & Tighe, 2016; Amekudzi et al., 2002; Dewan & Smith, 2005). También se ha mencionado que es el método más utilizado para la gestión de activos viales (Stone, 2014). Cabe mencionar que el factor de depreciación puede ser calculado de diversas formas, asumiendo un patrón lineal o curvilíneo para el deterioro del activo (Dojutrek et al., 2014).

Dentro de las ventajas del uso del valor en libros, se puede destacar que relativamente tiene una mayor exactitud que métodos basados en el futuro, al considerar el valor presente de los costos pasados

(Alyami, 2017; Amekudzi et al., 2002). Dentro de las desventajas está que no considera el uso de los activos ni las nuevas tecnologías, así como tampoco, los cambios en los precios y estándares de servicio (Alyami, 2017; Falls et al., 2004). Además, se ha mencionado que las agencias que utilicen este método deben definir qué fondos gastados en la infraestructura deben considerarse como gastos capitalizados y qué parte debe considerarse como gastos para mantener el activo, lo cual puede ser complicado (Dewan & Smith, 2005). En efecto, también se ha mencionado que en este método que los costos de mantenimiento deben ser tratados como gastos, es decir, no se suman al valor de activo, mientras que, los costos de rehabilitación, expansión y reconstrucción son costos capitalizados que si añaden valor al activo (Dojutrek et al., 2014).

Por otro lado, existe el método de Valor Equivalente Presente en el Lugar (EPWIP), el cual corresponde al valor en libros del activo ajustado por inflación, deterioro, desgaste y agotamiento (Acharya, 2014; Alyami & Tighe, 2016; Amekudzi et al., 2002; Stone, 2014). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.2:

$$V_t = BV_t \cdot (DV_1 + DV_2) \quad (1.2)$$

Donde:

BV_t : Valor libro ajustado por inflación en tiempo t.

DV_1 : Factor de ajuste por deterioro.

DV_2 : Factor de ajuste por agotamiento (en caso de materiales almacenados).

Al considerar el valor en libros, el método EPWIP tiene usos similares y las mismas ventajas y desventajas que dicho método de valorización. Sin embargo, al considerar ajustes por deterioro y agotamiento, permite tener una referencia del nivel de condición relativo de los activos (Amekudzi et al., 2002). Además, permite considerar cambios en los precios al ajustar el valor libro por inflación (Acharya, 2014). Por último, cabe mencionar que este método ha sido ocupado para pavimentos en un caso de estudio, donde solo se consideró ajuste por deterioro, basado en un indicador de condición (Alyami, 2017).

A continuación, se presentan los diferentes métodos de depreciación utilizados para calcular el valor en libros de un activo.

a.1. Depreciación Lineal (SLD)

Se asume una pérdida constante de valor en el tiempo y es el método más utilizado dentro del enfoque de depreciación (Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Dojutrek et al., 2014; Zhang & Peters, 2014). El valor del activo en el tiempo t se calcula según la Ecuación 1.3:

$$BV_t = HC - \frac{HC - S}{t_s - t_p} \cdot (t - t_p) \quad (1.3)$$

Donde:

HC : Costo histórico del activo.

S : Valor residual (precio por el que el activo puede venderse al final de su vida útil).

t : Año de estudio.

t_s : Año de término de vida útil.

t_p : Año de construcción.

Dentro de las ventajas de la depreciación lineal, es que es relativamente fácil de calcular y que los datos necesarios para el cálculo están generalmente disponibles (Falls et al., 2004). En cuanto a las

desventajas, se ha señalado que tiende a subestimar el valor de activos jóvenes o sobrestimar el valor de activos viejos (Acharya, 2014; Dojutrek et al., 2012), lo cual se debe a que los activos viales en general tienden a presentar patrones sigmoidales para el caso de puentes (Chorzepa et al., 2019) y curvilíneos para pavimentos (Gyamfi-Yeboah & Ayitey, 2009). Por otro lado, no reconoce la buena administración del activo a través del mantenimiento preventivo oportuno y puede subestimar o sobrevalorar los activos, ya que vincula el desempeño sólo con la edad del activo (Falls et al., 2005).

Por otro lado, existe el método GASB 34, el cual corresponde a un caso especial de depreciación lineal, en donde el valor residual es igual a cero y se permite estimar el costo histórico en función de las tendencias de costos de construcción actuales (Falls et al., 2004). Este método igual está basado en costos históricos, y si estos no están disponibles se puede obtener en base al costo de reemplazo ajustado por deflación. Luego se ajusta el valor de acuerdo con la razón entre la vida útil remanente y la vida útil total del activo. Si están disponibles los costos históricos, se aplica la Ecuación 1.4:

$$BV_t = HC \cdot \left(\frac{Life - Age}{Life} \right) \quad (1.4)$$

Donde:

HC : Costo histórico del activo.

$Life$: Vida útil del activo.

Age : Edad del activo

Si es que no están disponible los costos históricos, se aplica la Ecuación 1.5:

$$BV_t = RC_t \cdot \left(\frac{PCI_c}{PCI_t} \right) \cdot \left(\frac{Life - Age}{Life} \right) \quad (1.5)$$

Donde:

RC_t : Costo de reemplazo del activo en el tiempo t.

PCI_t : Índice de precios de construcción en el tiempo t.

PCI_c : Índice de precios de construcción en año de construcción.

El valor de los activos es mayor para activos jóvenes, sin importar su función, ubicación y condición. Además, activos que son reconstruidos se les “reinicia” la edad y los activos que alcanzan su vida útil tienen valor cero (Alyami, 2017). Por otro lado, se ha mencionado que la vida útil remanente depende de modelos de desempeño y umbrales mínimos aceptables para rehabilitación o reconstrucción (Falls et al., 2005).

a.2. Balance de Declinación (DB)

Este método considera una tasa de depreciación fija cada año, pero aplicada al valor del año anterior (Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Dojutrek et al., 2012; Luburić et al., 2012; Zhang & Peters, 2014). Por lo tanto, implica una tasa de depreciación decreciente en el tiempo y un patrón curvilíneo para el valor del activo. El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.6:

$$BV_t = BV_{t-1} \cdot \left(1 - \frac{1}{N} \right) \quad (1.6)$$

Donde:

BV_{t-1} : Valor del activo en el año previo (en año inicial corresponde al costo histórico).

N : Período de análisis o vida útil.

También está el método de Doble Balance de Declinación (DDB), que es análogo al método anteriormente descrito, solo que la fracción del valor total a descontar cada año es el doble, por lo que se acelera aún más la depreciación. El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.7:

$$BV_t = BV_{t-1} \cdot \left(1 - \frac{2}{N}\right) \quad (1.7)$$

Donde:

BV_{t-1} : Valor del activo en el año previo (en año inicial corresponde al costo histórico).

N : Período de análisis o vida útil.

Es importante mencionar que tanto en ambas versiones de este método, el valor del activo nunca llega a cero y al igual que depreciación lineal, es bastante utilizado para propósitos de contabilidad financiera (Dojutrek et al., 2012). Sin embargo, se ha reportado que representa de manera más exacta el valor de los activos, en comparación con la depreciación lineal (Gyamfi-Yeboah & Ayitey, 2009; Zhang & Peters, 2014).

a.3. Suma de Dígitos Anuales (SOYD)

Este método determina el valor de un activo aplicando una diferente tasa de depreciación cada año de manera decreciente. En particular, considera una depreciación acelerada los primeros años de vida útil, al descontar todos los años una fracción del valor inicial que es proporcional a la vida útil restante, por lo que hacia el final de la vida útil se tiene una menor tasa de depreciación, generando así un patrón curvilíneo del valor del activo (Dojutrek et al., 2012; Gyamfi-Yeboah & Ayitey, 2009; Luburić et al., 2012; Zhang & Peters, 2014). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.8:

$$BV_t = HC - \frac{HC - S}{\frac{N}{2} (N + 1)} \cdot (N - t + 1) \quad (1.8)$$

Donde:

HC : Costo histórico del activo.

S : Valor residual.

t : Año de estudio.

N : Período de análisis o vida útil.

También existe el método de Suma Reversa de Dígitos Anuales (RSOYD), el cual es análogo al método descrito anteriormente, solo que se descuenta valor por un factor que es inversamente proporcional a la vida útil restante, teniendo así una baja tasa de depreciación los primeros años y una alta tasa los últimos años (Dojutrek et al., 2012; Gyamfi-Yeboah & Ayitey, 2009). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.9:

$$BV_t = HC - \frac{HC - S}{N(N + 1)} \cdot t(t + 1) \quad (1.9)$$

Donde:

HC : Costo histórico del activo.

S : Valor residual.

t : Año de estudio.

N : Período de análisis o vida útil.

Se ha mencionado que ambas versiones de este método se adaptan mejor al patrón de deterioro de cierto tipo de activos en comparación con la depreciación lineal, por lo que son más recomendables que esta última para la valorización (Gyamfi-Yeboah & Ayitey, 2009).

a.4. Depreciación Sigmoidal (SD)

Permite ajustar el valor de los activos a un patrón sigmoidal, en donde el activo se deprecia a una baja tasa al inicio y al final de su vida útil mientras que por la vida media presenta una mayor tasa de depreciación. El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.10:

$$BV_t = HC - \frac{A}{B + C \cdot t^D} \quad (1.10)$$

Donde:

HC : Costo histórico del activo.

A, B, C, D : Coeficientes calibrados para un activo específico.

También existe la forma sigmoidal inversa, la cual tiene un orden inverso donde el activo se deprecia rápidamente en sus primeros años de vida, lentamente durante sus años medios, y rápidamente de nuevo cerca del final de su vida útil (Dojutrek et al., 2012). En la Figura 1.1 se presenta un gráfico ilustrativo de las formas sigmoidal y sigmoidal inversa.

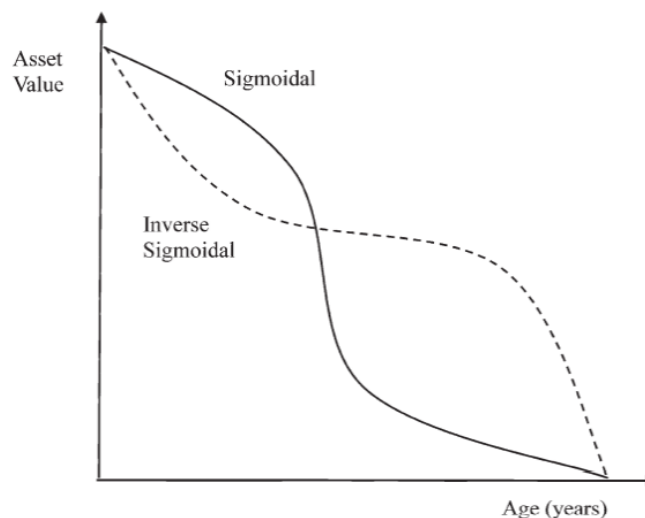


Figura 1.1. Formas sigmoidal y sigmoidal inversa (Dojutrek et al., 2012).

La función sigmoidal se ajusta de mejor manera al patrón de deterioro de la infraestructura para varios activos viales. Por lo tanto, es probable que la función sigmoidal tenga un mayor potencial de administración de la infraestructura que los otros métodos de depreciación, pero un menor potencial de los métodos del enfoque modificado que consideran explícitamente la condición de la infraestructura (Amekudzi-Kennedy et al., 2019).

Por otro lado, para el uso de este método es necesario ajustar los coeficientes del modelo de depreciación del activo a las condiciones de una carretera o red vial, para lo cual se requiere información de un largo periodo de tiempo (Deng et al., 2020).

b. Enfoque modificado

Los requerimientos de contabilidad de GASB 34 en Estados Unidos permiten el uso del enfoque modificado como una forma alternativa al enfoque de depreciación para reportar el valor de activos públicos. Su uso es adecuado para aquellas agencias que tengan un sistema robusto de gestión de

activos y sean capaces de mantener la condición de la infraestructura en el tiempo a través del mantenimiento y rehabilitación efectiva de los activos (Dojutrek et al., 2014; Ellis & Thompson, 2007; Zhang & Peters, 2014). En este enfoque, los costos de mantención y rehabilitación son tratados como gastos, mientras que los de expansión y reconstrucción son costos capitalizados, es decir, le añaden valor al activo (Dojutrek et al., 2014).

b.1. Costo de Reemplazo (RC)

En este método, el valor del activo vial corresponde a su costo de reemplazo, correspondiente al costo necesario para reconstruirlo o sustituirlo, basado en los precios del mercado actuales (Alyami & Tighe, 2016; Dewan & Smith, 2005; Falls et al., 2004; OECD, 2001b; Plazak, 2010). Este costo debe incluir todos los costos relevantes, incluidos los costos de planificación, diseño, preparación del terreno, movimiento de tierras y construcción, los cuales pueden estimarse a partir de registros de carreteras similares de construcción reciente (Dewan & Smith, 2005). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.11:

$$V_t = RC_t \quad (1.11)$$

Donde:

RC_t : Costo de reemplazo (costo necesario para reconstruir o sustituir el activo) en el tiempo t.

Este método es usado comúnmente por agencias públicas para servicios subterráneos como alcantarillado y varios tipos de infraestructura (Alyami, 2017; Falls et al., 2004). Además, se ha recomendado utilizar para activos de corta vida o de mantenimiento programado en el tiempo (Falls et al., 2005). Como el valor es obtenido a partir de costos unitarios, este método es simple de utilizar, y puede ser comunicado y entendido fácilmente. Sin embargo, está sujeto a la variación del mercado para precios futuros y no considera la condición del activo, pudiendo dos activos similares en distinta condición tener el mismo valor (Acharya, 2014; Alyami, 2017; Falls et al., 2004). Otro inconveniente es que muchas veces puede no reflejar el costo de construcción de activos de edad avanzada, ya que las normas y especificaciones constructivas han cambiado a lo largo del tiempo, incorporando nuevas tecnologías y mayores volúmenes de tráfico. En consecuencia, el valor calculado será en la mayoría de estos casos una sobreestimación de los costos históricos incluso ajustados por inflación (Dojutrek et al., 2012). Por otro lado, en el caso de activos en los que los diseños más conservadores hayan evolucionado con el tiempo, el costo de reemplazo sería una subestimación del costo histórico (Dojutrek et al., 2012).

b.2. Costo Histórico (HC)

En este método el valor del activo corresponde al costo histórico, que está referido al costo de construcción original, el cual, a diferencia del costo de reemplazo, que refleja las nuevas especificaciones y tecnologías en el momento actual, considera lo que se gastó originalmente en el terreno al momento de la construcción (Dojutrek et al., 2012; OECD, 2001b). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.12:

$$V_t = HC \quad (1.12)$$

Donde:

HC : Costo histórico (monto gastado originalmente en la construcción o adquisición del activo).

Un ejemplo del uso de costo histórico como método de valorización es un estudio realizado en Corea, en donde los activos de puentes son valorizados por medio del costo histórico traído al presente con una tasa de descuento real, y alternativamente, con el método GASB34 modificado, que considera el costo de construcción histórico y el costo total invertido en el puente durante su vida útil (Lee & Lee, 2014).

Este método, a pesar de usar información que generalmente está disponible y que es relativamente fácil de entender, tiene muchas desventajas. Algunas de las desventajas son no considerar la condición ni el uso del activo, así como tampoco los cambios en los precios, tecnologías y estándares de servicio (Falls et al., 2004).

b.3. Costo de Reemplazo Ajustado (RCaj)

El valor del activo en este método corresponde al costo histórico ajustado por la inflación (Acharya, 2014; Dojutrek et al., 2012), por lo que tiene las mismas características, ventajas y desventajas que dicho método, solo que en este caso si se considera los cambios en los precios. El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.13:

$$V_t = HC \cdot \left(\frac{CPI_t}{CPI_0} \right) \quad (1.13)$$

Donde:

HC : Costo histórico del activo.

CPI_t : Índice de precios de construcción en año t.

CPI_0 : Índice de precios de construcción en año de construcción.

La versión inversa de este método, es decir, cuando se desea estimar el costo histórico a partir del costo de reemplazo, es conocido como el método “GASB Deflactado” (Acharya, 2014; Falls et al., 2004).

b.4. Costo de Reemplazo Escrito (WDRC)

En este método se entiende que el valor de activo corresponde a su costo de construcción, reducido en función del cociente entre la condición actual y la mejor condición posible. El costo de construcción a considerar en el cálculo puede ser el costo histórico (Acharya, 2014; Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Dojutrek et al., 2012), o el costo de reemplazo (Alyami & Tighe, 2016; Ellis & Thompson, 2007; Falls et al., 2004; Zhang & Peters, 2014). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.14:

$$V_t = C \cdot \left(\frac{P_t}{P_{best}} \right) \quad (1.14)$$

Donde:

C : Costo histórico o de reemplazo del activo.

P_t : Condición del activo en tiempo t.

P_{best} : Mejor condición posible del activo.

Este método es utilizado comúnmente para propósitos de contabilidad de gestión (Alyami, 2017; Falls et al., 2004). Además, es recomendable para activos de larga vida y con un mantenimiento basado en el desempeño (Falls et al., 2005). Particularmente, ha sido recomendado para la valorización de puentes individuales o redes de puentes bajo sistemas de gestión que registren los datos de condición en el tiempo (Ellis & Thompson, 2007).

Dentro de las ventajas de este método, está que refleja los precios y tecnologías actuales cuando se considera el costo de reemplazo, que es fácilmente entendible, que permite comparar activos y provee una base para la presupuestación (Alyami, 2017; Falls et al., 2004). También se ha mencionado que indica apropiadamente que tan bien un departamento de transportes mantiene el valor de sus activos en el tiempo y que se debiese preferir por sobre el método de costo de reemplazo (Acharya, 2014).

Dentro de las desventajas, se encuentra que puede estar sujeto a fuerzas externas del mercado (si se usa el costo de reemplazo), requiere un buen modelado del desempeño (en caso de que no se hayan medido las condiciones directamente en terreno) y que genera dudas respecto a cómo manejar los reemplazos actualizados o mejorados de activos (Alyami, 2017; Falls et al., 2004). Por otro lado, este método no considera un umbral de condición de falla, por lo que puede subestimar o sobreestimar el valor del activo (Dojutrek et al., 2012).

b.5. Valor Ajustado Respecto a Condición Límite (AVRLC)

Este método es similar al Costo de Reemplazo Escrito (WDRC), solo que en este caso se ajusta la relación de condición con respecto a un umbral de condición límite, es decir, la peor condición posible (Acharya, 2014; Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Dojutrek et al., 2012). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.15:

$$V_t = C \cdot \left(\frac{P_t - P_{worst}}{P_{best} - P_{worst}} \right) \quad (1.15)$$

Donde:

C : Costo histórico o de reemplazo del activo.

P_t : Condición del activo en tiempo t .

P_{best} : Mejor condición posible del activo.

P_{worst} : Peor condición posible del activo.

Se ha señalado que este método proporciona una técnica superior ya que reconoce el cambio de valor del activo en todo momento, lo que permite conocer la condición y establecer una tendencia para predecir cuándo debe repararse (Dojutrek et al., 2012). Por otro lado, a diferencia del método de Valor Fijo Respecto a Condición Límite (FVRLC), proporciona a los administradores viales valores diferentes en el tiempo y no un valor constante (Dojutrek et al., 2012). Además, ha sido recomendado en conjunto con modelos de predicción de desempeño para obtener el valor futuro de activos de infraestructura de alcantarillado (Park & Sinha, 2009).

b.6. Valor Fijo Respecto a Condición Límite (FVRLC)

Según este método, el valor del activo es de carácter binario. El valor es el costo de construcción (reemplazo o histórico), siempre y cuando no se haya alcanzado la condición límite (peor condición admisible). Si esto último ocurre, el valor del activo es cero (Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Dojutrek et al., 2012).

Se ha afirmado que este método no toma en cuenta el patrón de deterioro en el tiempo de activos, por lo que se espera que los administradores viales no sean capaces de adquirir información respecto a los patrones de deterioro hasta el punto en que se alcanza la condición límite (Dojutrek et al., 2012). Además, asume un valor estable en el tiempo, lo cual puede no ser el caso, ya que el deterioro disminuye el valor independiente si se está sobre un valor de umbral (Dojutrek et al., 2012).

b.7. Valor Neto Residual (NSV)

Según este método, el valor de un activo en un determinado momento se calcula como la diferencia entre su costo total como “nuevo” y el costo del trabajo necesario para devolverlo a su estado como “nuevo”, es decir, corresponde a la diferencia entre el costo de reemplazo y el costo de rehabilitación (Alyami & Tighe, 2016; Dojutrek et al., 2012; Falls et al., 2004). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.16:

$$V_t = RC_t - RehabC_t \quad (1.16)$$

Donde:

RC_t : Costo de reemplazo del activo en el tiempo t.

$RehabC_t$: Costo de rehabilitación en año t.

Este método ha sido recomendado para activos de larga vida, que tengan tanto una mantención programada como una mantención basada en el desempeño (Falls et al., 2005). Para utilizarlo, es imperativo establecer criterios para poder aplicar un cierto trabajo de rehabilitación a una sección determinada, ya que, para calcular el valor de los activos, se deben hacer algunas suposiciones con respecto a las decisiones de rehabilitación (Alyami, 2017).

Por otro lado, este método ha sido utilizado en Canadá, donde ha sido identificado como el favorito para valorizar activos ferroviarios (Falls et al., 2004). También ha sido utilizado en Chile en un estudio que analiza el efecto del mantenimiento sobre el valor de activos viales en caminos de bajo volumen (De Solminihac et al., 2007) y para la valorización de la red vial nacional del año 2013 (MOP, 2016b). En Irlanda se ha propuesto un método basado en los costos para valorizar una red de carreteras muy similar al de valor neto residual. En dicho método, a los costos de construcción de la base, subbase, y superficie de la carretera se le resta el costo asociado a la pérdida de condición entre los estados “como nuevo” y “casi nuevo”, y los costos de mantención periódicos, de rehabilitación, y de reemplazo (Snaith & Orr, 2006). Cabe mencionar que el método anterior es aplicado en distintas celdas de la carretera, está enfocado en el estado de los pavimentos con umbrales definidos por usuarios y ha sido utilizado con éxito en el país de Irlanda para reportar el valor de sus activos viales a nivel de red (Deng et al., 2020; Snaith & Orr, 2006).

Una de las ventajas identificadas de este método es que usa datos que generalmente están disponibles (Alyami, 2017; Falls et al., 2004). Además, refleja una correlación directa entre el desempeño de los activos y su depreciación, al considerar esta última como el costo de reparación de los activos (Deng et al., 2020). Por otro lado, una de sus desventajas, es que se asume que los tratamientos de rehabilitación pueden restaurar un activo a su condición prístina, lo cual puede ser poco realista (Dojutrek et al., 2012). Además, al igual que los métodos que incluyen el costo de reemplazo, se ve afectado por fluctuaciones de precios unitarios en el tiempo y existe dificultad para predecir los futuros precios de construcción (Alyami, 2017; Falls et al., 2004).

En la Figura 1.2 se puede ver una representación gráfica del método de valor neto residual.

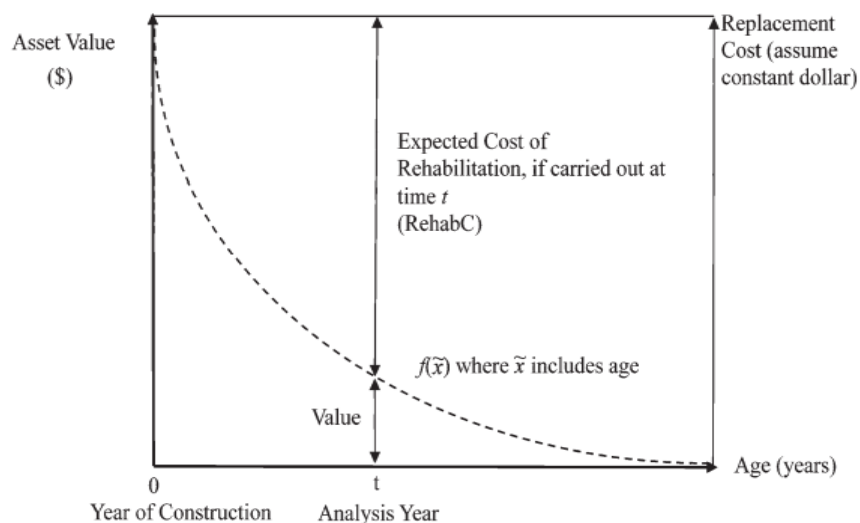


Figura 1.2. Representación gráfica del método de Valor Neto Residual (Dojutrek et al., 2012).

c. Otros enfoques

c.1. Costo de Reemplazo Depreciado (DRC)

El método de costo de reemplazo depreciado ha sido definido de diversas formas en la literatura, pero en general, implica valorizar los activos descontando al costo de reemplazo actual un monto de depreciación, que puede estar relacionado con la condición y/o edad actual del activo, como se señala en la Ecuación 1.17:

$$V_t = RC_t - D \quad (1.17)$$

Donde:

RC_t : Costo de reemplazo del activo en el tiempo t.

D : Depreciación del activo.

Según el código “Code of Practice on the Highways Network Asset” de Reino Unido (Chartered Institute of Public Finance and Accountancy [CIPFA], 2016), el costo de reemplazo depreciado es calculado a partir del Costo de Reemplazo Bruto (GRC), el cual corresponde al costo total de reemplazar un activo por su activo equivalente moderno (MEA), menos la depreciación acumulada y un descuento adicional denominado “Impairment”. El “Impairment” es un término contable utilizado para describir la situación en la que el valor en libros de un activo es mayor que su monto recuperable, debido a una disminución repentina o imprevista de su condición o desempeño. Según notas técnicas previas del mismo país, el costo de reemplazo depreciado se puede aplicar específicamente a estructuras viales como puentes, donde se calcula de la misma forma que en el código anteriormente mencionado, pero sin aplicar el descuento por “Impairment” (LoBEG, 2012). Además, en dichas notas técnicas se señalan factores de ajuste para el cálculo del costo bruto de reemplazo que dependen de diferentes criterios (por ejemplo, si las estructuras tienen valor patrimonial) y el uso de un indicador de condición para la obtención del factor de depreciación del activo estructural (LoBEG, 2012). En Australia las guías actuales de gestión de activos viales establecen que estos deben valorizarse a través de este método, de la misma forma señalada que en el código de Reino Unido. Las guías de Australia señalan también que el “Impairment” se reconoce como un gasto y surge principalmente porque la infraestructura se puede ver afectada por daños físicos, como por ejemplo, incendios o inundaciones, donde el monto recuperable del activo es menor que su valor contable y luego se debe registrar una pérdida por deterioro (Austroads, 2018). No obstante, se ha señalado que los daños físicos ocurridos en la infraestructura debido a dichos eventos generalmente son cubiertos por compañías de seguros (Leviäkangas & Michaelides, 2014).

Por otro lado, en un estudio de Sudáfrica, se ha propuesto un método para calcular el costo de reemplazo depreciado de estructuras basado en el supuesto de que la vida del activo es directamente proporcional a la condición (Roux et al., 2018). Dicho método contempla la valorización de puentes, alcantarillas, túneles, muros de contención y pórticos de señales, y consiste en multiplicar el costo de reemplazo actual del activo por el Índice de Condición de Promedio (ACI). El ACI varía entre 0 y 100%, y depende del grado y extensión de los defectos que tengan las estructuras, que son evaluados por medio de una inspección visual de ingenieros especialistas (Roux et al., 2018).

En la literatura también se ha propuesto calcular el valor de activos con este método aplicando simplemente una depreciación lineal del costo de reemplazo durante la vida útil del activo. En puentes, se ha sugerido aplicar una depreciación lineal basada en la edad para obtener el valor (Lee & Lee, 2014; Turnbull, 2015). Otros autores han propuesto lo mismo para otros activos y estructuras además de puentes, pero obteniendo la vida útil remanente en base al desempeño actual, obtenido a través de inspecciones en terreno y/o modelos de deterioro en el tiempo:

- En un estudio en Ghana se ha propuesto utilizar el costo de reemplazo depreciado como método de valorización (Gyamfi-Yeboah & Ayitey, 2009). El método propuesto determina una depreciación total de cada activo en función de su edad, obsolescencia funcional y deterioro físico. El deterioro por la edad de activo puede determinarse con el método de la suma de los dígitos anuales (SOYD) y con el de la suma inversa de los dígitos anuales (RSOYD), mientras que la obsolescencia funcional y el deterioro físico se obtiene como un porcentaje del costo de la vida remanente del activo y del costo de devolver al activo a su condición “como nuevo”, respectivamente.
- En un estudio en China se ha propuesto una formulación general para calcular el valor total de activos de una carretera (J. Zhu et al., 2020). El método de valorización utilizado para todos los activos corresponde al costo de reemplazo ajustado por depreciación, la cual está basada en la vida útil remanente y total de cada activo evaluado, excepto para las áreas verdes, en donde se considera una “tasa de pérdida”. Cabe destacar que solo los pavimentos y estructuras consideran la condición para definir la vida útil remanente, a través de indicadores técnicos y modelos de predicción específicos. Para activos menos relevantes en términos de valor como señales y elementos de seguridad, la vida útil remanente se define en función de la edad. Además, el método considera una cantidad significativa de activos relevantes de una carretera en términos de valor.

Por último, se ha mencionado que las ventajas de este método es que proporciona incentivos para las buenas prácticas de mantenimiento (Turnbull, 2015), se basa en una perspectiva más ingenieril que contable (Lee & Lee, 2014) y entrega un valor más realista que ocupar los costos históricos depreciados (FHWA, 2016).

c.2. Valor Presente Neto de Costos

El método de costo presente neto (NPC) ha sido utilizado ampliamente para el análisis de alternativas de inversión en mantenimiento y rehabilitación de activos viales, en el contexto de análisis de costo de ciclo de vida de un proyecto en particular (Alyami & Tighe, 2018). El costo presente neto se obtiene según la Ecuación 1.18:

$$NPC = \sum_{i=1}^k \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (1.18)$$

Donde:

C_i : Costo de mantenimiento y rehabilitación en el año i -ésimo.

r : Tasa de descuento.

k : Periodo de análisis en años.

Zhu & Lei (2011) propusieron estimar la devaluación sustancial de la carretera mediante una depreciación lineal durante su vida útil, sumada a una depreciación funcional asumida como los costos de operación excesivos, llevados a valor presente, para los años de servicio remanentes (Y. T. Zhu & Lei, 2011). Los costos de operación excesivos corresponden a los costos de mantenimiento preventivo de pavimentos asfálticos, los cuáles son traídos al presente mediante el método NPC. Un enfoque similar ha sido establecido para la valorización de activos de estructuras viales en Reino Unido (CIPFA, 2016).

c.3. Valor Residual

El valor residual corresponde al valor presente del monto obtenible de eliminar o reciclar el activo (Alyami & Tighe, 2016, 2018). Este método también se ha caracterizado también como el ingreso recuperable de los componentes de un activo (Amekudzi et al., 2002).

1.2.2. Métodos no tradicionales

a. Descomposición Elemental y Multicriterios (EDMC)

Este método considera la importancia relativa del usuario y de la agencia administradora, la condición del activo ajustada respecto a la condición límite, la vida de servicio del activo, y el costo histórico o de reemplazo según corresponda (Dojutrek et al., 2012, 2014). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.19:

$$V_t = w_u \cdot C \cdot \left(\frac{P_t - P_{worst}}{P_{best} - P_{worst}} \right) + w_a \cdot C \cdot \left(\frac{RSL_t}{SL} \right) \quad (1.19)$$

Donde:

- w_u : Peso relativo de la condición.
- w_a : Peso relativo de vida remanente de servicio.
- C : Costo histórico o de reemplazo del activo.
- P_t : Condición física en el tiempo t.
- P_{best} y P_{worst} : Mejor y peor condición física posible del activo.
- RSL_t : Vida remanente de servicio en el tiempo t.
- SL : Vida de servicio.

Las ventajas de este método son la combinación entre la condición y la vida de servicio del activo, la consideración de ponderadores de importancia para el administrador y usuario del activo, y que permite separar los activos en subcomponentes para realizar la valorización.

En cuanto a las desventajas, este método no posee una metodología clara para definir los factores de importancia antes mencionados, requiere la utilización de modelos de deterioro que podrían no conocerse para los activos o subcomponentes, y el concepto de vida remanente de servicio tiene demasiadas definiciones.

b. Valoración Probabilística

En este método se considera como valor base el costo de reemplazo y un descuento de valor de acuerdo a la probabilidad de supervivencia al final de la vida útil del activo según una Distribución Weibull (Dojutrek et al., 2012). El valor del activo se determina según la Ecuación 1.20:

$$V_t = RC_t \cdot e^{-1 \cdot \left(\frac{t}{e^{b_1 x_1 + \dots + b_n x_n}} \right)^\beta} \quad (1.20)$$

Donde:

- RC_t : Costo de reemplazo del activo en el tiempo t.
- β : Factor de forma.
- b_1, \dots, b_n : Coeficientes a calibrar.
- x_1, \dots, x_n : Variables explicativas.

Una ventaja de este método es que considera la condición actual del activo. Sin embargo, tiene un procedimiento de cálculo que podría ser complicado de utilizar, ya que es necesario desarrollar funciones de comportamiento para cada activo, siendo requerida una base de datos para la calibración de estas funciones (Dojutrek et al., 2012).

c. Valoración de puentes basada en inspección de elementos

Este método de valorización fue desarrollada en el año 2019 para la valorización de puentes en Georgia, Estados Unidos, para identificar metodologías que optimicen el gasto en su mantención (Chorzepa et al., 2019). El equipo de investigación involucrado ha desarrollado modelos de deterioro para elementos de puentes, basados en la Cadena de Markov, y ha evaluado las predicciones de deterioro del puente en términos del Índice de Salud Modificado (MHI).

Los MHI son una medida de la condición de salud del puente, que consideran la influencia del promedio de vida del puente sobre el rendimiento a largo plazo de los activos del puente, siendo necesario establecer modelos de deterioro en el tiempo para cada elemento para obtenerlos. Una vez obtenidos los MHI de cada elemento, es posible calcular el MHI del puente según la Ecuación 1.21. Un análisis “conjunto” captura el año de construcción y la presencia de una vía fluvial en la ubicación geográfica del puente, disminuyendo el MHI de este en un valor de atributo multiplicado por 10, como se muestra en la Ecuación 1.22. Por último, el valor de cada puente se obtiene como el producto entre el costo total de construcción multiplicado por MHI_{Conj} , como se muestra en la Ecuación 1.23.

$$MHI = \frac{\sum MHI_{Elemento} \cdot RC_{Elemento}}{\sum RC_{Elemento}} \quad (1.21)$$

$$MHI_{Conj} = MHI - 10 \cdot AV \quad (1.22)$$

$$V_t = HC \cdot MHI_{Conj} \quad (1.23)$$

Donde:

$MHI_{Elemento}$: Índice de Salud Modificado de un elemento del puente.

$RC_{Elemento}$: Costo de reemplazo de un elemento del puente.

MHI : Índice de Salud Modificado del puente.

AV : Valor de atributo que depende de edad y ubicación del puente.

MHI_{Conj} : Índice de salud modificado del puente ajustado por un análisis “conjunto”.

HC : Costo histórico del puente.

Una virtud de este método es que considera la condición actual del puente en base a la inspección de sus elementos, pero requiere del desarrollo de modelos de deterioro en el tiempo por medio de métodos estocásticos.

d. Prueba de Concepto en Colorado

En 2017 en Colorado hubo un estudio que comprendió el desarrollo de métodos para la valorización de activos para nueve clases de activos viales en el Departamento de Transportes de Colorado (Weldemicael et al., 2018). Los métodos incluyen un proceso para estimar el valor monetario actual de los activos de la agencia y, como resultado, proporciona herramientas útiles y efectivas para la gestión de los activos, de los riesgos y el desempeño.

Los métodos son capaces de entregar tanto el valor actual y de reemplazo de los activos, utilizando la mayor cantidad de datos disponibles. Para puentes, pavimentos, muros, alcantarillado y túneles se utiliza un enfoque basado en la condición más aplicación de costo unitario para el costo de reemplazo. Por otro lado, para parques y áreas verdes, señales y sistemas de información inteligente, se aplica un enfoque de depreciación lineal utilizando el costo de adquisición ajustado por inflación como el costo

de reemplazo. Por último, para edificios solo se considera el valor asegurado. En la Tabla 1.1 se presenta la formulación propuesta en el estudio para cada activo.

Tabla 1.1. Formulación para la valorización de cada tipo de activo vial en estudio en Colorado.

Activo	Fórmula	Variables
Puentes	$V_t = RC \cdot \frac{SR}{100} \left(1 - 0.5 \cdot \frac{YT - YB}{75} \right)$	RC =Costo de reemplazo, SR =Calificación de suficiencia, YT =Año actual, YB =Año de construcción.
Alcantarillado	$V_t = RC \cdot \frac{CR}{9} \left(1 - 0.3 \cdot \frac{YT - YB}{75} \right)$	RC =Costo de reemplazo, CR =Calificación de suficiencia, YT =Año actual, YB =Año de construcción.
Pavimentos	$V_t = [(UC_{replac} - UC_{mayor rehab}) + \frac{DL}{25} \cdot UC_{mayor rehab}] \cdot LM$	UC_{replac} =Costo unitario de reemplazo, $UC_{mayor rehab}$ =Costo unitario de rehabilitación mayor, DL =Vida de manejabilidad, LM =Longitud.
Túneles	$V_t = \sum_i RC_i \cdot WCI_i, i \in S$	RC =Costo de reemplazo, WCI =Calificación de condición. S =Conjunto de elementos del túnel.
Señales	$V_t = \sum_i RC_i \cdot \left[1 - \frac{age}{life \cdot (m + 2\sigma)} \right],$ $i \in \{Montaje, controladora, gabinete\}$	RC =Costo de reemplazo ajustado, age =Edad, $life$ =Vida de servicio, $(m + 2\sigma)$ =Ajuste por desviación.
Edificios	$V_t = IV$	IV = Valor asegurado.
Muros	$V_t = RC \cdot \frac{MSR}{9}$	RC =Costo de reemplazo, MCR =Calificación de condición estructural.
Sistema inteligente de transporte (ITS)	$V_t = RC \cdot \left[1 - \frac{age}{life \cdot (m + 2\sigma)} \right]$	AC =Costo de reemplazo ajustado, age =Edad, $life$ =Vida de servicio, $(m + 2\sigma)$ =Ajuste por desviación.
Parques	$V_t = RC_i \cdot \max \left\{ -\frac{age}{life \cdot (m + 2\sigma)}, SV \right\}$	AC =Costo de reemplazo ajustado, age =Edad, $life$ =Vida de servicio, $(m + 2\sigma)$ =Ajuste por desviación, SV =Valor residual (5,8%).

Para el caso de pavimentos, el movimiento de tierras no es depreciable y el valor de reemplazo de la superficie de pavimento corresponde a la mayor rehabilitación que se deprecia según la condición para calcular el valor actual. Además, el valor de reemplazo total corresponde al costo de reconstrucción, incluyendo diseño, movimiento de tierras y bases. En el caso de puentes, estos se deprecian según un factor de condición y de obsolescencia.

Dentro de las ventajas del método de valorización para puentes y alcantarillado se encuentra la combinación de deterioro y obsolescencia, la consideración de posibles nuevas tecnologías y materiales al utilizar como base de cálculo el costo de reemplazo, y que permite evaluar a los activos

en distintos años. En contraparte, para estos activos la calificación de condición se obtiene por medio de un análisis cualitativo y no por indicadores técnicos, pudiendo no ser compatible con el modelo de evaluación del nivel de servicio.

Una desventaja en la valorización de pavimentos y túneles es la definición de la condición de los activos, la que debe ser estudiada rigurosamente, y considerar indicadores técnicos y el servicio prestado. El método desarrollado para cada activo permite considerar su condición actual, además de poder separar en subcomponentes para el caso de túneles.

Para la valorización de señales el método permite considerar posibles nuevas tecnologías y materiales, y separar el activo en subcomponentes. Sin embargo, la definición de la vida útil del activo debe ser bien definida y el método no permite considerar la condición actual del activo.

e. Depreciación funcional

En un estudio realizado en Croacia fue desarrollado un modelo de valorización para invertir en mantenimiento de emergencia y reconstrucción vial (Luburić et al., 2012). Dicho modelo permite determinar los componentes de la carretera que deben ser reemplazados o renovados dentro de un intervalo de tiempo definido, definiendo sus vidas de servicio y tasa de depreciación, y los costos ocurridos para reemplazar los componentes o parte ellos deben ser registrados en el valor de la carretera (Luburić et al., 2012). Se recomienda aplicar un método funcional de depreciación, de forma de reconocer en el valor de la carretera los requerimientos para mantener su funcionalidad en el tiempo.

Sin perjuicio de lo anterior, el método de valorización implica agregar en el valor contable de los activos los costos ocurridos por reemplazo o reparación durante el ciclo de vida. Por lo tanto, no sería implementable en bases de licitación en un año inicial.

f. Depreciación lineal modificada

Este método fue presentado en un estudio para estimar el valor residual de activos que implican inversiones de capital continuas para rehabilitación o mejoras durante el periodo de análisis o de concesión, además de los costos de adquisición o construcción, ajustando el valor residual según el perfil de inversiones previstas para todo el periodo de concesión (Yuan & Li, 2018). Por otra parte, se menciona que el método de depreciación lineal “tradicional” funciona mejor para los activos que solo implican un gasto de capital único, como el costo inicial de adquisición o construcción (Yuan & Li, 2018).

El método consiste en crear un perfil de inversiones de capital en función del programa de mantenimiento y rehabilitación previsto hasta el término del periodo de concesión. Luego, se calcula el costo anualizado de las inversiones de capital sobre la duración total de todos los ciclos de vida del activo. Finalmente, el valor residual del activo se obtiene multiplicando el costo anualizado por la vida residual.

Este método considera la vida útil y la vida residual de los activos como variables aleatorias, de modo que el valor residual también es una variable aleatoria. Para el caso de pavimentos, Yuan & Li (2018) utilizan una simulación de Monte Carlo para caracterizar la aleatoriedad de la vida y valor residual, utilizando como base distribuciones de vida útil determinadas empíricamente.

Dentro de las dificultades de aplicación que presenta el método está el requerimiento de las actividades de mantención y rehabilitación proyectadas para el periodo de concesión, y que requiere el desarrollo de modelos de deterioro en el tiempo por medios estocásticos. Por otra parte, el método permite considerar la condición de los activos y umbrales de servicio para determinar acciones de mantenimiento.

1.3. Métodos basados en los beneficios

1.3.1. Métodos tradicionales

a. Valor Obtenido de la Productividad o Capitalización de Ingresos

En este método el valor del activo corresponde al valor presente de los beneficios obtenidos durante su vida de servicio remanente (Acharya, 2014; Alyami & Tighe, 2016; Amekudzi et al., 2002). Se ha categorizado como parte de los métodos que incluyen el valor presente de beneficios futuros y que es más fácil de aplicar en activos que generan ingresos tales como caminos con peaje (Amekudzi et al., 2002; J. Zhu et al., 2020). El valor del activo se obtiene según la Ecuación 1.24:

$$V_t = \sum_{i=1}^k \frac{B_i}{(1+r)^i} \quad (1.24)$$

Donde:

B_i : Flujo de ingresos en el año i -ésimo.

r : Tasa de descuento.

k : Periodo de análisis en años.

Este método refleja de forma realista la importancia del activo y sirve como una base para la presupuestación. Sin embargo, requiere de muchos supuestos y estimaciones no mercantiles, y está sujeto a fuerzas del mercado, como la oferta y demanda si es que existe un servicio paralelo (Acharya, 2014; Alyami, 2017). Además, otras de sus desventajas son que existe poca disponibilidad de datos para su cálculo y que tiene relativamente un nivel bajo de precisión, en comparación con métodos que consideren costos o beneficios presentes (Amekudzi et al., 2002).

b. Valor de Utilidad o Uso

El valor de la utilidad representa el beneficio cuantitativo y cualitativo de un activo de carretera para el usuario, correspondiendo al valor derivado de su uso (Stone, 2014). En particular, su cálculo es similar al Valor Obtenido de la Productividad o Capitalización de Ingresos, pero en lugar de medir los ingresos de los administradores viales, mide los beneficios económicos intangibles de los activos. Además, este método es usado comúnmente para análisis costo beneficio de proyectos públicos (Weldemicael et al., 2018).

c. Valor Económico

En este método, el valor de los activos es derivado del valor para la comunidad en términos del movimiento eficiente de bienes y personas (OECD, 2001b). El valor económico es muy similar al valor de utilidad y es una manera de medir el beneficio de un camino o carretera al usuario, mientras que también considera el beneficio a la sociedad como un todo. Además, es importante entender que la valorización de activos es un subconjunto de la evaluación económica y que frecuentemente refleja el costo real de materiales y construcción más que el valor añadido por el activo de carretera/camino (Stone, 2014).

Stone (2014) propuso un marco metodológico para cuantificar el valor económico de carreteras existentes. La valorización de activos se plantea como un subconjunto de la evaluación económica al no considerar el valor añadido por beneficios económicos. Los factores de impacto económico se pueden clasificar según cómo impacten a los usuarios de la carretera en (Stone, 2014):

- **Factores de impacto económico directo:** Centrados en ahorros de tiempos de viaje, valor del tiempo ahorrado, costos de operación del vehículo y costos ambientales.

- **Factores de impacto económico indirecto:** Conectividad, bienes y servicios, negocios aledaños a la carretera, aumento de empleo, producción a gran escala y turismo.

El método no considera el impacto directo de las actividades de construcción, rehabilitación y mantenimiento en la valorización. El valor económico de una carretera se calcula según la Ecuación 1.25:

$$\begin{aligned}
 EV_t = & (TS_{pv}) \cdot (VOT_{pv} + VOC_{pv} + EC_{pv}) + (TS_t) \cdot (VOT_t + VOC_t + EC_t) \\
 + c_T \cdot (TF) \cdot \sum_{i=1}^n (P)_i \cdot \left(\frac{Tons}{Trucks} \right)_i \cdot \left(\frac{\$}{Tons} \right)_i & + c_R \cdot \sum_{j=1}^m (NRB)_j \cdot \left(\frac{\$}{business} \right)_j \\
 + c_E \cdot \left(\frac{VMT}{TotalVMT} \right)_j \cdot (OE) \cdot (AS) & \quad (1.25)
 \end{aligned}$$

Donde:

TS	: Ahorros de tiempo de tiempo.
VOT	: Valor del tiempo de viaje.
VOC	: Costos operativos de vehículos.
EC	: Costos ambientales.
c_T	: Coeficiente de camión.
TF	: Flujo de camiones.
$(P)_i$	: Porcentaje de camiones del i-ésimo sector industrial.
$\left(\frac{Tons}{Trucks} \right)_i$	: Toneladas por camión del i-ésimo sector industrial.
$\left(\frac{\$}{Tons} \right)_i$	: Valor de toneladas del i-ésimo sector industrial.
$(NRB)_j$	: Número de negocios de j-ésimo tipo aledaños a la carretera.
$\left(\frac{\$}{business} \right)_j$	: Valor de negocios de j-ésimo tipo aledaños a la carretera.
c_R	: Coeficiente de negocios aledaños a la carretera.
c_E	: Coeficiente para empleo.
VMT	: Millas viajadas por vehículos en la carretera.
$TotalVMT$	: Millas viajadas por vehículos en toda la región.
OE	: Empleo general.
AS	: Salario promedio.

Los subíndices pv y t corresponden a vehículos de pasajeros y camiones, respectivamente.

Por último, fue llevado a cabo un caso de estudio en donde se evalúa el valor económico de 5 caminos en la ciudad de Austin, Texas. Las conclusiones principales del estudio son que considerar impactos económicos aumenta considerablemente el valor de carreteras y que esta evaluación económica debe ser utilizada como respaldo para la toma de decisiones financieras, pero no como resultado concreto para el valor de los activos viales.

Si bien este método puede ser utilizado como respaldo para la toma de decisiones financieras y es adaptable a las necesidades de las agencias viales, su uso es actualmente limitado por parte de estas últimas. Por otra parte, el método proporciona una base para conocer el impacto económico de posibles fallas en una red de transporte, pero no considera explícitamente la condición actual de los activos ni los impactos directos de construcción, rehabilitación y mantenimiento en la red. Por lo tanto, no es posible compatibilizarlo con la evaluación del nivel de servicio a los usuarios. Finalmente, utilizar este método implica realizar suposiciones en la estimación de parámetros como el salario promedio y los coeficientes de camión, negocios y empleo, los cuales podrían estar afectas a fuerzas externas al administrador.

d. Valor Presente Neto de Costos y Beneficios Pasados

Se ha utilizado este método para evaluaciones comparativas de los activos por utilidad/obsolescencia relativa y para evaluar la eficiencia de inversiones de una agencia vial (Amekudzi et al., 2002). Al utilizar costos y beneficios pasados, los datos necesarios para aplicarlo están fácilmente disponibles y tiene relativamente una precisión alta (Amekudzi et al., 2002). Sin embargo, no considera la condición actual de los activos, por lo que no sería compatible con el nivel de servicio brindado a los usuarios.

e. Valor Presente Neto de Costos y Beneficios Futuros

El valor del activo corresponde al valor presente neto del flujo de ingresos menos los costos de mantenimiento durante su vida útil (OECD, 2013; Weldemicael et al., 2018), como se señala en la Ecuación 1.26:

$$V_t = NPV = \sum_{i=1}^k \frac{(B_i - C_i)}{(1 + r)^i} \quad (1.26)$$

Donde:

B_i : Flujo de ingresos en el año i -ésimo.

C_i : Costo de mantenimiento y rehabilitación en el año i -ésimo.

r : Tasa de descuento.

k : Periodo de análisis en años.

Este método es usado para la gestión de activos que generan ingresos (Amekudzi et al., 2002; Weldemicael et al., 2018). Además, permite medir la rentabilidad de la inversión de capital de proyectos de asociaciones público-privadas, para lo cual se hace necesario definir la tasa de descuento a partir de proyectos comparables (Islami & Hazhiyah, 2020). Las desventajas de este método es que tiene poca disponibilidad de datos y relativamente una baja precisión, con respecto a aquellos que utilizan costos y/o beneficios pasados (Amekudzi et al., 2002). Además, no considera la condición actual de los activos, por lo que no sería compatible con el nivel de servicio brindado a usuarios.

f. Valor de Opción

Corresponde al valor del activo en ciertas circunstancias y es utilizado por el sector privado (Alyami & Tighe, 2016). Puede ser utilizado como herramienta para la toma de decisiones de inversión en mantenimiento y rehabilitación en circunstancias inusuales, como, por ejemplo, cuando se tiene un número específico de ejes equivalentes acumulados o un nivel mínimo aceptable de rugosidad en el pavimento (Herabat et al., 2002). También puede ser utilizado para la valorización de una carretera que se está convirtiendo en un servicio con tarifas de congestión (Amekudzi et al., 2002). Los datos pueden ser obtenidos a partir de los nuevos volúmenes de tráfico y tiene relativamente una precisión alta (Amekudzi et al., 2002).

g. Valor Relativo

Este método es aplicable en pavimentos para estimar su valor por medio de la comparación con otros pavimentos en base a atributos comunes, como el volumen de tránsito, siendo aplicable a carreteras con peaje y caminos públicos (Herabat et al., 2002).

1.3.2. Métodos no tradicionales

En general, los métodos anteriores se basan en los beneficios que trae un activo durante su vida útil para una cierta parte interesada en la infraestructura vial. Las ventajas que trae su uso es que pueden servir como respaldo para la toma de decisiones financieras, son adaptables a las necesidades de las agencias viales, consideran el rol económico de los activos y permiten en algunos casos conocer el impacto de una posible falla o no funcionamiento de una carretera (Lim et al., 2019; Stone, 2014). Sin embargo, también tienen muchas desventajas, tales como (Lim et al., 2019; Stone, 2014):

- No considerar la condición del activo.
- No considerar el impacto directo de construcción, rehabilitación y mantenimiento.
- Uso limitado por parte de agencias viales en la actualidad para la valorización, es decir, son poco utilizados en la práctica.
- Pueden tener un alto costo computacional al considerar el desarrollo de modelos de redes de transporte.
- Se deben hacer muchas suposiciones y fuerzas externas pueden afectar la valorización.

Debido a lo anterior, diversos autores han propuesto métodos que combinan los beneficios con los costos y/o la condición de los activos para la valorización de activos viales. Estos métodos son presentados a continuación.

a. Método basado en la Teoría de la Utilidad

Es posible distinguir dos grupos de investigación que utilizan este enfoque para la valorización de activos viales: el primero de la Universidad de Texas en Austin (Estados Unidos) y el segundo de la Universidad de Waterloo en Ontario (Canadá). El primer grupo enfoca su investigación en el desarrollo de un método cuyo objetivo es la valorización de activos basada en la utilidad propiamente tal (Lim et al., 2019; Porrás-Alvarado et al., 2015; Zhang & Peters, 2014). El segundo grupo se enfoca en desarrollar una metodología para integrar la valorización de activos basada en utilidad a un sistema de gestión a largo plazo, por medio de la incorporación de un índice de valor de activos (Alyami, 2017; Alyami & Tighe, 2016).

El enfoque de valorización basado en la utilidad desarrollado por el grupo de Investigación de Texas permite calcular el valor actual de activos viales ocupando el costo de reemplazo como valor base. Luego, se calcula el valor según tres factores clave, que corresponden a la condición física, funcionalidad y utilización general de los activos. Cada uno de estos factores clave se caracteriza por indicadores que pueden cuantificarse con medidas de desempeño específicas. Posteriormente, la teoría de la utilidad se aplica para combinar el efecto de los indicadores de desempeño de diferentes medidas y escalas en el valor de un activo, asignando a cada una de las medidas de desempeño una determinada función de utilidad. Dicha función puede ser exponencial o sigmoideal y de forma creciente o decreciente. Finalmente, se realiza la amalgamación de las funciones de utilidad por medio de factores de importancia.

El objetivo de utilizar este método es estimar el valor de activos viales reflejando no solo el valor de capital sino también la productividad económica. En efecto, se considera que los métodos existentes, que incorporan modelos de redes de transporte para examinar el impacto económico de una posible falla en autopistas, por lo general tienen un costo computacional alto y no consideran el valor del capital de los activos viales. Además, muchas veces requieren de supuestos no realistas, sobre todo si se trata de un sistema de autopistas a gran escala. Por otro lado, los métodos tradicionales tienen un

costo de cálculo mucho más bajo, sin embargo, no consideran el rol económico de los activos de carreteras (Lim et al., 2019).

El valor de una carretera según este método se calcula según la Ecuación 1.27:

$$V_{HWY} = \sum_i V^i_{HWY} = \sum_i (RC^i \cdot U^i_{PC} \cdot (1 + U^i_{FY} + U^i_{UZ}) + SV^i) \quad (1.27)$$

Donde:

V_{HWY} : Valor total de una carretera.

V^i_{HWY} : Valor de i-ésima estructura de la carretera.

RC : Costo de reemplazo del activo de carretera.

U_{PC}, U_{FY}, U_{UZ} : Utilidad total del activo en términos de la condición física, funcionalidad y utilización general, respectivamente.

SV : Valor residual del activo de carretera.

Por otro lado, la utilidad de los factores clave se obtiene por medio de las Ecuaciones 1.28, 1.29 y 1.30:

$$U_{PC} = \sum_{i=1}^m k_i u[(PM *_{PC_i})] \quad (1.28)$$

$$U_{FY} = \sum_{i=1}^n k_i u[(PM *_{FY_i})] \quad (1.29)$$

$$U_{UZ} = \sum_{i=1}^q k_i u[(PM *_{UZ_i})] \quad (1.30)$$

Donde:

k_i : Coeficiente de peso del i-ésimo indicador de desempeño.

m, n, q : Número de indicadores de desempeño considerados para la condición física, funcionalidad y la utilización general, respectivamente.

$u(PM *_{PC_i}), u(PM *_{FY_i}), u(PM *_{UZ_i})$: Función de utilidad del i-ésimo indicador de desempeño de la condición física, funcionalidad y utilización general, respectivamente.

En cuanto a la forma de las funciones de utilidad, esta depende fundamentalmente de los objetivos de cada agencia, en función de umbrales, modelos de deterioro, datos disponibles y de la actitud hacia el riesgo. Lo anterior es ilustrado en la Figura 1.3 de la siguiente página, donde “x” corresponde al indicador de desempeño considerado. Como se puede ver, una agencia puede tener una actitud aversiva, neutral o propensa hacia el riesgo, lo que se refleja en variadas funciones de utilidad.

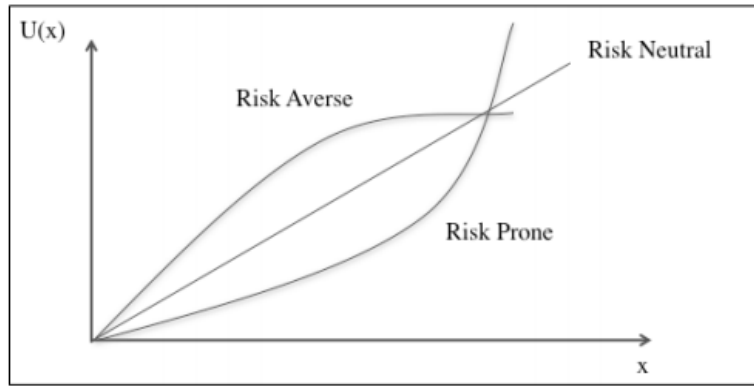


Figura 1.3. Formas de funciones de utilidad según diferentes actitudes hacia el riesgo (Zhang & Peters, 2014).

Además, es importante mencionar que cada factor clave está compuesto a su vez por distintos subfactores. En el caso de la condición física, esta se subdivide en capacidad estructural y condición de la superficie. La funcionalidad se subdivide por movilidad, seguridad y accesibilidad. La utilización general solo se compone por la capacidad de utilización. Para la condición física se consideran el IRI o el PSI. Para la funcionalidad se considera el número de accidentes graves o fatales (seguridad), velocidad promedio (movilidad), duración promedio de viaje (accesibilidad), entre otros. Para la utilización general se considera el tráfico medio diario anual, así como también, el número de personas, vehículos o camiones movilizados. De esta manera es posible considerar factores que van más allá del costo capitalizado de los activos viales, permitiendo conocer su impacto económico sin tener que utilizar complicados modelos de redes transporte, sino que utilizando indicadores objetivos y con datos generalmente disponibles.

Las dificultades de aplicación de este método radican en el desarrollo de funciones de utilidad que dependen de la aversión al riesgo de cada agencia vial, y que, salvo los indicadores técnicos de condición física, los demás no son compatibles con la evaluación del nivel de servicio a los usuarios. Además, si bien el método permite considerar la condición física y funcionalidad de los activos, la definición de los factores de utilidad no logra asociar pérdidas de condición de los activos con pérdidas en su valor.

b. Método de Reemplazo, Tiempo Inactivo y Residuos (RDS)

Este método de cálculo considera los costos de la agencia y de los usuarios dentro del ciclo de vida de los activos, como el costo de reemplazo, costos de tiempo de viaje y de operación de los vehículos, y los costos y beneficios del reciclaje (Dojutrek et al., 2012). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.31:

$$V_t = RC + (V_{t.ttc} + V_{t.VOC}) + V_{t.DISP} - V_{t.ALV} \quad (1.31)$$

Donde:

- RC : Costo de reemplazo del activo.
- $V_{t.ttc}$: Valor asociado con el tiempo de viaje del usuario al no reconstruir el activo.
- $V_{t.VOC}$: Costos operativos del vehículo al no reconstruir el activo.
- $V_{t.DISP}$: Costos de reciclaje o eliminación.
- $V_{t.SALV}$: Beneficios del reciclaje o eliminación.

En cuanto a la inclusión de los costos de usuario, se admite que puede ser un factor controversial porque tienden a exceder por mucho los costos de la agencia, y estos no están directamente relacionados con ella. Sin embargo, se indica que puede servir para plantear la importancia del rol de los costos de usuarios en la toma de decisiones de gestión de activos en general (Dojutrek et al., 2012).

Este método permite considerar el beneficio a los usuarios y a la sociedad en general, pero no toma en cuenta la condición actual de los activos. Además, la estimación de algunos costos requiere de demasiados supuestos y metodologías poco claras, que dificultan su aplicación.

c. Método basado en la Demanda de Transporte

Este método es desarrollado en un estudio para la valorización de los beneficios socioeconómicos una vez que ya se han realizadas mejoras, reparaciones o reconstrucciones en alguna vía (Burrow & Ghataora, 2018). El método considera una valorización de los activos físicos utilizando el costo de reemplazo, y una valorización de los beneficios socioeconómicos utilizando una combinación del Modelo de Demanda de Transporte y Análisis Multicriterio. El Modelo de Demanda de Transporte se utiliza para estimar el valor del beneficio socioeconómico, considerando la reducción de los costos de los usuarios debido a la condición de la carretera y al aumento del volumen de tránsito generado por la puesta en marcha de nuevas obras, mantenciones o reparaciones. El Análisis Multicriterio es utilizado en un contexto de gestión para comparar y seleccionar entre alternativas de construcción, mantención y rehabilitación de una red vial. El valor del activo o red de infraestructura se obtiene de la Ecuación 1.32:

$$V_t = RC + SBV \quad (1.32)$$

Donde:

RC : Costo de reemplazo del activo.

SBV : Valor del beneficio socioeconómico.

Como ya se ha indicado anteriormente, valorizar los activos considerando los beneficios podría resultar en una sobreestimación del valor de las obras. Además, en este caso no es posible asociar la valorización con la condición de los activos, por lo que no podría ser compatibilizado con la evaluación del nivel de servicio a los usuarios. Por otra parte, la valorización de los activos depende fuertemente de las condiciones de operación de la carretera, de modo que esta tendrá distintos resultados en la medida que las condiciones de tránsitos varíen y de cuándo se realice.

d. Método de Desarrollo Hipotético

Este método fue introducido para permitir evaluar el valor potencial de una carretera antigua que necesita una reconstrucción y que no puede ser evaluada con métodos de ingresos o costos (Li & Li, 2014). El método considera los beneficios futuros (ingresos por peaje menos costos de mantención y salarios) y costos presentes (costos de ingeniería/construcción) para tomar en cuenta el desarrollo potencial en el futuro de una carretera. En el estudio, se especifica que el valor del activo se determina sustrayendo del valor de los activos de carreteras después de su construcción lo siguiente: el costo de desarrollo o ingeniería; los costos de gestión; los intereses de la inversión; el impuesto sobre las ventas; los beneficios del desarrollo; los impuestos; y las tasas de compra de los antiguos recursos de carreteras (Li & Li, 2014).

Por otra parte, el método considera los ingresos y costos de mantención y salarios de personal para un cierto periodo de análisis, lo que no permite establecer cuánto sería el valor de los activos en un cierto instante. Además, no permite evaluar la gestión de la conservación del valor de los activos en el tiempo ni ser compatibilizada con la evaluación del nivel de servicio a los usuarios.

e. Valor de Servicio

Este método introduce el concepto de Valor de Servicio (SV), el cual se aplica utilizando las recomendaciones de la OCDE considerando el valor de los beneficios económicos generados por un activo. El SV es igual al valor de los beneficios netos acumulados menos los beneficios consumidos, y es expresado como un porcentaje de los beneficios netos totales, estimados en función de la tasa de interés o tasa de retorno esperada para los activos, los costos de inversión iniciales, y los costos de inversión pasados en mejoras de la carretera (Leviäkangas et al., 2019).

El método es llevado a un caso de estudio en el que se considera una carretera compuesta estructuralmente por el pavimento, una base, subbase y drenaje, cada una con diferentes vidas útiles y costos. El SV de la carretera se obtiene como la suma ponderada del SV de cada componente, según los costos de inversión de cada una de estas. El resultado obtenido de este método es un porcentaje que no representa la condición actual del activo, y no corresponde a un valor monetario.

1.4. Métodos basados en el valor de mercado

1.4.1. Métodos tradicionales

a. Valor de Mercado (MV)

Según este método el valor del activo vial corresponde al precio que un comprador esté dispuesto a pagar por él (Acharya, 2014; Alyami & Tighe, 2016; Amekudzi et al., 2002; Plazak, 2010; Stone, 2014). El precio está basado en la comparación con ventas recientes de activos viales similares en el mercado (Herabat et al., 2002; J. Zhu et al., 2020). Este método es aplicable cuando las agencias públicas quieran vender sus activos, sin embargo, su uso es limitado ya que pocos activos viales son vendidos en un mercado abierto (Acharya, 2014; Alyami, 2017; Amekudzi et al., 2002; Herabat et al., 2002; Stone, 2014; J. Zhu et al., 2020).

Por otro lado, la ventaja principal de este método es que es un concepto simple de entender y de aplicar. Sin embargo, tiene varias desventajas, entre las cuales se encuentra que el valor obtenido es volátil, ya que está sujeto a fuerzas de mercado, y que es conjetural hasta que la oferta por el activo es realmente recibida (Acharya, 2014; Alyami, 2017).

b. Valor Neto de Liquidación (NLV)

El valor neto de liquidación corresponde al valor obtenible de vender los componentes de un activo en un periodo razonable de tiempo, luego de su liquidación (Amekudzi et al., 2002; J. Zhu et al., 2020). Este método, al igual que el valor residual, se ha caracterizado también como el ingreso recuperable de los componentes de un activo, y que los datos se obtienen a partir de activos similares reciclados, teniendo relativamente una precisión más alta, que métodos que consideren costos y/o beneficios futuros (Amekudzi et al., 2002). Sin embargo, se ha mencionado que este método no sería aplicable para activos viales (J. Zhu et al., 2020).

1.4.2. Métodos no tradicionales

a. Desmantelamiento y Reutilización (D&R)

Este método considera solo el valor del terreno ocupado por el activo, asumiendo que los activos pueden ser valorizados según el terreno que ocupan, sobre todo en áreas urbanas de alta densidad en donde el terreno es caro y donde existe la oportunidad de reubicar el activo en otro lugar (Dojutrek et al., 2012). El valor del activo se calcula según la Ecuación 1.33:

$$V_t = L_t \quad (1.33)$$

Donde:

L_t : Valor del terreno en donde se ubica el activo.

Su simpleza complejiza una posible aplicación en un modelo de valorización, ya que no permite considerar la condición actual de cada activo, ni tampoco hacer una distinción entre diferentes activos.

b. Cost Approach

Herabat aplicó este método para valorizar pavimentos en Tailandia (Herabat et al., 2002). El valor del activo según este método se expresa en términos del valor del terreno, el costo de reemplazo y la depreciación acumulada (Herabat et al., 2002). Su formulación se presenta en la Ecuación 1.34:

$$V_t = L_t + RC_t - D_t \quad (1.34)$$

Donde:

L_t : Valor del terreno en tiempo t.

RC_t : Costo de reemplazo en tiempo t.

D_t : Depreciación acumulada.

La depreciación acumulada corresponde a la pérdida de valor del costo de reemplazo y su fórmula genérica se presenta en la Ecuación 1.35, donde $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ son atributos del valor depreciado. A su vez, la depreciación acumulada está compuesta por el deterioro físico, obsolescencia funcional y obsolescencia externa.

$$D_t = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = \Delta d_t + f_t + \epsilon_t \quad (1.35)$$

Donde:

Δd_t : Deterioro físico en el tiempo t.

f_t : Obsolescencia funcional en el tiempo t.

ϵ_t : Obsolescencia externa en el tiempo t.

La determinación del deterioro físico está asociada con los costos de tratamientos necesarios para mantener los activos en condiciones aceptables. La obsolescencia funcional está referida a la pérdida de valor debido al cambio en estándares de diseño y regulaciones. Por último, la obsolescencia externa está relacionada a la pérdida de valor debido a cambios en factores como la tecnología, economía, la sociedad y el medio ambiente.

En el caso de estudio en donde fue aplicado este método, se excluye el valor del terreno y la obsolescencia externa (Herabat et al., 2002). Por otro lado, Do & Jung (2018) propusieron un método de evaluación cuantitativa para analizar el desempeño y el valor de los activos de una red vial afectada por un desastre, donde el valor de los activos se analizó de manera similar al método “Cost Approach”. En el método se considera el costo de reemplazo como valor base, aplicando depreciación lineal para puentes y túneles, mientras que para pavimentos no se aplica depreciación. También se toma en cuenta el valor del terreno de la carretera, basándose en el precio del terreno evaluado oficialmente en 2016 por el Ministerio de Tierras, Infraestructura y Transporte (MOLIT) de Corea del Sur (Do & Jung, 2018).

Este método considera implícitamente la condición del activo en la determinación del deterioro físico y la obsolescencia funcional. Sin embargo, la obsolescencia externa es difícil de estimar debido a la multiplicidad de factores que le afectan. Por otra parte, utilizar el valor del terreno en la formulación podría distorsionar los resultados en la medida que cambia el valor de los activos para distintas ubicaciones, aun cuando el activo esté en idénticas condiciones.

c. Modelo Cualimétrico

En un estudio realizado en Ucrania se ha desarrollado un modelo matemático basado en el costo de reemplazo para la valorización de activos viales. El método hace uso de un modelo cualimétrico y un sistema jerárquico multinivel de indicadores que caracteriza los atributos cualitativos del objeto valorado o la sección de la carretera (Slavinska et al., 2017). El valor del i -ésimo activo se determina según la Ecuación 1.36:

$$V_{r,a,i} = \sum_{j=1}^{j=mi} V_{r,a,e,j} + V_l \quad (1.36)$$

Donde:

$V_{r,a,e,j}$: Valor del elemento j -ésimo del activo, determinado con el enfoque de costos.

V_l : Valor de terreno.

Por su parte, el valor del elemento j -ésimo del activo puede determinarse con un método del enfoque modificado. En particular, se utiliza como valor base el costo histórico ajustado por inflación y por un factor que representa el estado cualitativo del activo, haciendo uso de diferentes métodos como el Costo de Reemplazo Escrito (WDRC), el Valor Ajustado Respecto a Condición Límite (AVRLC), el Valor Fijo Respecto a Condición Límite (FVRLC) o el Valor Neto Residual (NSV). Para obtener el factor de estado cualitativo se aplica el modelo cualimétrico anteriormente mencionado, que incluye coeficientes de peso para cada indicador diferencial del estado cualitativo de los elementos, los cuales se determinaron en función del valor de cada elemento y la opinión de expertos.

2. Prácticas de valorización de activos viales en diferentes países

A nivel mundial, solamente algunos de los métodos mencionados en el capítulo anterior se han utilizado en la práctica para la valoración de activos viales. Estas valorizaciones tienen generalmente fines contables o de gestión a nivel de red por parte de la entidad gubernamental a cargo de los caminos, existiendo limitada evidencia del uso de valoración de activos en obras concesionadas. En función de lo anterior, el presente capítulo se distribuye de la siguiente forma:

- En el apartado 2.1, se describen las prácticas de valorización de activos con fines contables a nivel de red en diferentes países del mundo.
- En el apartado 2.2, se describen las prácticas de valorización en carreteras concesionadas a nivel internacional.

2.1. Prácticas de valorización con fines contables o a nivel de red

Existen estándares internacionales que facilitan la comparación de la información contable a nivel internacional para la valoración de activos. La International Public Sector Accounting Standards Board (IPSASB) provee las Normas Internacionales de Contabilidad del Sector Público (NICSP), las que están basadas en valores devengados para el uso de gobiernos y otras entidades del sector público de todo el mundo (OECD, 2013). Sin embargo, diversos países tienen particularidades en los métodos aplicables para la valoración de activos, las cuales se presentan a continuación.

2.1.1. África

a. Sudáfrica

La Ley de Gestión de Finanzas Públicas (PFMA) obliga a los departamentos de gobierno provincial y nacional de Sudáfrica a que preparen cada año los estados financieros de acuerdo con las prácticas de contabilidad generalmente reconocidas, las que son indicadas en la Modified Cash Standard (MCS). Por su parte, la Ley de Gestión de Finanzas Municipales (MFMA) incorpora requerimientos similares para gobiernos municipales, mediante las Standards of Generally Recognised Accounting Practice 17 (GRAP 17). Estos requerimientos legales, en cuanto a preparación de estados financieros, exigen la valoración de activos de infraestructura por su costo, es decir, estimar el valor razonable de dichos activos utilizando el método de Costo de Reemplazo Depreciado (DRC) (Roux et al., 2018).

b. Ghana

Las prácticas de valoración de Ghana se encuentran en la Guidance Notes, dispuestas por Ghana Institution of Surveyors. Estas prácticas establecen que la depreciación de los activos resulta de una combinación del deterioro físico y funcional, y esta debe descontarse del costo de reemplazo del activo (Gyamfi-Yeboah & Ayitey, 2009).

2.1.2. Asia

a. China

Dentro de los métodos de valoración de activos públicos de China se incluyen los métodos de Costo de Reemplazo Depreciado (DRC), Valor Obtenido de la Productividad o Capitalización de Ingresos, Valor de Mercado (MV) y Valor Neto de Liquidación (NLV) (J. Zhu et al., 2020).

b. Corea del Sur

Los requerimientos contables del Ministerio de Estrategia y Finanzas (MOSF) indican que la valoración de activos viales debe reportarse con base en los métodos de costos enfocados en la depreciación de los activos, particularmente con los métodos del Costo de Reemplazo Escrito

(WDRC) y Depreciación Lineal (SLD). Estos requerimientos se presentan en Accounting Guidelines of Tangible Assets and Social Infrastructure (Do & Jung, 2018).

2.1.3. Europa

La Unión Europea cuenta con el marco contable European System of National and Regional Accounts (ESA 2010), anteriormente ESA 95, en el que se pide calcular la depreciación de todos los activos que pertenecen al grupo de activos de “larga vida” (Luburić et al., 2012; OECD, 2013).

a. Alemania

HELLER Engineering model for Saarland corresponde a un modelo de valorización de carreteras utilizado en el estado alemán Sarre. El modelo determina un valor para la base de la carretera y otro para su superficie, siendo cada uno de ellos igual a su costo de reemplazo menos una depreciación, la que dependerá de la edad de la carretera y de la condición de la superficie (Opara, 2012).

b. Bélgica

La Commission for Standardisation of Public Service Accounting (CSPSA) se creó en 1991 para supervisar a la autoridad federal, regional, y las comunidades y sus órganos administrativos en el desarrollo de la Cuenta General del Estado de Bélgica. Esta Cuenta contiene la contabilidad de activos nacional e incluye los flujos anuales de activos y pasivos inmobiliarios (OECD, 2001b). Se recomienda una valorización de activos de infraestructura utilizando un enfoque de costos considerando el Costo de Reemplazo (RC) (Acharya, 2014; OECD, 2001b).

c. Finlandia

La Agencia de Transportes Finlandesa (FTA) utiliza una Depreciación Lineal (SLD) de 10 años para pavimentos y estructuras de carreteras ligeras, y de 50 años para túneles, puentes y estructuras de carreteras pesadas, incluidas sus bases y subbases (Leviäkangas et al., 2019). El método de cálculo es similar al utilizado en los cálculos de inversión estándar, considerando las inversiones en rehabilitación y nuevas inversiones, y excluyendo el mantenimiento y otros costos que solo preservan o no aumentan el valor de activo (Acharya, 2014; OECD, 2001b).

d. Polonia

Research Institute model for Poland y HELLER Engineering model for Silesian Voivodeship son dos modelos de valorización de carreteras utilizados en Polonia. El primero determina un valor para la carretera utilizando un método similar al Valor Neto Residual (NSV), descontando del costo de reemplazo los costos de reparación de la vía. El segundo estima el valor de la vía como el mínimo valor obtenido entre el Costo de Reemplazo (RC) y el costo de una nueva carretera equivalente moderna (Opara, 2012).

e. Reino Unido

En la década de 1990, de forma paralela la National Audit Office (NAO) del Reino Unido y Northern Ireland Audit Office (NIAO) de Irlanda del Norte introdujeron el concepto de contabilidad de recursos. En particular, se determinó que el valor actual del capital debe cuantificarse para todos los activos públicos y que cualquier cambio en su valor debe informarse en las cuentas anuales (Snaith & Orr, 2006).

El gobierno de Reino Unido introdujo el proceso Whole of Government Accounts (WGA) para producir un conjunto consolidado de estados financieros para el sector público (CIPFA, 2016; LoBEG, 2012). De lo anterior resultaron los requerimientos de contabilidad Code of Practice on Local Authority Accounting in the UK, que adoptan las Normas Internacionales de Información Financiera (IFRS) (CIPFA, 2016). Las pautas de contabilidad Chartered Institute of Public Finance and Accountancy (CIPFA) establecen que los activos viales de Reino Unido deben ser valorizados a través

del Costo de Reemplazo Depreciado (DRC) (Acharya, 2014; CIPFA, 2016; FHWA, 2016; OECD, 2001b), desagregando los activos del pavimento en elementos según su vida útil y patrones de degradación (Amekudzi-Kennedy et al., 2019).

En Irlanda del Norte, Snaith & Orr (2006) propusieron un método para evaluar el valor de capital de una red de carreteras estableciendo un sistema de gestión de pavimentos (PMS) que define los niveles de intervención de la carretera, ya sea para mantenimiento, reparación o reconstrucción del pavimento. Este método basado en la condición ha sido utilizado para calcular la depreciación a nivel de red de carreteras en Irlanda del Norte durante más de 10 años, reflejando una correlación directa entre el desempeño de los activos y su depreciación (Deng et al., 2020).

La valoración de activos viales en Falkirk Council de Escocia se realiza utilizando el método del Costo de Reemplazo Depreciado (DRC), obtenido de una depreciación lineal del costo de reemplazo bruto durante la vida útil de cada activo. Los costos de reemplazo brutos son definidos por CIPFA del Reino Unido y la Society Of Chief Officers Of Transportation In Scotland (SCOTS) de Escocia, e incluyen la eliminación y disposición del activo existente, el suministro e instalación del activo equivalente moderno y los requisitos de gestión de tránsito asociados, los costos de personal, y los gastos generales. Los activos viales considerados son carreteras, estructuras, ciclovías y veredas, sistemas de iluminación, mobiliario urbano como señales de tránsito y barreras peatonales, y sistemas de control de tránsito (Hogg & Reid, 2016).

2.1.4. Oceanía

a. Australia

Los requerimientos gubernamentales de contabilidad de activos se indican en la Australian Accounting Standards Board (AASB) (Alyami & Tighe, 2016; Austroads, 2018; FHWA, 2016; OECD, 2001b). Para los reportes financieros, activos y pasivos se pueden medir en términos del costo histórico, costo actual, valor realizable (liquidación) y valor presente o valor razonable (Austroads, 2018). Se establece que los activos deben ser valorizados mediante el Costo de Reemplazo Depreciado (DRC), el cual considera un descuento por “impairment” (Acharya, 2014; Austroads, 2018; FHWA, 2016; OECD, 2001b), y una depreciación lineal, basada en la condición o nula (Weldemicael et al., 2018). El proceso de valoración se alinea con las disposiciones de la norma ISO 55001:2014 sobre la gestión de activos y el método de depreciación aplicado a un activo debe ser revisado al menos al final de cada período anual sobre el que se informa. Además, debe mantenerse constante a menos que haya un cambio en el patrón esperado de consumo de sus beneficios económicos futuros. Las entidades deben seleccionar el método de depreciación que más fielmente represente el patrón esperado de consumo de beneficios económicos futuros que surjan del activo durante su vida útil (Austroads, 2018).

Las diferentes jurisdicciones del país cuentan con vidas útiles promedios para los activos. La Asociación de Gobiernos Locales de Australia del Sur (LGASA) desarrolló indicadores financieros donde destaca el “Asset Consumption Ratio”. Este último se obtiene como la razón entre el costo de reemplazo depreciado y el costo de reemplazo actual del activo. Se establece que el indicador debe tener un valor entre 40 y 80%, esto quiere decir que el valor de los activos debe estar entre un 40 y 80% del valor del activo nuevo (Austroads, 2018).

b. Nueva Zelanda

Los requerimientos gubernamentales de contabilidad de activos de capital tangibles se indican en New Zealand International Financial Reporting Standards (NZ IFRS) (Alyami & Tighe, 2016).

2.1.5. América

a. Estados Unidos

En Estados Unidos, el gobierno debe informar sobre los costos históricos en sus estados financieros y los requerimientos de contabilidad para las agencias públicas (estatales y locales) corresponden a los del Government Accounting Standards Board's Statement 34 (GASB34). Dichos requerimientos permiten reportar anualmente el valor de activos por medio de un enfoque de depreciación o modificado (Acharya, 2014; Alyami & Tighe, 2016; Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Chorzepa et al., 2019; Dojutrek et al., 2012; Ellis & Thompson, 2007; FHWA, 2016; Herabat et al., 2002; Lee & Lee, 2014; OECD, 2001b; Park & Sinha, 2009; Plazak, 2010; Porras-Alvarado et al., 2015; Zhang & Peters, 2014). El enfoque de depreciación, como fue descrito en el apartado 1.2.1, corresponde al costo histórico ajustado por una depreciación definida en el tiempo, mientras que el enfoque modificado, permite ajustar el costo histórico del activo de acuerdo con su condición actual, para demostrar la protección del valor a través de la preservación de la infraestructura (Amekudzi-Kennedy et al., 2019). Además, GASB 34 define como activos de infraestructura a valorizar aquellos activos de larga vida que pueden ser preservados por una significativa cantidad de años, como los pavimentos, puentes, túneles, y sistemas de drenaje e iluminación. Sin perjuicio de lo anterior, también establece que se debe incluir el valor del terreno en donde se encuentran los activos, las señales de tráfico y edificios (OECD, 2001b). Cabe mencionar que, a diferencia de Reino Unido, el gobierno estadounidense no segrega los activos del pavimento en elementos en función de su vida útil y patrones de degradación (FHWA, 2016).

Para obtener los costos históricos, algunos departamentos de transporte utilizan los precios actuales de construcción ajustados de acuerdo a un factor de deflación basado en el índice de precios de construcción de cada año (OECD, 2001b). En particular, el Departamento de Transportes de Virginia (VDOT) ha aplicado lo anterior para estimar los costos históricos, y luego, para obtener el valor actual de los activos, utiliza una depreciación lineal de acuerdo a la vida útil y edad (Plazak, 2010). Además, se ha mencionado que el método de Costo de Reemplazo Escrito (WDRC) ha sido implementado por diversas agencias estadounidenses para la valorización de puentes utilizando el indicador Bridge Health Index (BHI) (Lee & Lee, 2014).

Por otro lado, aunque GASB34 requiere el uso de costos históricos para la valorización, no prohíbe el uso por parte de una agencia de estimaciones más realistas para fines de planificación, comunicación o administración de activos viales. Por ejemplo, el Departamento de Transporte de Utah (UDOT) incorpora el Costo de Reemplazo (RC) de activos en la toma de decisiones de gestión de activos basada en el riesgo, donde la inversión se concentra en activos de mayor valor y riesgo financiero como puentes, pavimentos, tuberías y desagües (Amekudzi-Kennedy et al., 2019; FHWA, 2016). Para lo anterior, UDOT asume que el valor de los activos simplemente corresponde a su costo de reemplazo, a pesar de evaluar las condiciones de sus activos permanentemente (Weldemicael et al., 2018).

b. Canadá

El gobierno canadiense debe informar sobre los costos históricos en sus estados financieros (FHWA, 2016), por lo que, a través de los requerimientos de contabilidad del Public Sector Accounting and Auditing Board (PSAAB) pide a las agencias públicas reportar anualmente el valor de sus activos tangibles (Alyami & Tighe, 2016; Ellis & Thompson, 2007).

Al igual que en Estados Unidos, el gobierno no prohíbe el uso de estimaciones del valor más realistas (FHWA, 2016). En efecto, diversas jurisdicciones canadienses han indicado que utilizar el Costo de Reemplazo (RC) para la valorización de activos viales es una medida alternativa que puede proveer información útil para propósitos de gestión de activos (Acharya, 2014; OECD, 2001b). Un ejemplo de esto último es el plan de gestión de activos del pueblo de Newmarket en Ontario, donde se establece

que los costos históricos tienen un valor limitado para la toma de decisiones de inversión, por lo que también informa los costos de reemplazo que son más significativos para dicho propósito (FHWA, 2016). En consecuencia, de particular importancia para las agencias canadienses son el Costo de Reemplazo (RC) y el Costo de Reemplazo Escrito (WDRRC), que son métodos que se utilizan en varias provincias del país para la valorización de activos viales (Falls et al., 2005). En particular, el segundo método ha sido utilizado por diversas agencias para la valorización de puentes, considerando el indicador Bridge Condition Index (BCI) (Lee & Lee, 2014).

c. Chile

En Chile, la Dirección de Vialidad (DV) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) tiene una metodología para la valorización del patrimonio vial de la red vial nacional no concesionada del país. Esta corresponde a una adaptación de la metodología propuesta por Schliessler y Bull (1994) a través de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), realizada con el apoyo de la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Almonte (1999) y Fernández (2002) realizaron modificaciones para la realidad chilena en base a los datos disponibles de la DV. Posteriormente, en conjunto con la opinión de expertos y la automatización del cálculo a través del programa computacional PATVIAL 2.0, se ha calculado el valor del Patrimonio Vial para la Red Vial Nacional de los años 2007, 2009, 2011 (MOP, 2014) y 2013 (MOP, 2016b). Dentro de los activos valorizados se encuentran los caminos pavimentados y no pavimentados, los puentes, túneles, ciclovías, señales y pasarelas. Para todos los activos se considera un enfoque de costos, pero se utilizan métodos de valorización diferentes. Los caminos pavimentados se valorizan mediante el Valor Neto Residual (NSV) y para los caminos no pavimentados se considera una depreciación basada en el deterioro y condición del camino. Los demás activos se valorizan mediante Depreciación Lineal (SLD).

La metodología para caminos pavimentados considera los pavimentos de asfalto, de tratamiento superficial y de hormigón. La metodología actual de la DV para la valorización de pavimentos de hormigón, materia particular de este trabajo, comprende los siguientes pasos (MOP, 2014):

1. Definir sectores homogéneos del camino según el inventario, tránsito y condición.
2. Calcular el costo del camino nuevo en función de los espesores de capas de la estructura del pavimento y los precios unitarios de partidas de construcción correspondientes. Los espesores dependen del tránsito y la zona geográfica del país, como se señala en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Estructura de pavimentos de hormigón según zona y tipo de tráfico (MOP, 2014).

Zonas	TMDA	Capas (mm)			Dimensión de calzadas y bermas (m)	
		ECR	EBG	SBG	Ancho Pista	Ancho Berma
N	A	300	150	150	3,6	1,2
	M	250	150	150	3,5	1,5
	B	240	150	120	3,7	1,3
C	A	210	150	150	3,5	1,3
	M	190	150	150	3,5	0,8
	B	180	150	120	3,5	0,8
S	A	210	150	180	3,5	1,6
	M	200	150	150	3,5	0,8
	B	200	150	120	3,5	0,8
A	A	220	170	200	3,4	1,3
	M	200	150	150	3,5	1
	B	200	150	120	3,5	1,2

3. Calcular el Índice de Condición del Pavimento (ICP). En caso de que el porcentaje de juntas en estado bueno sea mayor a 25%, se utiliza la Ecuación 2.1. En caso contrario, se debe utilizar la Ecuación 2.2. La variable IRI corresponde al Índice de rugosidad Internacional, en m/km. La

variable AGR corresponde al porcentaje de losas agrietadas, que corresponden a aquellas losas con más de tres trozos. Por su parte, el estado de juntas y grietas puede ser calificado como Bueno, Regular y Malo, de acuerdo a la integridad de los sellos y la presencia de desconches.

$$ICP = 10.68 - 0.85 \cdot IRI - 0.057 \cdot AGR \quad (2.1)$$

$$ICP = 10.68 - 0.85 \cdot IRI - 0.057 \cdot AGR - 1.0 \quad (2.2)$$

4. Una vez calculado el ICP se debe calificar el estado en el cual se encuentra: Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo o Muy Malo. La calificación se realiza de acuerdo a la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Límites del ICP para la asignación del estado de los pavimentos según DV (MOP, 2020d).

Estado	Caminos Nacionales, Regionales Principales y Regionales Provinciales	Caminos Regionales Comunales y de Acceso
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

5. Asignar la actividad de conservación de acuerdo al estado del ICP según recomendaciones del experto internacional Gerardo Flintsch:
- Muy Bueno: Conservación rutinaria (limpieza de faja y saneamiento).
 - Bueno: Sello de juntas.
 - Regular: Cepillado y sello de juntas.
 - Malo: Reemplazo de losas y sello de juntas.
 - Muy Malo: Recapado, pulverizado o reconstrucción.
6. Calcular el costo de las actividades de conservación asignadas según la calificación de estado del índice ICP.
7. Realizar la diferencia entre el costo del camino nuevo y el costo de conservación en el tramo evaluado. El monto resultante de esta diferencia corresponde al valor de camino actual.

Cabe mencionar, que la metodología de valorización de la Dirección de Vialidad tiene como objetivo poder justificar las necesidades de financiamiento para el mantenimiento de la red vial nacional no concesionada. En consecuencia, su enfoque es diferente al que debería tener la valorización en el contexto de carreteras concesionadas, cuyos ejemplos de aplicación se presentan a continuación.

2.2. Prácticas de valorización de activos viales en carreteras concesionadas

2.2.1. Australia

En Nueva Gales del Sur, Australia, se ha utilizado el método de Costo de Reemplazo Escrito (WDRC) en contratos de concesiones viales para la valorización de activos, donde se especifica que debe existir un crecimiento anual del valor de activo por sobre 4% (Alyami, 2017; Alyami & Tighe, 2016).

2.2.2. Estados unidos

Como ejemplo de contratos de concesión en carreteras estadounidenses, en Chicago e Indiana se establece un valor de la infraestructura por medio de un peritaje como medio de indemnización por término de contrato, donde se consideran los costos y beneficios futuros de la concesión (Chicago Department of Transportation [ChDOT], 2004; Indiana Department of Transportation [INDOT],

2017). En Texas, no existe una metodología propiamente tal de valoración de activos, pero sí se establece una vida residual que deben tener los activos al final de la concesión (Texas Department of Transportation [TxDOT], 2014). En particular, se establece que el concesionario debe preparar un plan para el momento de devolución de la infraestructura que contenga las metodologías y actividades para cumplir con los requerimientos de la etapa. Dicho plan debe incluir una metodología para determinar la vida residual de los activos y debe ser aprobado por el Departamento de Transportes de Texas (TxDOT, 2014). Además, el plan incluye una tabla con la vida residual final requerida para distintos elementos de la concesión, y el concesionario deberá realizar trabajos de renovación cuando sea necesario para cumplir con los requisitos de desempeño y vida residual dispuestos en el contrato (TxDOT, 2014).

2.2.3. Chile

En Chile, en las bases de licitación de las nuevas concesiones viales interurbanas se exige obtener el valor residual de las obras con el objetivo de determinar un pago final del Estado a la concesionaria (MOP, 2019a, 2021a). En las bases se indica que para la valorización debe utilizarse la metodología de la DV descrita en el apartado 2.1.5.c, complementada con una evaluación estructural de los pavimentos. El valor residual de la infraestructura es acotado por un monto mínimo y máximo que son calculados en base a una depreciación lineal de las inversiones realizadas, considerando una vida útil de 50 y 70 años, respectivamente. Cabe mencionar que la evaluación estructural antes mencionada se lleva a cabo también para determinar un factor técnico, que multiplicado por el valor residual da como resultado el valor del pago final del Estado a la concesionaria. Este factor técnico aumenta la imprecisión de dicho pago final, ya que incluye solo la evaluación estructural de los pavimentos, y no de los otros activos presentes en una carretera concesionada.

De esta manera, la metodología de la DV complementada con una evaluación estructural de los pavimentos ha sido utilizada en estudios integrales para la valorización de las obras de algunas concesiones viales interurbanas del país (MOP, 2019b, 2021e). Sin embargo, se realizaron consideraciones para los activos que no cuentan con una metodología de valoración definida, los cuales fueron valorados con depreciación lineal. Además, para el caso de pavimentos, la metodología aplicada considera umbrales que difieren de las exigencias y estándares de carreteras concesionadas.

En particular, la metodología actual utilizada en concesiones viales interurbanas para la valorización de pavimentos de hormigón, comprende los siguientes pasos (MOP, 2019b, 2021e):

1. Definir sectores homogéneos del camino según el inventario, tránsito y condición.
2. Calcular el costo del camino nuevo en función de los espesores de capas de la estructura del pavimento y los precios unitarios de partidas de construcción correspondientes. Los espesores de capas son iguales para todos los tramos y dependen del inventario y antecedentes disponibles.
3. Calcular el Índice de Condición del Pavimento (ICP) haciendo uso de la Ecuación 2.1 o la Ecuación 2.2, como fue indicado en el apartado 2.1.5.c para la metodología actual de la DV.
4. Una vez calculado el ICP se debe calificar el estado en el cual se encuentra: Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo o Muy Malo. Los límites para la calificación del estado del ICP son menos exigentes que los utilizados por la DV y se indican en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Límites del ICP para la asignación del estado de pavimentos en estudios integrales de concesiones viales (MOP, 2021e).

Estado	Caminos Estándar Pavimentado
Muy Bueno	Mayor a 8.0
Bueno	6.0 a 8.0
Regular	4.0 a 6.0
Malo	2.0 a 4.0
Muy Malo	1.0 a 2.0

5. Asignar la actividad de conservación de acuerdo al estado del ICP según recomendaciones del experto internacional Gerardo Flintsch:
 - Muy Bueno: Conservación rutinaria (limpieza de faja y saneamiento).
 - Bueno: Sello de juntas.
 - Regular: Cepillado y sello de juntas.
 - Malo: Reemplazo de losas y sello de juntas.
 - Muy Malo: Recapado, pulverizado o reconstrucción.
6. Calcular el costo de las actividades de conservación asignadas según la calificación de estado del índice ICP (costo de conservación funcional). Cabe mencionar, que sólo para la conservación rutinaria se contempla una intervención del 100% del pavimento. Para el sello de juntas se define un porcentaje de intervención de 10%, mientras que para el cepillado y el reemplazo de losas un 25%.
7. Calcular el costo de conservación estructural. Este corresponde en primera instancia a la aplicación de un cepillado del 25% de la superficie más un sello de juntas en un 10%. Si aplicando la ecuación AASHTO para diseño de pavimentos nuevos se logra igualar la vida remanente con los ejes equivalentes (EE) de diseño teóricos, entonces el costo de las dos anteriores intervenciones se considera como el costo de conservación estructural. En caso contrario, se aplica también la instalación de barras de transferencia de carga e inyección de mortero bajo las losas en un 15% de las losas del tramo evaluado, considerando así las 4 intervenciones en el costo de conservación estructural.
8. Comparar el costo de conservación funcional y el estructural. El mayor entre ambos corresponde al costo de conservación del tramo evaluado.
9. Calcular la diferencia entre el costo del camino nuevo y el costo de conservación en el tramo evaluado. El monto resultante de esta diferencia corresponde al valor de camino actual.

Cabe mencionar que la metodología anteriormente descrita ha sido aplicada en concesiones viales solamente de manera referencial, y no para determinar pagos entre el Estado y el concesionario. En efecto, corresponde a una metodología que se encuentra aún en revisión, pudiendo ser mejorada, o bien, reemplazada por parte de la Dirección General de Concesiones. Cabe mencionar, que debido a la falta de información de EE de diseño, en los estudios integrales de algunas concesiones viales el costo de conservación estructural se ha definido a partir de un criterio conservador. Dicho criterio corresponde a la aplicación de las 4 intervenciones descritas en el paso 7, independiente del valor de los indicadores técnicos, por lo que el costo la conservación estructural no es sensible al desempeño del pavimento en sus diferentes secciones y en el tiempo.

2.2.4. Otros países latinoamericanos

En otros países latinoamericanos se han incorporado algunos conceptos relacionados con la valorización de las obras. En Perú, se ha definido en los contratos de concesión el término de “valor contable neto del intangible”, que corresponde al valor contable neto de amortizaciones acumuladas de la concesión. Este incluye el monto del estudio definitivo de ingeniería, los gastos financieros, otros gastos del balance general y el valor de las obras adicionales, pero no el valor de los activos propiamente tal (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú [MTC], 2013). En Costa Rica solo existe una valorización para indemnización por extinción anticipada de la concesión, que considera una amortización y depreciación devengada de las inversiones, considerando la vida útil de los activos dispuesta en el contrato (Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica [MOPT], 2011). En Paraguay se establecen vidas útiles para 4 tipos de activos, que corresponden a la señalización vertical y horizontal, balizamiento y sistemas de contención vehicular, los cuales deben reponerse parcial o totalmente cumplidos esos años (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Paraguay [MOPC], 2017).

3. Selección del método de valorización para pavimentos de hormigón

De acuerdo con lo presentado en secciones anteriores, el método de valorización de activos más apropiado para cada uso depende del objetivo de la valorización misma y las características de cada activo. En el caso de las concesiones viales, la valoración a utilizar además estará condicionada por el contexto impuesto por el contrato de concesión. En función de lo anterior, el presente capítulo se organiza de la siguiente manera:

- En el apartado 3.1, se describen algunas de las características presentes en los contratos de concesión viales y las principales partes interesadas.
- En el apartado 3.2, se describen las condiciones de borde para la valorización de activos en concesiones viales.
- En el apartado 3.3 se presentan los métodos de valorización aplicables para evaluar a un operador privado, tras un análisis de las ventajas y desventajas de cada método existente.
- En el apartado 3.4 se presenta una revisión de la gestión de la conservación de los pavimentos de hormigón, identificando sus elementos, características, indicadores, umbrales y actividades de rehabilitación.
- En el apartado 3.5 se presenta la selección del método de valorización para los pavimentos de hormigón y el análisis de brechas para su implementación en carreteras concesionadas interurbanas chilenas.

3.1. Contratos de Asociación Público-Privada (PPP) en infraestructura vial

De acuerdo con el Banco Mundial, las Asociaciones Público-Privadas (PPP) se definen como contratos de largo plazo entre un privado y una institución gubernamental, para proporcionar un activo o servicio público, en el cual el privado asume una parte significativa del riesgo y responsabilidad de gestión, y cuya remuneración se encuentra asociada al desempeño (TWB, 2017). Este esquema se ha utilizado en diferentes países como una herramienta eficaz para llenar la brecha entre el aumento de las necesidades de desarrollo de infraestructura y la contracción del presupuesto fiscal público (Islami & Hazhiyah, 2020). También representan una oportunidad de mejora en la gestión de infraestructura, al incorporar medidas de desempeño durante la operación (TWB, 2017). En Chile, las asociaciones público-privadas se conocen como concesiones (MOP, 2016a).

En el caso de la infraestructura vial, los contratos de concesión tienen usualmente la modalidad DCFOM (diseño, construcción, financiación, operación y mantenimiento) (TWB, 2017; Yuan & Li, 2018). En este tipo de contratos, la totalidad o parte importante del riesgo y la responsabilidad son traspasados al privado. Los contratos son contraídos entre el privado (Sociedad Concesionaria) y la agencia gubernamental a cargo de las carreteras. En el caso de Chile, la agencia gubernamental corresponde a la Dirección General de Concesiones (DGC) del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Por lo tanto, la Sociedad Concesionaria y el MOP son dos de las partes involucradas directamente en el contrato de concesión.

La duración de las concesiones es del orden de décadas, siendo 20 a 30 años períodos usualmente encontrados en contratos de concesión (TWB, 2017; Yuan & Li, 2018). A cambio del financiamiento de la infraestructura y del traspaso de riesgos, el privado recibe pagos durante el período de concesión, los que pueden provenir del estado, de los usuarios de la infraestructura, o de ambos. Estos pagos deben estar asociados a estándares de desempeño por parte del concesionario, definidos preliminarmente en el contrato de concesión, los cuales deben incentivar una óptima provisión de servicio a los usuarios y una adecuada preservación del valor de los activos bajo su responsabilidad (Alyami, 2017; TWB, 2017).

Las medidas de desempeño exigidas al concesionario durante la construcción y operación de la carretera incluyen indicadores de servicio a los usuarios que transitan por la misma y también indicadores que involucran a la comunidad y medio ambiente aledaños a la misma. Ejemplos de indicadores de servicio a los usuarios incluyen estándares de calidad para los pavimentos, condiciones de luminosidad, limpieza y seguridad, entre otras. Indicadores relacionados con la comunidad y medio ambiente aledaños incluyen estado de pasarelas peatonales, vías de servicio, pasos de fauna, entre otros (Ebensperger, 2020; MOP, 2019a, 2021a; Muñoz, 2020). En consecuencia, tanto los usuarios de la carretera como la comunidad y medio ambiente aledaños a la ruta son también partes involucradas en un contrato de concesión.

Por otro lado, el pago de la remuneración que recibe el concesionario proviene de los usuarios de la carretera y/o del estado, es decir, los contribuyentes, quienes pasan a ser también una parte involucrada en el contrato de concesión.

En resumen, se pueden distinguir cinco partes involucradas directamente en los contratos de carreteras interurbanas chilenas concesionadas:

- **Dirección General de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas:** Corresponde a la agencia gubernamental encargada de la gestión de la red de carreteras concesionadas, a través de la licitación de proyectos en las distintas rutas que conectan el país.
- **Sociedad Concesionaria:** Es la empresa privada nacional o internacional, encargada de la administración de la infraestructura, tras la adjudicación del contrato correspondiente con el Estado.
- **Usuarios de la carretera:** Corresponden a los usuarios que transitan en vehículos pesados o livianos por la vía principal de la carretera.
- **Comunidad y medio ambiente aledaños:** Corresponde a los usuarios que residen o trabajan en las cercanías de la carretera y eventualmente transitan de manera perpendicular a la vía principal. Comprende también el entorno físico y biótico cercano a la carretera.
- **Estado/Contribuyentes:** La infraestructura concesionada, si bien es administrada directamente por privados, es propiedad del Estado y el concesionario debe devolverla al final del periodo de concesión. En consecuencia, todos los contribuyentes del país tienen interés en el correcto desarrollo y conservación de esta infraestructura.

3.2. Condiciones de borde para la valorización de activos en concesiones viales

3.2.1. Gestión de riesgos de la licitación

En los contratos de concesión por DCFOM existen riesgos asociados a cada una de las etapas del proyecto. Por ejemplo, en las etapas de diseño y construcción existen los riesgos de que la construcción se retrase o cueste más de lo presupuestado, o que la calidad del diseño no alcance el nivel requerido durante la operación. Por otro lado, en la etapa de operación y mantenimiento, existen riesgos asociados a interrupciones en el servicio o que los costos de operación y mantenimiento incurridos por el concesionario para cumplir con los umbrales de desempeño establecidos en el contrato sean mayores a lo presupuestado (Leviäkangas & Michaelides, 2014). También existen riesgos asociados de que las tasas de interés, tasas de cambio o inflación afecten la rentabilidad del proyecto. La incertidumbre en la estimación de la demanda también constituye un riesgo significativo de los ingresos esperados en el proyecto (Irwin, 2007; TWB, 2017).

En los contratos de concesión una parte significativa de los riesgos son tomados por el concesionario. Esto trae como consecuencia, que los aumentos en los riesgos resultan en incrementos en la remuneración solicitada por el concesionario para hacerse cargo del proyecto, es decir, aumentos en

el costo total del proyecto, de las tarifas cobradas a los usuarios y/o de los pagos solicitados al estado. Por lo tanto, es indispensable realizar una adecuada gestión de los riesgos, que incluya una correcta evaluación, asignación y mitigación de los mismos durante la formulación de los contratos de licitación (De Palma et al., 2012; TWB, 2017).

Dentro de los riesgos asociados a la etapa de operación se encuentran los riesgos de cumplimiento de los indicadores de desempeño de los distintos objetivos estratégicos, entre los cuales se encuentra el nivel del servicio entregado a los usuarios de la infraestructura, la afectación a las comunidades o medio ambiente aledaños o la preservación del valor de los activos. Este tipo de riesgos afecta no solo la etapa de operación, sino que también influyen en las posibilidades de obtener financiamiento para el proyecto, ya que, tanto las instituciones privadas como públicas que participan en el financiamiento de obras de infraestructura realizan rigurosos análisis de riesgo para evaluar su participación en estos proyectos. Para las instituciones privadas riesgos altos se traducen en altas tasas de interés, mientras que, para las instituciones públicas los riesgos altos pueden ser simplemente inaceptables puesto que generan incertidumbre respecto del compromiso que se asume respecto del presupuesto público (Falls et al., 2004, 2005).

En el caso de los indicadores de desempeño para la valoración de los activos, se requiere que la metodología de valorización que se incorpore en el contrato de concesión sea lo más clara y precisa posible, que contenga la menor cantidad permisible de fuentes de variabilidad e incertidumbre, de manera de no aumentar innecesariamente los riesgos de la concesión y en consecuencia los costos del proyecto. Esta condición debe ser evaluada al momento de seleccionar los distintos métodos de valoración de activos disponibles, pues la precisión de estas varía significativamente dependiendo del valor considerado para la evaluación o de su formulación específica (Amekudzi et al., 2002). En este sentido, con el objeto de minimizar los riesgos y los costos del proyecto, puede que tener una metodología precisa sea tanto o más importante que tener una metodología exacta (Falls et al., 2004, 2005).

3.2.2. Valorizar solo la infraestructura conservada por el concesionario

En los contratos de concesión por DCFOM, la responsabilidad sobre los activos recae fundamentalmente sobre el concesionario desde el diseño hasta el momento en que termina el período de concesión, en que la infraestructura es devuelta a la entidad gubernamental correspondiente. Sin embargo, el contrato también establece las limitaciones para el accionar del concesionario, por lo cual no necesariamente tendrá todas las atribuciones requeridas para preservar o entregar mayor valor a los activos durante la concesión. Por ejemplo, factores que generalmente están bajo el control del administrador son la calidad del diseño y de la construcción, y la definición de los programas de mantenimiento, mientras que aspectos que no dependen del concesionario incluyen demandas de tránsito, factores financieros u obsolescencia tecnológica (Yuan & Li, 2018).

Por lo tanto, si el objetivo es evaluar el desempeño del concesionario en la conservación del valor de los activos en el tiempo, la metodología de evaluación debe considerar solo los aspectos que están bajo el control del concesionario por contrato, dejando fuera al resto. Por ejemplo, si un contrato de infraestructura vial no considera la posibilidad de que el concesionario construya pistas adicionales cuando la capacidad de la vía se acerca a la saturación, entonces el valor del tiempo de viaje no debería incluirse en la valorización del activo.

3.2.3. Condiciones del contrato se definen al momento de la licitación

A pesar de que las concesiones de infraestructura vial pueden tener duraciones de 20 o 30 años, las condiciones del contrato se definen al momento de la licitación. Cierta nivel de flexibilidad puede ser incorporado en el contrato de concesión, para tomar en consideración necesidades de presupuesto adicional dentro de ciertos márgenes acotados (MOP, 2019a, 2021a). Sin embargo, las condiciones contractuales son definidas de manera relativamente rígida, ya que esto contribuye a la certidumbre

de las condiciones en que debe ser diseñada, construida y operada la obra de infraestructura. En efecto, lo anterior es necesario para la evaluación de riesgos tanto del postulante como de los posibles financistas de la obra.

La condición anterior implica que una metodología de valorización de activos para una concesión vial debe ser definida en el contrato de concesión y al momento de la licitación. En otras palabras, tanto el valor inicial de la infraestructura concesionada como las formas de calcular las pérdidas de valor deben estar predefinidas en el contrato, no habiendo espacio para cambios en la forma de valorizar después de esa instancia.

3.2.4. Compatibilidad con el nivel de servicio a los usuarios

La remuneración del concesionario está asociada directamente al cumplimiento de indicadores de desempeño para el nivel de servicio entregado al usuario, a la comunidad aledaña y a la preservación del valor de los activos. Los distintos indicadores a considerar en el contrato deben ser compatibles y generar incentivos o desincentivos en la misma dirección. Por ejemplo, pérdidas en la calidad del servicio entregado por el pavimento a los vehículos que circulan por la carretera deben reflejarse en pérdidas de valor del activo en los métodos de valorización utilizados. Para esto existen distintas alternativas, como por ejemplo, utilizar métodos de valorización multicriterio que incluyan tanto la importancia relativa del usuario de la carretera y de la agencia administradora encargada de preservar su valor (Dojutrek et al., 2012, 2014). Otra opción es evaluar de manera independiente el servicio a los usuarios y paralelamente evaluar el valor de los activos, pero compatibilizando los umbrales de desempeño en ambos casos (Delgadillo et al., 2018; Muñoz, 2020). Por ejemplo, si el valor de la regularidad longitudinal del pavimento supera el umbral aceptado para los usuarios, el modelo de valorización de debe reflejar una pérdida del valor del activo pavimento.

3.2.5. Costos de operación del concesionario no deben aumentar innecesariamente

Los diversos métodos de valorización de activos requieren de distintos niveles de información para ser aplicadas, y por ende, los costos de operación de concesionario pueden aumentar con su implementación (Do & Jung, 2018; LoBEG, 2012). Por un lado, métodos como la depreciación lineal en el tiempo en base a una vida útil fija y predeterminada no necesitan de mediciones en terreno para la condición del activo, la pérdida del valor del activo se asume automática a medida que pasan los años. Por otro lado, métodos como el costo de reemplazo escrito requieren conocer la condición del activo en el momento de la evaluación, la cual se define a partir de algún índice de condición que requiere de mediciones y evaluaciones periódicas en terreno. Los costos asociados a la determinación del valor mediante depreciación lineal son significativamente menores a los costos de aplicación del costo de reemplazo escrito.

La conveniencia de la aplicación de métodos más costosos de valorización de activos debe ser evaluada en conjunto de los beneficios que estos tengan (Falls et al., 2004; OECD, 2001b). Es posible que, para activos de alto valor, como puentes y pavimentos, se justifique la utilización de métodos costosos. En efecto, para dichos activos puede existir un ahorro considerable producto de una buena valorización de estos y una correcta definición de umbrales de desempeño para el concesionario. Para activos de menor valor, como por ejemplo señales verticales u horizontales, es posible que no se justifique la implementación de métodos de valorización de mayor costo (Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Falls et al., 2005).

Cabe mencionar que los costos de operación aludidos en este apartado corresponden únicamente a los costos incurridos por el concesionario para la evaluación y gestión de los activos durante la fase de explotación. No están referidos a los costos de operación de los vehículos de los usuarios, asociados a gastos en mantenimiento de los vehículos o en combustible.

3.3. Métodos de valorización aplicables para evaluar a un operador privado

3.3.1. Comparación de ventajas y desventajas de cada método

En este apartado se presenta la comparación de ventajas y desventajas de cada método de valorización revisado en la literatura. Este análisis se realiza con el objetivo de identificar aquellos métodos que tengan mayor susceptibilidad de ser implementados en una base de licitación de una carretera concesionada. El análisis se sustenta a partir de los hallazgos de diversos autores y de las condiciones de borde para la valorización definidas en el apartado 3.2, las cuales se presentan resumidamente en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Condiciones de borde para la valorización de carreteras concesionadas.

N°	Condición de borde	Descripción
1	Gestión de riesgos de la licitación	Se requiere una metodología lo más clara y precisa posible, que contenga la menor cantidad permisible de fuentes de variabilidad e incertidumbre, de manera de no aumentar innecesariamente los riesgos de la concesión y en consecuencia los costos del proyecto.
2	Valorizar solo la infraestructura conservada por el concesionario	Se debe considerar solo los aspectos que están bajo el control del concesionario por contrato, dejando fuera el resto (ej: demandas de tránsito, factores financieros y obsolescencia tecnológica).
3	Condiciones del contrato se definen al momento de la licitación	El valor inicial de la infraestructura y las formas de calcular las pérdidas de valor deben estar predefinidas en el contrato, no habiendo espacio para cambios posteriores.
4	Compatibilidad con el nivel de servicio brindado a los usuarios	Pérdidas en la calidad del servicio entregado a los usuarios de vehículos que circulan por la carretera deben reflejarse en pérdidas de valor del activo.
5	Costos de operación del concesionario no deben aumentar innecesariamente	La conveniencia de la aplicación de métodos más costosos de valoración de activos debe ser evaluada en conjunto de los beneficios que estos tengan.

Dentro de las posibles ventajas identificadas para los métodos, existen dos que resultan de vital importancia para cumplir con las condiciones de borde anteriormente mencionadas. Estas corresponden a relacionar la pérdida de valor de los activos con indicadores de desempeño y considerar los costos pasados:

- A. Como fue presentado en el capítulo 1, no todos los métodos consideran el desempeño de los activos en la valorización, lo cual no permitiría evaluar directamente la conservación que realiza el concesionario. Esto puede resultar en una valorización imprecisa y poco objetiva, y, además, que no relacione las pérdidas en la calidad del servicio entregado con las pérdidas de valor. En consecuencia, cuando en un método la pérdida de valor depende de indicadores de desempeño, esto representa una ventaja al cumplir con la primera, segunda y cuarta condición de borde. Cabe mencionar que considerar el desempeño actual representa una desventaja respecto a la quinta condición de borde, en caso de que el activo no amerite una valorización tan precisa.
- B. Considerar los costos pasados es una ventaja importante respecto a la primera, segunda y tercera condición de borde, ya que permite tener una valorización más precisa al basarse en datos conocidos, los cuales pueden ser establecidos al momento de la licitación del contrato de concesión y no están sujetos a fuerzas externas a la gestión del concesionario.

Además de las dos importantes ventajas mencionadas anteriormente, existen otras secundarias:

- C.** Considerar explícitamente umbrales de desempeño en la formulación, ya que esto permite sensibilizar las pérdidas de valor ante cambios en el nivel de desempeño de los diferentes indicadores considerados. Entre estos indicadores, pueden estar aquellos utilizados para medir el nivel de servicio a los usuarios, por lo que esta ventaja está directamente relacionada con la cuarta condición de borde.
- D.** Poder valorizar los distintos componentes de un activo, ya que esto permite obtener una mayor precisión en el valor y cumplir con la primera condición de borde. No obstante, esto puede resultar en una implementación costosa para ciertos activos, en comparación con los beneficios que traiga su valorización (quinta condición de borde).
- E.** Relacionado también con la primera condición de borde, es que para cada instante de tiempo se defina un valor determinado y no se admita variabilidad e incertidumbre en el resultado obtenido. Lo anterior es una ventaja que puede evitar aumentar los riesgos de la concesión y posibles conflictos que puedan resultar en litigaciones entre el Estado y el concesionario.
- F.** Aquellos métodos que relacionen la pérdida de valor con el costo de reparación del activo tienen una ventaja respecto a los métodos que no establezcan dicha relación. En efecto, estos métodos permiten calcular de manera objetiva y precisa cuanto valor han perdido los activos de acuerdo a su desempeño actual y/o edad, a través del costo en el que incurriría el concesionario para devolverlos a su mejor condición posible. Esta ventaja, en consecuencia, tiene directa relación con la primera, segunda y cuarta condición de borde, siempre y cuando el costo este basado en precios históricos y no actuales.
- G.** Muchos métodos, en particular los que están basados en beneficios y en el valor de mercado, valorizan aspectos que van más allá de la infraestructura física que administra el concesionario. Por lo tanto, aquellos que valoricen solo la construcción y rehabilitación de la infraestructura física, es decir, los métodos basados en los costos, poseen una ventaja respecto a los otros, al permitir cumplir con la segunda condición de borde.
- H.** Existencia de experiencia práctica registrada en la utilización del método de valorización. En efecto, la implementación de métodos que nunca hayan sido utilizados anteriormente puede aumentar de manera innecesaria los riesgos de la concesión, y, por ende, no cumplir con la primera condición de borde.

Así como se identificaron ventajas de mayor importancia para cuando los métodos consideren costos pasados, en sentido contrario a estas se presentan tres desventajas principales asociadas a la utilización de costos presentes, costos futuros, y a la admisión de cierta variabilidad en los métodos.

- I.** El valor obtenido de métodos de valorización que en su formulación consideren los costos presentes de los activos, estará influenciado por las condiciones fluctuantes del mercado, posibles obsolescencias tecnológicas y normativas. Dichos aspectos no dependen del concesionario, por lo que no permitirían evaluar su gestión en la conservación de la infraestructura ni poder identificar si una variación del valor de los activos corresponde a una mejora o un deterioro de su condición actual. De este modo, su utilización conllevaría a asumir una fuente de variabilidad importante, por lo que, estas formulaciones presentan una desventaja respecto de las condiciones de borde 1, 2 y 3.
- J.** De forma análoga a lo anterior, los métodos que consideran los costos y/o beneficios futuros se encuentran influenciados por las condiciones fluctuantes del mercado, factores financieros y socioeconómicos, existiendo una alta incertidumbre respecto al cambio de los precios de construcción y de las demandas de tránsito en el tiempo. Por su parte, al solo considerar los beneficios se asume una fuente de ambigüedades en la valorización (Turnbull, 2015), y se incorporan al valor de los activos aspectos que no están bajo el control del concesionario, como variaciones del valor debido a beneficios que dependen de la demanda de tránsito. Los

métodos de valorización con estas características presentan una desventaja respecto de las condiciones de borde 1, 2 y 3.

- K.** Cuando el método de valorización admita variabilidad en la estimación de alguna de sus variables, y que estas estén asociadas a niveles de confiabilidad, se estará incurriendo en un aumento de los riesgos de la concesión y en posibles controversias futuras entre partes interesadas. De esta forma, toda fuente de variabilidad debe ser evitada en favor de lo descrito en la primera condición de borde.

Las siguientes características son identificadas como desventajas secundarias ya que el juicio de ventajoso y desventajoso podría depender principalmente del activo a valorizar. Es decir, es razonable pensar que los aspectos considerados en activos de gran importancia o alto valor no son tan relevantes para activos de menor valor o importancia.

- L.** La literatura indica que una fuente importante de variabilidad e incertidumbre es la estimación de la vida útil de los activos (LoBEG, 2012). En consecuencia, una definición a priori o subestimación de la vida útil conduce a un aumento de los riesgos de la concesión, y con ello a posibles aumentos en los costos del proyecto. Además, una definición preliminar no considera la posibilidad de que la vida útil de los activos esté condicionada por su uso o la condición de servicio prestada a los usuarios. Por lo anterior, los métodos que requieran definir una vida útil para los activos representan una desventaja respecto a las condiciones de borde 1 y 4.
- M.** De forma similar a la desventaja anterior, definir una vida o valor residual representa una fuente importante de variabilidad e incertidumbre, y podría aumentar los riesgos de la concesión. Por lo tanto, esta característica representa una desventaja respecto a la primera condición de borde.
- N.** Los métodos de valorización que requieran la calibración de parámetros para definir la curva de depreciación, sin considerar vida útil y residual, presentan una desventaja respecto de la primera condición de borde. Lo anterior se debe a que representan una fuente de variabilidad e incertidumbre, si no se cuenta información de largo registro que facilite las calibraciones. Además, al asumir una cierta curva de deterioro esta podría no representar el verdadero servicio prestado por el activo. De esta forma, este tipo de métodos representan una desventaja respecto de la cuarta condición de borde.

En resumen, las ventajas y desventajas que los métodos pueden tener, así como su relación con las condiciones de borde, se presentan en la Tabla 3.2 y Tabla 3.3, respectivamente. Además, como se puede ver en las tablas, se asocia una abreviatura a cada una de las ventajas y desventajas para facilitar la presentación del análisis realizado.

Tabla 3.2. *Ventajas posibles para métodos de valorización y condiciones de borde involucradas.*

Condición de borde	Abreviatura	Ventaja
1, 2 y 4	A	Pérdida de valor depende de indicadores de desempeño
1, 2 y 3	B	Considera solo costos pasados (mayor precisión)
4	C	Considera explícitamente umbrales de condición en su formulación
1 y -5	D	Permite separar en subcomponentes (mayor precisión)
1	E	Para cada instante en el tiempo define un valor determinado
1, 2 y 4	F	Se relaciona la pérdida de valor con el costo de reparación del activo
2	G	Valoriza solo la construcción y rehabilitación de la infraestructura física
1	H	Experiencia práctica encontrada

Tabla 3.3. Desventajas posibles para métodos de valorización y condiciones de borde involucradas.

Condición de borde	Abreviatura	Desventaja
1, 2 y 3	I	Considera costos presentes, incorporando cambios tecnológicos, normativos y/o fuerzas de mercado (mayor incerteza)
1, 2 y 3	J	Considera costos/beneficios futuros (mayor incerteza)
1	K	Admite variabilidad asociada a niveles de confiabilidad
1 y 4	L	Es necesario definir la vida útil
1	M	Es necesario definir una vida/valor residual
1 y 4	N	Requiere calibración de otros parámetros

Notar que la mayoría de las ventajas y desventajas definidas están relacionadas con más de una condición de borde, y que las ventajas A y D, pueden tener una relación negativa con la quinta condición de borde. Además, es importante mencionar, que no se incluyen todas las ventajas y desventajas que pueden existir para los métodos, y que solo se presentan las que pudieron ser identificadas en base a la revisión de literatura y los objetivos de la investigación.

En la Tabla 3.4, Tabla 3.5, Tabla 3.6 y Tabla 3.7 de las siguientes páginas se muestran las ventajas, desventajas y el costo de implementación de los métodos de valorización basados en el costo, los beneficios, y el valor de mercado. Se ha marcado con una X cada ventaja y desventaja que presentan los métodos. Para el costo de implementación (Z) se identifican tres niveles de dificultad: Bajo (B) cuando el método no requiera de mediciones en terreno ni calibración de parámetros, Medio (M) cuando solo se requiera calibración de parámetros para definir la curva de depreciación, y Alto (A) cuando se necesite de mediciones en terreno.

Es posible notar que los métodos de depreciación poseen, en general, un bajo costo de implementación respecto del enfoque modificado. Sin embargo, no incorporan la condición del activo en su formulación y requieren de al menos un supuesto, dificultando la evaluación del desempeño del concesionario. Los métodos modificados basados en el costo solo tienen una desventaja cuando se calculan sobre la base del costo de reemplazo, y, salvo el valor neto residual, ninguno permite relacionar la pérdida de valor del activo con su costo de reparación.

Los métodos basados en los beneficios y en el valor de mercado poseen un número notablemente inferior de ventajas en comparación con los métodos basados en los costos, y una cantidad superior de desventajas para los basados en los beneficios, ya que por lo general requieren la calibración de algún parámetro. Como excepción a lo antes mencionado se encuentran los métodos basados en el valor de mercado Cost Approach y Modelo Cualimétrico, que poseen las cualidades de un método basado en los costos, pero consideran el valor del terreno en su formulación. Por lo tanto, poseen un mayor número de ventajas que los otros métodos basados en los beneficios y en el valor de mercado.

Por último, se puede mencionar que algunos métodos no fueron incluidos en el análisis de esta sección, debido a que corresponden a métodos generales en los cuales la depreciación puede ser aplicada de diversas maneras, como el Valor en Libros (BV) y el Costo de Reemplazo Depreciado (DRC), o bien, son similares a métodos ya incluidos, como sucede en el caso de los métodos de la Prueba de Concepto en Colorado para muros y túneles, que son similares al Costo de Reemplazo Escrito (WDRC). Tampoco se incluyeron aquellos métodos en los cuales no fue identificada una formulación explícita, como los métodos de Valor de Opción, Valor Relativo, Método de Desarrollo Hipotético, Depreciación funcional y Depreciación lineal modificada, ya que no proveen una base sólida para el análisis.

Tabla 3.4. Ventajas, desventajas y costo de implementación (Z) de métodos tradicionales de valorización basados en el costo.

Enfoque	Método	Ventajas								Desventajas						
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Z
Depreciación	Depreciación Lineal (SLD)		X		X	X		X	X				X	X		B
	Depreciación Sigmoidal (SD) y Sigmoidal Inversa (ISD)		X			X		X	X						X	M
	Suma de Dígitos Anuales (SOYD) y Suma Reversa de Dígitos Anuales (RSOYD)		X		X	X		X	X				X	X		B
	Balance de Declinación (DB) y Doble Balance de Declinación (DDB)		X		X	X		X	X				X			B
Modificado	Costo Histórico (HC)		X		X	X		X	X							B
	Costo de Reemplazo Ajustado (RCaj) - HC		X		X	X		X	X							B
	Costo de Reemplazo Escrito (WDRC) - HC	X	X		X	X		X	X							A
	Valor Ajustado Respecto a Condición Límite (AVRLC) - HC	X	X	X	X	X		X								A
	Valor Fijo Respecto a Condición Límite (FVRLC) - HC.	X	X	X	X	X		X								A
	Valor Neto Residual (NSV) - HC*	X	X	X	X	X	X	X	X							A
	Costo de Reemplazo (RC)				X	X		X	X	X						B
	Costo de Reemplazo Escrito (WDRC)-RC	X			X	X		X	X	X						A
	Valor Ajustado Respecto a Condición Límite (AVRLC) - RC	X		X	X	X		X		X						A
	Valor Fijo Respecto a Condición Límite (FVRLC) - RC	X		X	X	X		X		X						A
	Valor Neto Residual (NSV) - RC	X		X	X	X	X	X	X	X						A
Otros	Valor Presente Neto de Costos				X	X		X	X							M
	Ingreso Recuperable de Componentes (Valor Residual)				X	X		X								B

*Nota: En enfoque modificado, se incluye el método de Valor Neto Residual basado en costos históricos, el cual no aparece explícitamente en literatura, pero es una alternativa posible a la versión basada en los costos presentes.

Tabla 3.5. Ventajas, desventajas y costo de implementación (Z) de métodos no tradicionales de valorización basados en el costo.

Método	Ventajas								Desventajas						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Z
Descomposición Elemental y Multicriterios (EDMC) - HC	X	X	X	X	X		X					X		X	A
Descomposición Elemental y Multicriterios (EDMC) - RC	X		X	X	X		X		X			X		X	A
PCC - Pavimentos	X			X	X	X	X	X	X						A
PCC - Puentes y Alcantarillado	X	X		X			X	X				X			A
PCC - Señales y ITS		X		X			X	X			X	X		X	B
PCC - Parques		X		X			X	X			X	X	X	X	B
PCC - Edificios (RCaj)		X		X	X		X	X							B
Valorización Probabilística	X			X			X		X		X			X	A
Valorización de Puentes Basada en Inspección de Elementos	X	X		X	X		X							X	A

Tabla 3.6. *Ventajas, desventajas y costo de implementación (Z) de métodos de valorización basados en los beneficios.*

Tipo	Método	Ventajas								Desventajas						
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Z
Tradicionales	Valor Económico (Método Stone)					X					X				X	M
	Valor de Utilidad o Uso (Método Stone sin factores indirectos)					X			X	X					X	M
	Valor Obtenido de Productividad o Capitalización de Ingresos					X			X	X		X			X	B
	Valor Presente Neto de Costos y Beneficios Pasados		X			X			X							B
	Valor Presente Neto de Costos y Beneficios Futuros					X			X	X		X			X	M
No Tradicionales	Métodos Teoría de la Utilidad (4 formulaciones distintas)	X				X				X				X	X	A
	Método de Reemplazo, Tiempo Inactivo y Residuos (RDS)					X				X	X				X	M
	Método basado en la demanda de transporte					X				X					X	M
	Valor de Servicio (SV)				X	X			X	X		X			X	M

Tabla 3.7. *Ventajas, desventajas y costo de implementación (Z) de métodos de valorización basados en el valor de mercado.*

Tipo	Método	Ventajas								Desventajas						
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Z
Tradicionales	Valor de Mercado (MV)					X			X	X						B
	Valor Neto de Liquidación (NLV)				X	X				X				X		B
No Tradicionales	Desmantelamiento y Reutilización (D&R): Valor del terreno					X			X	X						B
	Cost Approach	X		X	X	X	X			X						A
	Modelo cualimétrico	X	X	X	X	X									X	A

3.3.2. Métodos aplicables a activos de alto valor

Para activos que tienen un alto valor respecto al valor total de una carretera, es justificable el uso de métodos más sofisticados, los que a su vez también tienen un mayor costo de implementación (Amekudzi-Kennedy et al., 2019; Falls et al., 2005). Esto debido a que el beneficio que trae utilizar una valorización precisa y objetiva de estos activos de alta importancia en términos de valor puede ser mayor que el costo de implementación del método en cuestión. Por lo tanto, para este tipo de activos, que por lo general tienen una larga vida, es recomendable el uso de métodos que consideren directamente la condición actual, a pesar del alto costo que puede significar la obtención de datos requeridos en terreno de forma periódica.

En base al análisis realizado en la sección anterior, los métodos más aplicables para los activos de alto valor son los siguientes:

- Costo de Reemplazo Escrito (WDRC).
- Valor Ajustado Respecto a Condición Límite (AVRLC).
- Valor Fijo Respecto a Condición Límite (FVRLC).
- Valor Neto Residual (NSV).

Esta preselección surge a partir de que estos métodos poseen una mayor cantidad de ventajas que desventajas. Además, poseen las ventajas A y B, que son las más relevantes identificadas en el apartado anterior al cumplir con una mayor cantidad de condiciones de borde. Es importante mencionar que estos cuatro métodos que fueron preseleccionados para activos de alto valor deben considerar como valor base el costo histórico, para que cumplan con la ventaja B, correspondiente al uso de costos pasados. Además, esta preselección corresponde a una recomendación preliminar respecto a cuáles son los métodos técnicamente ideales para la valorización, sin importar los costos de implementación. La selección del método apropiado para pavimentos de hormigón debe realizarse en función del análisis de ventajas y desventajas restantes (C a N), y de las brechas existentes para su implementación. En particular, las brechas dependerán de la disponibilidad de información y el nivel de desarrollo de los sistemas de gestión actual del activo en carreteras concesionadas.

3.3.3. Métodos aplicables a activos de bajo valor

Para activos que tienen un bajo valor respecto al total de la carretera, podría no justificarse la utilización de métodos que tengan un costo de implementación medio o alto, ya que estos pueden terminar excediendo el costo mismo del activo. De esta manera, un costo de implementación bajo debiese ser una primera característica para el método de valorización de activos de bajo costo. Además, para estos activos se puede flexibilizar, en el método de valorización, la simultaneidad de las ventajas o condiciones técnicamente ideales definidas para activos de alto valor. Sin embargo, el método deberá contar con al menos la ventaja B, es decir, calcular sobre la base del costo histórico.

Según estas primeras consideraciones, y atendiendo a aquellos métodos que poseen la mayor cantidad de ventajas respecto a las desventajas (diferencia de ventajas menos desventajas mayor o igual que 5), los métodos preliminarmente aplicables para activos de bajo valor son:

- Costo Histórico (HC).
- Costo de Reemplazo Ajustado (RCaj).

Cabe mencionar que el costo de reemplazo ajustado corresponde al costo histórico ajustado por inflación. Por lo tanto, si la valorización se realiza ocupando la UF como unidad monetaria correctiva, estos dos métodos entregan el mismo resultado.

Al igual que para activos de alto valor, cada activo se debe analizar de forma independiente. La selección del método de valorización específico dependerá de las condiciones particulares de cada activo en cuanto al costo de implementación del método, de un análisis de ventajas y desventajas de

cada método, y de un análisis de brechas para su implementación. Una consideración especial en los activos de bajo valor tiene relación con la obsolescencia tecnológica y normativa. Para cada activo se debe analizar el método de valorización en función de la recurrencia observada en cuanto a algún tipo de obsolescencia. Por ejemplo, sería poco práctico utilizar métodos con costo de implementación medio o alto en activos que por normativa deben ser reemplazados de forma recurrente.

3.4. Gestión de la conservación de pavimentos de hormigón

Previo a la selección del método de valorización a utilizar para los pavimentos de hormigón, es necesario conocer cómo es gestionado este activo en las prácticas actuales, identificando sus componentes, indicadores técnicos, actividades y umbrales de rehabilitación. Cabe mencionar que, en el caso de carreteras concesionadas interurbanas de Chile, la configuración típica corresponde a Pavimento de Hormigón Simple con Juntas. Por lo tanto, esta revisión y el modelo de valorización a desarrollar estarán enfocados en este tipo de pavimentos, es decir, en pavimentos formados por losas de hormigón sin acero de refuerzo, construidas sobre capas de material granular o estabilizado y la subrasante, y divididas por juntas transversales y longitudinales.

3.4.1. Componentes y elementos del activo

En bases de licitación de nuevas concesiones viales, se contemplan diferentes partidas de obras relacionadas con los pavimentos de hormigón (MOP, 2019a, 2021a), cuyo ítem del Manual de Carreteras, descripción y unidad de medida se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Partidas de obra de pavimentos de hormigón en bases de licitación de concesiones viales interurbanas (MOP, 2019a, 2021a).

Item	Descripción	Unidad
5.200	MOVIMIENTO DE TIERRAS	
5.200.209-1	Preparación de la subrasante	m ²
5.300	CAPAS GRANULARES	
5.300.301-1	Sub-base Granular, CBR ≥ 40%	m ³
5.300.301-2	Sub-base Granular, CBR ≥ 50%	m ³
5.300.302-1	Base Granular, CBR ≥ 80%	m ³
5.300.302-2	Base Granular, CBR ≥ 100%	m ³
5.400	REVESTIMIENTOS Y PAVIMENTOS	
5.400.410-1	Pavimento de Hormigón de Cemento Hidráulico	m ³

La partida de presupuesto de la preparación de la subrasante se cuantifica por metro cuadrado, comprendiendo la perfiladura, compactación y terminación de la plataforma en todo su ancho. Además, se incluye el estacado, las prospecciones, y todos los gastos incurridos para determinar la capacidad de soporte del material y otras actividades necesarias para cumplir con todas las especificaciones técnicas (MOP, 2021g).

En cuanto a la subbase granular, esta es la capa que normalmente debe colocarse inmediatamente debajo de un pavimento rígido (MOP, 2021g). La partida del presupuesto para subbase granular de CBR mayor a 40% o 50%, es medida por metro cubico. Se incluye la provisión y suministro de materiales, equipos y mano de obra necesarios para la confección, colocación, compactación, terminación y mantención hasta la construcción de la siguiente capa (MOP, 2021g).

Las bases granulares son ubicadas sobre una subbase o subrasante, y son normalmente destinadas a formar parte de la estructura de un pavimento flexible (MOP, 2021g). Sin embargo, en algunas concesiones viales chilenas se ha optado por utilizar una base granular chancada o una base tratada con cemento en adición o reemplazo de una subbase granular (MOP, 2021e, 2021d). Además, la metodología actual de valorización de la DV incluye espesores de base granular definidos para

pavimentos de hormigón según las diferentes zonas geográficas del país (MOP, 2014). La partida del presupuesto para una base granular de CBR mayor a 80% o 100% es medida por metro cúbico. Se incluye la provisión y suministro de materiales, equipos y mano de obra necesarios para la confección, colocación, compactación, terminación y mantenimiento de bases granulares de graduación cerrada o abierta que establezca el proyecto (MOP, 2021g).

La partida de presupuesto de Pavimento de Hormigón de Cemento Hidráulico se cuantifica por metro cúbico. Esta incluye la preparación de la capa subyacente; el suministro, colocación y retiro de los moldes si corresponde; la fabricación, transporte, colocación, terminación y curado del hormigón; el acero necesario; la construcción y sellado de las juntas; y todas las operaciones y materiales necesarios para cumplir con las especificaciones técnicas (MOP, 2021g). En particular, el acero es requerido para la colocación de barras de amarre con resaltes en las juntas longitudinales de construcción y contracción, para la colocación de barras de acero lisas en las juntas transversales de construcción, y para la colocación de barras de traspaso de carga en las juntas transversales de contracción cuando se especifique en el proyecto correspondiente (MOP, 2021g).

En consecuencia, un posible desglose para los pavimentos de hormigón considera los siguientes elementos:

- Losa de hormigón.
- Base granular (puede ser chancada o tratada).
- Subbase granular.
- Subrasante (preparación).

3.4.2. Características e indicadores técnicos

Las bases de licitación de concesiones viales actuales regulan en el servicio de conservación a través de dos mecanismos (MOP, 2019a, 2021a):

- **Conservación Programada:** Aplicado durante toda la etapa de explotación y cuyo incumplimiento da origen a cobro de multas. Se contempla la conservación de pavimentos, sistema de iluminación, elementos de seguridad, puentes y estructuras (incluyendo estructuras a desnivel, atraviesos, pasarelas peatonales, entre otros), sistema de drenaje y saneamiento, obras de paisajismo, riego y espacio público, áreas de servicio generales y de atención de emergencias y plaza de pesaje, obras anexas y otros elementos del área de concesión.
- **Conservación por Niveles de Servicio:** Dentro de este mecanismo, se contempla solo la conservación de pavimentos, sistema de iluminación y elementos de seguridad, utilizando para cada uno de estos un indicador determinado.

Para el caso de la conservación de pavimentos por niveles de servicio, se utiliza el indicador PAV, correspondiente al porcentaje mensual de cumplimiento de las exigencias de integridad de pavimentos. El indicador considera exigencias respecto a 21 tipos de deterioro, tanto para pavimentos flexibles como rígidos. Además, se especifican las exigencias requeridas por medio de indicadores de deterioro, que pueden ser medidos cuantitativa y objetivamente. Entre estos se encuentran el IRI promedio y puntual en pista, número de losas agrietadas, escalonamiento de juntas y grietas, resistencia al deslizamiento, macrotextura, baches abiertos y cerrados, separación, descenso y desnivel de bermas, entre otros.

Sin embargo, el indicador PAV posee varias deficiencias, entre las cuales se encuentra la aglomeración de indicadores que representan tanto la condición funcional como estructural de los pavimentos. Dicho de otra forma, no separa aquellos indicadores que se relacionan con el nivel de servicio entregado a usuarios, y los que se relacionan con la integridad estructural del activo, que no es percibida por los usuarios. Además, sólo representa el número de exigencias que se cumplen en cada una de las secciones durante el mes, por lo que no es sensible a los cambios en el nivel de

desempeño de los indicadores en el tiempo, que vayan más allá de un estado de cumplimiento o incumplimiento.

En consecuencia, es necesario estudiar las características del pavimento por separado, sus indicadores asociados y umbrales que permitan conocer el desempeño de dichos indicadores en distintos niveles y no solo en dos (cumplimiento o incumplimiento). En particular, las características que deben ser evaluadas en los pavimentos rígidos en un contexto de gestión global de una carretera son las siguientes:

- Regularidad longitudinal del pavimento (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research [COST], 2008).
- Resistencia al deslizamiento en la capa de rodadura (COST, 2008).
- Nivel de ruido de la interacción neumático-pavimento (Ohiduzzaman et al., 2017).
- Transferencia de carga entre losas (COST, 2008).
- Agrietamientos del pavimento (COST, 2008).

De las características anteriormente mencionadas, las primeras tres representan la condición funcional del pavimento y están relacionadas con el servicio entregado a los usuarios de la carretera. Además, han sido incorporadas en un modelo de evaluación del nivel de servicio de carreteras concesionadas en fase de explotación, donde cada una representa un aspecto o “valor en juego” relevante para los usuarios (Delgadillo et al., 2020; Muñoz, 2020). En particular, la resistencia al deslizamiento se relaciona con el valor en juego “seguridad”, mientras que la regularidad longitudinal y el nivel de ruido con la “comodidad”.

En cuanto a las características que representan la integridad estructural, se ha mencionado que el agrietamiento y la transferencia de carga en pavimentos rígidos no tienen influencia directa en la experiencia de viaje de los usuarios, pero deben ser evaluadas en un modelo de conservación de patrimonio vial (Gómez, 2019; Muñoz, 2020).

Cabe mencionar que el IRI, el agrietamiento y la transferencia de carga han sido indicadores utilizados para la valorización de pavimentos de hormigón de carreteras concesionadas chilenas, junto con el estado de las juntas (MOP, 2019b). Sin embargo, como mencionó en el apartado 2.2.3, la metodología utilizada para dicha valorización no está adaptada a los estándares de este tipo de carreteras.

A continuación, se detallan las características a considerar para la valorización de los pavimentos de hormigón y los indicadores técnicos correspondientes. También se detallan algunas características e indicadores de este tipo de pavimentos que no se consideran relevantes para incorporar en un modelo de valorización y la justificación correspondiente.

a. Regularidad longitudinal

Para la regularidad longitudinal del pavimento, se ha definido al Mean Roughness Index (MRI) como el indicador técnico más apropiado (Delgadillo et al., 2020; Muñoz, 2020). Una ficha técnica asociada a este indicador se presenta en la Figura A.1 del Anexo A. La unidad de medida corresponde a m/km, la frecuencia de medida es anual y la metodología de medición del perfil longitudinal se debe basar en la normativa ASTM E950, haciendo uso de un perfilómetro inercial. Además, esta medición debe realizarse en todas las pistas del área de concesión (excepto en vías de servicio), midiendo dos perfiles longitudinales por pista, cada uno a 0.7 metros de distancia de las líneas que demarcan la pista. Ambos perfiles deben procesarse y promediarse para obtener el MRI cada 50 metros.

b. Resistencia al deslizamiento

Para la resistencia al deslizamiento en la capa de rodadura, se ha definido al SFC equivalente como el indicador técnico más apropiado (Delgadillo et al., 2020; Muñoz, 2020). Una ficha técnica asociada a este indicador se presenta en la Figura A.4 del Anexo A. La frecuencia de medida es anual, no

posee unidad de medida y es posible ocupar distintos equipos de medición (Grip Tester, SCRIM, Runway Fiction Tester). Además, las mediciones deben realizarse en todas las pistas del área de concesión (excepto en vías de servicio) y procesarse para una longitud de muestreo de 50 metros.

c. Nivel de ruido de rodadura

Para el nivel de ruido de la interacción neumático-pavimento se ha definido al Overall A-weighted Sound Intensity Level (OASI) como el indicador técnico más apropiado (Delgadillo et al., 2020; Muñoz, 2020). Una ficha técnica asociada a este indicador se presenta en la Figura A.7 del Anexo A. La unidad de medida corresponde a dBA, la frecuencia de medida es anual y la metodología de medición del perfil longitudinal se debe basar en la normativa AASHTO T360, haciendo uso del sistema de medición OBSI. Además, esta medición debe realizarse a una velocidad de 95 ± 1.5 en todas las pistas del área de concesión (excepto en vías de servicio) y el indicador se debe reportar en tramos de 200 metros.

d. Agrietamiento

El agrietamiento es una característica relacionada con la capacidad estructural del pavimento. En concesiones viales chilenas se considera agrietada cualquier losa que presente fisuras y grietas de esquina, longitudinales y transversales, permitiéndose un máximo de 15 % de losas que presenten grietas angostas (MOP, 2019a, 2021a). Grietas medianas y anchas no son permitidas y solo se aceptan reparaciones por losa completa. Una ficha técnica asociada al agrietamiento se presenta en la Figura A.10 del Anexo A. Notar que en dicha ficha también se incluye tanto el agrietamiento para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos. Para los pavimentos rígidos se define el Porcentaje de Losas Agrietadas como el indicador técnico asociado a esta característica, considerando que una losa está agrietada si presenta al menos una grieta longitudinal, transversal o de esquina según la sección Deterioros en Pavimentos Rígidos del Catálogo de Deterioros Anexo al Volumen 7 del Manual de Carreteras. Todas las pistas deben ser inspeccionadas en unidades espaciales de 50 metros.

e. Transferencia de carga

También se ha propuesto el parámetro deflexión como el más apropiado para evaluar la capacidad estructural de pavimentos, y en el caso particular de pavimentos rígidos, se ha definido al Porcentaje de Eficiencia de Transferencia de Carga como el indicador técnico más apropiado (Burgos, 2019; Gómez, 2019). Una ficha técnica asociada a este indicador se presenta en la Figura A.13 del Anexo A y la metodología de medición se resume a continuación:

- **Equipo a utilizar:** Deflectómetro de impacto (FWD).
- **Frecuencia de medición:** Cada 3 años.
- **Nivel de muestreo:** Nivel 2 según MC-V8 8.502.5.
- **Aplicación de carga:** Para pavimentos de hormigón simple con juntas, la carga debe ser ubicada en el centro de la losa y luego movida a la junta más cerca (losa de salida), sobre la huella externa de la pista por evaluar.
- **Área mínima de muestreo:** Primeras 15 losas cada 250 m o el equivalente tal que conformen al menos un 25 % del total de losas por cada kilómetro por pista.

De esta manera, el Porcentaje de Eficiencia de Transferencia de Carga (TC%) se obtiene según la Ecuación 3.1:

$$TC\% = 100 \cdot \frac{D_{30}}{D_0} \cdot \frac{D_0^*}{D_{30}^*} \quad (3.1)$$

Donde:

D_0 : Deflexión en el punto de carga ubicado en la losa de salida.

D_{30} : Deflexión a 30 cm del centro de aplicación de la carga sobre la losa de entrada.

D_0^* : Deflexión en el punto de carga para una deflexión en el centro de la losa.

D_{30}^* : Deflexión a 30 cm para una deflexión en el centro de la losa.

f. Otros características e indicadores no relevantes para la valorización

Escalonamiento

El escalonamiento en pavimentos rígidos, corresponde al desnivel entre dos superficies, separadas por una junta transversal o grieta y sus causas posibles son las siguientes (MOP, 2021i):

- Erosión de la base en las inmediaciones de la junta o grieta.
- Deficiencia en el traspaso de cargas entre las losas o trozos de losas.
- Asentamiento diferencial de la subrasante.
- Drenaje insuficiente.

Sin embargo, hay estudios que han permitido definir que el efecto del escalonamiento está incorporado en el indicador técnico de la regularidad longitudinal del pavimento de hormigón, con el cual es posible evaluar la comodidad de los usuarios que transitan por la carretera (Muñoz, 2018).

Existencia de vacíos

Las deflexiones medidas en las esquinas de las losas, permiten establecer su estabilidad, mediante el análisis de las deflexiones a distintos niveles de carga, determinando la existencia de huecos bajo las losas originados en la surgencia de finos (MOP, 2021j). Esta última corresponde a la expulsión de agua mezclada con suelos finos a través de las juntas, grietas y borde externo del pavimento de hormigón, al pasar un vehículo pesado. Lo anterior ocurre cuando existe agua entre el pavimento y la base o ésta se encuentra cercana a la saturación, siendo un fenómeno especialmente activo cuando la transmisión de las cargas entre las losas es inadecuado (MOP, 2021j).

Sin embargo, se ha mencionado que es posible detectar la existencia de vacíos bajo el pavimento de manera temprana mediante inspección visual, por lo que no se hace necesaria su verificación mediante la aplicación de deflexiones ni para ser un parámetro de evaluación estructural. En efecto, de existir vacíos bajo las losas, otros parámetros o deterioros acusarían su existencia de manera previa (Burgos, 2019).

Modulo elástico de las capas y de reacción de la subrasante

Mediante el método AASHTO de retro análisis de deflexiones, es posible determinar los módulos elásticos de cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento y también del suelo (módulo resiliente). En los pavimentos rígidos, en particular, es necesario transformar el valor del módulo resiliente al del módulo de reacción de la subrasante (Burgos, 2019; MOP, 2021j). Por otro lado, los valores de módulo de reacción de la subrasante son reportados en los informes de evaluación estructural desarrollados en la fase de operación de carreteras concesionadas, en conjunto con el porcentaje de eficiencia de transferencia de carga entre losas y los espesores de las capas del pavimento (MOP, 2019c). Sin embargo, el suelo natural o material de terraplén que conforma la capa de subrasante no ha sido identificados como elementos del activo pavimento de hormigón, por lo que el módulo de reacción no será considerado en su valorización.

Macrotextura

La macrotextura de la superficie es otra de las características que forman parte de las exigencias establecidas en las bases de licitación de carreteras concesionadas. Debe ser medida de forma continua en toda la longitud de la vía, incluyendo singularidades como puentes u otros similares, zonas con señalización de advertencia o de curvas (MOP, 2019a, 2021a). Esta característica se relaciona con el tamaño de árido, diseño de la mezcla, construcción (compactación) y con los

tratamientos superficiales. Además, produce una adecuada resistencia al deslizamiento a velocidades superiores a 60 [km/h] e influye también en la generación de ruido por la interacción neumático-pavimento (Ebensperger, 2018). En consecuencia, la macrotextura no debiese ser considerada como una característica adicional a evaluar para la valorización del pavimento de hormigón, al estar relacionada con otras características que ya fueron descritas en esta sección y que representan la condición funcional del pavimento (fricción y ruido). Lo anterior también aplica para la microtextura y la megatextura, que si bien, no son características que formen parte de las exigencias de las bases de licitación, están relacionadas con la resistencia al deslizamiento a bajas velocidades y con el ruido de rodadura a bajas frecuencias (Ebensperger, 2018).

3.4.3. Actividades de rehabilitación

En cuanto a las actividades de rehabilitación para pavimentos de hormigón, destacan el reemplazo de losas, la restitución de transferencia de carga y el cepillado de la superficie. Estas contribuyen a mejorar el nivel de desempeño del agrietamiento, la transferencia de carga entre losas y las características funcionales (regularidad, fricción y ruido), respectivamente. Estas actividades serán descritas en detalle a continuación, junto con otras actividades que también están contempladas en las prácticas de conservación de pavimentos de hormigón, pero que no deberían ser incorporadas en su valorización.

a. Reemplazo de losas de hormigón

El reemplazo de losas de hormigón es contemplado actualmente como una actividad de conservación de tipo periódica, para las proposiciones de acciones de mantenimiento de la red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d). La metodología seguida para dichas proposiciones está basada en un criterio de árbol de decisión, en donde se designa una actividad de conservación en función del estado actual de indicadores técnicos y límites de intervención. Esta actividad también ha sido sugerida para pavimentos de hormigón de autopistas de tránsito muy alto, alto y medio, en el caso de tener un agrietamiento transversal mayor a 5% (Ministerio de Desarrollo Social [MDS], 2017). El efecto de aplicar dicha intervención tiene el efecto de reponer las losas en un 100%. Más detalles al respecto se pueden encontrar en el Anexo B.

Por otro lado, en los precios unitarios de partidas de obras e bases de licitación de carreteras concesionadas, esta actividad figura como “Reposición de Losas de Hormigón” con el código 7.305.12 del Manual de Carreteras (MOP, 2019a, 2021a). En este manual, la actividad se refiere a la construcción de pavimentos de hormigón en reposición de losas existentes altamente deterioradas, comprendiendo la remoción de losas existentes, excavando la profundidad necesaria para dar cabida a la subbase granular y la construcción del pavimento nuevo, de forma que la superficie quede al mismo nivel de losas adyacentes (MOP, 2021i). Además, está contemplada como una partida periódica del presupuesto, cuya unidad de medida y pago es el metro cuadrado de losas repuestas (MOP, 2021i).

Por último, se puede mencionar que la actividad ha sido considerada en la valorización de pavimentos de hormigón de carreteras concesionadas y no concesionadas del país (MOP, 2016b, 2019b, 2021e).

b. Restitución de transferencia de carga

La restitución de la transferencia de carga es una actividad considerada dentro de los estándares de trabajo para pavimentos de hormigón de autopistas de tránsito muy alto y alto, en caso de existir un escalonamiento mayor a 5 milímetros (MDS, 2017). El efecto de dicha intervención es la instalación de pasajuntas de 32 milímetros de diámetro con protección anticorrosión, y un coeficiente de transferencia de carga de 80%. Más detalles al respecto se pueden encontrar en el Anexo B.

Por otro lado, esta actividad no figura actualmente en los precios unitarios de partidas de obras y bases de licitación de carreteras concesionadas (MOP, 2019a, 2021a). Sin embargo, está contemplada

en el Manual de Carreteras como una operación de tipo rutinaria y aplicable en caso de bajo nivel de transferencia de carga, con el nombre de “Colocación de barras de traspaso de carga en pavimentos de hormigón existente” y código 7.305.14 (MOP, 2021i). El trabajo consiste en la restauración de la transferencia de carga en las juntas y grietas transversales de pavimentos de hormigón, mediante el corte de ranuras, la colocación de barras de acero en las ranuras y el relleno de estas con el material apropiado (MOP, 2021i).

Por último, se puede mencionar que la actividad ha sido considerada en la valorización de carreteras concesionadas interurbanas chilenas, para incorporar la capacidad estructural de los pavimentos de hormigón (MOP, 2019b, 2021e).

c. Cepillado de losas de hormigón

El cepillado de losas de hormigón es una actividad considerada dentro de los estándares de trabajo para pavimentos de hormigón de autopistas de tránsito muy alto, alto y medio, en caso de existir un IRI mayor a 3, 3.2 y 3.5 [m/km], respectivamente, o bien, en caso de existir un escalonamiento mayor a 5 milímetros (MDS, 2017). El efecto de dicha intervención es la disminución de 6 milímetros de espesor de las losas y la obtención de un IRI igual a 1.8 [m/km]. Además, al igual que el agrietamiento, el cepillado de juntas y puntos altos es contemplado actualmente como una actividad de conservación de tipo periódica, para las proposiciones de acciones de mantenimiento de la red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d). Más detalles al respecto se pueden encontrar en el Anexo B.

Por otro lado, en los precios unitarios de partidas de obras de bases de licitación de carreteras concesionadas, esta actividad figura como “Cepillado de Pavimento de Hormigón” con el código 7.305.7 del Manual de Carreteras (MOP, 2019a, 2021a). En este manual, la actividad se refiere al cepillado superficial (diamond grinding) de pavimentos de hormigón, con el objetivo de reducir las irregularidades para mejorar la serviciabilidad y prolongar el periodo de servicio (MOP, 2021i). Además, el procedimiento aumenta la fricción entre neumáticos y pavimento, y es considerado como una partida periódica del presupuesto, cuya unidad de medida y pago es el metro cuadrado de superficie tratada (MOP, 2021i).

Por último, se ha afirmado que uno de los principales beneficios del uso de este procedimiento, además de una superficie más regular y una mejora de la fricción, es la reducción del ruido (FHWA, 2001). Esto último debido a que se produce un aumento significativo de la macrotextura de la superficie, llegando a una reducción de hasta 5 [dBA] (FHWA, 2001).

d. Otras actividades no relevantes para la valorización

Además de las actividades descritas anteriormente, existen otras actividades de conservación de pavimentos de hormigón. Sin embargo, no están contempladas en bases de licitación de concesiones viales, o bien, no son la mejor opción para mejorar el desempeño de indicadores técnicos del activo. Las actividades que caen dentro de esta última categoría se presentan a continuación.

Sellado de juntas y grietas

Esta actividad está contemplada en las proposiciones de acciones de mantenimiento de la red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d) y forma parte de los estándares de trabajo sugeridos para autopistas (MDS, 2017). También es una de las partidas de obras consideradas en bases de licitación de concesiones (MOP, 2019a, 2021a). Sin embargo, es una actividad que no permite devolver a los indicadores del pavimento a un nivel de desempeño “Muy Bueno”.

Reparación en todo el espesor y de espesor parcial

Estas actividades también están contempladas en las proposiciones de acciones de mantenimiento de la red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d) y forman parte de los estándares de trabajo sugeridos para autopistas (MDS, 2017). Se realizan en caso de agrietamiento excesivo (intervención

en todo el espesor), o presencia de soldaduras en las juntas (intervención parcial) (MOP, 2021i). Sin embargo, no permiten devolver a los indicadores del pavimento a un nivel de desempeño “Muy Bueno”, como si lo hace un reemplazo de losas. Además, no forman parte de las partidas de obras consideradas en bases de licitación de concesiones viales.

Bacheo superficial asfáltico

Esta actividad es una de las partidas de obras consideradas en bases de licitación de concesiones viales (MOP, 2019a, 2021a). Sin embargo, no está contemplada en las proposiciones de acciones de mantenimiento de la red vial no concesionada ni en los estándares de trabajo sugeridos para autopistas. Además, no permite devolver al pavimento de hormigón a su condición “como nuevo”, al aplicar un material de diferentes características.

Recarpeteo/Recapado asfáltico

Esta actividad está contemplada en el Manual de Carreteras, siendo necesario establecer las sollicitaciones (ejes equivalentes), caracterizar la subrasante (módulo resiliente), transformar el pavimento de hormigón a Número Estructural Equivalente mediante factores de conversión, determinar el Número Estructural Requerido, y por último, determinar el espesor del pavimento nuevo de asfalto sobre el hormigón preexistente (MOP, 2021i). Por otro lado, pese a no estar incluida en los precios unitarios de bases de licitación como una operación de mantenimiento, esta actividad se ha ejecutado en carreteras concesionadas, existiendo actualmente tramos de carreteras concesionadas con pavimentos compuestos de asfalto y hormigón. Sin embargo, si se incluyen recapados, esto implica agregar una nueva capa a la estructura, lo cual no representa al pavimento construido originalmente. Además, los recapados requieren de otras actividades previas antes de incorporar las nuevas capas (reparación de grietas, juntas saltadas, etc.) y considerar la mantención del gálibo mínimo debajo de pasos inferiores, lo cual complejiza aún más su utilización.

Reposición con hormigón no adherido

Esta actividad esta referida al diseño de un pavimento de hormigón a colocar sobre un pavimento de hormigón existente, del que se aísla mediante una capa de mezcla asfáltica que impide la adherencia entre el hormigón antiguo y el nuevo (MOP, 2021f). Es aplicable cuando el pavimento existente se encuentra seriamente deteriorado y los pasos a seguir para determinar el espesor necesario de pavimento nuevo son establecer las sollicitaciones (ejes equivalentes), caracterizar la subrasante (módulo de reacción), calcular el espesor requerido para el tránsito previsto y calcular el espesor efectivo del pavimento existente (MOP, 2021f). Al igual que para recapados asfálticos, la ejecución de esta actividad implica llevar al pavimento a una condición distinta a la del pavimento construido originalmente al agregar una nueva capa a la estructura, y no es recomendable incluirla en una valorización. Cabe mencionar que también existe la actividad de reposición con losas adheridas al pavimento de hormigón, donde reparaciones previas y adherencia entre el hormigón antiguo y el nuevo son fundamentales. Sin embargo, se carece de experiencia en el país respecto a esta última solución (MOP, 2021f).

Inyección de mortero bajo las losas

Esta actividad se realiza para rellenar cavidades u oquedades que pudieran existir bajo la losa, las que normalmente se identifican a través de mediciones de deflectometría de impacto (MOP, 2021j). Además, esta actividad ha sido considerada para la obtención del costo de rehabilitación por capacidad estructural de pavimentos de hormigón de carreteras concesionadas (MOP, 2019b). Sin embargo, a pesar de que la inyección de mortero puede hacer que las deflexiones en la esquina de la losa disminuyan, no necesariamente significa que se mejore o restaure la transferencia de carga o el nivel de agrietamiento. Además, es posible detectar la existencia de vacíos bajo el pavimento de manera temprana mediante inspección visual, sin necesidad de aplicar deflexiones.

3.5. Selección del método de valorización y análisis de brechas

Los pavimentos son el activo más importante en términos de valor en una carretera y se ha estimado que su valor respecto al valor total de una carretera o una red vial se encuentra entre un 45% y 75% (Dojutrek et al., 2012; Hogg & Reid, 2016; MOP, 2019b; Weldemicael et al., 2018). Por otro lado, los pavimentos son el activo vial más importante en carreteras concesionadas interurbanas chilenas, llegando a representar entre el 40 y 60% del valor total de la carretera (MOP, 2019b, 2021e). En el caso de pavimentos de hormigón, estos abarcan entre el 10% y 25% de la longitud total de pistas de la vía principal en la zona centro y sur del país (MOP, 2019b, 2021e). En consecuencia, este activo requiere una valorización precisa y basada en indicadores técnicos apropiados, la cual se puede lograr con alguno de los métodos recomendados preliminarmente en el apartado 3.3.2 para activos de alto valor.

En particular, el método de Valor Neto Residual (NSV) basado en costos históricos, es el que posee mayor cantidad de ventajas y el único que no tiene ninguna desventaja según el análisis realizado en el apartado 3.3.1. Además, es actualmente utilizado en la metodología de valorización de pavimentos de la Dirección de Vialidad (MOP, 2014, 2016b), la cual ha sido adoptada también para la valorización de carreteras concesionadas (MOP, 2019b). Por otro lado, tanto para pavimentos asfálticos como de hormigón, no existen mayores brechas técnicas, tecnológicas ni de información para la aplicación de este método. En efecto, para la gestión actual de pavimentos en contratos de concesión vial está contemplado un servicio de conservación basado en el desempeño, en donde se presentan exigencias al concesionario respecto a distintos tipos de deterioro, y también se establecen los precios unitarios de actividades de construcción, mantenimiento y rehabilitación (MOP, 2019a, 2021a). Lo anterior implica que, además de no tener dificultades de implementación, este método es el que permite evaluar de mejor manera la gestión del concesionario en la conservación de los pavimentos. Además, al existir información disponible respecto a indicadores técnicos, actividades, umbrales y costos de rehabilitación, su uso hace posible definir el valor inicial y el cálculo de las pérdidas de valor al momento de la licitación del contrato de concesión. Por lo tanto, para pavimentos de hormigón el método de valorización seleccionado corresponde al Valor Neto Residual (NSV) basado en costos históricos.

Por otro lado, el método NSV no requiere la definición de una vida útil y se basa fundamentalmente en el supuesto de que se puede devolver al pavimento a la misma condición en la que se encontraba inicialmente construido, es decir, tiene una vida indefinida debido a las reparaciones que se realizan en el tiempo. Lo anterior plantea desafíos al momento de definir la pérdida de valor en el tiempo, ya que esta debe estar relacionada con la pérdida de desempeño de distintos indicadores técnicos que deben representar tanto las características funcionales como estructurales del pavimento. En consecuencia, puede resultar de utilidad la aplicación de conceptos relacionados con los otros métodos recomendados en el apartado 3.3.2 para activos de alto valor, para la definición y la formulación de dicha pérdida de valor.

Por último, en el caso particular de la transferencia de carga entre losas, la actividad de rehabilitación asociada (colocación barras de traspaso de carga) no está contemplada actualmente de manera explícita en las bases de licitación de concesiones viales chilenas ni en los planes conservación elaboradas por concesionarias. Además, el nivel de ruido de rodadura tampoco forma parte de los indicadores a evaluar en carreteras concesionadas, según lo exigido en bases de licitación actuales. En consecuencia, puede existir una brecha de implementación del modelo en caso de considerar estas dos características del pavimento de hormigón, debido a la no disponibilidad de información en los sistemas de gestión actuales, lo cual no ocurre con las demás características mencionadas en el apartado 3.4.2.

4. Modelo de valorización para pavimentos de hormigón de la calzada de la vía principal

Tras el análisis de los distintos métodos de valorización de activos viales existentes, el método seleccionado para la valorización de los pavimentos de hormigón de la vía principal de carreteras concesionadas corresponde al Valor Neto Residual (NSV) basado en precios fijos en el tiempo. El modelo de valorización a desarrollar e implementar en bases de licitación debe incluir los procedimientos para el cálculo del valor inicial del activo y su pérdida de valor en el tiempo. En función de lo anterior, el presente capítulo se distribuye de la siguiente manera:

- En el apartado 4.1, se describen los datos requeridos para la valorización del activo.
- En el apartado 4.2, se presenta la formulación para el cálculo del costo histórico del activo.
- En el apartado 4.3, se presenta la formulación para el cálculo del costo de rehabilitación (pérdida de valor) del activo.
- En el apartado 4.4, se presenta la inclusión de costos adicionales para la valorización del activo.
- En el apartado 4.5, se presenta la formulación para el cálculo del valor del activo.

4.1. Datos requeridos para la valorización

Para la valorización pavimento de hormigón de la vía principal, se debe ocupar el método de Valor Neto Residual (NSV). En consecuencia, el valor del activo corresponde a su costo histórico menos el costo rehabilitación necesario para llevarlo a la mejor condición posible, es decir, a un nivel de desempeño “Muy Bueno”. Por lo tanto, se requiere utilizar tres tipos de datos asociados al pavimento, que corresponden a la información de inventario, condición y precios unitarios. La valorización se debe realizar para cada sección de 50 m en cada una de las pistas donde exista pavimento de hormigón. Debido a lo anterior, desde ahora en adelante se entenderá por sección a cualquier segmento de 50 m de pavimento de hormigón existente en cada una de las pistas de la carretera.

Los requerimientos de datos para la aplicación del modelo se detallan a continuación.

4.1.1. Datos de inventario

Los datos de inventario de la carretera concesionada a evaluar son necesarios para la cubicación de las capas de la estructura del pavimento. En particular, se requiere la siguiente información:

- Sectorización del proyecto: sectores, subsectores, ubicación, número de pistas y longitud, identificando el kilometraje de inicio y fin.
- Espesores, anchos y materialidad de las capas de pavimento en cada tramo de diseño. La materialidad debe ser detallada según lo dispuesto en el Manual de Carreteras vigente.
- Presencia de singularidades como puentes, cambios de pavimento o zonas de peaje. Se debe distinguir la ubicación de la singularidad, longitud y detalle de la estructura de pavimento.

4.1.2. Datos de condición

Los datos de condición de la carretera concesionada a evaluar son necesarios para el cálculo del costo de rehabilitación en cada sección de pavimento. Para tener una compatibilidad con el nivel de servicio a los usuarios de la carretera, estos datos incluyen el desempeño de indicadores técnicos relacionados con la funcionalidad del pavimento, que han sido considerados en un modelo de nivel de servicio actualmente en implementación por parte de la Dirección General de Concesiones (Delgadillo et al., 2020). Además, se deben incluir indicadores de capacidad estructural, que, si bien no son relevantes para los usuarios, sí lo son para el propietario y el administrador de la carretera, que corresponden al Estado y el concesionario, respectivamente.

En la Tabla 4.1 se presentan las características estructurales y funcionales a considerar, con sus respectivos indicadores técnicos y unidad de medida. Estos indicadores técnicos fueron detallados en el apartado 3.4.2 junto con la justificación para su inclusión en el modelo.

Tabla 4.1. Características a considerar para el cálculo del costo de rehabilitación e indicadores técnicos correspondientes.

Característica	Tipo	Indicador técnico	Unidad de medida
Agrietamiento en pavimentos rígidos	Estructural	Porcentaje de Losas Agrietadas (AGR)	[%]
Transferencia de carga entre losas	Estructural	Porcentaje de Eficiencia de Transferencia de Carga (TC)	[%]
Regularidad longitudinal del pavimento	Funcional	Mean Roughness Index (MRI)	[m/km]
Resistencia al deslizamiento de la capa de rodadura	Funcional	Sideway Force Coefficient (SFC)	[-]
Nivel de ruido de rodadura	Funcional	Overall A-weighted Sound Intensity Level (OASI)	[dBA]

La Tabla 4.2 muestra los umbrales para cada uno de los indicadores técnicos en función del nivel de desempeño, los cuales han sido definidos bajo los estándares de comodidad, seguridad e integridad física que deben tener las carreteras concesionadas (Delgadillo et al., 2020; Gómez, 2019; Muñoz, 2020). Además, se muestra la longitud que deben tener las secciones evaluadas para que estos sean válidos. Los indicadores AGR, MRI y SFC deben ser reportados para secciones de pavimento de 50 m de longitud. En cambio, los indicadores TC y OASI deben ser reportados en secciones de 250 y 200 m, respectivamente. El valor reportado para estos dos últimos indicadores se asume representativo para las secciones de 50 m contenidas en las secciones de 200 o 250 m, según corresponda.

Tabla 4.2. Umbrales de nivel de desempeño para cada indicador técnico.

Nivel de desempeño	MRI (50m) [m/km]	SFC (50m) [-]	OASI (200m) [dBA]	AGR (50m) [%]	TC (25% losas c/250m) [%]
Muy Bueno	[0.0 , 1.5[	> 0.65	≤ 100.0	[0.0 , 5.0[	≥ 70.0
Bueno	[1.5 , 2.5[	]0.55 , 0.65]	]100 , 102]	[5.0 , 10.0[	[60.0 , 70.0[
Justo	[2.5 , 3.5[	]0.40 , 0.55]	]102 , 104]	[10.0 , 15.0[	[50.0 , 60.0[
Malo	[3.5 , 5.0[	]0.20 , 0.40]	]104 , 106]	[15.0 , 20.0[	[40.0 , 50.0[
Muy Malo	≥ 5.0	[0 , 0.20]	> 106	≥ 20.0	< 40.0

Cabe mencionar, que en el proyecto FONDEF IT16I10008 “Modelo para evaluar los niveles de servicio de carreteras en Chile, implementable en bases de licitación para nuevas concesiones” (Delgadillo et al., 2020), se desarrollaron las fichas técnicas asociadas a estos indicadores, las cuáles además se presentan en el Anexo A. Como fue mencionado al inicio de este apartado, la compatibilidad del modelo de valorización con el modelo de nivel de servicio se logra al considerar el desempeño de los indicadores funcionales del pavimento, es decir, los indicadores MRI, SFC y OASI. En particular, los cambios en el desempeño de estos indicadores deben traducirse en un cambio en el valor del pavimento, lo cual se explica en detalle más adelante en el apartado 4.3.

4.1.3. Datos de precios unitarios

Los datos de precios unitarios de la carretera concesionada a evaluar son necesarios, ya que, en conjunto con los datos de inventario y de condición permiten obtener el costo histórico y costo de rehabilitación del pavimento, respectivamente. En particular, para obtener el costo histórico se deben utilizar los precios unitarios de las partidas de construcción asociadas a cada capa del pavimento, y para el costo de rehabilitación los precios unitarios de las actividades de rehabilitación asociadas a los indicadores técnicos. Estos precios unitarios deben estar definidos en las bases de licitación del

contrato de concesión correspondiente, no existiendo posibilidad de cambiarlos durante la fase de explotación de la carretera.

En la Tabla 4.3 se presentan algunas partidas que pueden considerarse para el cálculo del costo histórico de los pavimentos de hormigón, basadas en el Anexo N°3: Precios Unitarios Oficiales de los contratos de licitación. Las partidas fueron incluidas en los últimos contratos de concesión (MOP, 2019a, 2021a) y se encuentran itemizadas según el Manual de Carreteras, Volumen N°5 (MOP, 2021g).

Tabla 4.3. Ejemplos de partidas involucradas en el cálculo del costo histórico de pavimentos de hormigón.

Item	Descripción	Unidad
5.200	MOVIMIENTO DE TIERRAS	
5.200.209-1	Preparación de la subrasante	m ²
5.300	CAPAS GRANULARES	
5.300.301-1	Sub-base Granular, CBR ≥ 40%	m ³
5.300.302-1	Base Granular, CBR ≥ 80%	m ³
5.400	REVESTIMIENTOS Y PAVIMENTOS	
5.400.410-1	Pavimento de Hormigón de Cemento Hidráulico	m ³

Es importante mencionar que las partidas definidas anteriormente representan un ejemplo para el cálculo del costo histórico y que, en caso de construirse una carretera con otros materiales, estos deben ser incluidos en el valor final del activo. Por ejemplo, cuando se utilizan bases tratadas con cementos (BTC), itemizadas como 5.300.304-1 en el Manual de Carreteras (MOP, 2021g).

En la Tabla 4.4 se presentan algunas partidas que pueden considerarse para el cálculo del costo de rehabilitación de los pavimentos de hormigón, Las partidas se encuentran itemizadas según el Manual de Carreteras, Volumen N°7 (MOP, 2021i). Es importante mencionar que la actividad de colocación de barras de transferencia de carga no ha sido incluida en el Anexo N°3: Precios Unitarios Oficiales de los últimos contratos de licitación (MOP, 2019a, 2021a).

Tabla 4.4. Ejemplos de partidas involucradas en el cálculo del costo de rehabilitación de pavimentos de hormigón.

Item	Descripción	Unidad
7.300	OPERACIONES DE MANTENIMIENTO	
7.305.7	Cepillado de Pavimento de Hormigón	m ²
7.305.12	Reposición de Losas Hormigón sobre Subbase Granular	m ²
7.305.14	Colocación de barras de traspaso de carga	N°

Tanto las partidas de construcción como las de rehabilitación incluyen la provisión y suministro de todos los materiales, equipos y mano de obra necesarios para la confección, colocación, compactación, terminación, mantención de los materiales. También se incluyen los demás trabajos y actividades requeridas para cumplir con los estándares e indicaciones dispuestos en el Manual de Carreteras.

4.2. Cálculo del costo histórico

El cálculo del costo histórico considera el costo total de construcción de la estructura del pavimento, incluyendo sus diferentes capas y considerando una configuración típica de Pavimento de Hormigón Simple con Juntas. Por lo tanto, este costo depende de los materiales y espesores de cada proyecto, considerando los diferentes tramos de diseño. Debido a que el modelo debe implementarse en bases de licitación y quedar definido en el momento del llamado a licitación, el costo histórico se obtiene a

partir de los precios unitarios establecidos en las bases de licitación correspondientes. Se debe incluir todos los sectores o subsectores de un proyecto, los cuales corresponden a aquellos tramos que tienen un tipo de pavimento de iguales características, es decir, con los mismos materiales y espesores.

El costo histórico del pavimento de hormigón de la carretera concesionada a evaluar corresponde a la suma del costo histórico de todas las secciones evaluadas del pavimento, como se señala en la Ecuación 4.1:

$$CH = \sum_{i=1}^N CH_i \quad (4.1)$$

Donde:

CH : Costo histórico del pavimento de hormigón de la carretera, en UF.

CH_i : Costo histórico de la sección i -ésima de 50 m de pavimento de hormigón, en UF.

N : Número de secciones de pavimento de hormigón de 50 m evaluadas en la carretera.

Por otro lado, el costo histórico del pavimento de cada una de las secciones del pavimento corresponde a la suma del costo histórico de todas las capas de la estructura y de la preparación de la subrasante, como se indica en la Ecuación 4.2:

$$CH_i = B \cdot L_i \cdot \left(PU_{SR} + \sum PU_{j,i} \cdot h_{j,i} \right) \quad (4.2)$$

Donde:

B : Ancho de pista, en metros.

L_i : Longitud de la sección i -ésima del pavimento de la carretera, en metros.

PU_{SR} : Precio unitario de la preparación de la subrasante, en UF/m².

$PU_{j,i}$: Precio unitario de la capa j , de la sección i -ésima, en UF/m³. Capa de materiales granulares, estabilizados y losa de hormigón.

$h_{j,i}$: Espesor de la capa j , de la sección i -ésima, en metros. Capa de materiales granulares, estabilizados y losa de hormigón.

4.3. Cálculo del costo de rehabilitación

El costo de rehabilitación del pavimento de hormigón representa la pérdida de valor del activo en el momento de la evaluación. Esta pérdida de valor se debe principalmente a la pérdida de nivel de desempeño de los indicadores técnicos del pavimento, tanto funcionales como estructurales. Además, debe ser definida de forma precisa y objetiva, a través de una formulación que implique que dicha pérdida corresponde al costo de rehabilitación necesario para devolver al pavimento a la condición en la que se encontraba inicialmente construido, es decir, con todos los indicadores en un nivel de desempeño "Muy Bueno". En consecuencia, es necesario relacionar los indicadores técnicos con umbrales de nivel de desempeño y actividades de rehabilitación. Lo anterior, en conjunto con los precios unitarios de las actividades de rehabilitación, permite obtener el costo de rehabilitación en cada una de las secciones del pavimento y en toda la carretera.

En la Tabla 4.5 de la siguiente página se presentan las actividades de rehabilitación asociadas a cada indicador técnico. Se asume que estas actividades al ser ejecutadas permiten devolver a los indicadores a un nivel de desempeño "Muy Bueno", sin importar el nivel de deterioro que estos últimos tengan. Notar que se incluye una reconstrucción en el caso de existencia de baches, al no estar permitidos en la vía principal de concesiones viales interurbanas.

Tabla 4.5. *Actividades de rehabilitación asociadas a cada indicador técnico.*

Indicador técnico	Actividades de rehabilitación
Mean Roughness Index (MRI)	Cepillado de losas de hormigón
Sideway Force Coefficient (SFC)	
Overall A-weighted Sound Intensity Level (OASI)	
Porcentaje de Eficiencia de Transferencia de Carga (TC)	Colocación de barras de traspaso de carga
Porcentaje de Losas Agrietadas (AGR)	Reemplazo de losas de hormigón
Baches (abiertos o cerrados)	Reconstrucción del pavimento

4.3.1. Pérdidas por nivel de desempeño para cada indicador técnico

Se establece que cuando algún indicador técnico de alguna sección de pavimento de hormigón alcanza el nivel de desempeño “Malo”, dicha sección debe ser intervenida con la actividad de rehabilitación correspondiente según la Tabla 4.5. El costo de dicha intervención corresponde a la pérdida de valor del activo en el momento de la evaluación y es equivalente al costo de rehabilitación necesario para llevar los indicadores del pavimento a un nivel de desempeño “Muy Bueno”. Por ejemplo, cuando el indicador SFC alcance el valor de 0.4, se define una pérdida de valor de activo equivalente al costo de llevar el indicador a un valor de 0.65 o superior, es decir, a un nivel de desempeño “Muy Bueno”. Cabe mencionar que las actividades para cada indicador fueron definidas con el objetivo de obtener una pérdida equivalente de valor de activo y no se relaciona con las actividades de mantenimiento o rehabilitación que el concesionario decida realizar en el tiempo para mantener o mejorar la condición del pavimento. Además, se define una única actividad de rehabilitación para cada indicador y no un conjunto de actividades que puedan mejorar el desempeño del pavimento, para reducir la incertidumbre en la valorización, y con ello, los riesgos del proyecto.

Por otro lado, cuando un indicador alcanza el nivel de desempeño “Malo” existe una pérdida de valor equivalente al costo de rehabilitar el pavimento, por lo que es necesario determinar cuanta pérdida se tiene cuando un indicador se encuentra en otro de los niveles de desempeño. El objetivo de lo anterior es establecer puntos intermedios de pérdida de valor de activo y que el modelo sea más exacto. Debido a que las actividades de rehabilitación normalmente se seleccionan para umbrales o rangos de los indicadores técnicos, en este modelo se propone definir porcentajes de la pérdida de valor que se alcanza al llegar al nivel de desempeño “Malo” y que es equivalente al costo de rehabilitación del pavimento. Estos porcentajes son determinados en base a al comportamiento típico de los deterioros en pavimentos y a la relación entre los distintos umbrales de desempeño. Además, son establecidos para proyectar una pérdida de valor, en base a una actividad única y su costo asociado. En particular, para el nivel de desempeño “Muy Malo” se establece una pérdida de valor mayor al costo de la actividad definida para cada indicador técnico. Lo anterior se debe que el pavimento se encuentra deteriorado más allá del umbral de intervención y puede ser necesario la aplicación de una actividad de mayor envergadura. Cabe mencionar que los indicadores no deberían alcanzar nunca estos niveles de desempeño, pero si lo hacen, entonces se debe considerar una pérdida de valor mayor que el costo de la actividad necesaria para llevar el indicador del pavimento a su mejor condición. En la Tabla 4.6 se presentan los porcentajes de pérdida respecto al costo de actividad de rehabilitación a utilizar.

Tabla 4.6. *Porcentajes de pérdida respecto al costo de rehabilitación según el nivel de desempeño.*

Nivel de desempeño	Pérdida respecto al costo de la actividad [%]
Muy Bueno	0
Bueno	25
Justo	50
Malo	100
Muy Malo	200

Nota: Para la transferencia de carga el porcentaje de pérdida al llegar a nivel Muy Malo corresponde a 100%. Los porcentajes no aplican para el agrietamiento y los baches.

La justificación para definir los porcentajes anteriores se detalla a continuación:

- Para el nivel de desempeño “Muy Bueno” se ha definido que el pavimento se encuentra en condición “como nuevo” y no requiere de ninguna actividad de rehabilitación. Por lo tanto, no existe pérdida de valor.
- Para los niveles de desempeño “Bueno” y “Justo” se ha considerado un 25% y 50%, respectivamente, ya que representan de manera general el comportamiento de los indicadores del pavimento a través del tiempo, en donde su deterioro es lento los primeros años y luego avanza a una mayor tasa.
- Para el nivel de desempeño “Muy Malo”, se ha definido un 200%, excepto para la transferencia de carga, donde se debe ocupar un 100%. Lo anterior se justifica en que el pavimento en este caso se encuentra en la peor condición posible respecto al servicio esperado, indicando que la gestión de la conservación llevado a cabo por la concesionaria ha sido deficiente. La magnitud de esta penalización puede incentivar a conservar el pavimento en niveles de servicio adecuados, manteniendo los estándares correspondientes a carreteras concesionadas. Por cierto, el menor porcentaje de pérdida adoptado para la transferencia de carga se debe a que dicho indicador no influye directamente sobre el nivel de servicio a los usuarios.

Notar que los porcentajes de pérdida aplican para todos los indicadores técnicos del pavimento, excepto para el porcentaje de losas agrietadas y baches, donde se considera el reemplazo de las losas agrietadas de la sección y la reconstrucción de la sección completa, respectivamente. Lo anterior es explicado con mayor nivel de detalle a continuación.

4.3.2. Formulación del costo de rehabilitación

El costo de rehabilitación del pavimento de hormigón de la carretera concesionada a evaluar corresponde la suma del costo de rehabilitación de todas las secciones del pavimento, como se señala en la Ecuación 4.3:

$$CRehab = \sum_{i=1}^N CRehab_i \quad (4.3)$$

Donde:

$CRehab$: Costo de rehabilitación total del pavimento de hormigón de la carretera, en UF.

$CRehab_i$: Costo de rehabilitación de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, en UF.

N : Número de secciones de 50 m pavimento de hormigón evaluadas en la carretera.

El costo de rehabilitación de cada sección del pavimento de hormigón de la carretera se obtiene como el máximo entre dos costos. El primero corresponde a la suma del máximo entre los costos de rehabilitación asociados a los indicadores funcionales y los costos de rehabilitación asociados a la transferencia de carga y agrietamiento, y el segundo al costo asociado a los baches, como se señala en la Ecuación 4.4:

$$CRehab_i = \max \left\{ \max \left\{ CR_{MRI}_{i_t}; CR_{SFC}_{i_t}; CR_{OASI}_{i_t} \right\} + CR_{TC}_{i_t} + CR_{AGR}_{i_t}; CR_{Bac}_{i_t} \right\} \quad (4.4)$$

Donde:

$CRehab_i$: Costo de rehabilitación de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera en el tiempo “t”, en UF.

CR_{MRI_i} : Costo de rehabilitación de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, asociado a la regularidad longitudinal en el tiempo “t”, en UF.

CR_{SFC_i} : Costo de rehabilitación de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, asociado a la resistencia al deslizamiento en el tiempo “t”, en UF.

CR_{OASI_i} : Costo de rehabilitación de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, asociado al ruido de rodadura en el tiempo “t”, en UF.

CR_{TC_i} : Costo de rehabilitación de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, asociado a la transferencia de carga en el tiempo “t”, en UF.

CR_{AGR_i} : Costo de rehabilitación de la de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, asociado al agrietamiento en el tiempo “t”, en UF.

CR_{Bac_i} : Costo de rehabilitación de la sección i-ésima de 50 m de pista de calzada de hormigón, asociado a los baches en el tiempo “t”, en UF.

Los costos de rehabilitación asociados a los indicadores funcionales corresponden al costo de ejecutar la actividad de cepillado en toda la superficie de la sección, multiplicado por un porcentaje de pérdida en función del nivel de desempeño del indicador correspondiente, como se señala en las Ecuaciones 4.5, 4.6 y 4.7:

$$CR_{MRI_i} = B \cdot L_i \cdot PU_{Cep} \cdot P_{IRI} \quad (4.5)$$

$$CR_{SFC_i} = B \cdot L_i \cdot PU_{Cep} \cdot P_{SFC} \quad (4.6)$$

$$CR_{OASI_i} = B \cdot L_i \cdot PU_{Cep} \cdot P_{OASI} \quad (4.7)$$

B : Ancho de pista, en metros.

L_i : Longitud de la sección i-ésima del pavimento de la carretera, igual a 50 m.

PU_{Cep} : Precio unitario de la actividad de cepillado de la superficie en, en UF/m².

P_{MRI_i} : Porcentaje de pérdida asociado a la regularidad longitudinal en la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, según lo señalado en la Tabla 4.6.

P_{SFC_i} : Porcentaje de pérdida asociado a la resistencia al deslizamiento en la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, según lo señalado en la Tabla 4.6.

P_{OASI_i} : Porcentaje de pérdida asociado al ruido de rodadura en la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, según lo señalado en la Tabla 4.6.

Por otro lado, el costo de rehabilitación asociado a la transferencia de carga en cada sección de pavimento corresponde al costo de restituir la transferencia de carga en la longitud no agrietada de la sección. Lo anterior por medio de la ejecución de la actividad de colocación de barras de traspaso de carga (3 por cada huella: 6 en total para cada junta transversal), multiplicado por un porcentaje de pérdida en función del nivel de desempeño del indicador, como se señala en la Ecuación 4.8:

$$CR_{TC_i} = 6 \cdot (NL_i - NL_{AGR_i}) \cdot PU_{TC} \cdot P_{TC_i} \quad (4.8)$$

Donde:

NL_i : Número de losas de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera.

NL_{AGR_i} : Número de losas agrietadas de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera.

PU_{TC} : Precio unitario de la actividad de colocación de barras de traspaso de carga, en UF/N°.

P_{TC_i} : Porcentaje de pérdida asociado a la transferencia de carga en la sección i -ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, según lo señalado en la Tabla 4.6.

Notar que el costo de rehabilitación asociado a la transferencia de carga en cada sección de pavimento proviene de la aplicación de la actividad de colocación de barras de traspaso de carga en las juntas transversales del pavimento solo en la longitud no agrietada. Lo anterior debido a que en la longitud agrietada se aplica la actividad de reemplazo de losas, la cual debe considerar la instalación de barras de traspaso de carga, devolviendo a la transferencia de carga a un nivel de desempeño “Muy Bueno”.

Por su parte, el costo de rehabilitación asociado al agrietamiento en cada sección de pavimento corresponde al costo de reemplazar las losas que se encuentren agrietadas. Se considera como losa agrietada aquella que tenga un número de trozos mayor o igual a 2, independiente de la severidad y el tipo de grietas existentes. En consecuencia, el costo de rehabilitación de cada sección del pavimento de hormigón asociado al agrietamiento se calcula según lo señalado en la Ecuación 4.9:

$$CR_{AGR_i} = B \cdot L_{AGR_i} \cdot PU_{RL} \quad (4.9)$$

Donde:

B : Ancho de pista, en metros.

L_{AGR_i} : Longitud agrietada de la sección i -ésima de 50 m de pavimento de hormigón, en metros.

PU_{RL} : Precio unitario de la actividad de reemplazo de losas, en UF/m².

Cabe mencionar que la longitud agrietada del pavimento en cada sección de pavimento debe ser obtenida como la multiplicación entre el porcentaje de agrietamiento y la longitud de la sección, como se señala en la Ecuación 4.10:

$$L_{AGR_i} = AGR_i \cdot L_i \quad (4.10)$$

Donde:

AGR_i : Porcentaje de losas agrietadas en la sección i -ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera, obtenida como el cociente entre el número de losas agrietadas y el número total de losas.

L_i : Longitud de la sección i -ésima de pavimento de hormigón de la carretera, igual a 50 m.

Por último, el costo de rehabilitación asociado a los baches, en caso de existir, corresponde al costo de reconstruir la sección completa de 50 m del pavimento, obtenido por medio del precio unitario y la cubicación correspondiente. En caso de no existir, el costo asociado a este deterioro es igual a cero.

4.4. Costos adicionales para la valorización

Además de los costos anteriormente presentados, se propone considerar otros costos dentro de la valorización del pavimento de hormigón de la calzada de la vía principal. Estos costos corresponden a los gastos indirectos y los costos de demarcación. En particular, los gastos indirectos solo deben añadirse en caso de que no se utilicen los precios unitarios oficiales definidos en las bases de licitación de cada proyecto. En cuanto a los costos de demarcación, estos pueden estar asociados al costo histórico y al costo de rehabilitación.

4.4.1. Costos por demarcación del pavimento

El costo de la demarcación horizontal asociada al costo histórico en cada sección del pavimento corresponde al costo de la unidad representativa de demarcación considerando las distintas partidas

y bases de medición presentadas en la Tabla 4.7. Estas fueron definidas a partir de las disposiciones actuales del Manual de Carreteras (MOP, 2021h).

Tabla 4.7. Partidas y bases de medición para el cálculo del costo histórico de la demarcación.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad según caso	
			2 pistas por calzada	3 o más pistas por calzada
5.700	Elementos de control y seguridad			
704-5	Demarcación, Líneas Segmentadas de Separación de Pistas	Km	0 para pista interna 0.05 para pista externa	0 para pista interna 0.05 para pista externa y central(es)
704-7	Demarcación, Línea Lateral Continua	Km	0.05 para ambas pistas	0.05 para pista interna y externa 0 para pista(s) central(es)
705-1	Tachas Reflectantes	Nº	12 para pista interna 24 para pista externa	12 para pista interna y centrales 24 para pista externa

Nota: Se entiende por pista interna y externa a la pista más cercana y lejana a la mediana o eje de la carretera, respectivamente.

Por otro lado, el costo de la demarcación horizontal asociada al costo de rehabilitación en cada sección del pavimento se divide en el costo asociado a la zona agrietada del pavimento y a la zona no agrietada, como se señala en la Ecuación 4.11:

$$CDemr_{i_t} = \frac{CDem_i}{L_i} \cdot (L_{AGR_i} + \max\{P_{MRI_i}, P_{SFC_i}, P_{OASI_i}\} \cdot (L_i - L_{AGR_i})) \quad (4.11)$$

Donde:

$CDemr_{i_t}$: Costo de rehabilitación por la demarcación para la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera en el tiempo “t”, en UF.

$CDem_i$: Costo de la unidad representativa de demarcación para la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera según la Tabla 4.7, en UF.

L_i : Longitud de la sección i-ésima de pavimento de hormigón, igual a 50 m.

L_{AGR_i} : Longitud agrietada de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera en el tiempo “t” calculado según la Ecuación 4.10, en metros.

P_{MRI_i} : Porcentaje de pérdida asociado a la regularidad longitudinal en la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera en el tiempo “t”, según la Tabla 4.6.

P_{SFC_i} : Porcentaje de pérdida asociado a la resistencia al deslizamiento en la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera en el tiempo “t”, según la Tabla 4.6.

P_{OASI_i} : Porcentaje de pérdida asociado al ruido de rodadura en la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera en el tiempo “t”, según la Tabla 4.6.

Notar que, la Ecuación 4.11 implica que en la zona agrietada se pierde todo el valor de la demarcación, mientras que en la zona no agrietada se pierde un valor proporcional al mayor de los tres porcentajes de pérdidas asociados a los indicadores funcionales.

4.4.2. Costos indirectos

Los costos indirectos se tratan de gastos que ocurren en función de la obra, o se relacionan con la organización y actividad del contratista (Rodríguez, 2020). En particular, los primeros corresponden a los costos indirectos específicos, mientras que los segundos a los costos indirectos generales. La suma de los costos indirectos, incluidas las provisiones para contingencias, se denominarían gastos generales.

Los costos indirectos deben incluirse dentro del cálculo del costo histórico del pavimento y del costo de rehabilitación. De esta forma, deben considerar todas las partidas o gastos que le agreguen valor al pavimento. La manera más común de incluir estos costos es a través de un porcentaje en función de la cantidad de obras ejecutadas. El porcentaje deberá ser definido en la correspondiente Base de Licitación en función de parámetros conocidos como la cantidad de kilómetros, costo total u otro. También puede ser definido por el Inspector Fiscal en el momento de realizar la valorización.

El porcentaje no necesariamente será el mismo para el costo histórico y para el costo de rehabilitación, por lo que los gastos indirectos deben ser distinguidos.

A modo de comentario, de acuerdo con los antecedentes que se disponen, los precios unitarios dispuestos en el Anexo N°3 de las Bases de Licitación consideran gastos generales y utilidades. Debido a esto, no es necesario agregar un costo adicional al modelo de valorización. Sin embargo, en caso de utilizar precios unitarios diferentes, estas partidas adicionales pueden ser incorporadas con los procedimientos descritos en esta sección.

4.5. Cálculo de valor de activo

4.5.1. Formulación del valor del activo

A partir de todos los costos definidos anteriormente, la formulación final del modelo de valorización para cada sección del pavimento de hormigón de la carretera se define según la Ecuación 4.12:

$$V_{i_t} = \begin{cases} ((CH_i + CDem_i) - (CRehab_{i_t} + CDemr_{i_t})) & ; si (CRehab_{i_t} + CDemr_{i_t}) \leq (CH_i + CDem_i) \\ 0 & ; si (CRehab_{i_t} + CDemr_{i_t}) > (CH_i + CDem_i) \end{cases} \quad (4.12)$$

Donde:

V_{i_t} : Valor de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera en el tiempo “t”, en UF.

CH_i : Costo histórico de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera calculado según la Ecuación 4.2, en UF.

$CRehab_{i_t}$: Costo de rehabilitación de la sección i-ésima de 50 m del pavimento de hormigón de la carretera en el tiempo “t” calculado según la Ecuación 4.4, en UF.

$CDem_i$: Costo de la unidad representativa de demarcación para la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera de acuerdo a la Tabla 4.7, en UF.

$CDemr_{i_t}$: Costo por la demarcación para la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón de la carretera en el tiempo “t” calculado según la Ecuación 4.11, en UF.

N : Cantidad total de secciones de 50 m de pavimento de hormigón en la carretera.

Como se puede observar de la Ecuación 4.12, el valor de cada sección de pavimento puede ser la diferencia entre el costo histórico (costo de la estructura y demarcación) y el costo de rehabilitación (por indicadores técnicos y demarcación asociada), o puede tomar valor cero. Esto depende directamente de la misma relación entre estos costos.

Lo anterior se debe a que, en la formulación del método, basado en el método de Valor Neto Residual, se emplea el costo necesario para llevar al pavimento a un estado “como nuevo”. Sin embargo, dicho costo puede ser superior al costo histórico, y una sección del pavimento tendría un valor negativo. Desde el punto de vista técnico, el pavimento no puede tener un valor negativo, por lo que su valor se define igual a cero.

Por último, el valor total del pavimento de hormigón de la calzada de la vía principal se obtiene por medio de la Ecuación 4.13:

$$V_t = \sum_{i=1}^N V_{i_t} \quad (4.13)$$

Donde:

V_t : Valor del pavimento de hormigón de la calzada de la vía principal en el tiempo “t”, en UF.

V_{i_t} : Valor de la sección i-ésima de 50 m de pavimento de hormigón en el tiempo “t” calculado según la Ecuación 4.12, en UF.

Cabe mencionar, que la diferencia que se produce en cada sección entre el costo de rehabilitación y el costo histórico cuando el primero supera al segundo se define como “monto de penalización por desempeño”. Dicho monto de penalización puede ser obtenido para cada sección y para todo el pavimento de la carretera, de manera análoga al valor del activo.

4.5.2. Pasos a seguir para la valorización

Una vez procesados los datos de inventario, condición y costos para cada sección de 50 m de pavimento de hormigón, se recomienda seguir el siguiente procedimiento para su valorización:

1. Calcular el costo histórico de cada sección de pavimento con la Ecuación 4.2.
2. Obtener el nivel de desempeño de cada indicador técnico en cada sección de pavimento (Muy Bueno, Bueno, Aceptable, Malo o Muy Malo). Hacer lo anterior de acuerdo a los datos de condición procesados y las fichas técnicas del Anexo A.
3. Obtener para cada sección de pavimento, los porcentajes de pérdida respecto al costo de la actividad de rehabilitación asociados a cada indicador técnico de acuerdo a la Tabla 4.6.
4. Calcular la longitud agrietada de cada sección de pavimento con la Ecuación 4.6.
5. Calcular el costo de rehabilitación asociado a cada indicador técnico en cada sección de pavimento con las Ecuaciones 4.9, 4.7, 4.5, 4.6 y 4.7.
6. Calcular el costo de rehabilitación de cada sección de pavimento con la Ecuación 4.4.
7. Calcular el valor de cada sección de pavimento con la Ecuación 4.12.
8. Calcular el valor total del pavimento en la carretera con la Ecuación 4.13.

Notar que lo anterior representa un procedimiento recomendado a seguir para poder calcular el valor del pavimento de hormigón de la carretera concesionada en evaluación. Sin embargo, también es posible obtener otras variables de interés asociadas al valor del pavimento, como, por ejemplo:

- El porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño y calificación global de nivel de servicio para cada indicador técnico a partir de las fichas técnicas del Anexo A.
- El costo histórico total del pavimento según la Ecuación 4.1.
- El costo de rehabilitación total del pavimento según la Ecuación 4.3.
- El monto de penalización por desempeño del pavimento según lo señalado al final del apartado 4.5.1.

De esta forma, tanto el valor del pavimento como las variables anteriormente mencionadas serán analizadas en diferentes casos de estudio en carreteras concesionadas interurbanas chilenas, los cuales se presentan en el siguiente capítulo.

5. Casos de estudio

En este capítulo se presenta la aplicación del modelo de valorización propuesto en diferentes casos de estudio llevados a cabo en 4 rutas concesionadas interurbanas ubicadas en la zona centro y sur de Chile, para su sensibilización y verificación. En función de lo anterior, este capítulo se subdivide en 4 subcapítulos con la misma estructura, como se ejemplifica a continuación para la primera ruta analizada en el subcapítulo 5.1:

- En el apartado 5.1.1 se caracteriza la ruta analizada y se describe la información disponible para la valorización.
- En el apartado 5.1.2 se presenta la aplicación del modelo de valorización propuesto en secciones de 50 m, con datos reales de la ruta analizada en un año puntual.
- En el apartado 5.1.3 se realiza una comparación de resultados del modelo propuesto y los modelos actuales de valorización para un periodo de análisis de 20 años, utilizando secciones de 200 m. La comparación es llevada a cabo para tres escenarios de gestión del pavimento, definidos partir de los datos disponibles y supuestos razonables.

Para el correcto entendimiento de los resultados presentados en este capítulo, es importante tener en cuenta las siguientes nomenclaturas y definiciones:

- **Modelo Propuesto:** Corresponde al modelo propuesto en este trabajo para el pavimento de hormigón de la calzada de la vía principal de carreteras concesionadas interurbanas. El modelo considera la evaluación individual de los indicadores técnicos funcionales y estructurales, y su formulación fue detallada en el capítulo 4. Para los análisis presentados en este capítulo se contempla solo los costos asociados a la estructura del pavimento, y no los costos asociados a las demarcaciones.
- **Modelo Propuesto sin TC:** Corresponde al Modelo Propuesto, pero sin considerar el costo de rehabilitación asociado a la transferencia de carga.
- **Modelo Actual DV:** Corresponde al modelo de valorización original desarrollado por la DV, descrito en el apartado 2.1.5.c. Considera un costo de rehabilitación a través del índice ICP y los límites del ICP utilizados para caminos nacionales de la red vial no concesionada.
- **Modelo Actual EI:** Corresponde a un modelo basado en la solución específica aplicada en los estudios integrales para la valorización de cada ruta. Considera límites de ICP menos restrictivos que los originales de la DV y una consideración estructural definida a partir de un criterio conservador, descrita en el apartado 2.2.3. La consideración estructural no es sensible al valor de los indicadores técnicos del pavimento y se asume una interpolación lineal del costo de conservación estructural desde el año 0 hasta el 20.
- **Modelo Actual BALI:** Corresponde a un modelo basado en la metodología presentada en los estudios integrales para la valorización de las rutas (descrita en el apartado 2.2.3), pero que no fue aplicada completamente en dichos estudios debido a la falta de datos de ejes equivalentes de diseño. El modelo contempla los límites del ICP originales de la DV y una consideración estructural sensible a la transferencia de carga de acuerdo con límites de estado según la guía AASHTO. En particular, se considera que si la transferencia de carga se encuentra en buen estado (mayor a 70%), no existe costo estructural. Si se encuentra en estado regular (entre 50 y 70%), el costo estructural corresponde al costo de la aplicación de cepillado y sellado de juntas en el 25% de las losas. Si se encuentra en estado malo (menor a 50%), el costo estructural se obtiene como la suma del costo de las dos actividades anteriores, y de la instalación de barras de traspaso de carga e inyección de mortero en un 15% de las losas. Lo anterior fue considerado de forma de representar fielmente las indicaciones de las bases de licitación para la valorización de los pavimentos.

Cabe mencionar, que en el Anexo F se incluye una comparación gráfica de los resultados de valorización entre las diferentes rutas analizadas, obtenidos con el modelo propuesto.

5.1. Ruta I

5.1.1. Caracterización de la vía e información disponible

Esta ruta se ubica en la zona centro del país, y comprende un total de 110.5 km de longitud, donde 27.7 km corresponden a pavimento de hormigón, es decir, un 25% de la longitud total de la vía principal aproximadamente. En la Figura 5.1 se presenta el esquema de la enumeración de las pistas de la ruta (MOP, 2021c). En particular, el pavimento de hormigón está distribuido en 6 pistas los primeros 2.1 km de la ruta y en 4 pistas desde el kilómetro 67.3 hasta el kilómetro 92.9. El ancho de las pistas corresponde a 3.5 metros.

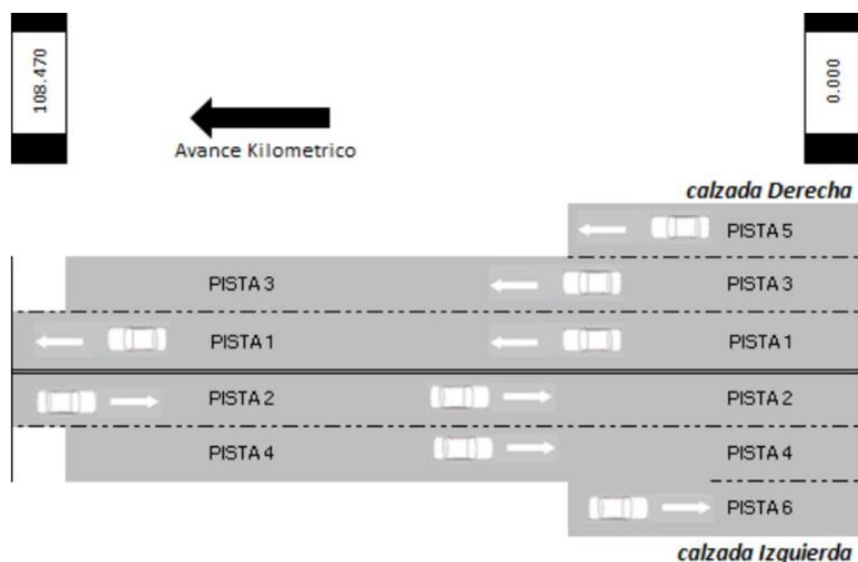


Figura 5.1. Esquema de la enumeración de las pistas en la Ruta I (MOP, 2021c).

Por otro lado, para la aplicación del modelo de valorización propuesto se requiere de tres tipos de datos: información de inventario, de precios unitarios y condición. La información de inventario disponible corresponde a la estructura, longitudes y espesores del pavimento para cada uno de los tramos de diseño (MOP, 2020c), los cuales se presentan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Estructura y espesores del pavimento de hormigón en la Ruta I (MOP, 2020c).

Tramo	Km inicio	Km fin	Longitud [km]	Pistas	Base estabilizada [cm]	Subbase granular [cm]	Base granular [cm]	Losas de hormigón [cm]
	0	1	1	1 a 6				
1	1	1.6	0.6	1-3/2-4	0.33	-	-	0.2
	1.6	2.2	0.6	1 a 6				
2	67.4	80.8	13.4	1-3/2-4	-	0.15	0.15	0.24/0.26
3	80.8	93	12.2	1-3/2-4	-	-	0.15	0.22/0.26

Como se observa, los tramos están contruidos de distinta manera. En el primer tramo, bajo las losas de hormigón se tiene una base estabilizada. En el segundo tramo, bajo las losas se tiene una base granular chancada CBR>80% y una subbase granular CBR>40%. En el tercer tramo, bajo las losas se tiene solamente la base granular. Además, en las pistas 1 y 3 el espesor de las losas es de 24 cm para el tramo 2 y de 22 cm para el tramo 3. En las pistas 2 y 4 el espesor de las losas es de 26 cm para el tramo 2 y 3.

Los datos de precios unitarios disponibles corresponden a los presentados en el estudio integral de la ruta (MOP, 2021e), los cuales se presentan en la Tabla 5.2. Notar que se presentan los precios unitarios de conservación rutinaria, sello de juntas e inyección de mortero. Estos últimos no son requeridos para la aplicación del modelo de valorización propuesto, pero si se utilizan en los modelos actuales.

Tabla 5.2. Precios unitarios de partidas de pavimento de hormigón en la Ruta I (MOP, 2021d).

Tipo	Actividad	Unidad	P.U. [UF]
Construcción	Pavimento de hormigón	[m3]	4.93
	Subbase Granular CBR>40%	[m3]	0.49
	Base granular CBR>80%	[m3]	0.65
	Preparación de la subrasante	[m2]	0.02
Mantenimiento	Conservación rutinaria	[km]	12.41
	Sello de juntas	[ml]	0.12
Rehabilitación	Cepillado	[m2]	0.08
	Reemplazo de losas	[m2]	3.51
	Barras de transferencia de carga	[un]	2.95
	Inyección de mortero en losas de hormigón	[perf]	1.54

Los datos de condición disponibles provienen del seguimiento funcional y evaluaciones estructurales del pavimento realizadas desde el año 2007 al 2020 (MOP, 2007, 2021c). Respecto a la información disponible se distinguen datos para los siguientes indicadores:

- **Regularidad longitudinal del pavimento:** Desde 2007 a 2020 se tienen los datos de Mean Roughness Index (MRI) cada 200 m, excepto cuando existe alguna singularidad como un puente, paso superior, peaje o cambio de pavimento, donde este indicador no se reporta.
- **Resistencia al deslizamiento:** Desde 2007 a 2020 se tienen datos de SFC equivalente reportados cada 200 m por pista.
- **Agrietamiento:** Desde 2007 a 2020 se tienen los datos de inspección visual reportados cada 40 losas por km. Para cada losa, se distingue la presencia de grietas según tipo y severidad (baja, media y alta), y el número de trozos. Para el año 2020, además de la inspección visual realizada cada 40 losas por km, se cuenta con datos de una inspección visual realizada en el 100% de las losas. Cabe mencionar que, no se cuenta con el porcentaje de losas agrietadas directamente, por lo que los datos deben ser procesados para obtener dicho indicador.
- **Transferencia de carga:** Se cuenta con mediciones puntuales cada 200 m por pista para los años 2007 y 2020. Para el año 2007, en particular, se cuenta con este indicador únicamente para las pistas pesadas 3 y 4.

De esta forma, la información disponible en cuanto a datos de condición debe ser adaptada al formato de evaluación de cada indicador de acuerdo con la ficha técnica correspondiente, presentada en el Anexo A. Además, debido a la falta de información que se tiene en algunos años y/o secciones de pavimento, el procesamiento de los datos se realiza para dos análisis distintos:

1. Aplicación del modelo propuesto solo en secciones de 50 m con información disponible en un año puntual.
2. Comparación del modelo propuesto con modelos actuales usando secciones de 200 m en un periodo de análisis de 20 años.

Las consideraciones tomadas para el procesamiento de datos para cada uno de estos análisis y los resultados obtenidos se detallan a continuación.

5.1.2. Aplicación del modelo propuesto en secciones con datos disponibles

a. Procesamiento de datos

Para este análisis, se consideran solo aquellas secciones de pavimento con suficiente información disponible para aplicar el modelo de valorización propuesto. En efecto, existen secciones en donde no cuenta con el valor de IRI, al ser consideradas singularidades en donde dicho indicador no debe ser medido. De esta forma, para este análisis se tienen en total 2064 secciones de aproximadamente 50 m. La suma total de la longitud de dichas secciones corresponde a 103.2 km-pista, equivalente al 90.2% de la longitud total de pavimento de hormigón, correspondiente a 114.4 km-pista. Por otro lado, solo se consideran los datos de condición del año 2020, al estar disponible en dicho año los datos de agrietamiento para el 100% de las losas. Lo anterior permite valorizar en secciones de 50 m, al conocer con exactitud el inicio y final de cada una de estas, y el porcentaje de losas agrietadas correspondiente. Para los demás indicadores el análisis requiere de algunas consideraciones:

- **Transferencia de carga:** Se consideran las medias fijas cada 1 km de las mediciones puntuales reportadas en intervalos de 200 m. Lo anterior debido a que el modelo requiere la evaluación de al menos 15 losas cada 250 m, y puede ser poco representativo usar los datos puntuales. Además, cada dato puntual reportado es corregido, ya que fueron medidos en diferentes condiciones horarias y de temperatura, que pueden estar sub o sobrestimando su valor. El detalle de las correcciones realizadas se presenta en el Anexo D, en conjunto con un análisis de los resultados obtenidos al utilizar los datos puntuales no corregidos.
- **MRI y SFC:** Se considera el mismo valor para las 4 secciones de 50 m que forman parte del intervalo de 200 m en el cual se reportaron estos indicadores.

La Figura 5.2 presenta el diagrama de caja y bigotes para el largo de las secciones de pavimento de hormigón, largo y número de losas en cada sección, porcentaje de losas agrietadas (AGR), porcentaje de transferencia de carga (TC), MRI y SFC. Por otro lado, en la Tabla 5.3, Tabla 5.4, Tabla 5.5 y Tabla 5.6 se presenta el promedio, desviación estándar, máximos y mínimos de las variables anteriormente mencionadas, respectivamente.

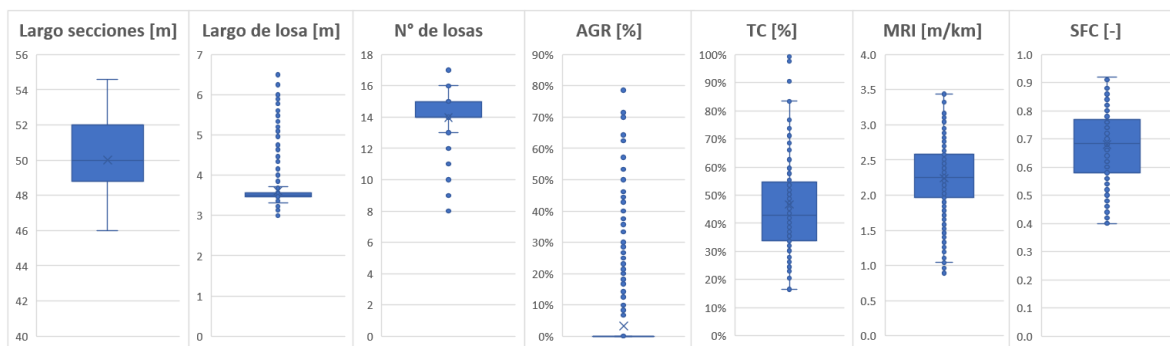


Figura 5.2. Diagrama de caja y bigotes de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I).

Tabla 5.3. Promedio por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
1	50.01	3.66	13.86	1.4%	51.2%	2.27	0.77
2	49.99	3.58	14.04	0.9%	45.8%	2.36	0.72
3	50.02	3.63	13.92	4.2%	44.8%	2.10	0.61
4	49.99	3.57	14.09	6.7%	44.9%	2.24	0.63
Total	50.00	3.61	13.98	3.3%	46.7%	2.24	0.68

Tabla 5.4. Desviación estándar por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
1	1.48	0.55	1.44	6.3%	19.9%	0.33	0.11
2	1.58	0.28	0.97	3.9%	20.9%	0.38	0.10
3	1.54	0.45	1.32	10.5%	16.2%	0.51	0.09
4	1.50	0.37	1.08	12.5%	15.4%	0.57	0.07
Total	1.52	0.43	1.22	9.2%	18.4%	0.47	0.11

Tabla 5.5. Máximo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
1	54.00	6.50	16.00	62.5%	99.8%	3.18	0.92
2	53.59	5.48	15.00	44.4%	99.3%	3.37	0.88
3	54.60	6.00	16.00	78.6%	90.4%	3.44	0.76
4	54.00	6.25	17.00	71.4%	83.4%	3.32	0.76
Total	54.60	6.50	17.00	78.6%	99.8%	3.44	0.92

Tabla 5.6. Mínimo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta I).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
1	46.00	3.25	8.00	0.0%	31.7%	1.35	0.41
2	46.57	3.32	9.00	0.0%	16.5%	1.04	0.48
3	46.00	3.13	8.00	0.0%	22.9%	0.98	0.40
4	47.00	3.00	8.00	0.0%	24.3%	0.89	0.45
Total	46.00	3.00	8.00	0.0%	16.5%	0.89	0.40

b. Costo histórico

El costo histórico obtenido para el pavimento de hormigón es de UF 490,423. En la Tabla 5.7 se presenta el costo histórico diferenciado para cada pista y cada elemento que conforma el paquete estructural. Adicionalmente se presenta la distribución porcentual del costo histórico entre los diferentes elementos. Para la construcción de la base estabilizada, al no contar con un precio unitario en el estudio integral, fue utilizado un precio unitario de 0.89 UF/m³, obtenido a partir del Manual de Costos ONDAC del año 2017.

Tabla 5.7. Costo histórico por pista y total del pavimento de hormigón (Ruta I).

Pista	Prep. Subrasante	Base Estabilizada	Subbase Granular	Base Granular	Losa de Hormigón	Total pistas [UF]
1	1,870	2,105	3,110	8,202	101,874	117,162
2	1,862	2,107	3,081	8,165	113,739	128,956
3	1,867	2,107	3,098	8,186	101,683	116,941
4	1,837	1,695	3,080	8,181	112,571	127,365
Total [UF]	7,436	8,015	12,370	32,735	429,866	490,423
Distr. [%]	1.5%	1.6%	2.5%	6.7%	87.7%	100%

Se puede apreciar que la losa de hormigón es la capa de mayor contribución al costo histórico, seguido de la base granular chancada, subbase granular, base estabilizada y la preparación de la subrasante, en ese orden. Notar también que el costo histórico de las pistas 1 y 3 difiere ligeramente, pese a tener la misma longitud y estructuración de las capas del pavimento, lo cual también ocurre para las pistas 2 y 4. Lo anterior se debe principalmente a la diferencia entre pistas para el kilometraje de inicio y final de las secciones de pavimento, obtenido de la inspección visual de agrietamiento del 100% de las losas.

c. Nivel de desempeño de los indicadores técnicos

El modelo de valorización propuesto requiere del nivel de desempeño de los indicadores técnicos para la obtención de la pérdida de valor asociada a cada uno. En la Tabla 5.8, Tabla 5.9, Tabla 5.10 y Tabla 5.11 se presenta el porcentaje de secciones que se encuentra en cada nivel de desempeño para el agrietamiento, transferencia de carga, MRI y SFC, respectivamente. Cabe mencionar que el nivel de desempeño del agrietamiento no se considera en el modelo de valorización propuesto, y se presenta solo de manera referencial. En efecto, el costo de rehabilitación asociado al agrietamiento corresponde simplemente al costo de reemplazo de las losas agrietadas. La suma total del largo de las losas agrietadas en este caso alcanza los 3.4 km, que corresponde a un 3.3% de la longitud total del pavimento valorizado.

Tabla 5.8. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el agrietamiento en 2020 (Ruta I).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
1	92.9%	2.1%	2.1%	0.0%	2.9%
2	93.0%	4.4%	0.4%	1.4%	0.8%
3	79.0%	7.3%	3.5%	0.2%	10.0%
4	63.1%	15.7%	8.2%	0.4%	12.5%
Total	82.1%	7.4%	3.5%	0.5%	6.5%

Tabla 5.9. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para la transferencia de carga en 2020 (Ruta I).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
1	15.6%	2.9%	24.7%	23.3%	33.5%
2	7.9%	13.9%	18.4%	7.0%	52.8%
3	7.9%	10.6%	14.1%	22.8%	44.6%
4	6.5%	12.5%	15.1%	18.6%	47.3%
Total	9.5%	10.0%	18.1%	17.9%	44.5%

Tabla 5.10. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador MRI en 2020 (Ruta I).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
1	1.5%	79.0%	19.5%	0.0%	0.0%
2	1.5%	57.6%	40.8%	0.0%	0.0%
3	12.9%	61.4%	25.7%	0.0%	0.0%
4	12.2%	44.7%	43.1%	0.0%	0.0%
Total	7.0%	60.8%	32.2%	0.0%	0.0%

Tabla 5.11. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador SFC en 2020 (Ruta I).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
1	88.4%	3.7%	7.9%	0.0%	0.0%
2	75.2%	14.7%	10.1%	0.0%	0.0%
3	37.6%	29.9%	31.7%	0.8%	0.0%
4	34.9%	47.6%	17.5%	0.0%	0.0%
Total	59.2%	23.9%	16.8%	0.2%	0.0%

Por otro lado, con los porcentajes anteriormente presentados es posible obtener las calificaciones globales de desempeño de cada indicador. Las calificaciones globales de desempeño del porcentaje de losas agrietadas y transferencia de carga corresponden a “Muy Malo”, mientras que para el MRI y SFC corresponden a “Bueno” y “Malo”, respectivamente. La metodología de obtención de estas calificaciones se indica en las fichas técnicas de cada indicador, presentadas en el Anexo A.

d. Costo de rehabilitación

El costo de rehabilitación total obtenido para el pavimento de hormigón corresponde a UF 427,497. En la Tabla 5.12 se presenta el costo de rehabilitación total diferenciado para cada pista e indicador técnico del pavimento. Adicionalmente, se presenta el porcentaje que representa el costo de rehabilitación por indicador y total respecto al costo histórico.

Tabla 5.12. *Costo de rehabilitación total diferenciado por pista e indicador técnico (Ruta I).*

Pista	AGR	TC	MRI	SFC	Total [UF]
1	4,519	91,157	2,236	369	98,044
2	2,794	94,279	2,630	658	99,834
3	13,303	98,236	2,134	1,825	114,084
4	21,071	91,692	2,440	1,537	115,536
Total [UF]	41,686	375,365	9,440	4,388	427,497
CRehab /CH [%]	8.5%	76.5%	1.9%	0.9%	87.2%

Se puede apreciar que el costo de rehabilitación asociado a la transferencia de carga (TC) es considerablemente mayor que el de los otros indicadores. Lo anterior se debe al alto porcentaje de secciones que se encuentran en nivel de desempeño “Malo” o “Muy Malo” para la TC, lo cual no ocurre para los demás indicadores. En efecto, solo un 7% de las secciones se encuentran en dichos niveles de desempeño para agrietamiento, mientras que para MRI y SFC prácticamente todas se encuentran por sobre el nivel “Aceptable”. Notar que la suma del costo asociado a los indicadores no es igual al costo de rehabilitación total, debido a la formulación del modelo propuesto.

e. Penalización por desempeño

La penalización por desempeño del pavimento de hormigón corresponde a UF 41,483. En la Tabla 5.13 se presenta el monto de penalización diferenciado para cada pista y el porcentaje que representa respecto al costo histórico.

Tabla 5.13. *Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta I).*

Pista	1	2	3	4	Total
Penalización [UF]	10,053	3,704	14,825	12,901	41,483
Penalización/CH [%]	8.6%	2.9%	12.7%	10.1%	8.5%

f. Valor del activo

El valor obtenido para el pavimento de hormigón es de UF 104,408. En la Tabla 5.14 se presenta el valor diferenciado para cada pista y el porcentaje que representa respecto al costo histórico.

Tabla 5.14. Valor en UF y respecto al costo histórico (Ruta I).

Pista	1	2	3	4	Total
Valor [UF]	29,171	32,825	17,682	24,730	104,408
Valor/CH [%]	24.9%	25.5%	15.1%	19.4%	21.3%

Se puede apreciar que el valor del pavimento de hormigón corresponde a sólo un 21.3% de su costo histórico. A modo de comentario, se puede mencionar que el pavimento fue puesto en operación en el año 1999 (MOP, 1995a). Por lo tanto, la pérdida de valor en 21 años según el modelo propuesto es de 78.7% respecto al costo histórico. Además, el pavimento también ha sido valorizado con el modelo actual utilizado en concesiones viales, en el estudio integral correspondiente con los datos del año 2020 (MOP, 2021e). En dicho estudio integral, el valor reportado del pavimento de hormigón fue de UF 444,995, equivalente a un 76,5% del costo histórico calculado con el modelo actual, correspondiente a UF 581,796. Las diferencias de resultados y sus razones son abordadas en el siguiente apartado, en donde también se analizan las diferencias con variantes del modelo actual.

5.1.3. Comparación entre modelo propuesto y modelos actuales en el tiempo

a. Procesamiento de datos

Para este análisis, se consideran todas las secciones de pavimento existentes entre el inicio y final de cada tramo de diseño. Lo anterior implica completar los datos faltantes en algunas secciones con los datos de secciones aledañas. De esta forma, la suma total de la longitud de las 572 secciones de 200 m a evaluar en este caso corresponde a 114.4 km-pista, equivalente al 100% de la longitud total del pavimento de hormigón en la ruta. Se utiliza también un precio de 0.89 UF/m³ para la construcción de la base estabilizada existente en el primer tramo de 2.2 km. Dicho precio fue obtenido a partir del manual de costos ONDAC del 2017, y solo es utilizado en el modelo propuesto. Además, para la conservación rutinaria considerada en los modelos actuales, se define un porcentaje de los valores descritos en la Tabla 5.2, ya que no solo consideran la conservación de la calzada. El porcentaje corresponde a 73%, determinado a partir de la razón entre el ancho de calzada, y la suma del ancho de la calzada y berma de la vía.

Por otro lado, se consideran los datos de condición disponibles desde el año 2007 a 2020. Debido a las características de la información disponible, la valorización se realiza para secciones de 200 m, tanto para el modelo propuesto como los modelos actuales. En función de lo anterior, se tomaron las siguientes consideraciones para los indicadores técnicos:

- **Porcentaje de losas agrietadas:** Se considera el mismo valor para las 5 secciones de 200 metros ubicadas en cada km, correspondiente al porcentaje de losas agrietadas dentro de las 40 losas inspeccionadas en cada km, desde el año 2007 a 2020. La información de la inspección visual del 100% de las losas del año 2020 no es utilizada en este análisis.
- **Transferencia de carga:** Se considera las medias fijas cada 1 km de las mediciones puntuales reportadas cada 200 metros en 2007 y 2020. En 2007 solo están disponibles los datos para las pistas pesadas 3 y 4, mientras que en 2020 se tienen datos para las pistas 1, 2, 3 y 4. Por cierto, antes del cálculo de las medias fijas, cada dato puntual reportado es corregido, ya que fueron medidos en diferentes condiciones horarias y de temperatura, que pueden estar sub o sobrestimando su valor. El detalle de las correcciones realizadas se presenta en el Anexo D,

donde también se incluye un análisis de sensibilidad del modelo propuesto a diferentes consideraciones para la transferencia de carga.

- **MRI y SFC:** Se considera directamente los valores reportados en cada sección de 200 m desde el año 2007 a 2020. Para el caso de secciones sin datos de IRI, se completaron con valores promedio de las secciones anterior y siguiente, o con el valor de la sección más cercana en caso de encontrarse al final o inicio de un tramo de diseño.

En la Figura 5.3, Figura 5.4, Figura 5.5 y la Figura 5.6 se presenta el diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas, porcentaje de transferencia de carga, MRI y SFC, respectivamente.

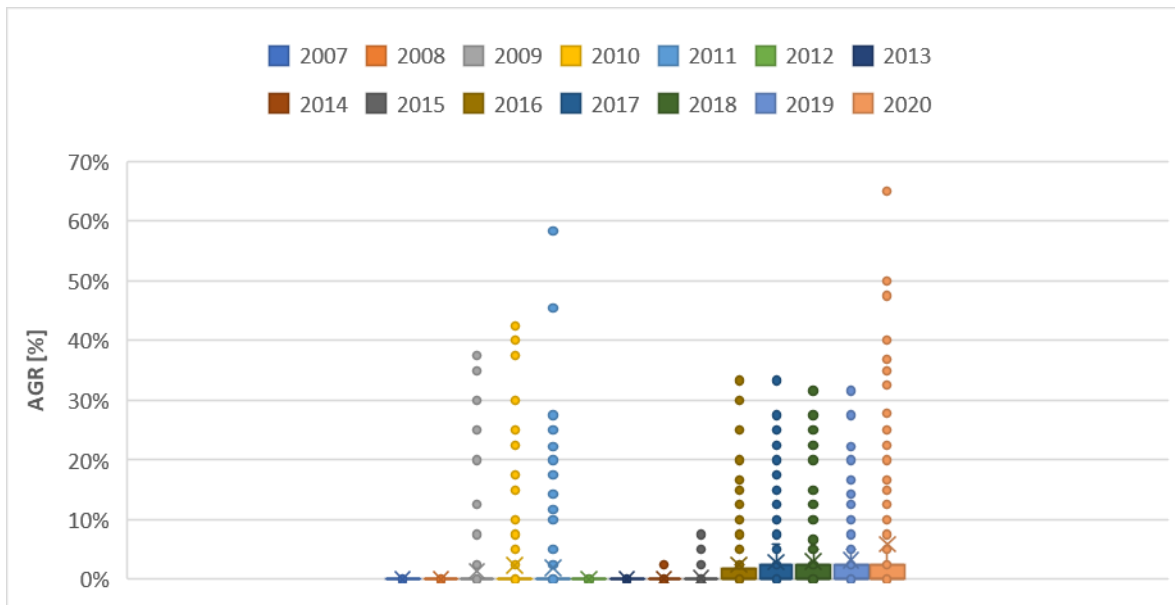


Figura 5.3. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas desde 2007 a 2020 (Ruta I).

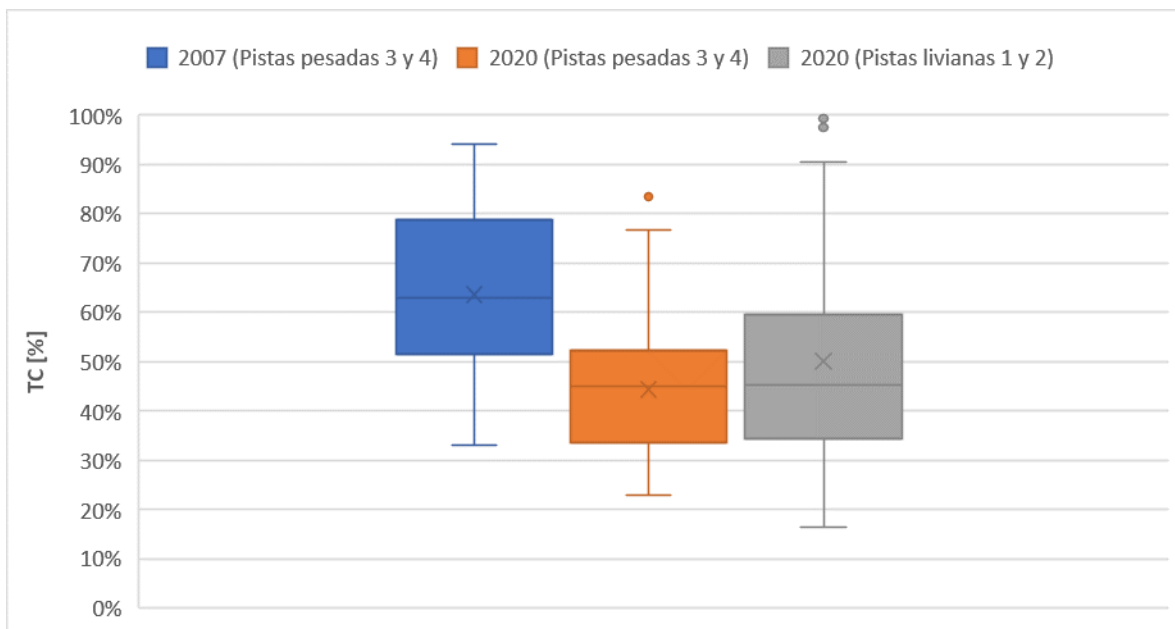


Figura 5.4. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de transferencia de carga en 2007 y 2020 (Ruta I).

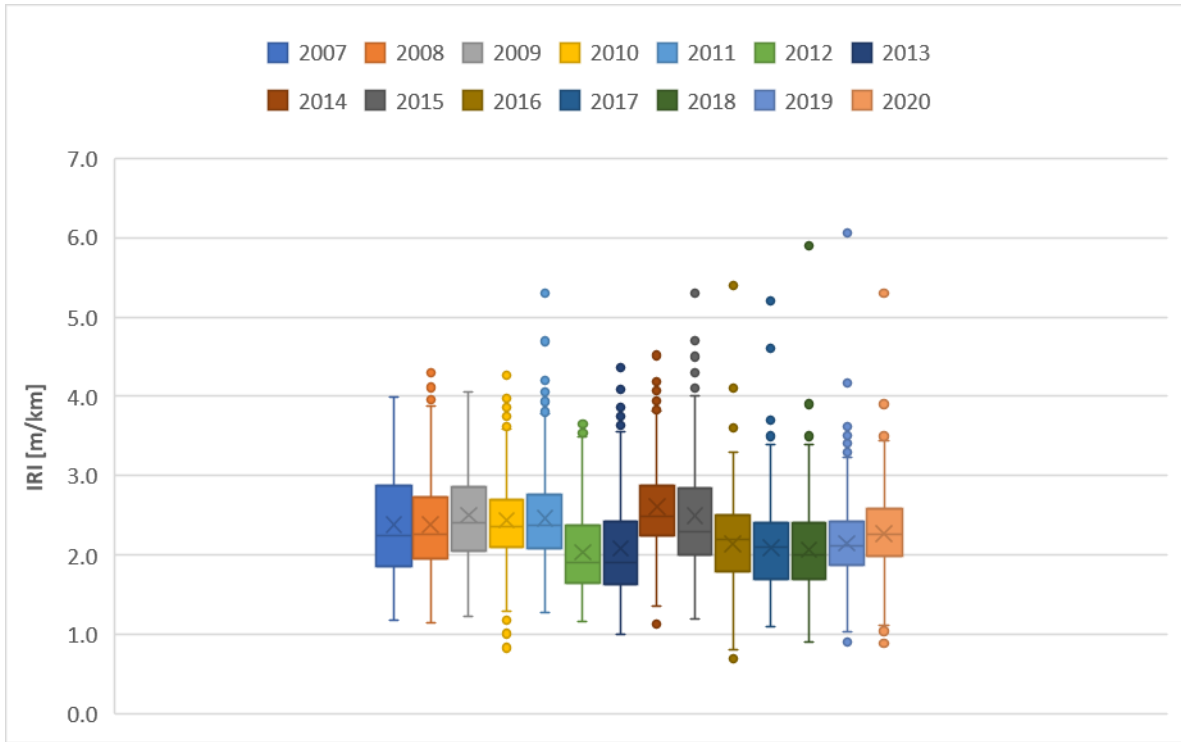


Figura 5.5. Diagrama de caja y bigotes del indicador MRI desde 2007 a 2020 (Ruta I).

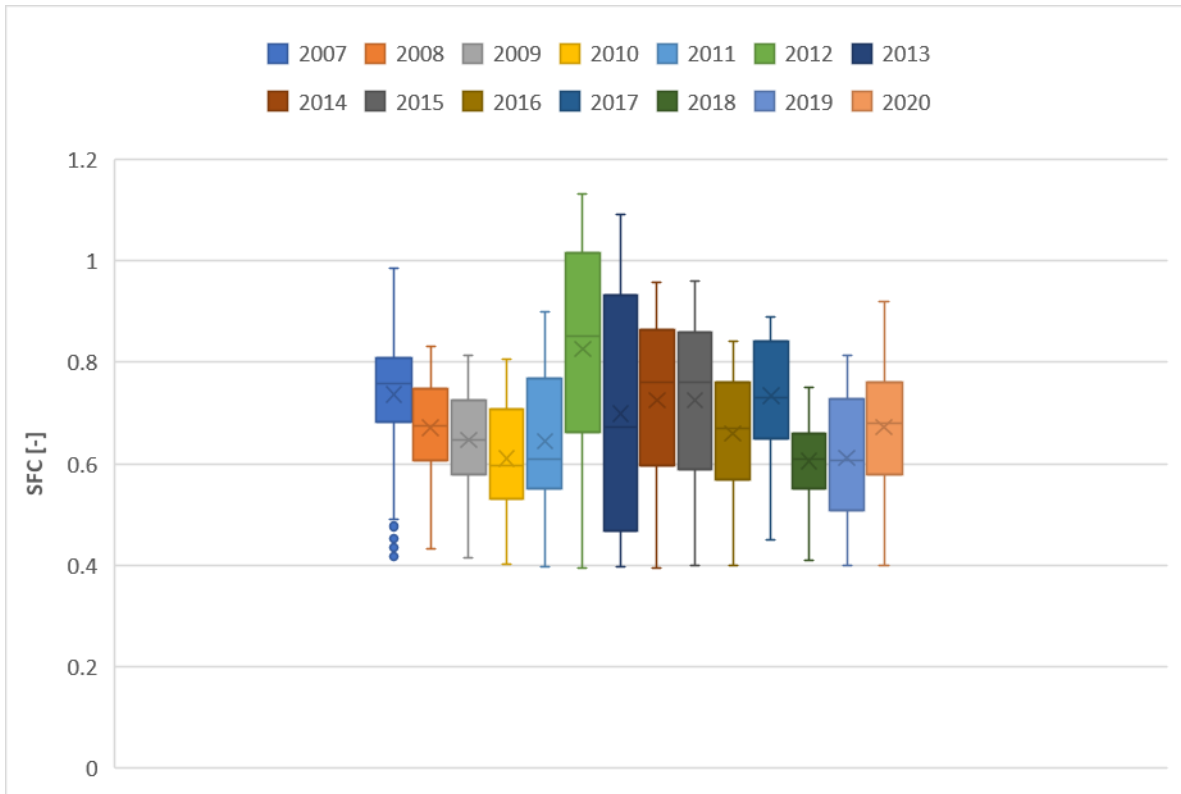


Figura 5.6. Diagrama de caja y bigotes del indicador SFC desde 2007 a 2020 (Ruta I).

b. Costo histórico

En la Tabla 5.15 se presenta el costo histórico obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales, diferenciado por los elementos que componen el paquete estructural. De forma complementaria se presenta el porcentaje de participación de cada elemento en el costo histórico total.

Tabla 5.15. Costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales (Ruta I).

Elemento	Propuesto		Actual EI-BALI		Actual DV	
	[UF]	[%]	[UF]	[%]	[UF]	[%]
Losas de Hormigón	474,180	87.2%	495,048	85.1%	414,184	84.3%
Base Granular Chancada	35,135	6.5%	78,504	13.5%	39,252	8.0%
Subbase Granular	13,680	2.5%	0	0.0%	29,641	6.0%
Base Estabilizada	12,306	2.3%	0	0.0%	0	0.0%
Preparación de la Subrasante	8,243	1.5%	8,243	1.4%	8,243	1.7%
Total	543,544	100.0%	581,796	100.0%	491,320	100.0%

Como se puede observar, las losas de hormigón son la capa del pavimento de mayor contribución al costo histórico, tanto para el modelo propuesto como para los modelos actuales. Sin embargo, el costo histórico total y la distribución por elemento difieren en cada modelo. Lo anterior se explica por el hecho de que el modelo propuesto considera el espesor de capa correspondiente a cada sección del pavimento según los datos de inventario disponibles de la ruta. En cambio, los modelos actuales consideran espesores iguales para todas las secciones de pavimento, que corresponden a valores promedio definidos a partir del inventario (EI-BALI) o de la zona geográfica en donde se emplaza el proyecto (DV). Esto significa que los modelos actuales subestiman o sobreestiman el costo histórico en algunas secciones del pavimento. En particular, si se toma como base los modelos actuales EI-BALI, la diferencia porcentual en costo histórico obtenido con el modelo propuesto es de -6.6% y con el modelo DV es de -15.6%. Dicho de otra forma, con el modelo propuesto se obtiene un resultado intermedio respecto a los modelos utilizados en concesiones viales (EI-BALI) y en la red vial no concesionada (DV).

c. Escenarios de progresión de deterioro en el tiempo

Para la progresión del deterioro de cada uno de los indicadores técnicos se definen tres escenarios: pesimista, realista y optimista. Estos escenarios se basan en las mediciones reales entre 2007 y 2020 presentadas anteriormente, y en los umbrales admisibles tanto del contrato de concesión correspondiente (MOP, 1995a) como los del modelo de valorización propuesto. Estos umbrales se presentan en la Tabla 5.16. Notar que en las bases de licitación no se definen umbrales admisibles para la transferencia de carga entre losas.

Tabla 5.16. Umbrales admisibles según bases de licitación y modelo de propuesto (Ruta I).

Característica	Indicador técnico	Bases de licitación	Modelo Prop.
Regularidad longitudinal	MRI puntual	4.0 m/km	3.5 m/km
Resistencia al deslizamiento	SFC equiv.	0.40 y 0.55 [-]	0.40 [-]
Agrietamiento	% Losas agrietadas (AGR)	30 trozos c/10 losas	15%
Capacidad estructural	% Transferencia de carga (TC)	-	50%

A partir de esta información se define que los datos reales con los que se cuenta corresponden a un escenario pesimista. El motivo para definir esto se debe al aumento de exigencias para los indicadores MRI y AGR, particularmente. En caso de que el concesionario no logre ajustarse a las nuevas exigencias de servicio, se asume que puede mantener, al menos, los estándares antiguos. De esta

forma, se convierten los datos reales en un escenario posible, pero de mala gestión de acuerdo con el nivel de servicio entregado a los usuarios.

Por otro lado, los 14 años de información disponible se consideran como los años finales de una concesión de 20 años, por lo que se requiere completar la condición para los 6 años iniciales. Dado que se define que la infraestructura es nueva, se asume que los indicadores se encuentran en nivel de desempeño “Muy Bueno” en el año 0. Luego, su progresión se ajusta linealmente, de tal manera que se llegue al nivel de desempeño real del año 7 (2007). Debido a que la transferencia de carga solo está disponible en el año 2007 para las pistas pesadas 3 y 4, para las pistas livianas 1 y 2 se asume una curva de deterioro lineal para el indicador desde el año 0 (2000) hasta el año 20 (2020). Para las pistas pesadas 3 y 4, en cambio, se asumen dos curvas de deterioro lineal, una desde el año 0 al 7 y otra desde el año 7 al 20. Por cierto, para las terceras pistas 5 y 6 no existen datos de transferencia de carga para ningún año, por lo que se asume una curva lineal desde el año 0 al 20, utilizando los datos de las pistas livianas 1 y 2, respectivamente.

Para los escenarios realista y optimista se toman las mediciones reales y se varían en un cierto rango para tener un nivel de desempeño mejor, donde el concesionario se ajusta a los niveles de servicio (escenario realista) y donde tiene un desempeño aún mejor que ajustarse a las exigencias mínimas de servicio (escenario optimista).

En la Tabla 5.17 se presentan los rangos de variación que tienen los datos reales en los escenarios realista y optimista.

Tabla 5.17. Umbrales admisibles y rangos de variación para los diferentes escenarios (Ruta I).

Indicador técnico	Umbral BALI correspondiente	Umbral Modelo NS	Escenario Pesimista	Escenario realista	Escenario optimista
MRI puntual	4.0 m/km	3.5 m/km	Datos reales	- 0.5 m/km (*)	- 1.0 m/km (*)
SFC equiv.	0.40 y 0.55 [-]	0.40 [-]	Datos reales	+ 0.05 [-] (*)	+ 0.10 [-] (*)
Agrietamiento (AGR)	30 trozos c/10 losas	15%	Datos reales	Intervención 15% AGR	Intervención 10% AGR
Transferencia de carga (TC)	-	50%	Datos reales	Intervención 50% TC (*)	Intervención 60% TC (*)

(*) Los escenarios realista y optimista para los indicadores IRI, SFC y TC están sujetos a la intervención asociada al AGR.

Por ejemplo, si una sección de pavimento tiene un MRI de 2.63 m/km, en el escenario realista el valor es de 2.13 m/km (-0.5 m/km), y en el escenario optimista es de 1.63 m/km (-1.0 m/km). Para el indicador SFC el proceso es similar a MRI. Para el agrietamiento existen diferencias significativas entre el umbral de las bases de licitación y del modelo propuesto, por lo que se opta por otra alternativa para la progresión de deterioro. Esta alternativa corresponde a utilizar la curva de los datos reales, pero cuando una sección alcanza el umbral "Malo" (15% losas agrietadas) se realiza un reemplazo de las losas agrietadas y un cepillado de la superficie en un escenario realista. Para un escenario optimista el umbral de intervención es de 10% de losas agrietadas, es decir, se interviene al llegar a nivel de desempeño “Aceptable”. Por cierto, el reemplazo de losas devuelve a la sección a nivel “Muy Bueno” en agrietamiento, MRI y SFC, por lo que, se "reinicia" la curva de deterioro para estos indicadores. En cuanto a la transferencia de carga, no existen umbrales definidos en las bases de licitación. Por lo tanto, para este indicador se usa la curva lineal asumida y explicada en párrafo anterior, pero en los escenarios realista y optimista, se colocan barras de traspaso de carga cuando una sección alcanza el umbral "Malo" (50%) y “Aceptable” (60%), respectivamente, que la devuelve a nivel “Muy Bueno”. Además, se asume que cuando se reemplazan las losas agrietadas, la curva lineal de deterioro de la transferencia de carga retrocede 4 y 2 años para los escenarios realista y optimista, respectivamente.

Otro aspecto por considerar para el tratamiento de la información es la calificación global de cada indicador técnico según el modelo de nivel de servicio (Delgadillo et al., 2020). Tanto para el escenario realista como optimista se considera que la calificación global de los indicadores puede ser

“Muy Bueno”, “Bueno” o “Aceptable”, ya que el concesionario no va a incurrir en penalizaciones por un mal servicio. En función de lo anterior, si luego de aplicar los rangos de variaciones de la Tabla 5.17 la calificación global no cumple con el nivel de servicio mínimo, se varían aquellas secciones con indicadores en niveles “Malo” o “Muy Malo”, que afectan la calificación global. Por ejemplo, en el escenario realista, todas las secciones que tengan un MRI en nivel “Muy Malo” se cambian a nivel “Malo”, mientras que para el escenario optimista se cambian a nivel “Aceptable”. Criterios similares se tomaron para los demás indicadores técnicos. Es importante mencionar que la calificación global de los indicadores se considera para tener una compatibilidad entre el nivel de servicio a los usuarios y la valorización de los activos de la carretera. Sin embargo, el modelo de valorización considera el nivel de desempeño de cada indicador para cada sección de pavimento de manera independiente.

De esta manera, se completa la información para los 20 años de análisis y los tres escenarios. El porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para los diferentes indicadores y escenarios se pueden encontrar en la Tabla C.1, Tabla C.2, Tabla C.3 y Tabla C.4 del Anexo C. A modo de visualización, se presenta en la Figura 5.7 de la siguiente página los porcentajes anteriormente mencionados para el año inicial (año 0), tres años intermedios (año 5, 10 y 15) y para el último año de análisis (año 20), asociados al indicador de agrietamiento. Cabe mencionar, que el nivel de desempeño del agrietamiento no se utiliza en la valorización. Sin embargo, se presenta de todas formas debido a que el indicador tiene un efecto considerable en la valorización y no se realizaron grandes supuestos para su progresión en el tiempo. La longitud total en km de las losas agrietadas en cada año del periodo de análisis se presenta en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18. Longitud total en km de losas agrietadas por escenario (Ruta I).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	2.7	2.3	0.0	0.0	0.1	0.2	2.9	3.3	3.5	3.7	6.8
Rea.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.2	1.6	0.8	0.7	2.0	2.0
Opt.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	0.7	0.3	1.9	1.3

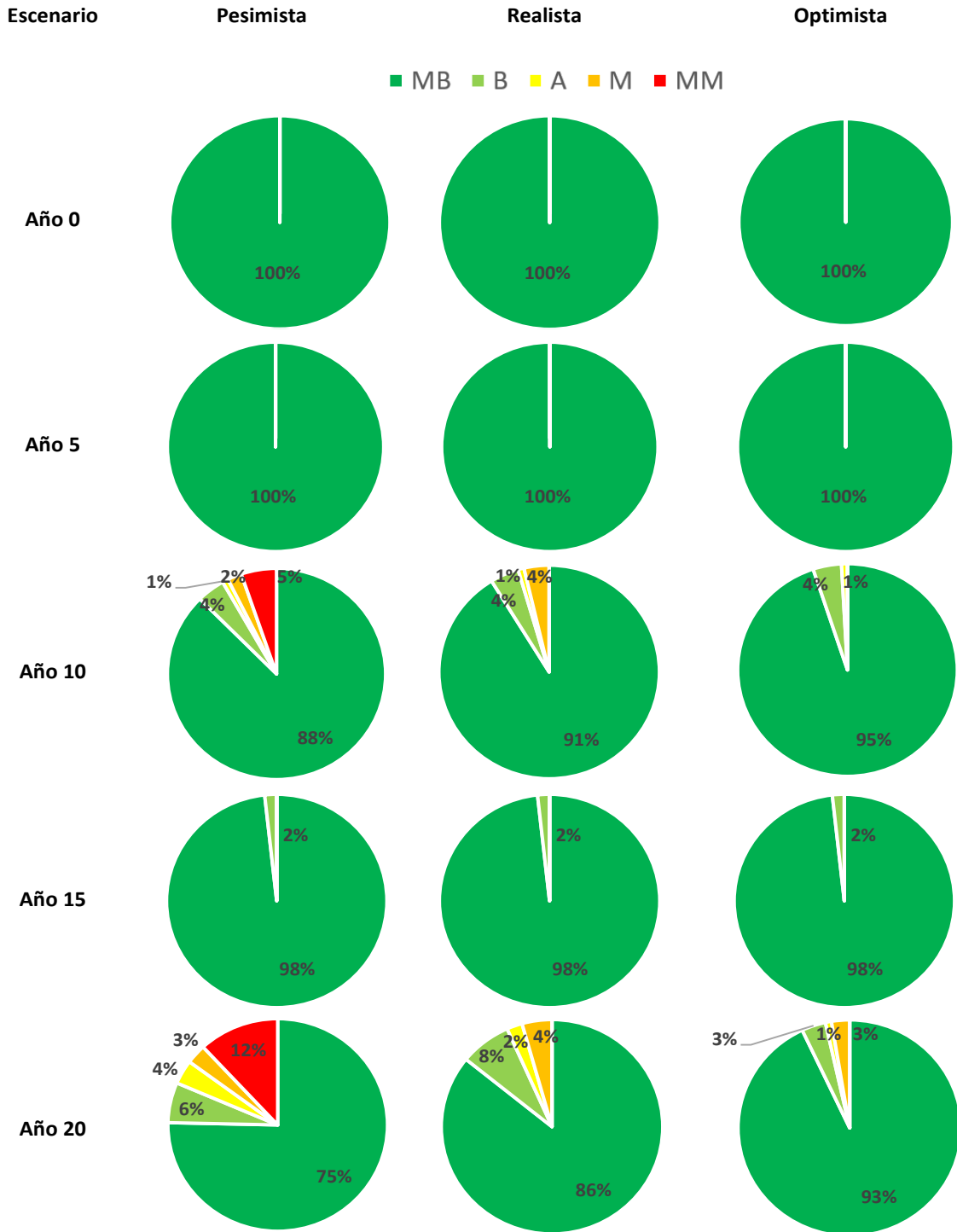


Figura 5.7. Porcentaje de secciones en los diferentes niveles de desempeño en porcentaje de lasas agrietadas para los tres escenarios (Ruta I).

Como se puede observar, en los tres escenarios se comienza con el 100% de las secciones en nivel Muy Bueno, ya que se asume que el pavimento está recién construido. Luego, se observa que el porcentaje de secciones en este nivel disminuye notoriamente para el escenario pesimista. De todas maneras, es necesario volver a recalcar que la información está basada en las mediciones reales de la ruta analizada.

Finalmente, a partir de todo el procesamiento de la información y la definición de los escenarios de progresión, se presenta en la Tabla 5.19, Tabla 5.20, Tabla 5.21 y Tabla 5.22 la calificación global del agrietamiento, transferencia de carga, MRI y SFC para los tres escenarios de progresión de deterioro, respectivamente. La metodología de obtención de esta calificación se indica en las fichas técnicas de cada indicador, presentadas en el Anexo A.

Tabla 5.19. Progresión de la calificación global del agrietamiento por escenario (Ruta I).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MM	MM	MM	MB	MB	MB	MB	MM	MM	MM	MM	MM
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	A	A	A	MB	MB	MB	MB	A	B	A	A	A
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	A	MB	A	MB	MB	MB	MB	A	B	MB	A	A

Tabla 5.20. Progresión de la calificación global de transferencia de carga por escenario (Ruta I).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	B	A	M	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM
Rea.	MB	MB	MB	MB	B	A	A	A	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Opt.	MB	MB	MB	MB	B	B	B	MB	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	MB	B	B

Tabla 5.21. Progresión de la calificación global del indicador MRI por escenario (Ruta I).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	B	B	M	MM	MM	MM	MM	MM	M	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	MB	MB	MB	MB	B
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	MB	MB	MB

Tabla 5.22. Progresión de la calificación global del indicador SFC por escenario (Ruta I).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	M	M	MM	M	B	B	MB	B	B	B
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	MB	B	B	B	MB	MB	B	B	MB
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB

La información anteriormente presentada es utilizada únicamente por el modelo propuesto. Los modelos actuales requieren de la evaluación del estado del Índice de Condición de Pavimento (ICP) y de la transferencia de carga según guía AASHTO. El porcentaje de secciones en cada estado del ICP y de la transferencia de carga según guía AASHTO para los diferentes indicadores y escenarios se puede encontrar en la Tabla C.5, Tabla C.6 y Tabla C.7 del Anexo C.

Los resultados de costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento para los tres escenarios en el periodo de análisis se presentan a continuación. Cabe mencionar, que el costo de rehabilitación corresponde a la pérdida de valor del pavimento en cada año según cada modelo, y no a la inversión realizada por el concesionario en cada escenario de gestión.

d. Costo de rehabilitación

En la Figura 5.8 y la Figura 5.9 se presenta el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales BALI y EI en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Para el modelo actual EI, se incluye únicamente los resultados del escenario pesimista, ya que son idénticos a los otros dos escenarios, difiriendo sólo en el año 19 en un porcentaje menor al 0.1% del costo histórico.

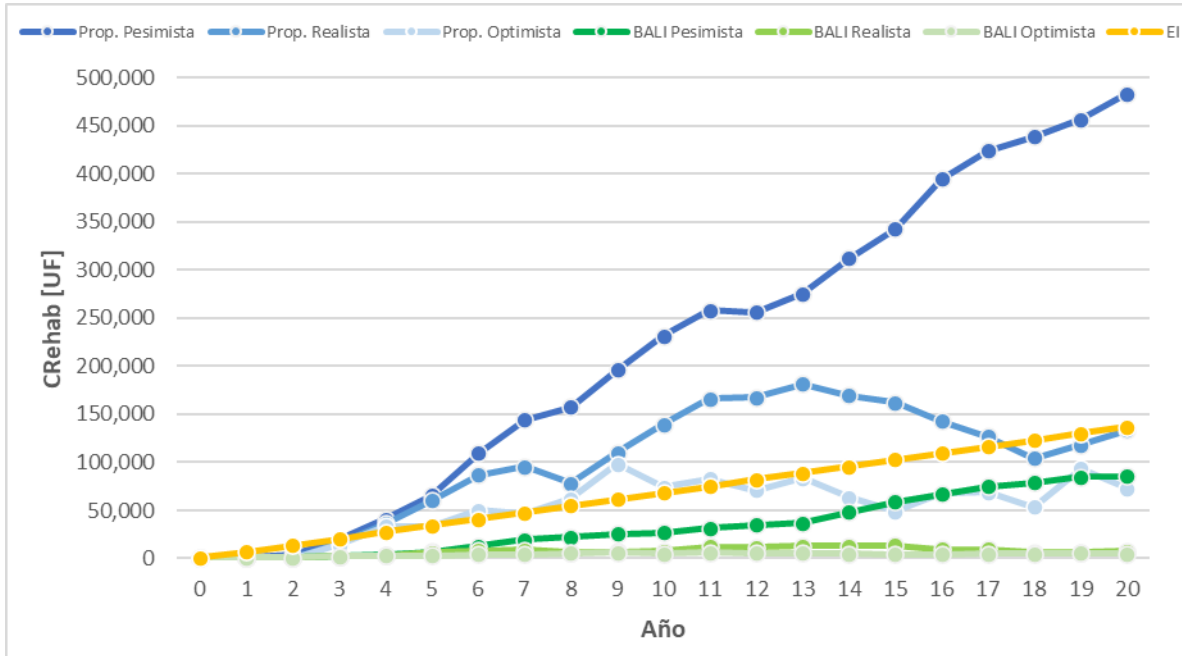


Figura 5.8. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta I).

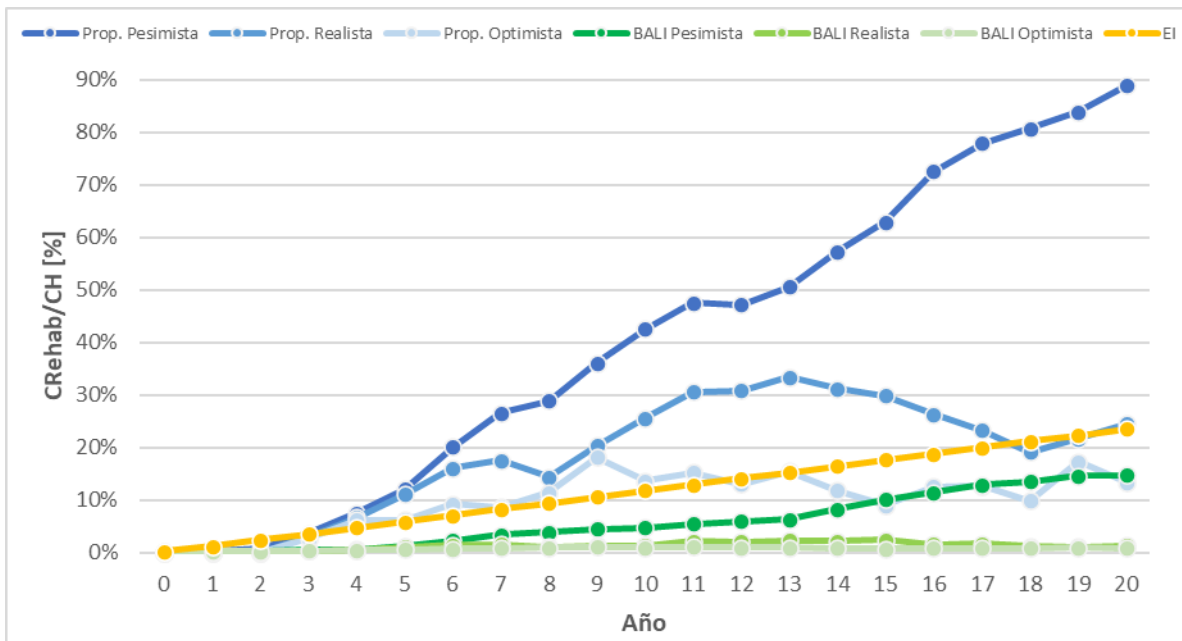


Figura 5.9. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta I).

En la Figura 5.10 y la Figura 5.11 se presenta el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto sin TC y el modelo actual DV en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Se comparan estos dos modelos por separado debido a que ambos no consideran la transferencia de carga en la valorización.

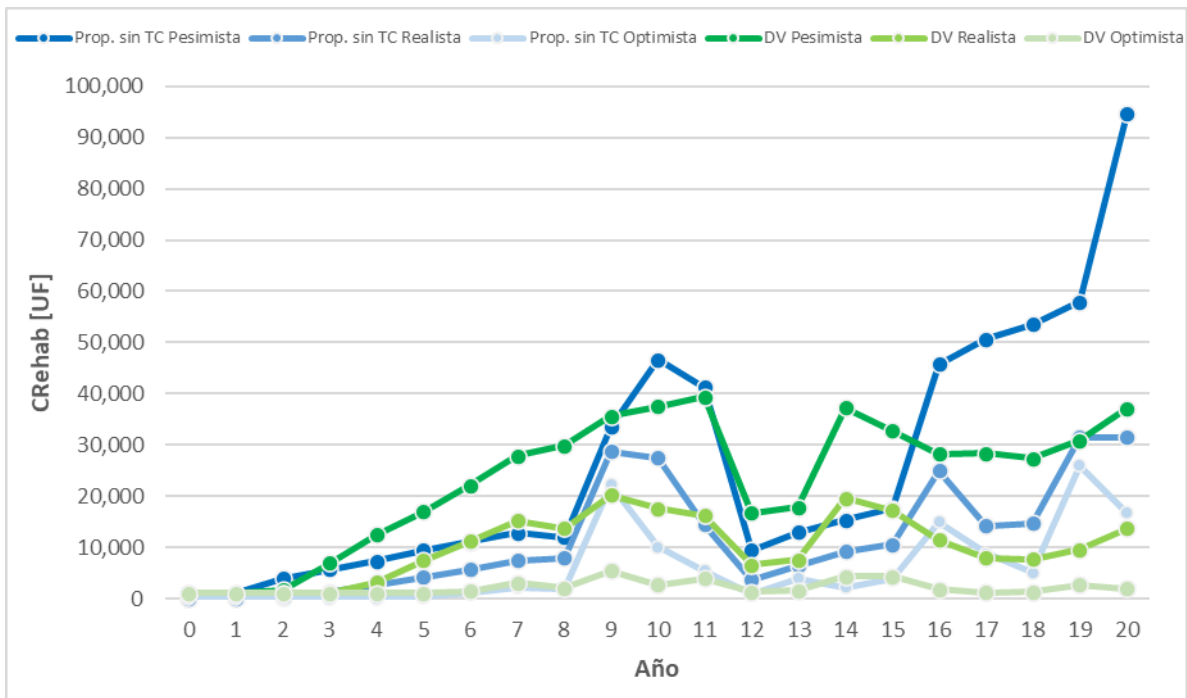


Figura 5.10. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta I).

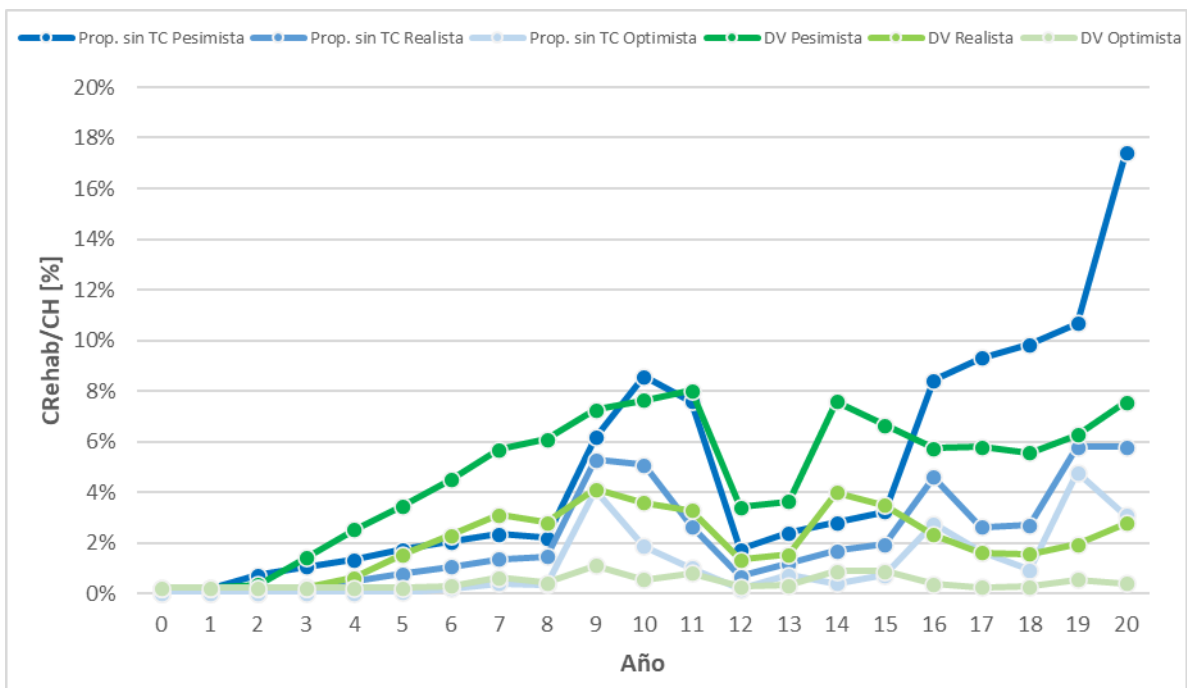


Figura 5.11. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta I).

De las figuras anteriores se puede observar que, el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto es mayor al obtenido con el modelo actual BALI en los tres escenarios de gestión. Además, con el primero se obtienen diferencias de resultados entre los escenarios mayores que con el segundo. Por otro lado, se puede observar que el modelo actual EI es insensible a los escenarios, y sus resultados son mayores al del modelo propuesto únicamente en el escenario optimista.

En cuanto al modelo propuesto sin TC, éste entrega un costo de rehabilitación similar al del modelo actual DV en los tres escenarios de gestión. Sin embargo, con el primero se obtienen diferencias de resultados entre los escenarios ligeramente mayores que con el segundo.

e. Penalización por desempeño

La penalización por desempeño del pavimento solo es obtenida con el modelo propuesto, ya que los modelos actuales no la contemplan. Esta penalización ocurre cuando en las secciones de pavimento el costo de rehabilitación supera al costo histórico, y su monto total en UF para cada año de análisis se presenta en la Figura 5.12. Notar que en el eje derecho se presenta el porcentaje que representa dicho monto respecto al costo histórico.

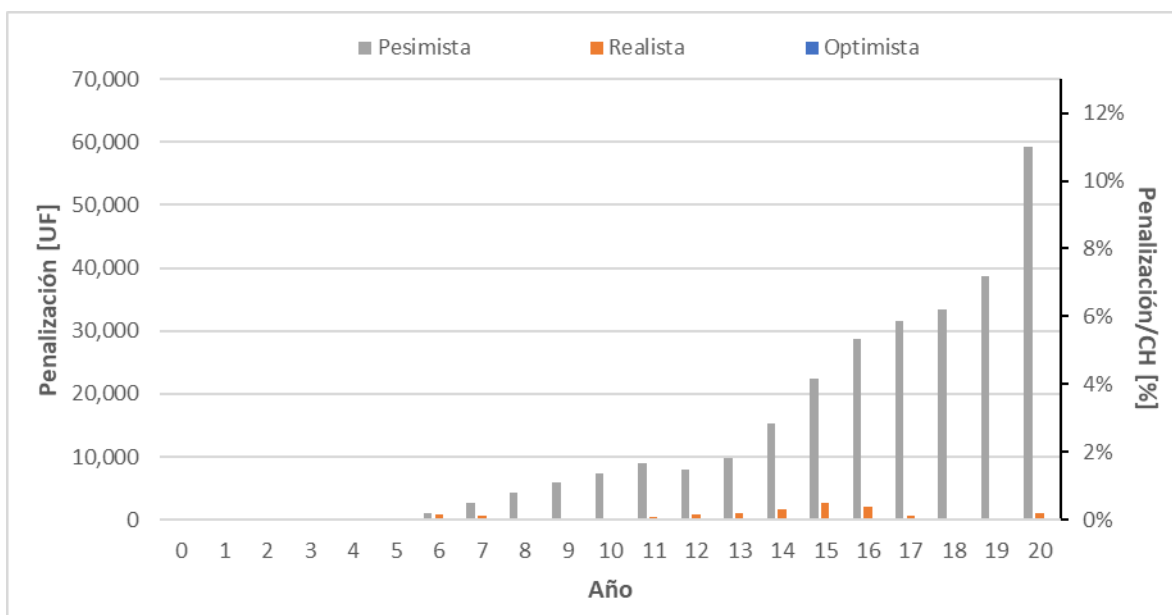


Figura 5.12. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta I).

Se puede apreciar que, la penalización por desempeño ocurre principalmente en el escenario pesimista, debido al alto nivel de agrietamiento y mal desempeño del indicador de transferencia de carga. En los escenarios realista y optimista, la penalización por desempeño es considerablemente menor que en el escenario pesimista. Lo anterior se debe a la mejor gestión realizada por el concesionario en la conservación del pavimento, al intervenirlo cuando se alcanzan los umbrales de desempeño.

f. Valor del activo

En la Figura 5.13 y la Figura 5.14 de la siguiente página se presenta el valor obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales BALI y EI en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Para el modelo actual EI, se incluye únicamente los resultados del escenario pesimista, ya que son idénticos a los otros dos escenarios, difiriendo sólo en el año 19 en un porcentaje menor al 0.1% del costo histórico.

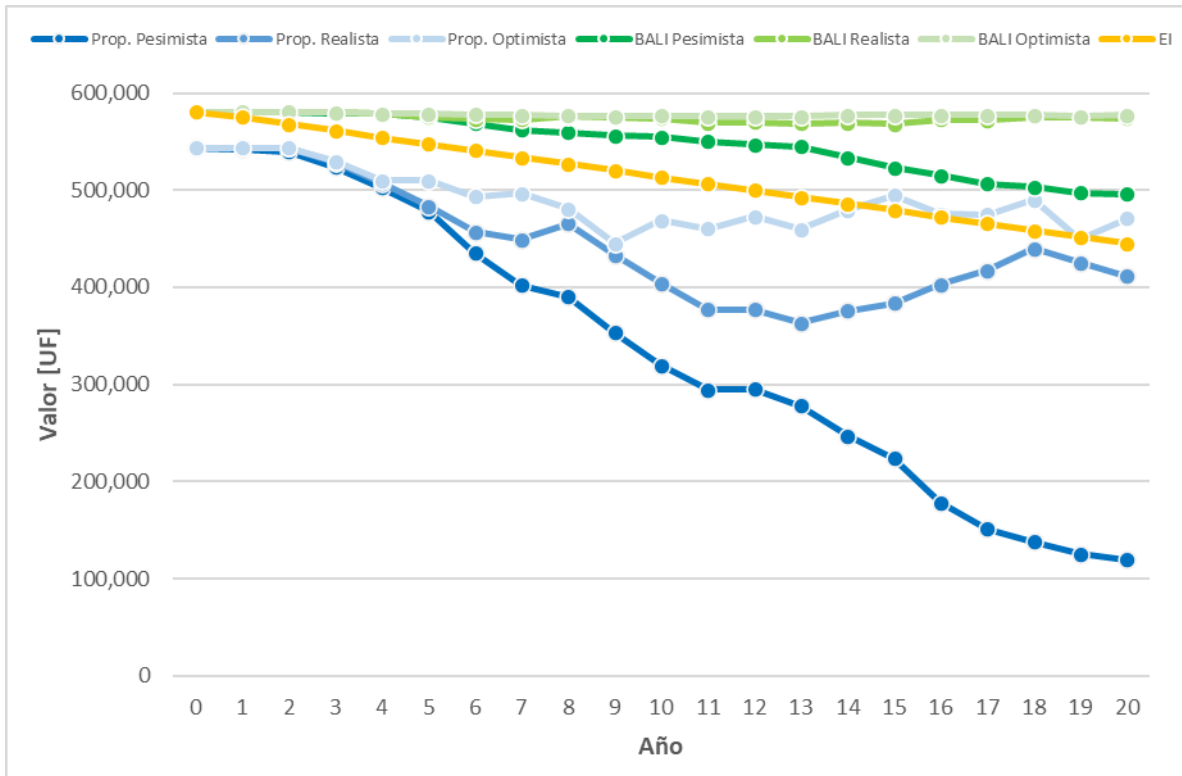


Figura 5.13. Valor en UF obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta I).

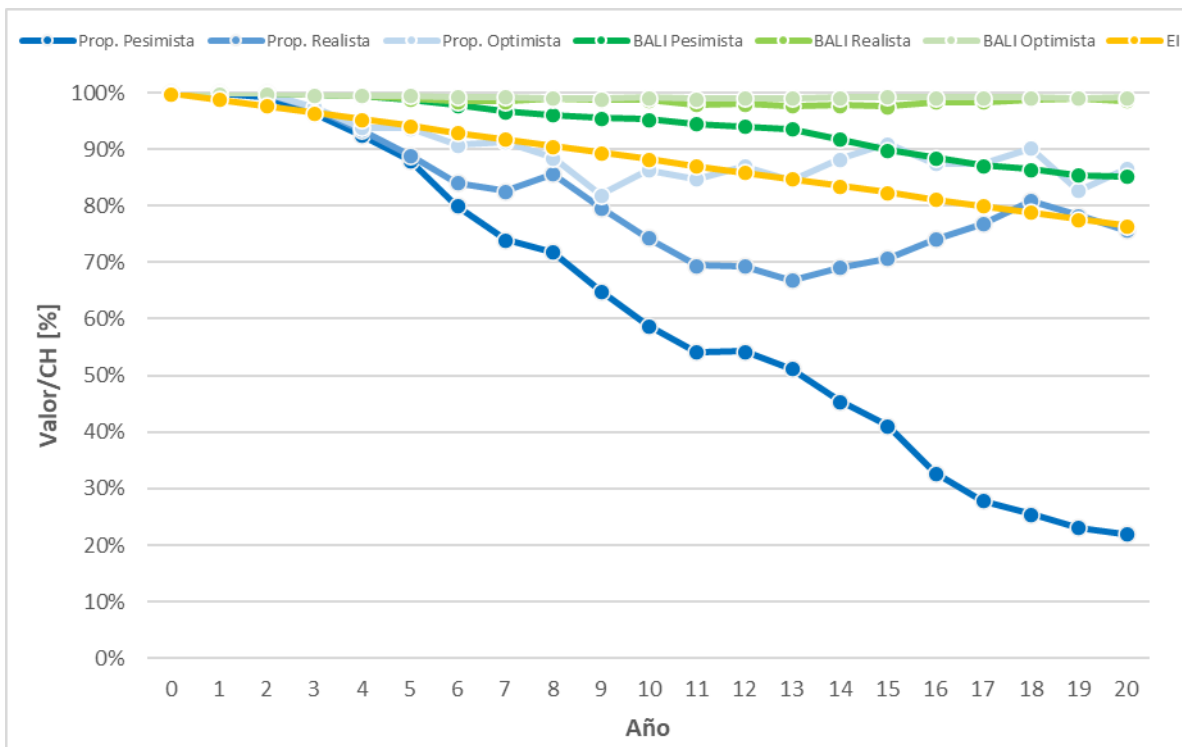


Figura 5.14. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta I).

En la Figura 5.15 y la Figura 5.16 se presenta el valor obtenido con el modelo propuesto sin TC y el modelo actual DV en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Se comparan estos dos modelos por separado debido a que ambos no consideran la transferencia de carga en la valorización.

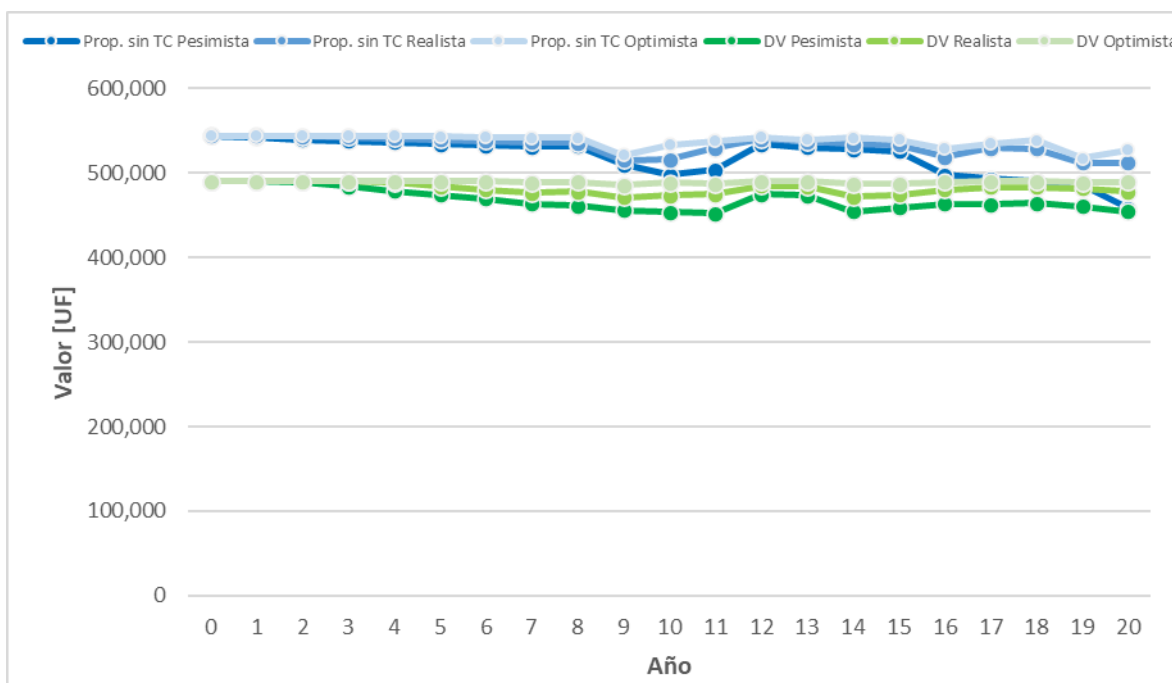


Figura 5.15. Valor en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta I).

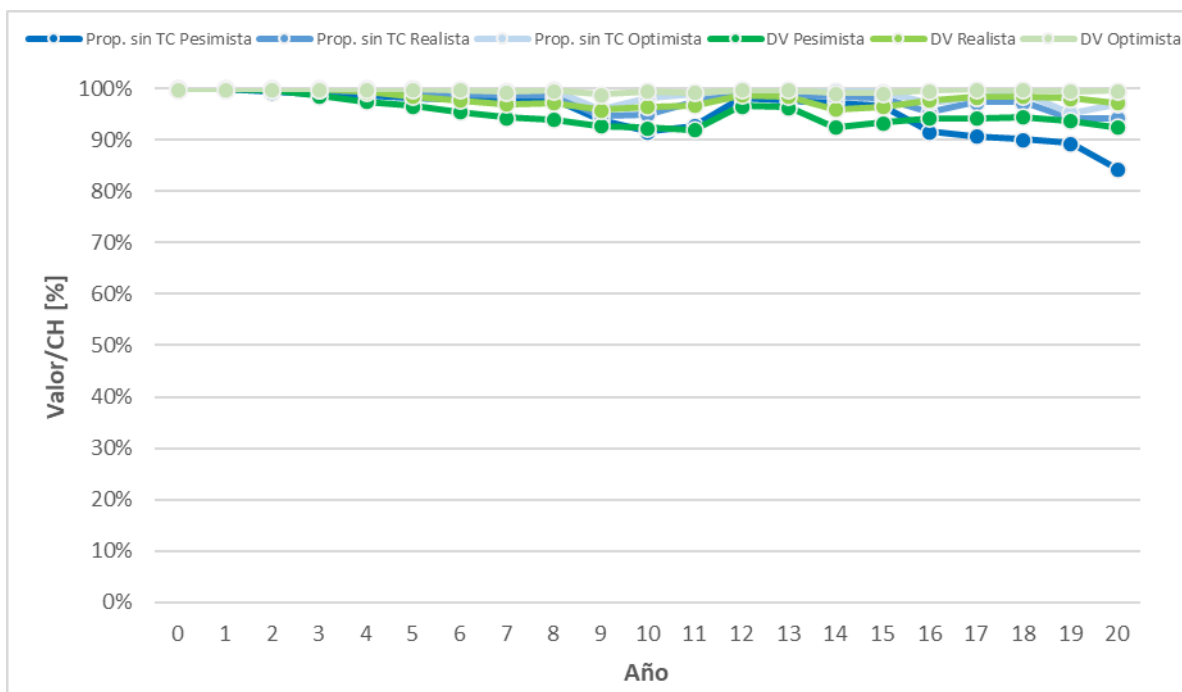


Figura 5.16. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta I).

A modo de resumen, en la Tabla 5.23 se presentan los mínimos, promedios y máximos del porcentaje de valor respecto al costo histórico, obtenidos en todo el periodo de análisis con los diferentes modelos en los tres escenarios.

Tabla 5.23. *Mínimo, promedio y máximo para el porcentaje de valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales en cada escenario (Ruta I).*

Escenario	Modelo	Mínimo	Promedio	Máximo
Pesimista	Propuesto	22.0%	62.0%	100.0%
	Propuesto sin TC	84.3%	95.3%	100.0%
	Actual EI	76.5%	88.2%	99.8%
	Actual BALI	85.3%	94.1%	99.8%
	Actual DV	92.0%	95.3%	99.8%
Realista	Propuesto	66.8%	81.8%	100.0%
	Propuesto sin TC	94.2%	97.8%	100.0%
	Actual EI	76.5%	88.2%	99.8%
	Actual BALI	97.6%	98.7%	99.8%
	Actual DV	95.9%	98.0%	99.8%
Optimista	Propuesto	81.9%	90.2%	100.0%
	Propuesto sin TC	95.2%	98.9%	100.0%
	Actual EI	76.5%	88.2%	99.8%
	Actual BALI	98.9%	99.3%	99.8%
	Actual DV	98.9%	99.6%	99.8%

Como se puede observar, el valor que entrega cada modelo para el año 0 es independiente del escenario, ya que corresponde al año inicial en donde el pavimento no presenta deterioros. Esto se debe al supuesto de que se encuentra recién construido, es decir, en condición “como nuevo”. Por otro lado, se puede apreciar que no existe pérdida de valor con el modelo propuesto, y el valor en el año inicial corresponde al costo histórico. En cambio, con los modelos actuales EI, DV y BALI si existe una pérdida de valor en el año inicial, que corresponde aproximadamente a un 0.2% del costo histórico. Lo anterior ocurre porque estos últimos modelos consideran el costo de conservación rutinaria cuando el ICP se encuentra en estado “Muy Bueno”, existiendo una pérdida de valor incluso cuando el pavimento no presenta deterioros. En efecto, dichos modelos se basan en la metodología de valorización del patrimonio vial de la DV, cuyos objetivos son presupuestarios a nivel de red y no de gestión a nivel de proyecto como los del modelo de valorización propuesto. La pérdida de valor para los tres modelos actuales en los tres escenarios es la misma y corresponde a UF 1,035. La pérdida de valor por conservación rutinaria en pavimentos de hormigón es relativamente baja respecto al costo histórico, debido a que incluye solo la limpieza de faja y saneamiento.

Para los años posteriores al año inicial, el valor entregado por cada modelo varía según el escenario, ya que estos últimos poseen criterios de progresión de deterioro distintos. En general, para todos los escenarios el modelo propuesto entrega valores menores que los modelos actuales EI-BALI. Los valores que entregan se vuelven similares únicamente cuando el modelo propuesto es aplicado en el escenario optimista y los actuales en el pesimista. En particular, la variación de los valores mínimos entre un escenario pesimista y optimista corresponden a 59.9%, 13.6% y 0% para el modelo propuesto, actual BALI y actual EI, respectivamente. Por otro lado, la variación de los valores mínimos entre un escenario realista y optimista corresponden a 15.1%, 1.3% y 0% para el modelo propuesto, actual BALI y actual EI, respectivamente.

En cuanto a la versión del modelo propuesto sin la transferencia de carga (TC) se puede apreciar que entrega valores en UF mayores que el modelo actual DV, que tampoco considera dicho indicador.

Sin embargo, los valores respecto al costo histórico entregado por ambos modelos son similares en el tiempo, siendo el modelo propuesto sin TC ligeramente más sensible a los escenarios de gestión. En particular, la variación de los valores mínimos entre un escenario pesimista y optimista corresponden a 10.9% y 6.9% para el modelo propuesto sin TC y actual DV, respectivamente. Por otro lado, la variación de los valores mínimos entre un escenario realista y optimista corresponden a 1% y 3% para el modelo propuesto sin TC y actual DV, respectivamente. Sin perjuicio de lo anterior, es necesario recalcar que estos modelos subestiman la pérdida de valor del pavimento, al no considerar la capacidad estructural a través de la transferencia de carga.

De esta forma, se puede afirmar que el modelo de valorización propuesto captura de forma más notoria los cambios de desempeño del pavimento en el tiempo, en comparación con los modelos actuales. La mayor sensibilidad que entrega el modelo propuesto para la pérdida de valor en los distintos escenarios se explica principalmente por las diferencias en el cálculo del costo de rehabilitación respecto a los modelos actuales, las cuales se presentan en la Tabla 5.24 de la siguiente página.

Por otro lado, el efecto sobre el valor de aplicar distintos límites del ICP en los modelos actuales no es tan significativo, como sí lo son la definición de porcentajes de intervención para cada actividad y la consideración estructural. En efecto, al aplicar intervenciones en toda la sección de pavimento, el modelo actual DV tiene costos de conservación funcional por ICP mayores a los correspondientes a los modelos EI y BALI. Sin embargo, debido a que el primero no toma en cuenta la condición estructural, entrega pérdidas de valor similares a los modelos EI y BALI. En cuanto al costo de conservación estructural del modelo actual BALI, en este informe no se utilizó la ecuación AASHTO al no contar con la información de EE de diseño. Por lo tanto, los resultados de dicho modelo podrían ser más exactos si es que se tienen todos los datos requeridos. Además, en cuanto al modelo actual EI, este propone una misma intervención en todas las secciones de pavimento para la obtención del costo estructural. Lo anterior implica que dicho modelo entrega prácticamente los mismos resultados para los tres escenarios y no es sensible al desempeño de los indicadores, al predominar el costo estructural por sobre el funcional en todos los escenarios. Cabe mencionar que el modelo actual EI corresponde a una cota inferior para los resultados de los modelos actuales. En efecto, dicho modelo corresponde a una solución determinada en el estudio integral de la ruta a partir de un criterio conservador.

Por último, es posible mencionar que si no se considera la transferencia de carga en el modelo propuesto se obtienen pérdidas de valor mucho menores que al sí tomar en cuenta dicho indicador. Incluso, se puede apreciar que entre el año 10 y 15 existe un aumento de valor con el modelo propuesto sin la transferencia de carga, lo cual también ocurre con el modelo actual DV, pero de forma menos notoria. Lo anterior se debe al alto costo de la actividad de rehabilitación asociada al indicador, que corresponde a la colocación de barras de traspaso de carga. En efecto, el costo de dicha actividad aplicada en cada junta es aproximadamente igual al costo de construir una losa. Cabe mencionar que en esta ruta el costo de reemplazar una losa es casi el triple de construirla. Sin embargo, debido al bajo porcentaje de losas agrietadas incluso en el escenario pesimista, los costos asociados a este indicador son considerablemente menores a los costos asociados a la transferencia de carga.

Tabla 5.24. Diferencias en cálculo de costo de rehabilitación entre modelo de valorización propuesto y modelos actuales utilizados en Chile.

Diferencia	Modelo propuesto	Modelos actuales
Relación entre actividades de rehabilitación e indicadores técnicos	Considera el costo de una única actividad de rehabilitación asociada a cada indicador técnico por separado, de acuerdo a umbrales de carreteras concesionadas interurbanas en fase de explotación.	Aglomeran los indicadores de IRI y agrietamiento para el cálculo del costo de conservación funcional. En particular, se asignan actividades de conservación entre diferentes alternativas dependiendo del estado del índice ICP, que no está adaptado a estándares de carreteras concesionadas y no considera la resistencia al deslizamiento. En cuanto a la metodología en la que se basan los modelos EI y BALI, esta aglomera los indicadores de IRI y transferencia de carga para el cálculo del costo de conservación estructural. En particular, se asignan actividades de conservación entre diferentes alternativas, de forma de igualar los Ejes Equivalentes (EE) remanentes a los EE de diseño. Cabe mencionar que el cálculo de EE remanentes se realiza por medio de la ecuación AASHTO para diseño de pavimentos nuevos, sin considerar umbrales de desempeño correspondientes a carreteras concesionadas interurbanas en fase de explotación.
Relación entre porcentajes de intervención para cada actividad y nivel de desempeño de los indicadores técnicos	Considera el costo de reemplazo de las losas agrietadas de cada sección de pavimento. También considera una proporción del costo de la instalación de barras de traspaso de carga en la longitud no agrietada y del cepillado de la superficie completa de la sección, de acuerdo con el nivel de desempeño de los indicadores correspondientes (transferencia de carga, IRI y SFC).	Utilizan porcentajes de intervención fijos para las actividades, tanto para el costo de rehabilitación funcional como estructural. Dichos porcentajes son 10% para sello de juntas, y 25 % para reemplazo y cepillado de losas, en el caso del costo funcional de los modelos actuales EI y BALI. En el modelo actual DV no se aplican dichos porcentajes y las actividades son aplicadas en toda la sección. En el caso del costo estructural, solamente utilizado en los modelos BALI y EI, los porcentajes son de 15% para la colocación de barras de traspaso de carga e inyección de mortero, manteniendo los porcentajes mencionados anteriormente para sello de juntas y cepillado. Cabe mencionar que en el caso del modelo actual EI, para el costo estructural se considera la misma intervención para todas las secciones de pavimento, independiente del desempeño de los indicadores técnicos.

5.2. Ruta II

5.2.1. Caracterización de la vía e información disponible

Esta ruta se ubica en la zona centro del país, y comprende un total de 426.6 km-pista de longitud de pavimento, donde 109.6 km-pista corresponden a pavimento de hormigón, es decir, un 26% de la longitud total de la vía principal aproximadamente. En la Figura 5.17 se presenta el esquema de la enumeración de las pistas de la ruta (MOP, 2021b). En particular, el pavimento de hormigón está distribuido en 4 pistas, las cuales tienen un ancho de 3.5 metros.

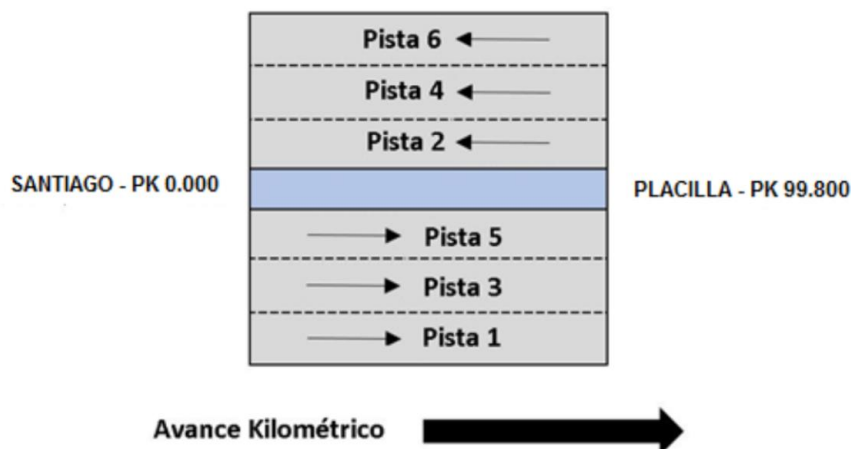


Figura 5.17. Esquema de la enumeración de las pistas en la Ruta II (MOP, 2021b).

Por otro lado, para la aplicación del modelo de valorización propuesto se requiere de tres tipos de datos: información de inventario, de precios unitarios y condición. La información de inventario disponible corresponde a la estructura, longitudes y espesores del pavimento obtenidos por medio de medición con georradar (MOP, 2021b), los cuales se presentan en la Tabla 5.25.

Tabla 5.25. Estructura y espesores del pavimento de hormigón en la Ruta II (MOP, 2021b).

Tramo	Km inicio	Km fin	Longitud [km]	Pistas	Subbase granular [cm]	Base granular [cm]	Losas de hormigón [cm]
1	21	23.8	2.8	2-4	12	0	24
2	31.2	39.6	8.4	1-3	16	20	24
3	39.6	48.8	8.4	2-4	12	0	25
4	59.8	62	2.2	1-3	17	15	25
5	62	68	6	1-3/2-4	17/0	15/14	25/24
6	68	72.4	4.4	2-4	0	14	24
7	78	81.2	3.2	2-4	15	13	25
8	81.2	82.8	1.6	1-3/2-4	15/12	13/0	25/25
9	82.8	83.8	1	2-4	12	0	25
10	86.4	95.6	9.2	2-4	12	0	25

No se tienen datos de precios unitarios para esta ruta, por lo que para la valorización se utilizan los precios de la Ruta I presentados en la Tabla 5.2.

Los datos de condición disponibles provienen del seguimiento funcional y evaluaciones estructurales del pavimento realizadas desde el año 2007 al 2020 (MOP, 2021b). Respecto a la información disponible se distinguen datos para los siguientes indicadores:

- **Regularidad longitudinal:** Para los años 2010, 2013, 2018 y 2020 se tienen los datos de Mean Roughness Index (MRI) cada 200 m, excepto cuando existe alguna singularidad como un puente, paso superior, peaje o cambio de pavimento, donde este indicador no se reporta.
- **Resistencia al deslizamiento:** Para los años 2010, 2013, 2018 y 2020 se tienen datos de SFC equivalente reportados cada 200 m por pista.
- **Agrietamiento:** Para el año 2018 se tienen los datos de inspección visual reportados cada 40 losas por km, y para el año 2020 se cuenta con datos de una inspección visual realizada en el 100% de las losas. Para cada losa inspeccionada, se distingue la presencia de grietas según tipo y severidad (baja, media y alta), y el número de trozos. Cabe mencionar que, no se cuenta con el porcentaje de losas agrietadas directamente, por lo que los datos deben ser procesados para obtener dicho indicador.
- **Transferencia de carga:** Para el año 2020, se cuenta con mediciones puntuales cada 50 m en las pistas 3 y 4.

De esta forma, la información disponible en cuanto a datos de condición debe ser adaptada al formato de evaluación de cada indicador de acuerdo con la ficha técnica correspondiente, presentada en el Anexo A. Además, debido a la falta de información que se tiene en algunos años y/o secciones de pavimento, el procesamiento de los datos se realiza para dos análisis distintos:

1. Aplicación del modelo propuesto solo en secciones de 50 m con información disponible en un año puntual.
2. Comparación del modelo propuesto con modelos actuales usando secciones de 200 m en un periodo de análisis de 20 años.

Las consideraciones tomadas para el procesamiento de datos para cada uno de estos análisis y los resultados obtenidos se detallan a continuación.

5.2.2. Aplicación del modelo propuesto en secciones con datos disponibles

a. Procesamiento de datos

Para este análisis, se consideran solo aquellas secciones de pavimento con suficiente información disponible para aplicar el modelo de valorización propuesto. En efecto, existen secciones en donde no cuenta con el valor de IRI, al ser consideradas singularidades en donde dicho indicador no debe ser medido. Además, no se cuenta con datos de transferencia de carga para las pistas 1 y 2. De esta forma, para este análisis se tienen en total 1028 secciones de aproximadamente 50 m. La suma total de la longitud de dichas secciones corresponde a 51.4 km-pista, equivalente al 46.9% de la longitud total de pavimento de hormigón, correspondiente a 109.6 km-pista. Por otro lado, solo se consideran los datos de condición del año 2020, al estar disponible en dicho año los datos de agrietamiento para el 100% de las losas. Lo anterior permite valorizar en secciones de 50 m, al conocer con exactitud el inicio y final de cada una de estas, y el porcentaje de losas agrietadas correspondiente. Para los demás indicadores el análisis requiere de algunas consideraciones:

- **Transferencia de carga:** Se consideran las medias fijas cada 1 km de las mediciones puntuales reportadas en intervalos de 50 m. Lo anterior debido a que el modelo requiere la evaluación de al menos 15 losas cada 250 m, y puede ser poco representativo usar los datos puntuales. Además, cada dato puntual reportado considera la corrección por medio del factor de deflexiones medidas para una carga en el centro de la losa. Un análisis de los resultados obtenidos al utilizar los datos no corregidos se presenta en el Anexo D.

- **MRI y SFC:** Se considera el mismo valor para las 4 secciones de 50 m que forman parte del intervalo de 200 m en el cual se reportaron estos indicadores.

La Figura 5.18 presenta el diagrama de caja y bigotes para el largo de las secciones de pavimento de hormigón, largo y número de losas en cada sección, porcentaje de losas agrietadas (AGR), porcentaje de transferencia de carga (TC), MRI y SFC. Por otro lado, en la Tabla 5.26, Tabla 5.27, Tabla 5.28 y Tabla 5.29 se presenta el promedio, desviación estándar, máximos y mínimos de las variables anteriormente mencionadas, respectivamente.

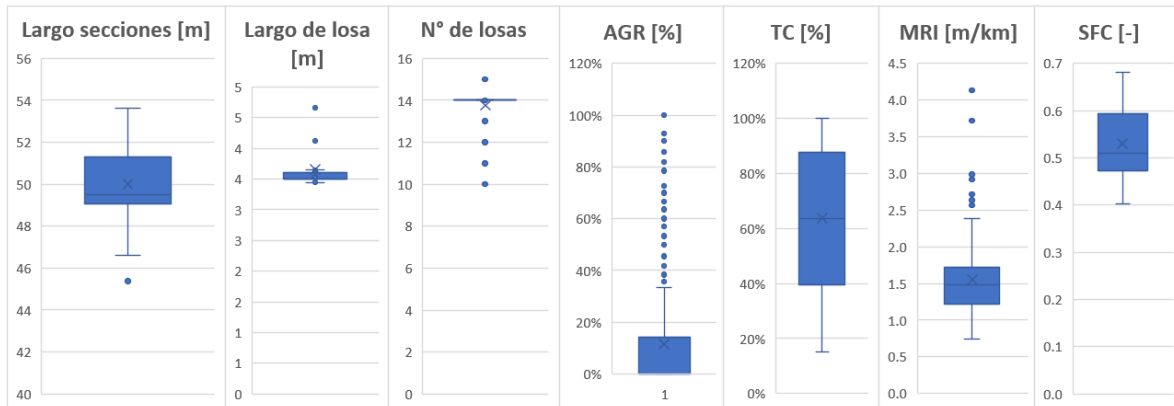


Figura 5.18. Diagrama de caja y bigotes de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II).

Tabla 5.26. Promedio por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
3	50.02	3.54	14.12	7.3%	55.6%	1.58	0.50
4	50.00	3.74	13.52	14.3%	69.2%	1.52	0.55
Total	50.01	3.66	13.75	11.5%	63.8%	1.55	0.53

Tabla 5.27. Desviación estándar por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
3	1.37	0.04	0.43	11.4%	30.3%	0.37	0.04
4	1.63	0.39	1.34	24.0%	19.6%	0.54	0.09
Total	1.53	0.32	1.11	20.3%	25.2%	0.48	0.08

Tabla 5.28. Máximo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
3	52.96	3.60	15.00	66.7%	100.0%	2.98	0.59
4	53.63	4.67	15.00	100.0%	99.8%	4.13	0.68
Total	53.63	4.67	15.00	100.0%	100.0%	4.13	0.68

Tabla 5.29. *Mínimo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2020 (Ruta II).*

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
3	46.77	3.50	13.00	0.0%	15.0%	0.98	0.42
4	45.38	3.44	10.00	0.0%	25.3%	0.74	0.40
Total	45.38	3.44	10.00	0.0%	15.0%	0.74	0.40

b. Costo histórico

El costo histórico obtenido para el pavimento de hormigón de las pistas 3 y 4 es de UF 242,675. En la Tabla 5.30 se presenta el costo histórico diferenciado para cada pista y cada elemento que conforma el paquete estructural. Adicionalmente se presenta la distribución porcentual del costo histórico entre los diferentes elementos.

Tabla 5.30. *Costo histórico por pista y total del pavimento de hormigón (Ruta II).*

Pista	Prep. Subrasante	Subbase Granular	Base Granular	Losa de Hormigón	Total pistas [UF]
3	1,463	5,674	7,697	86,127	100,962
4	2,241	4,292	3,329	131,851	141,713
Total [UF]	3,704	9,967	11,026	217,978	242,675
Distr. [%]	1.5%	4.1%	4.5%	89.8%	100%

Se puede apreciar que la losa de hormigón es la capa de mayor contribución al costo histórico, seguido de la base granular, subbase granular y la preparación de la subrasante, en ese orden.

c. Nivel de desempeño de los indicadores técnicos

El modelo de valorización propuesto requiere del nivel de desempeño de los indicadores técnicos para la obtención de la pérdida de valor asociada a cada uno. En la Tabla 5.31, Tabla 5.32, Tabla 5.33 y Tabla 5.34 se presenta el porcentaje de secciones que se encuentra en cada nivel de desempeño para el agrietamiento, transferencia de carga, MRI y SFC, respectivamente. Cabe mencionar que el nivel de desempeño del agrietamiento no se considera en el modelo propuesto, y se presenta solo de manera referencial. En efecto, el costo de rehabilitación asociado al agrietamiento corresponde directamente al costo de reemplazo de las losas agrietadas. La suma total del largo de las losas agrietadas en este caso alcanza los 5.93 km, que corresponde a un 13.0% de la longitud total del pavimento valorizado.

Tabla 5.31. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el agrietamiento en 2020 (Ruta II).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
3	56.9%	17.5%	9.4%	0.2%	16.0%
4	53.2%	15.4%	4.8%	1.8%	24.8%
Total	54.7%	16.2%	6.6%	1.2%	21.3%

Tabla 5.32. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para la transferencia de carga en 2020 (Ruta II).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
3	32.5%	0.0%	0.0%	14.8%	52.7%
4	54.8%	18.8%	11.4%	2.3%	12.7%
Total	46.0%	11.4%	6.9%	7.2%	28.5%

Tabla 5.33. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador MRI en 2020 (Ruta II).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
3	44.1%	53.2%	2.7%	0.0%	0.0%
4	58.0%	35.7%	5.0%	1.3%	0.0%
Total	52.5%	42.6%	4.1%	0.8%	0.0%

Tabla 5.34. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador SFC en 2020 (Ruta II).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
3	0.0%	6.4%	93.6%	0.0%	0.0%
4	20.3%	28.0%	51.8%	0.0%	0.0%
Total	12.3%	19.5%	68.3%	0.0%	0.0%

d. Costo de rehabilitación

El costo de rehabilitación total obtenido para el pavimento de hormigón corresponde a UF 178,687. En la Tabla 5.35 se presenta el costo de rehabilitación total diferenciado para cada pista e indicador técnico del pavimento. Adicionalmente, se presenta el porcentaje que representa el costo de rehabilitación por indicador y total respecto al costo histórico.

Tabla 5.35. *Costo de rehabilitación total diferenciado por pista e indicador técnico (Ruta II).*

Pista	AGR	TC	MRI	SFC	Total [UF]
3	18,207	63,383	870	2,872	84,463
4	54,551	36,559	1,155	2,989	94,224
Total [UF]	72,759	99,942	2,026	5,861	178,687
CRehab /CH [%]	30.0%	41.2%	0.8%	2.4%	73.6%

Se puede apreciar que el costo de rehabilitación asociado al agrietamiento (AGR) y a la transferencia de carga (TC) es considerablemente mayor que el de los otros indicadores. Lo anterior se debe al alto porcentaje de losas agrietadas y de secciones que se encuentran en nivel de desempeño “Malo” o “Muy Malo” para la TC, lo cual no ocurre para los demás indicadores. En efecto, para MRI y SFC prácticamente todas las secciones se encuentran por sobre el nivel “Aceptable”. Notar que la suma del costo asociado a los indicadores no es igual al costo de rehabilitación total, debido a la formulación del modelo propuesto.

e. Penalización por desempeño

La penalización por desempeño del pavimento de hormigón corresponde a UF 30,912. En la Tabla 5.36 se presenta el monto de penalización diferenciado para cada pista y el porcentaje que representa respecto al costo histórico.

Tabla 5.36. *Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta II).*

Pista	3	4	Total
Penalización [UF]	8,527	22,385	30,912
Penalización/CH [%]	8.4%	15.8%	12.7%

f. Valor del activo

El valor obtenido para el pavimento de hormigón es de UF 94,900. En la Tabla 5.37 se presenta el valor diferenciado para cada pista y el porcentaje que representa respecto al costo histórico.

Tabla 5.37. Valor en UF y respecto al costo histórico (Ruta II).

Pista	3	4	Total
Valor [UF]	25,026	69,874	94,900
Valor/CH [%]	24.8%	49.3%	39.1%

Se puede apreciar que el valor del pavimento de hormigón corresponde a un 39.1% de su costo histórico. A modo de comentario, se puede mencionar que el pavimento fue puesto en operación en el año 2001 (MOP, 1997). Por lo tanto, la pérdida de valor en 19 años según el modelo propuesto es de 60.1% respecto al costo histórico. Cabe mencionar que, el pavimento no ha sido valorizado en estudios integrales. Sin embargo, con los datos disponibles es posible aplicar el modelo actual utilizado en concesiones viales. En el siguiente apartado se analizan las diferencias de resultados entre el modelo propuesto y el modelo actual, y también con variantes de este último.

5.2.3. Comparación entre modelo propuesto y modelos actuales en el tiempo

a. Procesamiento de datos

Para este análisis, se consideran todas las secciones de pavimento existentes entre el inicio y final de cada tramo de diseño. Lo anterior implica completar los datos faltantes en algunas secciones con los datos de secciones aledañas. De esta forma, la suma total de la longitud de las 548 secciones de 200 m a evaluar en este caso corresponde a 109.6 km-pista, equivalente al 100% de la longitud total del pavimento de hormigón en la ruta. Además, para la conservación rutinaria considerada en los modelos actuales, se define un porcentaje de los valores descritos en la Tabla 5.2, ya que no solo consideran la conservación de la calzada. El porcentaje corresponde a 73%, determinado a partir de la razón entre el ancho de calzada, y la suma del ancho de la calzada y berma de la vía.

Por otro lado, se consideran los datos de condición disponibles desde los años 2010, 2013, 2018 y 2020. Debido a las características de la información disponible, la valorización se realiza para secciones de 200 m, tanto para el modelo propuesto como los modelos actuales. En función de lo anterior, se tomaron las siguientes consideraciones para los indicadores técnicos:

- **Porcentaje de losas agrietadas:** Para el año 2018 se considera el mismo valor para las 5 secciones de 200 metros ubicadas en cada km, correspondiente al porcentaje de losas agrietadas dentro de las 40 losas inspeccionadas en cada km. Para el año 2020 se considera el porcentaje de losas agrietadas correspondiente a cada sección de 50 m, de acuerdo a lo reportado en la inspección visual del 100% de las losas.
- **Transferencia de carga:** Se considera las medias fijas cada 1 km de las mediciones puntuales reportadas cada 50 metros para las pistas 3 y 4 en 2020. Por cierto, antes del cálculo de las medias fijas, cada dato puntual reportado es corregido, ya que fueron medidos en diferentes condiciones horarias y de temperatura, que pueden estar sub o sobrestimando su valor. El detalle de las correcciones realizadas se presenta en el Anexo D, donde también se incluye un análisis de sensibilidad del modelo propuesto a diferentes consideraciones para la transferencia de carga.
- **MRI y SFC:** Se considera directamente los valores reportados en cada sección de 200 m en los años 2010, 2013, 2018 y 2020. Para el caso de secciones sin datos de MRI, se completaron con valores promedio de las secciones anterior y siguiente, o con el valor de la sección más cercana en caso de encontrarse al final o inicio de un tramo de diseño. En los años 2010 y 2013 se realizaron dos mediciones en diferentes meses para el indicador MRI.

En la Figura 5.19, Figura 5.20 y Figura 5.21 se presenta el diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas y transferencia de carga, MRI y SFC, respectivamente.

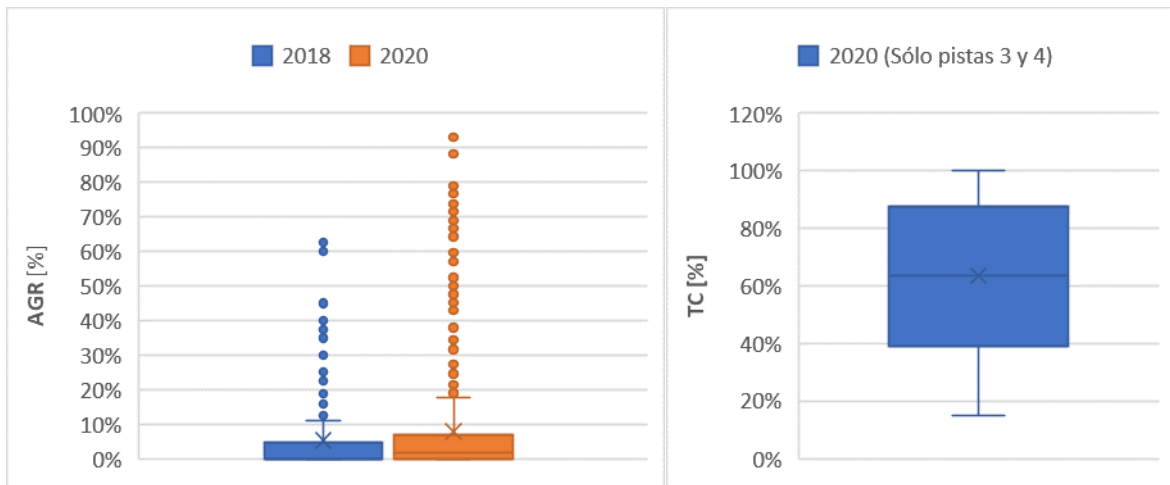


Figura 5.19. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas en 2018 y 2020, y transferencia de carga en 2020 (Ruta II).

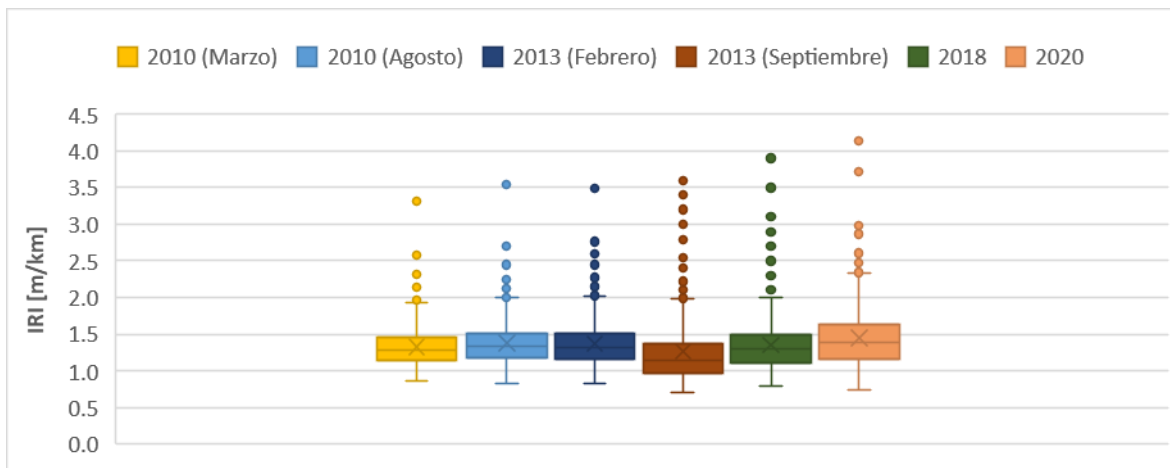


Figura 5.20. Diagrama de caja y bigotes del indicador MRI en 2010, 2013, 2018 y 2020 (Ruta II).

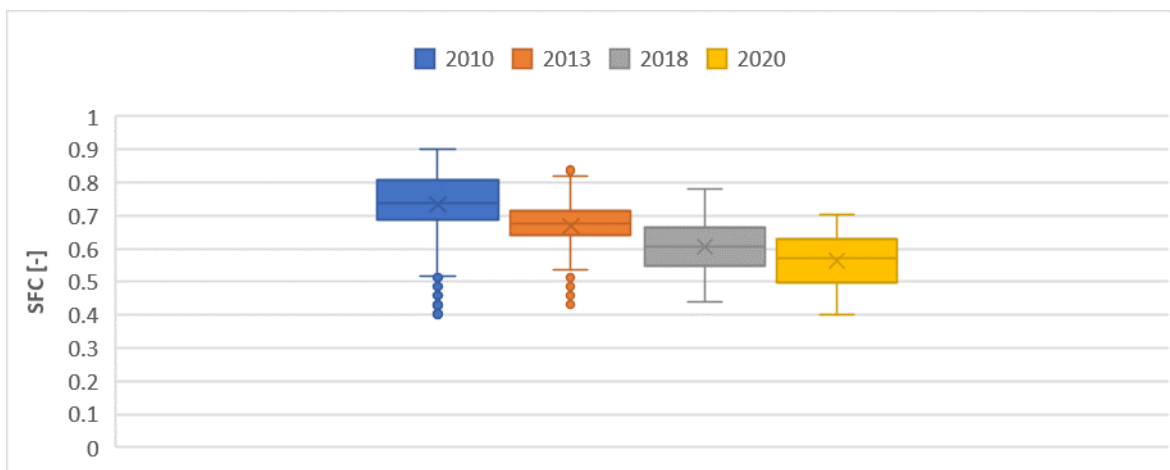


Figura 5.21. Diagrama de caja y bigotes del indicador SFC en 2010, 2013, 2018 y 2020 (Ruta II).

b. Costo histórico

En la Tabla 5.38 se presenta el costo histórico obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales, diferenciado por los elementos que componen el paquete estructural. De forma complementaria se presenta el porcentaje de participación de cada elemento en el costo histórico total.

Tabla 5.38. Costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales (Ruta II).

Elemento	Propuesto		Actual EI-BALI		Actual DV	
	[UF]	[%]	[UF]	[%]	[UF]	[%]
Losas de Hormigón	464,940	89.9%	474,277	85.1%	396,805	84.3%
Base Granular Chancada	23,085	4.5%	75,210	13.5%	37,605	8.0%
Subbase Granular	21,315	4.1%	0	0.0%	28,397	6.0%
Preparación de la Subrasante	7,897	1.5%	7,897	1.4%	7,897	1.7%
Total	517,237	100.0%	557,385	100.0%	470,705	100.0%

Como se puede observar, las losas de hormigón son la capa del pavimento de mayor contribución al costo histórico, tanto para el modelo propuesto como para los modelos actuales. Sin embargo, el costo histórico total y la distribución por elemento difieren en cada modelo. Lo anterior se explica por el hecho de que el modelo propuesto considera el espesor de capa correspondiente a cada sección del pavimento según los datos de inventario disponibles de la ruta. En cambio, los modelos actuales consideran espesores iguales para todas las secciones de pavimento, que corresponden a valores promedio definidos a partir del inventario (EI-BALI) o de la zona geográfica en donde se emplaza el proyecto (DV). Esto significa que los modelos actuales subestiman o sobreestiman el costo histórico en algunas secciones del pavimento. En particular, si se toma como base los modelos actuales EI-BALI, la diferencia porcentual en costo histórico obtenido con el modelo propuesto es de -7.2% y con el modelo DV es de -15.6%. Dicho de otra forma, con el modelo propuesto se obtiene un resultado intermedio respecto a los modelos utilizados en concesiones viales (EI-BALI) y en la red vial no concesionada (DV).

c. Escenarios de progresión de deterioro en el tiempo

Para la progresión del deterioro de cada uno de los indicadores técnicos se definen tres escenarios: pesimista, realista y optimista. Estos escenarios se basan en las mediciones reales en 2010, 2013, 2018 y 2020 presentadas anteriormente, y en los umbrales admisibles tanto del contrato de concesión correspondiente (MOP, 1997) como los del modelo de valorización propuesto. Estos umbrales se presentan en la Tabla 5.39. Notar que en las bases de licitación no se definen umbrales admisibles para la transferencia de carga entre losas.

Tabla 5.39. Umbrales admisibles según bases de licitación y modelo de propuesto (Ruta II).

Característica	Indicador técnico	Bases de licitación	Modelo Prop.
Regularidad longitudinal	MRI puntual	3.5 m/km	3.5 m/km
Resistencia al deslizamiento	SFC equiv.	0.40 y 0.55 [-]	0.40 [-]
Agrietamiento	% Losas agrietadas (AGR)	15% (Sólo alta severidad)	15%
Capacidad estructural	% Transferencia de carga (TC)	-	50%

A partir de esta información se define que los datos reales con los que se cuenta corresponden a un escenario pesimista. El motivo para definir esto se debe al aumento de exigencias para el indicador de agrietamiento y transferencia de carga, particularmente. En caso de que el concesionario no logre ajustarse a las nuevas exigencias de servicio, se asume que puede mantener, al menos, los estándares

antiguos. De esta forma, se convierten los datos reales en un escenario posible, pero de mala gestión de acuerdo con el nivel de servicio entregado a los usuarios. Cabe mencionar que, independiente de que los umbrales para MRI y SFC sean similares al modelo NS, igual hay secciones de pavimento que no cumplen con los estándares correspondientes de la base de licitación, por lo que se decide utilizar esta información como un escenario pesimista.

Dado que se define que la infraestructura es nueva, se asume que los indicadores se encuentran en nivel de desempeño “Muy Bueno” en el año 0. Para los años 10, 13, 18 y 20 de la concesión tipo se utilizan los datos reales disponibles de los indicadores para los años 2010, 2013, 2018 y 2020, respectivamente. Los datos de MRI medidos en agosto de 2010 y en septiembre de 2013, se asumen representativos para los años 11 y 14 de la concesión tipo, respectivamente. Para los años sin información disponible para los indicadores, se aplica interpolación lineal entre los años en donde existe disponibilidad de datos. Para las pistas 1 y 2, se asume que la transferencia de carga es la misma que la de las pistas 3 y 4, respectivamente, al haber sido medida únicamente en estas últimas.

Para los escenarios realista y optimista se toman las mediciones reales y se varían en un cierto rango para tener un nivel de desempeño mejor, donde el concesionario se ajusta a los niveles de servicio (escenario realista) y donde tiene un desempeño aún mejor que ajustarse a las exigencias mínimas de servicio (escenario optimista). En la Tabla 5.40 se presentan los rangos de variación que tienen los datos reales en los escenarios realista y optimista.

Tabla 5.40. *Umbrales admisibles y rangos de variación para los diferentes escenarios (Ruta II).*

Indicador técnico	Umbral BALI correspondiente	Umbral Modelo NS	Escenario Pesimista	Escenario realista	Escenario optimista
MRI puntual	3.5 m/km	3.5 m/km	Datos reales	Datos reales (*)	- 0.5 m/km (*)
SFC equiv.	0.40 y 0.55 [-]	0.40 [-]	Datos reales	Datos reales (*)	+ 0.05 [-] (*)
Agrietamiento (AGR)	15% (Sólo alta severidad)	15%	Datos reales	Intervención 15% AGR	Intervención 10% AGR
Transferencia de carga (TC)	-	50%	Datos reales	Intervención 50% TC (*)	Intervención 60% TC (*)

(*) Los escenarios realista y optimista para los indicadores IRI, SFC y TC están sujetos a la intervención asociada al AGR.

Por ejemplo, si una sección de pavimento tiene un MRI de 2.63 m/km, en el escenario realista el valor es de 2.63 m/km, y en el escenario optimista es de 2.13 m/km (-0.5 m/km). Para el indicador SFC el proceso es similar a MRI. Para el agrietamiento existen diferencias significativas entre el umbral de las bases de licitación y del modelo propuesto, por lo que se opta por otra alternativa para la progresión de deterioro. Esta alternativa corresponde a utilizar la curva de los datos reales, pero cuando una sección alcanza el umbral "Malo" (15% losas agrietadas) se realiza un reemplazo de las losas agrietadas y un cepillado de la superficie en un escenario realista. Para un escenario optimista el umbral de intervención es de 10% de losas agrietadas, es decir, se interviene al llegar a nivel de desempeño “Aceptable”. Por cierto, el reemplazo de losas devuelve a la sección a nivel “Muy Bueno” en agrietamiento, MRI y SFC, por lo que, se "reinicia" la curva de deterioro para estos indicadores. En cuanto a la transferencia de carga, no existen umbrales definidos en las bases de licitación. Por lo tanto, para este indicador se usa la curva lineal asumida y explicada anteriormente, pero en los escenarios realista y optimista, se colocan barras de traspaso de carga cuando una sección alcanza el umbral "Malo" (50%) y “Aceptable” (60%), respectivamente, que la devuelve a nivel “Muy Bueno”. Además, se asume que cuando se reemplazan las losas agrietadas, la curva lineal de deterioro de la transferencia de carga retrocede 4 y 2 años para los escenarios realista y optimista, respectivamente.

Otro aspecto por considerar para el tratamiento de la información es la calificación global de cada indicador técnico según el modelo de nivel de servicio (Delgadillo et al., 2020). Tanto para el escenario realista como optimista se considera que la calificación global de los indicadores puede ser “Muy Bueno”, “Bueno” o “Aceptable”, ya que el concesionario no va a incurrir en penalizaciones

por un mal servicio. En función de lo anterior, si luego de aplicar los rangos de variaciones de la Tabla 5.17 la calificación global no cumple con el nivel de servicio mínimo, se varían aquellas secciones con indicadores en niveles “Malo” o “Muy Malo”, que afectan la calificación global. Por ejemplo, en el escenario realista, todas las secciones que tengan un MRI en nivel “Muy Malo” se cambian a nivel “Malo”, mientras que para el escenario optimista se cambian a nivel “Aceptable”. Criterios similares se tomaron para los demás indicadores técnicos. Es importante mencionar que la calificación global de los indicadores se considera para tener una compatibilidad entre el nivel de servicio a los usuarios y la valorización de los activos de la carretera. Sin embargo, el modelo de valorización considera el nivel de desempeño de cada indicador para cada sección de pavimento de manera independiente.

De esta manera, se completa la información para los 20 años de análisis y los tres escenarios. El porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para los diferentes indicadores y escenarios se pueden encontrar en la Tabla C.8, Tabla C.9, Tabla C.10 y Tabla C.11 del Anexo C. Cabe mencionar, que el nivel de desempeño del agrietamiento no se utiliza en el modelo de valorización propuesto, ya que este considera el costo de reemplazo de las losas agrietadas. La longitud total en km de las losas agrietadas en cada año del periodo de análisis se presenta en la Tabla 5.41.

Tabla 5.41. Longitud total en km de las losas agrietadas por escenario (Ruta II).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	0.0	0.3	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.8	7.2	8.7
Rea.	0.0	0.3	0.6	1.0	1.3	1.6	1.5	1.5	1.7	1.7	1.9	2.2	1.9	2.1	2.1	2.4	2.5	2.7	2.3	3.4	3.4
Opt.	0.0	0.3	0.6	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.8	1.5	1.8	1.8	1.9	1.7	2.0	1.9	2.8	2.4

A modo de visualización, se presenta en la Figura 5.22 de la siguiente página los porcentajes de secciones en cada nivel de desempeño para el año inicial (año 0), tres años intermedios (año 5, 10 y 15) y para el último año de análisis (año 20), asociados al indicador de transferencia de carga.

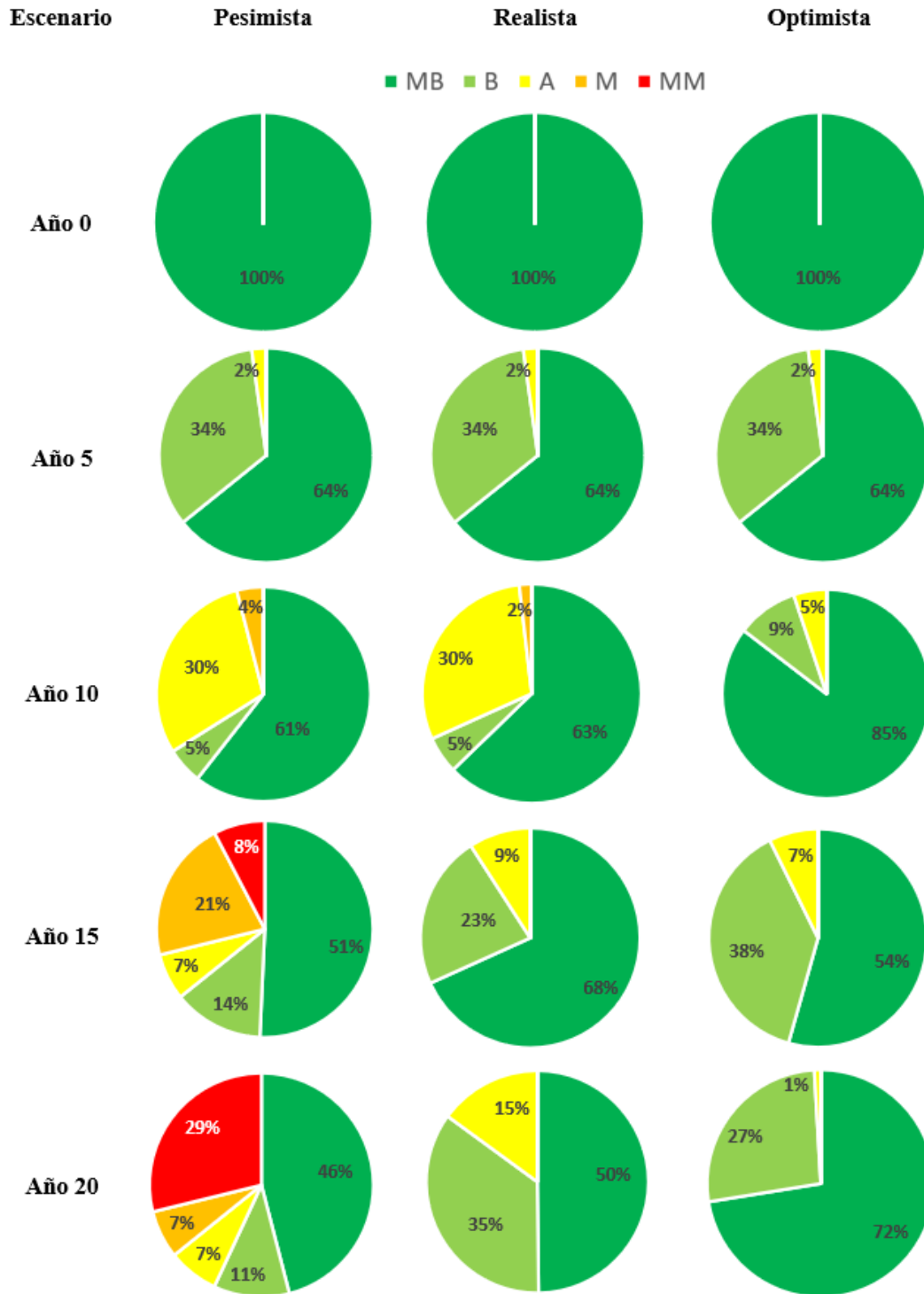


Figura 5.22. Porcentaje de secciones en los diferentes niveles de desempeño en transferencia de carga para los tres escenarios (Ruta II).

Como se puede observar, en los tres escenarios se comienza con el 100% de las secciones en nivel Muy Bueno, ya que se asume que el pavimento está recién construido. Luego, se observa que el porcentaje de secciones en este nivel disminuye notoriamente para el escenario pesimista. De todas maneras, se recalca que la información está basada en las mediciones reales de la ruta analizada.

Finalmente, a partir de todo el procesamiento de la información y la definición de los escenarios de progresión, se presenta en la Tabla 5.42, Tabla 5.43, Tabla 5.44 y Tabla 5.45 la calificación global del agrietamiento, transferencia de carga, MRI y SFC para los tres escenarios de progresión de deterioro, respectivamente. La metodología de obtención de esta calificación se indica en las fichas técnicas de cada indicador, presentadas en el Anexo A.

Tabla 5.42. Progresión de la calificación global del agrietamiento por escenario (Ruta II).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	B	B	A	A	A	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM
Rea.	MB	MB	MB	B	B	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Opt.	MB	MB	MB	B	B	B	B	B	B	B	MB	B	MB	B	B	B	MB	B	B	A	A

Tabla 5.43. Progresión de la calificación global de transferencia de carga por escenario (Ruta II).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	A	A	M	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	B	A	A	B	A	A	B	B	B	B	B	B
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	B	B	B	MB	B	MB	B	B	B	B	B	MB

Tabla 5.44. Progresión de la calificación global del indicador MRI por escenario (Ruta II).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	M	B	MB	MB	MB	MB	MB
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB

Tabla 5.45. Progresión de la calificación global del indicador SFC por escenario (Ruta II).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	B	B	B	B	B	B	B	B
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	B
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B

La información anteriormente presentada es utilizada únicamente por el modelo propuesto. Los modelos actuales requieren de la evaluación del estado del Índice de Condición de Pavimento (ICP) y de la transferencia de carga según guía AASHTO. El porcentaje de secciones en cada estado del ICP y de la transferencia de carga según guía AASHTO para los diferentes indicadores y escenarios se puede encontrar en la Tabla C.12, Tabla C.13 y Tabla C.14 del Anexo C.

Los resultados de costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento para los tres escenarios en el periodo de análisis se presentan a continuación. Cabe mencionar, que el costo de rehabilitación corresponde a la pérdida de valor del pavimento en cada año según cada modelo, y no a la inversión realizada por el concesionario en cada escenario de gestión.

d. Costo de rehabilitación

En la Figura 5.23 y la Figura 5.24 se presenta el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales BALI y EI en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Para el modelo actual EI, se incluye únicamente los resultados del escenario pesimista, ya que son idénticos a los otros dos escenarios, difiriendo sólo en los últimos 2 años en un porcentaje menor al 0.3% del costo histórico.

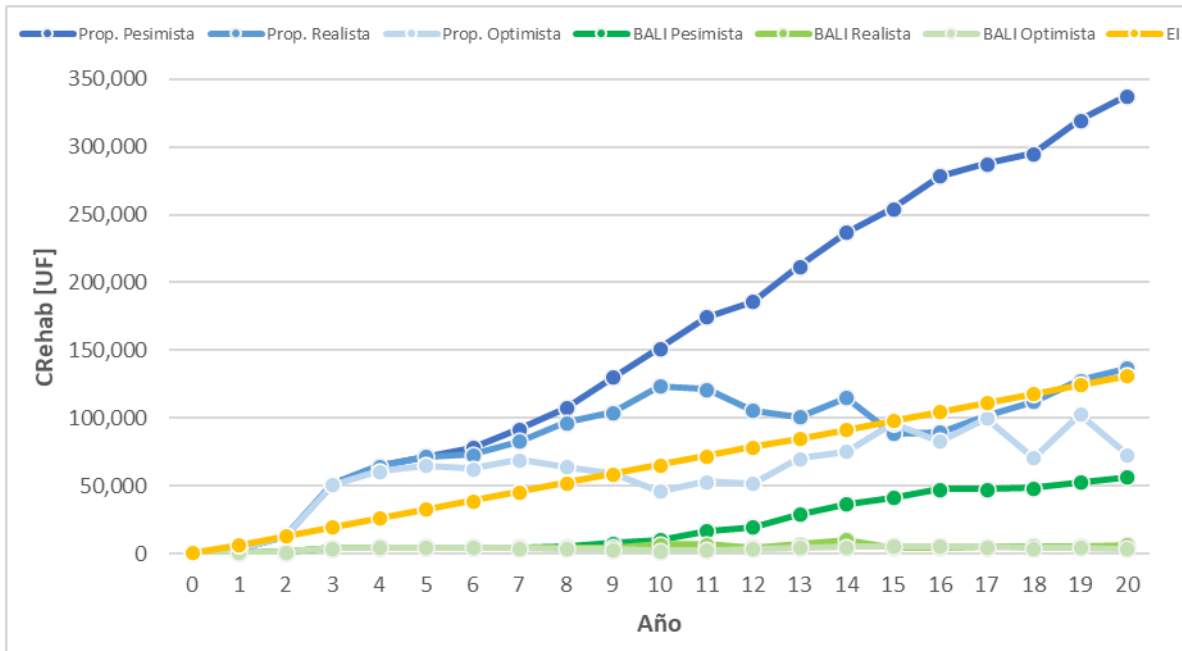


Figura 5.23. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta II).

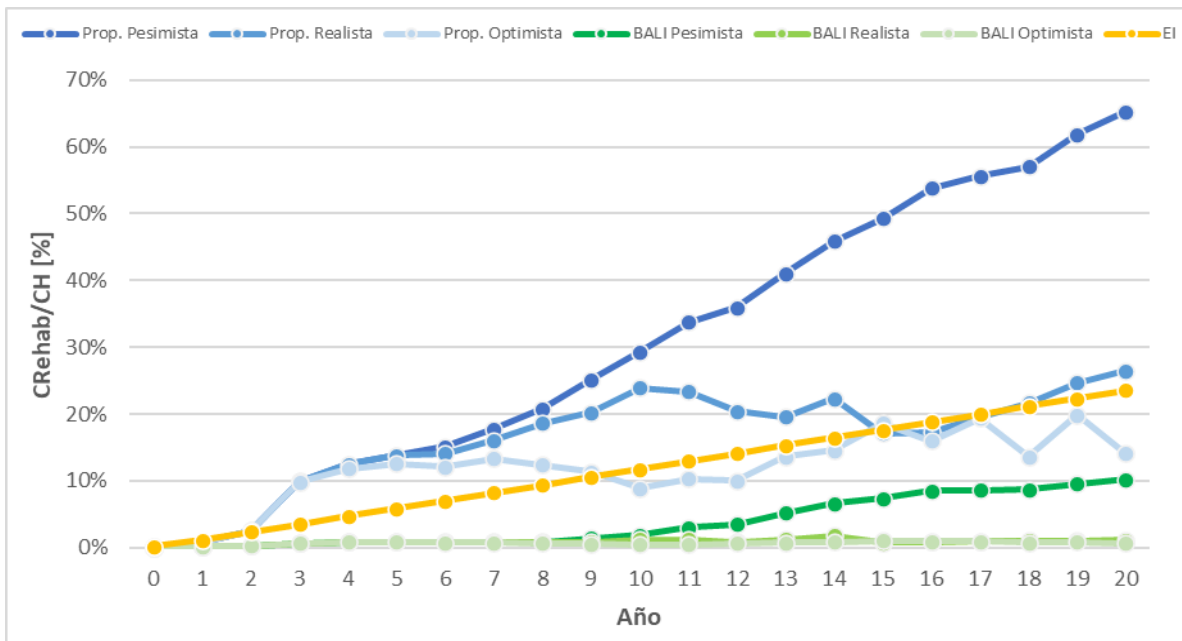


Figura 5.24. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta II).

En la Figura 5.25 y la Figura 5.26 se presenta el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto sin TC y el modelo actual DV en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Se comparan estos dos modelos por separado debido a que ambos no consideran la transferencia de carga en la valorización.

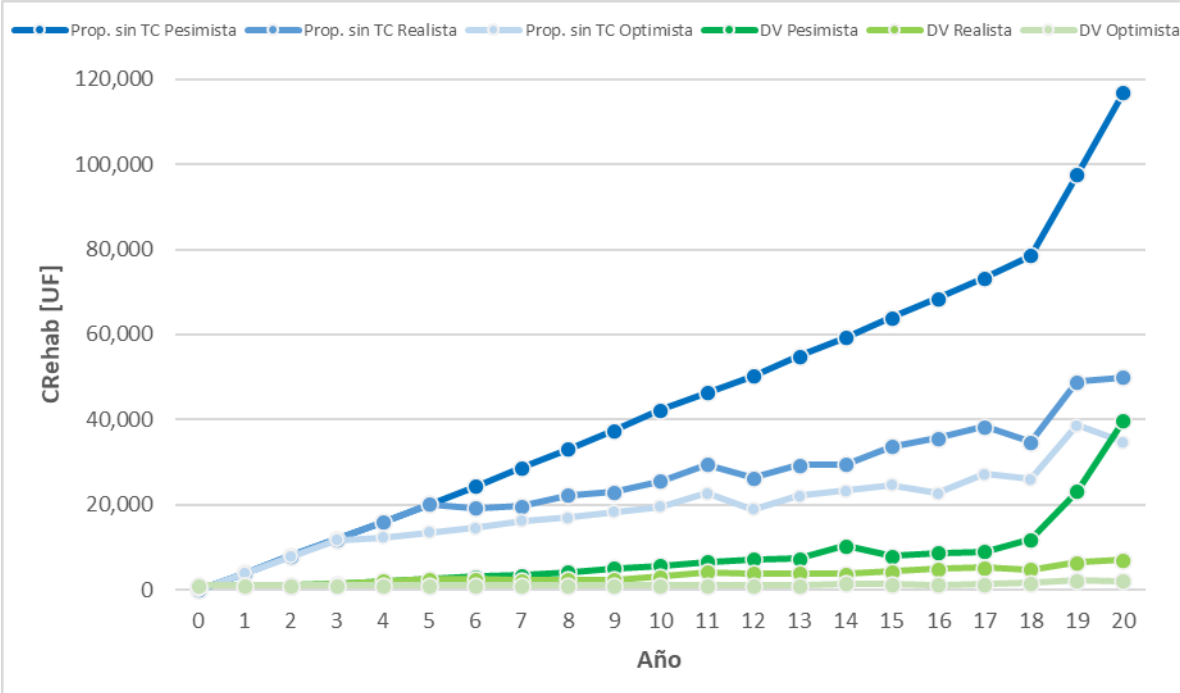


Figura 5.25. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta II).

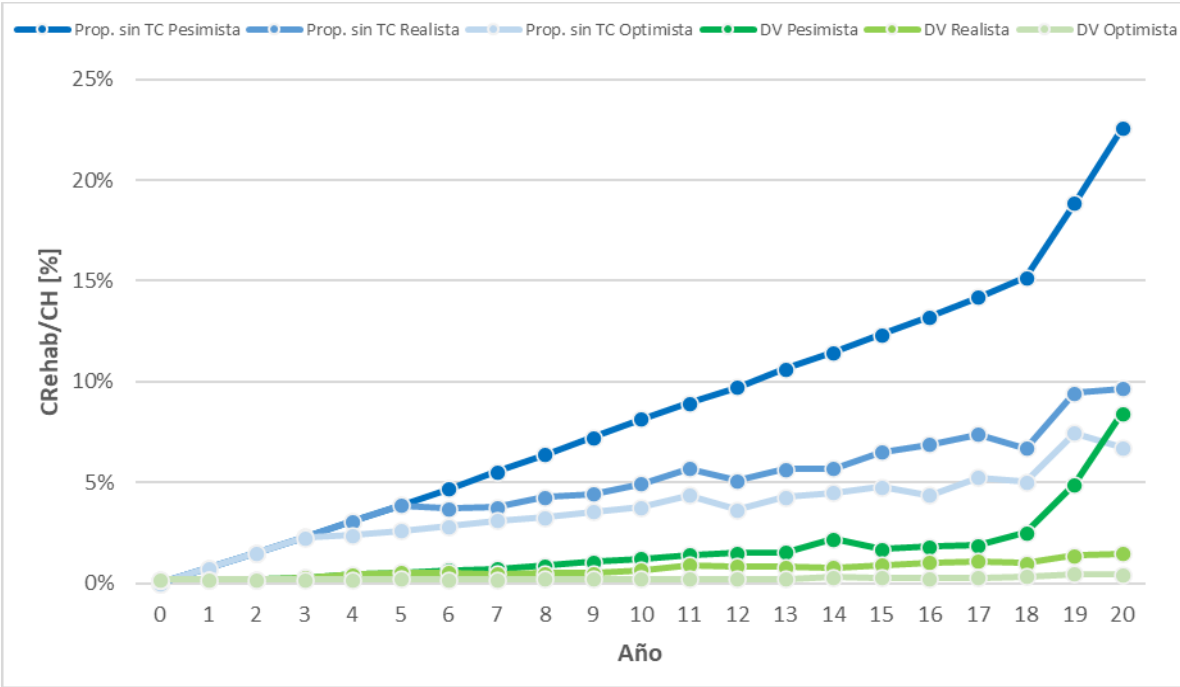


Figura 5.26. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta II).

De las figuras anteriores se puede observar que, el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto es mayor al obtenido con el modelo actual BALI en los tres escenarios de gestión. Además, con el primero se obtienen diferencias de resultados entre los escenarios mayores que con el segundo. Por otro lado, se puede observar que el modelo actual EI es insensible a los escenarios, y sus resultados son mayores al del modelo propuesto únicamente en el escenario optimista.

En cuanto al modelo propuesto sin TC, éste entrega un costo de rehabilitación mayor al del modelo actual DV en los tres escenarios de gestión. Además, con el primero se obtienen diferencias de resultados entre los escenarios mayores que con el segundo.

e. Penalización por desempeño

La penalización por desempeño del pavimento solo es obtenida con el modelo propuesto, ya que los modelos actuales no la contemplan. Esta penalización ocurre cuando en las secciones de pavimento el costo de rehabilitación supera al costo histórico, y su monto total en UF para cada año de análisis se presenta en la Figura 5.27. Notar que en el eje derecho se presenta el porcentaje que representa dicho monto respecto al costo histórico.

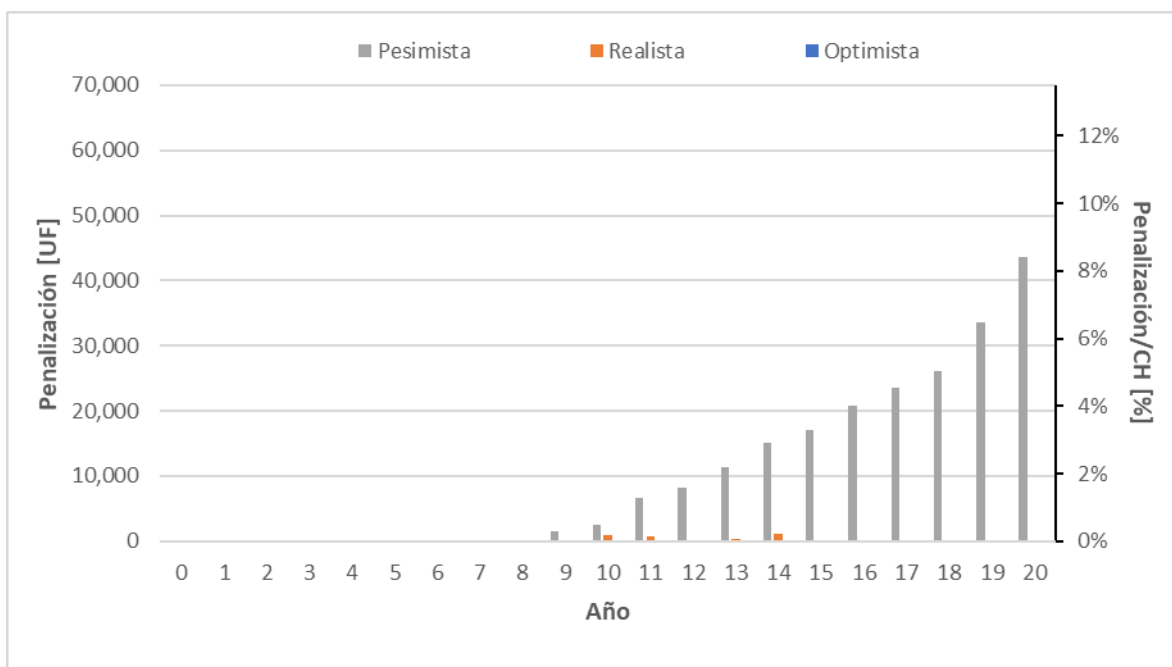


Figura 5.27. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta II).

Se puede apreciar que, la penalización por desempeño ocurre principalmente en el escenario pesimista, debido al alto nivel de agrietamiento y mal desempeño del indicador de transferencia de carga. En los escenarios realista y optimista, la penalización por desempeño es considerablemente menor que en el escenario pesimista. Lo anterior se debe a la mejor gestión realizada por el concesionario en la conservación del pavimento, al intervenirlo cuando se alcanzan los umbrales de desempeño.

f. Valor del activo

En la Figura 5.28 y la Figura 5.29 de la siguiente página se presenta el valor obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales BALI y EI en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Para el modelo actual EI, se incluye únicamente los resultados del escenario pesimista, ya que son idénticos a los otros dos escenarios, difiriendo sólo en los últimos 2 años en un porcentaje menor al 0.3% del costo histórico.

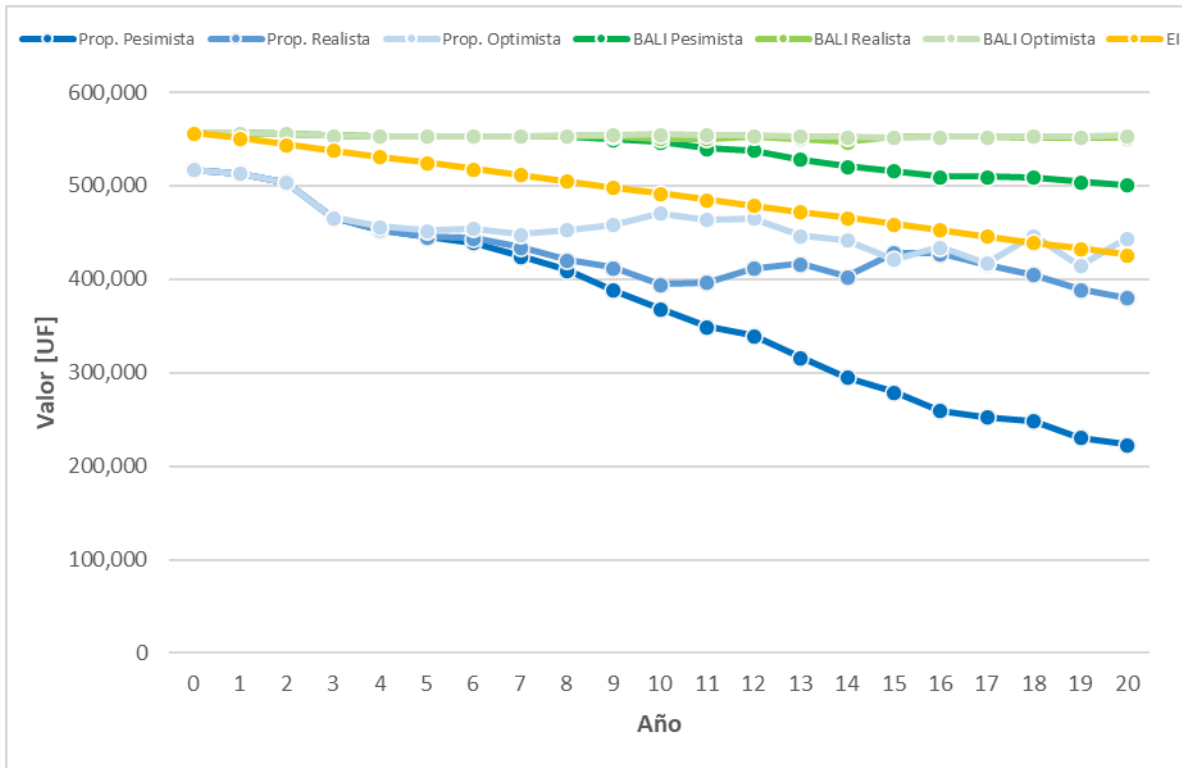


Figura 5.28. Valor en UF obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta II).

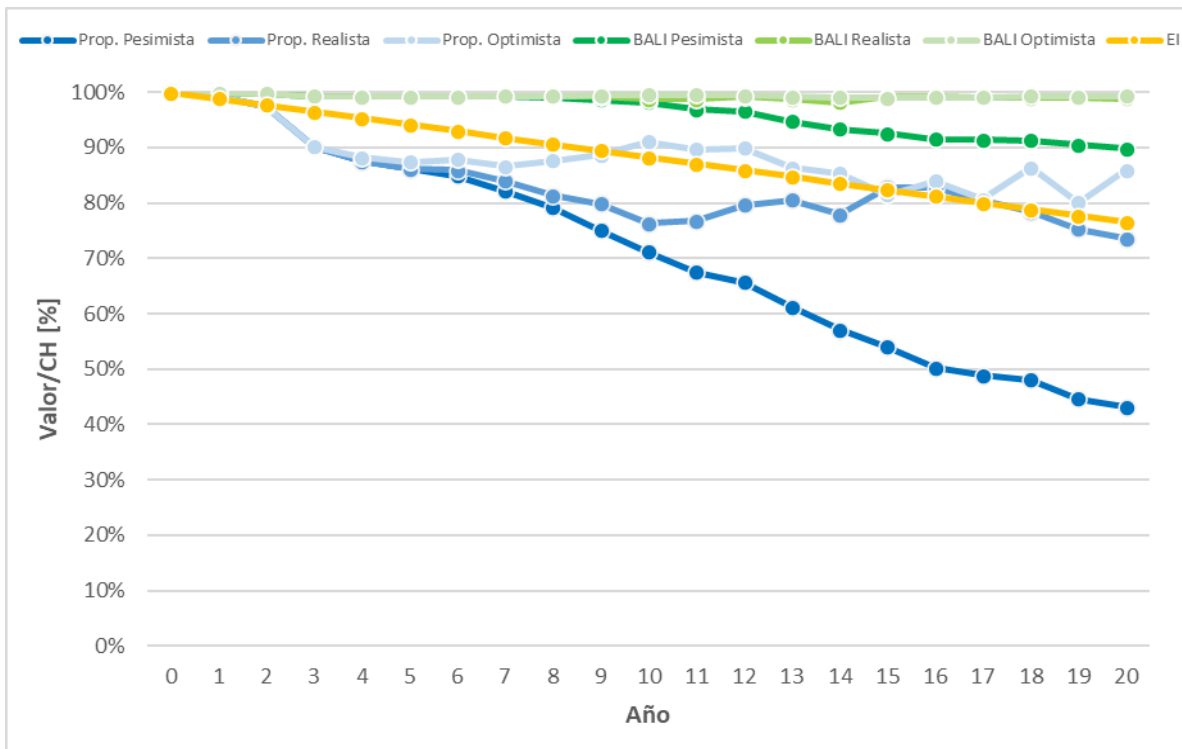


Figura 5.29. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta II).

En la Figura 5.30 y la Figura 5.31 se presenta el valor obtenido con el modelo propuesto sin TC y el modelo actual DV en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Se comparan estos dos modelos por separado debido a que ambos no consideran la transferencia de carga en la valorización.

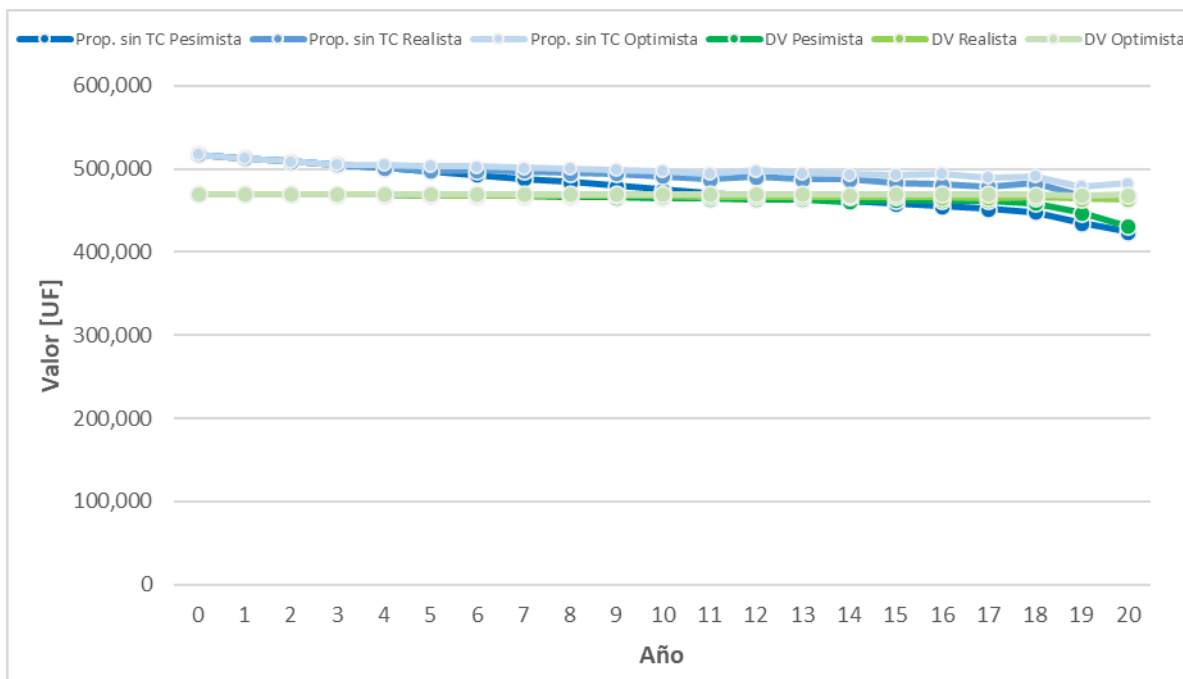


Figura 5.30. Valor en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta II).

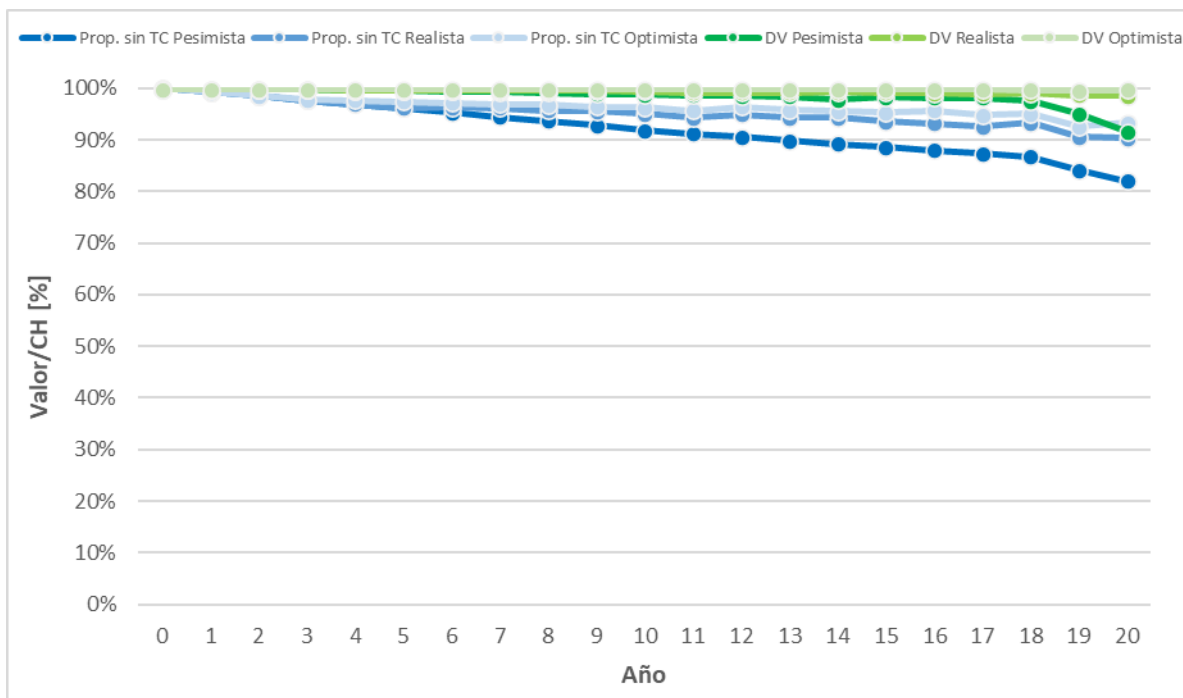


Figura 5.31. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta II).

A modo de resumen, en la Tabla 5.46 se presentan los mínimos, promedios y máximos del porcentaje de valor respecto al costo histórico, obtenidos en todo el periodo de análisis con los diferentes modelos en los tres escenarios.

Tabla 5.46. *Mínimo, promedio y máximo para el porcentaje de valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales en cada escenario (Ruta II).*

Escenario	Modelo	Mínimo	Promedio	Máximo
Pesimista	Propuesto	43.1%	71.1%	100.0%
	Propuesto sin TC	82.0%	92.1%	100.0%
	Actual EI	76.1%	88.2%	99.8%
	Actual BALI	89.8%	96.2%	99.8%
	Actual DV	91.6%	98.4%	99.8%
Realista	Propuesto	73.5%	83.6%	100.0%
	Propuesto sin TC	90.3%	95.2%	100.0%
	Actual EI	76.5%	88.2%	99.8%
	Actual BALI	98.2%	99.1%	99.8%
	Actual DV	98.5%	99.3%	99.8%
Optimista	Propuesto	80.1%	88.3%	100.0%
	Propuesto sin TC	92.5%	96.4%	100.0%
	Actual EI	76.5%	88.2%	99.8%
	Actual BALI	99.0%	99.3%	99.8%
	Actual DV	99.5%	99.7%	99.8%

Como se puede observar, el valor que entrega cada modelo para el año 0 es independiente del escenario, ya que corresponde al año inicial en donde el pavimento no presenta deterioros. Esto se debe al supuesto de que se encuentra recién construido, es decir, en condición “como nuevo”. Por otro lado, se puede apreciar que no existe pérdida de valor con el modelo propuesto, y el valor en el año inicial corresponde al costo histórico. En cambio, con los modelos actuales EI, DV y BALI si existe una pérdida de valor en el año inicial, que corresponde aproximadamente a un 0.2% del costo histórico. Lo anterior ocurre porque estos últimos modelos consideran el costo de conservación rutinaria cuando el ICP se encuentra en estado “Muy Bueno”, existiendo una pérdida de valor incluso cuando el pavimento no presenta deterioros. En efecto, dichos modelos se basan en la metodología de valorización del patrimonio vial de la DV, cuyos objetivos son presupuestarios a nivel de red y no de gestión a nivel de proyecto como los del modelo de valorización propuesto. La pérdida de valor para los tres modelos actuales en los tres escenarios es la misma y corresponde a UF 991. La pérdida de valor por conservación rutinaria en pavimentos de hormigón es relativamente baja respecto al costo histórico, debido a que incluye solo la limpieza de faja y saneamiento.

Para los años posteriores al año inicial, el valor entregado por cada modelo varía según el escenario, ya que estos últimos poseen criterios de progresión de deterioro distintos. En general, para todos los escenarios el modelo propuesto entrega valores menores que los modelos actuales EI-BALI. Los valores que entregan se vuelven similares únicamente cuando el modelo propuesto es aplicado en el escenario optimista y los actuales en el pesimista. En particular, la variación de los valores mínimos respecto al costo histórico entre un escenario pesimista y optimista corresponden a 37%, 9.2% y 0.3% para el modelo propuesto, actual BALI y actual EI, respectivamente. Por otro lado, la variación de los valores mínimos entre un escenario realista y optimista corresponden a 6.6%, 0.8% y 0% para el modelo propuesto, actual BALI y actual EI, respectivamente.

En cuanto a la versión del modelo propuesto sin la transferencia de carga (TC) se puede apreciar que entrega valores en UF similares al modelo actual DV, que tampoco considera dicho indicador. Sin

embargo, los valores respecto al costo histórico entregados por el modelo actual DV son mayores que los del modelo propuesto sin TC, siendo este último más sensible a los escenarios de gestión. En particular, la variación de los valores mínimos entre un escenario pesimista y optimista corresponden a 10.6% y 8% para el modelo propuesto sin TC y actual DV, respectivamente. Por otro lado, la variación de los valores mínimos entre un escenario realista y optimista corresponden a 2.2% y 1% para el modelo propuesto sin TC y actual DV, respectivamente. Sin perjuicio de lo anterior, es necesario recalcar que estos modelos subestiman la pérdida de valor del pavimento, al no considerar la capacidad estructural a través de la transferencia de carga.

De esta forma, se puede afirmar que el modelo de valorización propuesto captura de forma más notoria los cambios de desempeño del pavimento en el tiempo, en comparación con los modelos actuales. La mayor sensibilidad que entrega el modelo propuesto para la pérdida de valor en los distintos escenarios se explica principalmente por las razones señaladas en la Tabla 5.24.

Por otro lado, el efecto sobre el valor de aplicar distintos límites del ICP en los modelos actuales no es tan significativo, como sí lo son la definición de porcentajes de intervención para cada actividad y la consideración estructural. En efecto, al aplicar intervenciones en toda la sección de pavimento, el modelo actual DV tiene costos de conservación funcional por ICP mayores a los correspondientes a los modelos EI y BALI. Sin embargo, debido a que el primero no toma en cuenta la condición estructural, entrega pérdidas de valor similares al modelo BALI. En cuanto al costo de conservación estructural del modelo actual BALI, en este informe no se utilizó la ecuación AASHTO al no contar con la información de EE de diseño. Por lo tanto, los resultados de dicho modelo podrían ser más exactos si es que se tienen todos los datos requeridos. Además, en cuanto al modelo actual EI, este propone una misma intervención en todas las secciones de pavimento para la obtención del costo estructural. Lo anterior implica que dicho modelo entrega los mismos resultados para los tres escenarios y no es sensible al desempeño de los indicadores, al predominar el costo estructural por sobre el funcional en todos los escenarios. Cabe mencionar que el modelo actual EI corresponde a una cota inferior para los resultados de los modelos actuales. En efecto, dicho modelo corresponde a una solución determinada en el estudio integral de la ruta a partir de un criterio conservador.

Por último, es posible mencionar que si no se considera la transferencia de carga en el modelo propuesto se obtienen pérdidas de valor mucho menores que al sí tomar en cuenta dicho indicador. Lo anterior se debe al alto costo de la actividad de rehabilitación asociada al indicador, que corresponde a la colocación de barras de traspaso de carga. En efecto, el costo de dicha actividad aplicada en cada junta es aproximadamente igual al costo de construir una losa. Cabe mencionar que, se utilizaron los precios unitarios de la Ruta I, también ubicada en la zona centro del país, en donde el costo de reemplazar una losa es casi el triple de construirla. Lo anterior implica una pérdida de valor considerable, incluso si no se considera la pérdida asociada a la transferencia de carga, como fue visualizado en los resultados del modelo propuesto sin TC.

5.3. Ruta III

5.3.1. Caracterización de la vía e información disponible

Esta ruta se ubica en la zona sur del país, y comprende un total de 193.3 km de longitud. El pavimento de la vía principal se distribuye en 4 pistas, existiendo en total 773.2 km-pista, donde 97.6 km corresponden a pavimento de hormigón, es decir, un 13% de la longitud total de la vía principal aproximadamente. En la Figura 5.32 se presenta el esquema de la enumeración de las pistas de la ruta (MOP, 2018). En particular, el pavimento de hormigón se concentra principalmente en la calzada izquierda (pistas 2 y 4), y en menor medida en la calzada derecha (pistas 1 y 3). El ancho de las pistas corresponde a 3.5 metros.



Figura 5.32. Esquema de la enumeración de las pistas en la Ruta III (MOP, 2018).

Por otro lado, para la aplicación del modelo de valorización propuesto se requiere de tres tipos de datos: información de inventario, de precios unitarios y condición. La información de inventario disponible corresponde a la estructura, longitudes y espesores del pavimento obtenidos mediante medición con georadar (MOP, 2019c), los cuales se presentan en la Figura 5.31.

Tabla 5.47. Estructura y espesores del pavimento de hormigón en la Ruta III (MOP, 2019c).

Tramo	Km inicio	Km fin	Longitud [km]	Pistas	Base estabilizada [cm]	Losas de hormigón [cm]
1	227.4	248.2	20.8	2-4	0.12	0.25
2	249	250.8	1.8	1-3/2-4	0.12	0.23/0.25
3	250.8	252.4	1.6	2-4	0.12	0.25
4	255	266	11	2-4	0.12	0.25
5	266	267	1	1-3/2-4	0.12	0.23/0.25
6	267	271.2	4.2	2-4	0.12	0.25
7	351	351.8	0.8	2-4	0.12	0.25
8	390.2	395	4.8	1-3	0.12	0.23

Como se observa, bajo las losas de hormigón se tiene una base estabilizada de 12 cm en todos los tramos. En las pistas 1 y 3 hay hormigón solo en el segundo, quinto y octavo tramo, y el espesor de las losas es de 23 cm. En las pistas 2 y 4 hay hormigón en todos los tramos excepto en el octavo, y el espesor de losa es de 25 cm.

Los datos de precios unitarios disponibles corresponden a los presentados en el estudio integral de la ruta (MOP, 2019b), los cuales se presentan en la Tabla 5.48. Notar que se presentan los precios unitarios de conservación rutinaria, sello de juntas e inyección de mortero. Estos últimos no son requeridos para la aplicación del modelo de valorización propuesto, pero si se utilizan en los modelos actuales.

Tabla 5.48. Precios unitarios de partidas de pavimento de hormigón en la Ruta III (MOP, 2019b).

Tipo	Actividad	Unidad	P.U. [UF]
Construcción	Pavimento de hormigón	[m3]	5.10
	Subbase Granular CBR>40%	[m3]	0.63
	Base granular CBR>80%	[m3]	0.69
	Preparación de la subrasante	[m2]	0.02
Mantenimiento	Conservación rutinaria	[km]	14.90
	Sello de juntas	[ml]	0.07
Rehabilitación	Cepillado	[m2]	0.23
	Reemplazo de losas	[m2]	2.88
	Barras de transferencia de carga	[un]	3.53
	Inyección de mortero en losas de hormigón	[perf]	1.85

Los datos de condición disponibles provienen de la evaluación funcional y estructural del pavimento llevadas a cabo en 2018 y 2020 (MOP, 2018, 2019c, 2020a). Respecto a la información disponible se distinguen datos para los siguientes indicadores:

- **Regularidad longitudinal del pavimento:** Para el año 2018 y 2020 se tienen los datos de Mean Roughness Index (MRI) cada 200 m, excepto cuando existe alguna singularidad como un puente, paso superior, peaje o cambio de pavimento, donde este indicador no se reporta.
- **Resistencia al deslizamiento:** Para el año 2020 se tienen datos de SFC equivalente reportados cada 200 m por pista.
- **Agrietamiento:** Para el año 2018, se cuenta con datos de una inspección visual realizada en el 100% de las losas, mientras que, para el año 2020 se tienen los datos de inspección visual reportados cada 40 losas por km. Para cada losa, se distingue la presencia de grietas según tipo y severidad (baja, media y alta), y el número de trozos. Cabe mencionar que, no se cuenta con el porcentaje de losas agrietadas directamente, por lo que los datos deben ser procesados para obtener dicho indicador.
- **Transferencia de carga:** Para el año 2018, se cuenta con mediciones puntuales de este indicador cada 200 m por pista.

De esta forma, la información disponible en cuanto a datos de condición debe ser adaptada al formato de evaluación de cada indicador de acuerdo con la ficha técnica correspondiente, presentada en el Anexo A. Además, debido a la falta de información que se tiene en algunos años y/o secciones de pavimento, el procesamiento de los datos se realiza para dos análisis distintos:

1. Aplicación del modelo propuesto solo en secciones de 50 m con información disponible en un año puntual.
2. Comparación del modelo propuesto con modelos actuales usando secciones de 200 m en un periodo de análisis de 20 años.

Las consideraciones tomadas para el procesamiento de datos para cada uno de estos análisis y los resultados obtenidos se detallan a continuación.

5.3.2. Aplicación del modelo propuesto en secciones con datos disponibles

a. Procesamiento de datos

Para este análisis, se consideran solo aquellas secciones de pavimento con suficiente información disponible para aplicar el modelo de valorización propuesto. En efecto, existen secciones en donde no cuenta con el valor de IRI, al ser consideradas singularidades en donde dicho indicador no debe ser medido. De esta forma, para este análisis se tienen en total 1624 secciones de aproximadamente

50 m. La suma total de la longitud de dichas secciones corresponde a 81.2 km-pista, equivalente al 83.1% de la longitud total de pavimento de hormigón, correspondiente a 97.6 km-pista. Por otro lado, se consideran los datos de condición del año 2018, al estar disponible en dicho año los datos de agrietamiento para el 100% de las losas. Lo anterior permite valorizar en secciones de 50 m, al conocer con exactitud el inicio y final de cada una de estas, y el porcentaje de losas agrietadas correspondiente. Para los demás indicadores el análisis requiere de algunas consideraciones:

- **Transferencia de carga:** Se consideran las medias fijas cada 1 km de las mediciones puntuales reportadas en intervalos de 50 m. Lo anterior debido a que el modelo requiere la evaluación de al menos 15 losas cada 250 m, y puede ser poco representativo usar los datos puntuales. Además, cada dato puntual reportado considera la corrección por medio del factor de deflexiones medidas para una carga en el centro de la losa. Un análisis de los resultados obtenidos al utilizar los datos no corregidos se presenta en el Anexo D.
- **MRI y SFC:** Se considera el mismo valor para las 4 secciones de 50 m que forman parte del intervalo de 200 m en el cual se reportaron estos indicadores. Los datos de SFC corresponden al año 2020, pero se asume que corresponden al año 2018 por la corta distancia temporal.

La Figura 5.33 presenta el diagrama de caja y bigotes para el largo de las secciones de pavimento de hormigón, largo y número de losas en cada sección, porcentaje de losas agrietadas (AGR), porcentaje de transferencia de carga (TC), MRI y SFC. Por otro lado, en la Tabla 5.49, Tabla 5.50, Tabla 5.51 y Tabla 5.52 se presenta el promedio, desviación estándar, máximos y mínimos de las variables anteriormente mencionadas, respectivamente.

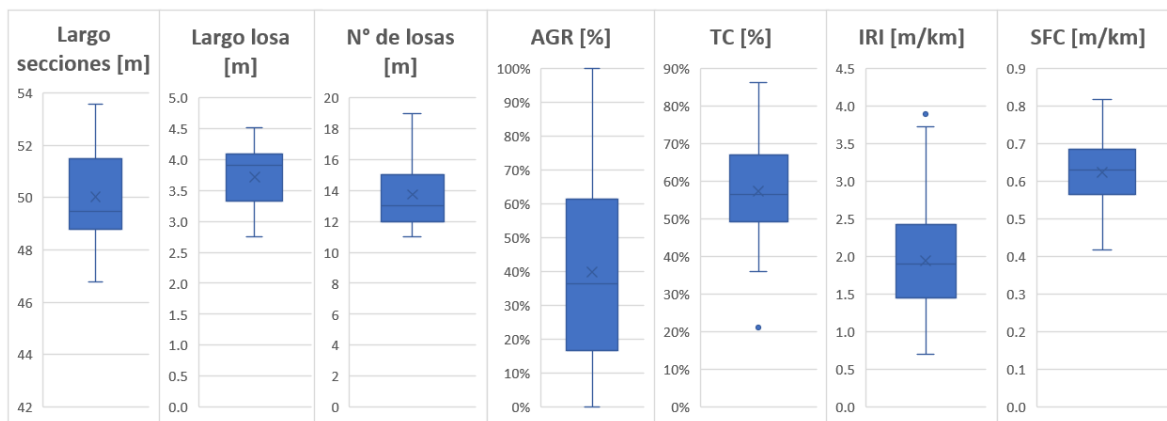


Figura 5.33. Diagrama de caja y bigotes de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).

Tabla 5.49. Promedio por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
1	50.01	4.36	11.51	18.2%	69.1%	1.91	0.68
2	50.03	4.14	12.10	41.0%	51.3%	1.69	0.65
3	50.01	2.99	16.93	41.5%	65.7%	2.30	0.66
4	50.02	3.27	15.36	42.6%	60.2%	2.17	0.58
Total	50.02	3.71	13.75	40.0%	57.4%	1.95	0.62

Tabla 5.50. Desviación estándar por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
1	1.83	0.22	0.77	23.4%	6.4%	0.60	0.04
2	1.89	0.15	0.65	28.3%	13.2%	0.58	0.07
3	1.24	0.33	1.78	22.9%	12.4%	0.71	0.09
4	1.28	0.22	1.12	27.6%	10.9%	0.62	0.09
Total	1.61	0.52	2.09	28.0%	13.2%	0.65	0.08

Tabla 5.51. Máximo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
1	53.56	4.46	14.00	100.0%	72.9%	2.89	0.73
2	53.45	4.52	15.00	100.0%	75.5%	3.14	0.82
3	53.24	3.55	19.00	100.0%	80.6%	3.73	0.77
4	53.24	3.90	17.00	100.0%	86.3%	3.90	0.80
Total	53.56	4.52	19.00	100.0%	86.3%	3.90	0.82

Tabla 5.52. Mínimo por pista y total de variables del pavimento de hormigón en 2018 (Ruta III).

Pista	Largo secciones [m]	Largo losa [m]	N° de losas	AGR [%]	TC [%]	MRI [m/km]	SFC [-]
1	46.84	3.72	11.00	0.0%	52.8%	1.19	0.53
2	47.34	3.40	11.00	0.0%	21.1%	0.70	0.48
3	48.64	2.75	14.00	0.0%	38.4%	1.10	0.45
4	46.78	2.99	12.00	0.0%	35.9%	0.95	0.42
Total	46.78	2.75	11.00	0.0%	21.1%	0.70	0.42

b. Costo histórico

El costo histórico obtenido para el pavimento de hormigón es de UF 394,280. En la Tabla 5.53 se presenta el costo histórico diferenciado para cada pista y cada elemento que conforma el paquete estructural. Adicionalmente se presenta la distribución porcentual del costo histórico entre los diferentes elementos. Para la construcción de la base estabilizada, al no contar con un precio unitario en el estudio integral, fue utilizado un precio unitario de 0.89 UF/m³, obtenido a partir del Manual de Costos ONDAC del año 2017.

Tabla 5.53. Costo histórico por pista y total del pavimento de hormigón (Ruta III).

Pista	Prep. Subrasante	Base Estabilizada	Losa de Hormigón	Total pistas [UF]
1	440	2,275	25,048	27,763
2	2,577	13,338	159,620	175,535
3	443	2,294	25,256	27,993
4	2,393	12,385	148,211	162,990
Total [UF]	5,853	30,292	358,135	394,280
Distr. [%]	1.5%	7.7%	90.8%	100%

Se puede apreciar que la losa de hormigón es la capa de mayor contribución al costo histórico, seguido de la base estabilizada y la preparación de la subrasante, en ese orden. Notar también que el costo histórico de las pistas 1 y 3 difiere ligeramente, pese a tener la misma longitud y estructuración de las capas del pavimento, lo cual también ocurre para las pistas 2 y 4. Lo anterior se debe principalmente a la diferencia entre pistas para el kilometraje de inicio y final de las secciones de pavimento, obtenido de la inspección visual de agrietamiento del 100% de las losas.

c. Nivel de desempeño de los indicadores técnicos

El modelo de valorización propuesto requiere del nivel de desempeño de los indicadores técnicos para la obtención de la pérdida de valor asociada a cada uno. En la Tabla 5.54, Tabla 5.55, Tabla 5.56 y Tabla 5.57 de la siguiente página se presenta el porcentaje de secciones que se encuentra en cada nivel de desempeño para el agrietamiento, transferencia de carga, MRI y SFC, respectivamente. Cabe mencionar que el nivel de desempeño del agrietamiento no se considera en el modelo de valorización propuesto, y se presenta solo de manera referencial. En efecto, el costo de rehabilitación asociado al agrietamiento corresponde simplemente al costo de reemplazo de las losas agrietadas. La suma total del largo de las losas agrietadas en este caso alcanza los 32.5 km, que corresponde a un 40% de la longitud total del pavimento valorizado.

Tabla 5.54. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el agrietamiento en 2018 (Ruta III).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
1	39%	18%	0%	11%	32%
2	10%	9%	0%	11%	70%
3	2%	4%	7%	5%	81%
4	7%	8%	7%	4%	74%
Total	10.78%	8.62%	3.26%	7.64%	69.70%

Tabla 5.55. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para la transferencia de carga en 2018 (Ruta III).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
1	72.1%	16.4%	11.5%	0.0%	0.0%
2	7.3%	24.1%	23.4%	28.7%	16.6%
3	38.2%	40.7%	11.4%	0.0%	9.8%
4	17.3%	28.9%	40.5%	12.0%	1.2%
Total	18.6%	26.7%	28.6%	17.5%	8.6%

Tabla 5.56. *Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador MRI en 2018 (Ruta III).*

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
1	36.1%	34.4%	29.5%	0.0%	0.0%
2	40.3%	50.5%	9.2%	0.0%	0.0%
3	22.0%	42.3%	32.5%	3.3%	0.0%
4	15.1%	56.0%	27.1%	1.8%	0.0%
Total	28.3%	50.9%	19.8%	1.0%	0.0%

Tabla 5.57. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para el indicador SFC en 2018 (Ruta III).

Pista	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Malo	Muy Malo
1	80.3%	16.4%	3.3%	0.0%	0.0%
2	49.0%	44.9%	6.2%	0.0%	0.0%
3	65.0%	18.7%	16.3%	0.0%	0.0%
4	30.1%	29.2%	40.7%	0.0%	0.0%
Total	44.8%	34.4%	20.8%	0.0%	0.0%

Por otro lado, con los porcentajes anteriormente presentados es posible obtener las calificaciones globales de desempeño de cada indicador. Las calificaciones globales de desempeño del porcentaje de losas agrietadas y transferencia de carga corresponden a “Muy Malo”, mientras que para el MRI y SFC corresponden a “Malo” y “Bueno”, respectivamente. La metodología de obtención de estas calificaciones se indica en las fichas técnicas de cada indicador, presentadas en el Anexo A.

d. Costo de rehabilitación

El costo de rehabilitación total obtenido para el pavimento de hormigón corresponde a UF 474,177. En la Tabla 5.58 se presenta el costo de rehabilitación total diferenciado para cada pista e indicador técnico del pavimento. Adicionalmente, se presenta el porcentaje que representa el costo de rehabilitación por indicador y total respecto al costo histórico.

Tabla 5.58. Costo de rehabilitación total diferenciado por pista e indicador técnico (Ruta III).

Pista	AGR	TC	MRI	SFC	Total [UF]
1	11,214	2,468	1,147	283	14,909
2	148,064	68,024	4,964	4,117	222,459
3	25,665	5,783	1,489	634	33,370
4	142,563	50,549	7,853	7,388	203,440
Total [UF]	327,507	126,823	15,452	12,423	474,177
CRehab /CH [%]	83.1%	32.2%	3.9%	3.2%	120.3%

Se puede apreciar que los costos de rehabilitación asociados al agrietamiento (AGR) y transferencia de carga (TC) son considerablemente mayores que los de los otros indicadores. Lo anterior se debe al alto porcentaje de secciones que se encuentran en nivel de desempeño “Malo” o “Muy Malo” para el AGR y TC, lo cual no ocurre para los indicadores MRI y SFC, donde prácticamente todas las secciones se encuentran por sobre el nivel “Aceptable”. Notar que la suma del costo asociado a los indicadores no es igual al costo de rehabilitación total, debido a la formulación del modelo propuesto.

e. Penalización por desempeño

La penalización por desempeño del pavimento de hormigón corresponde a UF 132,197. En la Tabla 5.59 se presenta el monto de penalización diferenciado para cada pista y el porcentaje que representa respecto al costo histórico.

Tabla 5.59. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta III).

Pista	1	2	3	4	Total
Penalización [UF]	2,187	64,542	8,646	56,822	132,197
Penalización/CH [%]	7.9%	36.8%	30.9%	34.9%	33.5%

f. Valor del activo

El valor obtenido para el pavimento de hormigón es de UF 52,300. En la Tabla 5.60 se presenta el valor diferenciado para cada pista y el porcentaje que representa respecto al costo histórico.

Tabla 5.60. Valor en UF y respecto al costo histórico (Ruta III).

Pista	1	2	3	4	Total
Valor [UF]	15,041	17,619	3,269	16,372	52,300
Valor/CH [%]	54.2%	10.0%	11.7%	10.0%	13.3%

Se puede apreciar que el valor del pavimento de hormigón corresponde a sólo un 13.3% de su costo histórico. A modo de comentario, se puede mencionar que el pavimento fue puesto en operación en el año 1985 (MOP, 1995b). Por lo tanto, la pérdida de valor en 33 años según el modelo propuesto es de 78.7% respecto al costo histórico. Además, el pavimento también ha sido valorizado con el modelo actual utilizado en concesiones viales, en el estudio integral correspondiente (MOP, 2019b). En dicho estudio integral, el valor reportado del pavimento de hormigón fue de UF 379,951, equivalente a un 73.8% del costo histórico calculado con el modelo actual, correspondiente a UF 515,026.

Las diferencias de resultados mencionadas anteriormente y sus razones son abordadas en el siguiente apartado, en donde también se analizan las diferencias con variantes del modelo actual.

5.3.3. Comparación entre modelo propuesto y modelos actuales en el tiempo

a. Procesamiento de datos

Para este análisis, se consideran todas las secciones de pavimento existentes entre el inicio y final de cada tramo de diseño. Lo anterior implica completar los datos faltantes en algunas secciones con los datos de secciones aledañas. De esta forma, la suma total de la longitud de las 488 secciones de 200 m a evaluar en este caso corresponde a 97.6 km-pista, equivalente al 100% de la longitud total del pavimento de hormigón en la ruta. Además, para la conservación rutinaria considerada en los modelos actuales, se define un porcentaje de los valores descritos en la Tabla 5.48, ya que no solo consideran la conservación de la calzada. El porcentaje corresponde a 73%, determinado a partir de la razón entre el ancho de calzada, y la suma del ancho de la calzada y berma de la vía.

Por otro lado, se consideran los datos de condición disponibles para los años 2018 y 2020. Debido a las características de la información disponible, la valorización se realiza para secciones de 200 m, tanto para el modelo propuesto como los modelos actuales. En función de lo anterior, se tomaron las siguientes consideraciones para los indicadores técnicos:

- **Porcentaje de losas agrietadas:** Para el año 2018 se considera el porcentaje de losas agrietadas correspondiente a cada sección de 50 m, de acuerdo a lo reportado en la inspección visual del 100% de las losas. Para el año 2020 se considera el mismo valor para las 5 secciones de 200 metros ubicadas en cada km, correspondiente al porcentaje de losas agrietadas dentro de las 40 losas inspeccionadas en cada km.
- **Transferencia de carga:** Se considera las medias fijas cada 1 km de las mediciones puntuales reportadas cada 50 metros en 2020. Por cierto, antes del cálculo de las medias fijas, cada dato puntual reportado es corregido, ya que fueron medidos en diferentes condiciones horarias y de temperatura, que pueden estar sub o sobrestimando su valor. El detalle de las correcciones realizadas se presenta en el Anexo D, donde también se incluye un análisis de sensibilidad del modelo propuesto a diferentes consideraciones para la transferencia de carga.
- **MRI:** Se considera directamente los valores reportados en cada sección de 200 m en los años 2018 y 2020. Para el caso de secciones sin datos, se completaron con valores promedio de

las secciones anterior y siguiente, o con el valor de la sección más cercana en caso de encontrarse al final o inicio de un tramo de diseño.

- **SFC:** Se considera directamente los valores reportados en cada sección de 200 m en el año 2020.

En la Figura 5.34 y Figura 5.35 se presenta el diagrama de caja y bigotes del porcentaje de lasas agrietadas y transferencia de carga, y de los indicadores MRI y SFC, respectivamente.

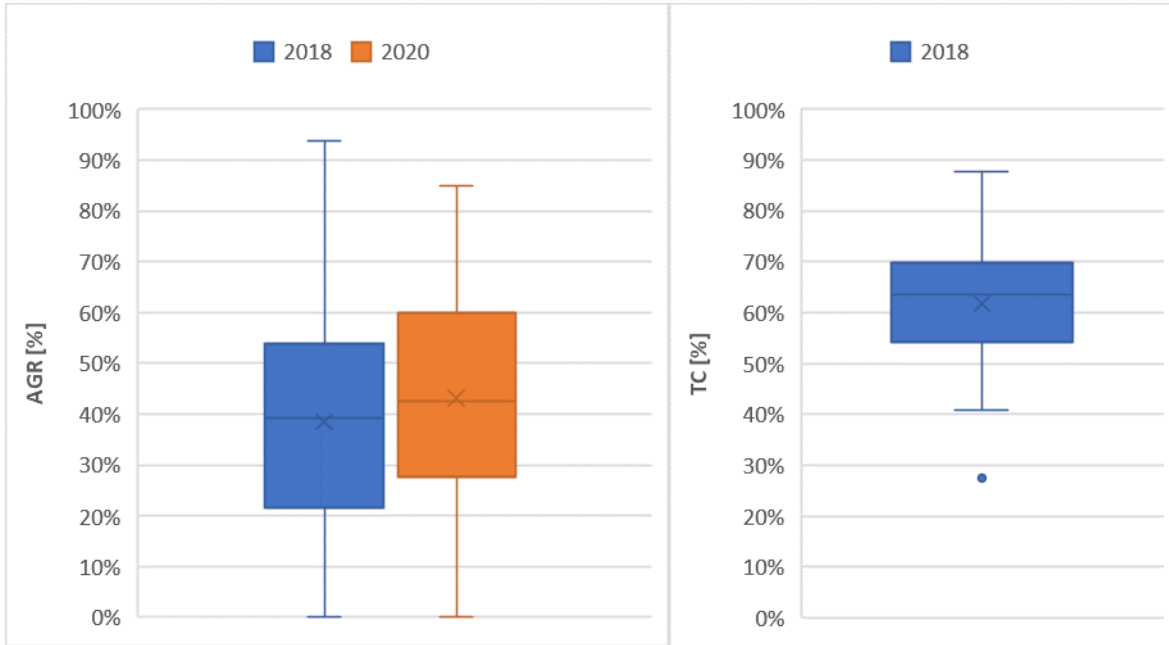


Figura 5.34. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de lasas agrietadas en 2018 y 2020, y transferencia de carga en 2018 (Ruta III).

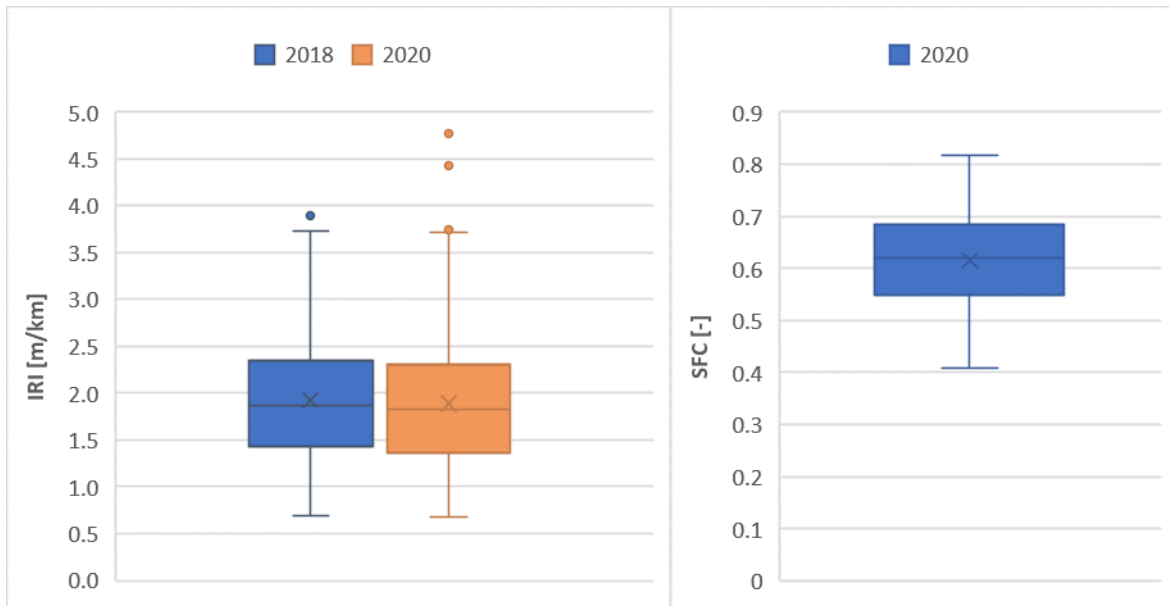


Figura 5.35. Diagrama de caja y bigotes del indicador MRI en 2018 y 2020, y SFC en 2020 (Ruta III).

b. Costo histórico

En la Tabla 5.61 se presenta el costo histórico obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales, diferenciado por los elementos que componen el paquete estructural. De forma complementaria se presenta el porcentaje de participación de cada elemento en el costo histórico total.

Tabla 5.61. Costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales (Ruta III).

Elemento	Propuesto		Actual EI-BALI		Actual DV	
	[UF]	[%]	[UF]	[%]	[UF]	[%]
Losas de Hormigón	430,114	90.8%	437,282	84.9%	365,854	81.9%
Base Granular Chancada	0	0.0%	70,711	13.7%	35,356	7.9%
Subbase Granular	0	0.0%	0	0.0%	38,737	8.7%
Base Estabilizada	36,395	7.7%	0	0.0%	0	0.0%
Preparación de la Subrasante	7,033	1.5%	7,033	1.4%	7,033	1.6%
Total	473,541	100.0%	515,026	100.0%	446,979	100.0%

Como se puede observar, las losas de hormigón son la capa del pavimento de mayor contribución al costo histórico, tanto para el modelo propuesto como para los modelos actuales. Sin embargo, el costo histórico total y la distribución por elemento difieren en cada modelo. Lo anterior se explica por el hecho de que el modelo propuesto considera el espesor de capa correspondiente a cada sección del pavimento según los datos de inventario disponibles de la ruta. En cambio, los modelos actuales consideran espesores iguales para todas las secciones de pavimento, que corresponden a valores promedio definidos a partir del inventario (EI-BALI) o de la zona geográfica en donde se emplaza el proyecto (DV). Esto significa que los modelos actuales subestiman o sobreestiman el costo histórico en algunas secciones del pavimento. En particular, si se toma como base los modelos actuales EI-BALI, la diferencia porcentual en costo histórico obtenido con el modelo propuesto es de -8.1% y con el modelo DV es de -13.2%. Dicho de otra forma, con el modelo propuesto se obtiene un resultado intermedio respecto a los modelos utilizados en concesiones viales (EI-BALI) y en la red vial no concesionada (DV).

c. Escenarios de progresión de deterioro en el tiempo

Para la progresión del deterioro de cada uno de los indicadores técnicos se definen tres escenarios: pesimista, realista y optimista. Estos escenarios se basan en las mediciones reales de 2018 y 2020 presentadas anteriormente, y en los umbrales admisibles tanto del contrato de concesión correspondiente (MOP, 1995b) como los del modelo de valorización propuesto. Estos umbrales se presentan en la Tabla 5.62. Notar que en las bases de licitación no se definen umbrales admisibles para la transferencia de carga entre losas.

Tabla 5.62. Umbrales admisibles según bases de licitación y modelo de propuesto (Ruta III).

Característica	Indicador técnico	Bases de licitación	Modelo Prop.
Regularidad longitudinal	MRI puntual	3.5 m/km	3.5 m/km
Resistencia al deslizamiento	SFC equiv.	0.40 y 0.55 [-]	0.40 [-]
Agrietamiento	% Losas agrietadas (AGR)	15% (Sólo alta severidad)	15%
Capacidad estructural	% Transferencia de carga (TC)	-	50%

A partir de esta información se define que los datos reales con los que se cuenta corresponden a un escenario pesimista. El motivo para definir esto se debe al aumento de exigencias para el indicador

de agrietamiento y transferencia de carga, particularmente. En caso de que el concesionario no logre ajustarse a las nuevas exigencias de servicio, se asume que puede mantener, al menos, los estándares antiguos. De esta forma, se convierten los datos reales en un escenario posible, pero de mala gestión de acuerdo con el nivel de servicio entregado a los usuarios. Cabe mencionar que, independiente de que los umbrales para MRI y SFC sean similares al modelo NS, igual hay secciones de pavimento que no cumplen con los estándares correspondientes de la base de licitación, por lo que se decide utilizar esta información como un escenario pesimista.

Dado que se define que la infraestructura es nueva, se asume que los indicadores se encuentran en nivel de desempeño “Muy Bueno” en el año 0. Para los años 18 y 20 de la concesión tipo se utilizan los datos reales disponibles de los indicadores para los años 2018 y 2020, respectivamente. Para los años sin información disponible para los indicadores, se aplica interpolación lineal entre los años en donde existe disponibilidad de datos.

Para los escenarios realista y optimista se toman las mediciones reales y se varían en un cierto rango para tener un nivel de desempeño mejor, donde el concesionario se ajusta a los niveles de servicio (escenario realista) y donde tiene un desempeño aún mejor que ajustarse a las exigencias mínimas de servicio (escenario optimista). En la Tabla 5.63 se presentan los rangos de variación que tienen los datos reales en los escenarios realista y optimista.

Tabla 5.63. *Umbrales admisibles y rangos de variación para los diferentes escenarios (Ruta III).*

Indicador técnico	Umbral BALI correspondiente	Umbral Modelo NS	Escenario Pesimista	Escenario realista	Escenario optimista
MRI puntual	3.5 m/km	3.5 m/km	Datos reales	Datos reales (*)	- 0.5 m/km (*)
SFC equiv.	0.40 y 0.55 [-]	0.40 [-]	Datos reales	Datos reales (*)	+ 0.05 [-] (*)
Agrietamiento (AGR)	15% (Sólo alta severidad)	15%	Datos reales	Intervención 15% AGR	Intervención 10% AGR
Transferencia de carga (TC)	-	50%	Datos reales	Intervención 50% TC (*)	Intervención 60% TC (*)

(*) Los escenarios realista y optimista para los indicadores IRI, SFC y TC están sujetos a la intervención asociada al AGR.

Por ejemplo, si una sección de pavimento tiene un MRI de 2.63 m/km, en el escenario realista el valor es de 2.63 m/km, y en el escenario optimista es de 2.13 m/km (-0.5 m/km). Para el indicador SFC el proceso es similar a MRI. Para el agrietamiento existen diferencias significativas entre el umbral de las bases de licitación y del modelo propuesto, por lo que se opta por otra alternativa para la progresión de deterioro. Esta alternativa corresponde a utilizar la curva de los datos reales, pero cuando una sección alcanza el umbral "Malo" (15% losas agrietadas) se realiza un reemplazo de las losas agrietadas y un cepillado de la superficie en un escenario realista. Para un escenario optimista el umbral de intervención es de 10% de losas agrietadas, es decir, se interviene al llegar a nivel de desempeño “Aceptable”. Por cierto, el reemplazo de losas devuelve a la sección a nivel “Muy Bueno” en agrietamiento, MRI y SFC, por lo que, se "reinicia" la curva de deterioro para estos indicadores. En cuanto a la transferencia de carga, no existen umbrales definidos en las bases de licitación. Por lo tanto, para este indicador se usa la curva lineal asumida y explicada anteriormente, pero en los escenarios realista y optimista, se colocan barras de traspaso de carga cuando una sección alcanza el umbral "Malo" (50%) y “Aceptable” (60%), respectivamente, que la devuelve a nivel “Muy Bueno”. Además, se asume que cuando se reemplazan las losas agrietadas, la curva lineal de deterioro de la transferencia de carga retrocede 4 y 2 años para los escenarios realista y optimista, respectivamente.

Otro aspecto por considerar para el tratamiento de la información es la calificación global de cada indicador técnico según el modelo de nivel de servicio (Delgadillo et al., 2020). Tanto para el escenario realista como optimista se considera que la calificación global de los indicadores puede ser “Muy Bueno”, “Bueno” o “Aceptable”, ya que el concesionario no va a incurrir en penalizaciones por un mal servicio. En función de lo anterior, si luego de aplicar los rangos de variaciones de la

Tabla 5.63 la calificación global no cumple con el nivel de servicio mínimo, se varían aquellas secciones con indicadores en niveles “Malo” o “Muy Malo”, que afectan la calificación global. Por ejemplo, en el escenario realista, todas las secciones que tengan un MRI en nivel “Muy Malo” se cambian a nivel “Malo”, mientras que para el escenario optimista se cambian a nivel “Aceptable”. Criterios similares se tomaron para los demás indicadores técnicos. Es importante mencionar que la calificación global de los indicadores se considera para tener una compatibilidad entre el nivel de servicio a los usuarios y la valorización de los activos de la carretera. Sin embargo, el modelo de valorización considera el nivel de desempeño de cada indicador para cada sección de pavimento de manera independiente.

De esta manera, se completa la información para los 20 años de análisis y los tres escenarios. El porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para los diferentes indicadores y escenarios se pueden encontrar en la Tabla C.15, Tabla C.16, Tabla C.17 y Tabla C.18 del Anexo C. Cabe mencionar, que el nivel de desempeño del agrietamiento no se utiliza en el modelo de valorización propuesto, ya que este considera el costo de reemplazo de las losas agrietadas. La longitud total en km de las losas agrietadas en cada año del periodo de análisis se presenta en la Tabla 5.64.

Tabla 5.64. Longitud total en km de losas agrietadas por escenario (Ruta III).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	0	2	4	6	8	10	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	38	40	42
Rea.	0.0	2.1	4.2	6.3	7.0	6.2	5.5	5.8	5.6	6.8	5.4	7.0	4.6	6.5	6.6	5.7	5.5	7.5	5.8	9.5	4.9
Opt.	0.0	2.1	4.2	5.9	4.8	4.1	4.4	5.6	3.8	5.1	4.2	6.1	3.1	5.1	6.2	5.1	3.2	5.2	5.0	8.1	2.7

A modo de visualización, se presenta en la Figura 5.36 de la siguiente página los porcentajes de secciones en cada nivel de desempeño para el año inicial (año 0), tres años intermedios (año 5, 10 y 15) y para el último año de análisis (año 20), asociados al indicador SFC.

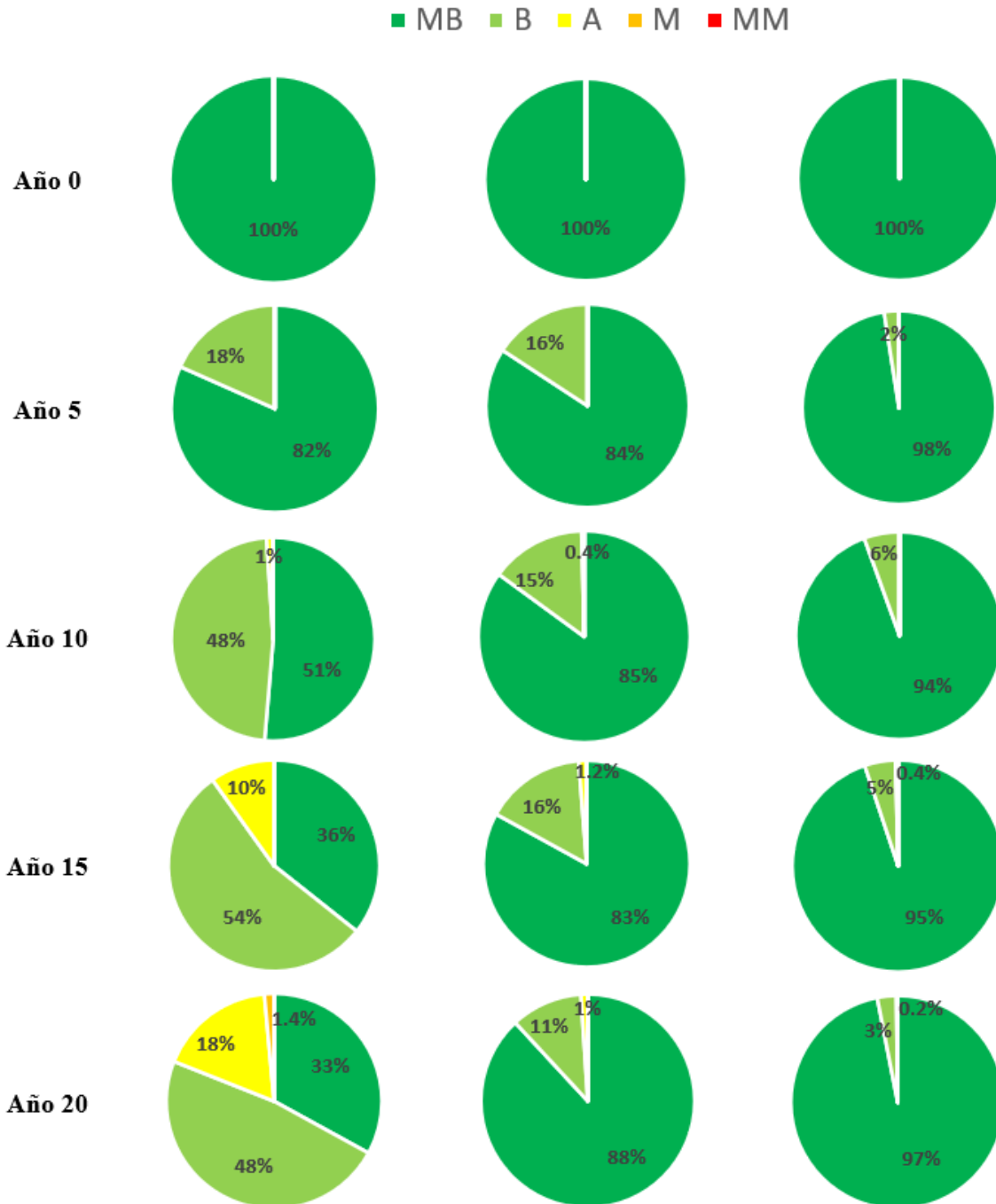


Figura 5.36. Porcentaje de secciones en los diferentes niveles de desempeño del indicador SFC para los tres escenarios (Ruta III).

Como se puede observar, en los tres escenarios se comienza con el 100% de las secciones en nivel Muy Bueno, ya que se asume que el pavimento está recién construido. Luego, se observa que el porcentaje de secciones en este nivel disminuye notoriamente para el escenario pesimista. De todas maneras, se recalca que la información está basada en las mediciones reales de la ruta analizada.

Finalmente, a partir de todo el procesamiento de la información y la definición de los escenarios de progresión, se presenta en la Tabla 5.65, Tabla 5.66, Tabla 5.67 y Tabla 5.68 la calificación global del agrietamiento, transferencia de carga, MRI y SFC para los tres escenarios de progresión de deterioro, respectivamente. La metodología de obtención de esta calificación se indica en las fichas técnicas de cada indicador, presentadas en el Anexo A.

Tabla 5.65. Progresión de la calificación global del agrietamiento por escenario (Ruta III).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	A	M	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM
Rea.	MB	MB	MB	A	A	B	B	A	B	A	B	A	B	B	A	A	B	B	B	A	A
Opt.	MB	MB	MB	B	B	B	B	B	MB	B	MB	B	MB	B	B	B	MB	B	MB	A	A

Tabla 5.66. Progresión de la calificación global de transferencia de carga por escenario (Ruta III).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	A	A	A	A	MM	MM	MM	MM	MM	MM
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	A	B	B	B	A	A	A	A	A	A
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	MB	B	B	MB	B	B	MB	MB

Tabla 5.67. Progresión de la calificación global del indicador MRI por escenario (Ruta III).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	B	M	B	M
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	MB
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB

Tabla 5.68. Progresión de la calificación global del indicador SFC por escenario (Ruta III).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	B
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB

La información anteriormente presentada es utilizada únicamente por el modelo propuesto. Los modelos actuales requieren de la evaluación del estado del Índice de Condición de Pavimento (ICP) y de la transferencia de carga según guía AASHTO. El porcentaje de secciones en cada estado del ICP y de la transferencia de carga según guía AASHTO para los diferentes indicadores y escenarios se puede encontrar en la Tabla C.19, Tabla C.20 y Tabla C.21 del Anexo C.

Los resultados de costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento para los tres escenarios en el periodo de análisis se presentan a continuación. Cabe mencionar, que el costo de rehabilitación corresponde a la pérdida de valor del pavimento en cada año según cada modelo, y no a la inversión realizada por el concesionario en cada escenario de gestión.

d. Costo de rehabilitación

En la Figura 5.37 y la Figura 5.38 se presenta el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales BALI y EI en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Para el modelo actual EI, se incluye únicamente los resultados del escenario pesimista, ya que son idénticos a los otros dos escenarios, difiriendo sólo en los últimos 4 años en un porcentaje menor al 0.4% del costo histórico.

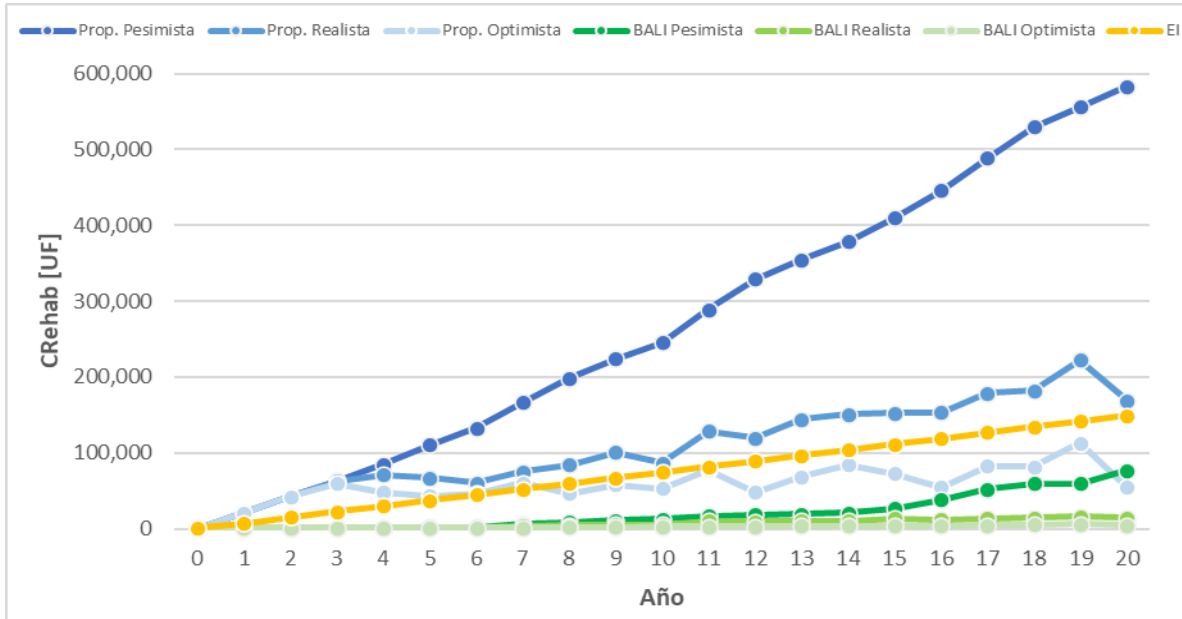


Figura 5.37. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta III).

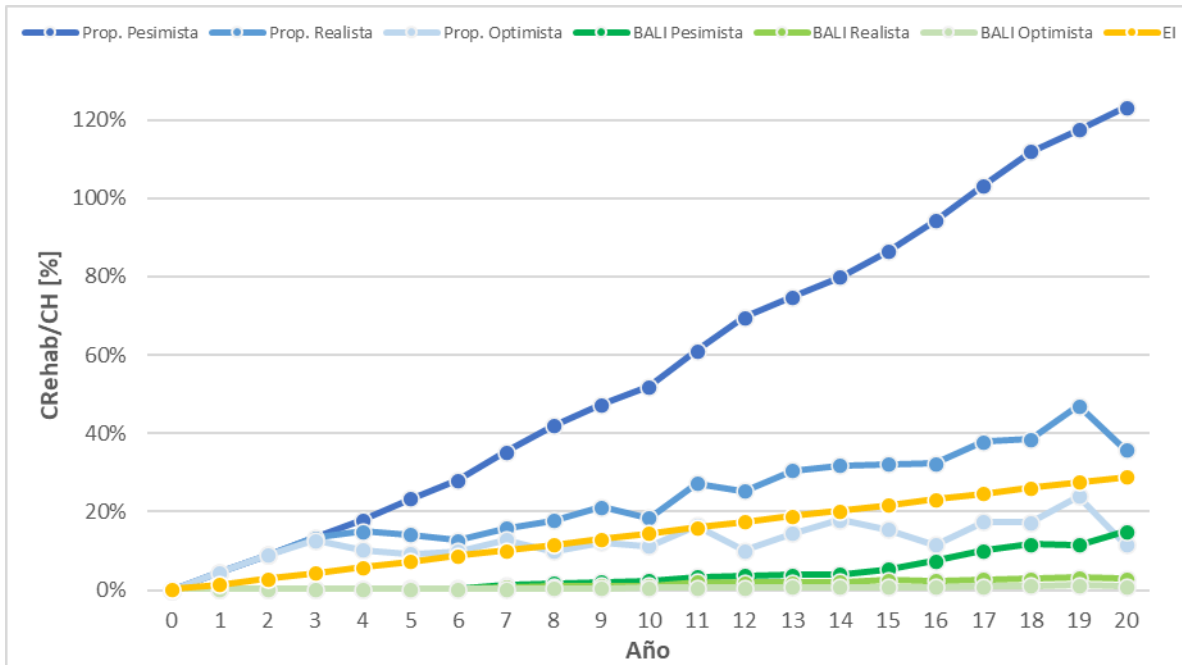


Figura 5.38. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta III).

En la Figura 5.39 y la Figura 5.40 se presenta el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto sin TC y el modelo actual DV en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Se comparan estos dos modelos por separado debido a que ambos no consideran la transferencia de carga en la valorización.

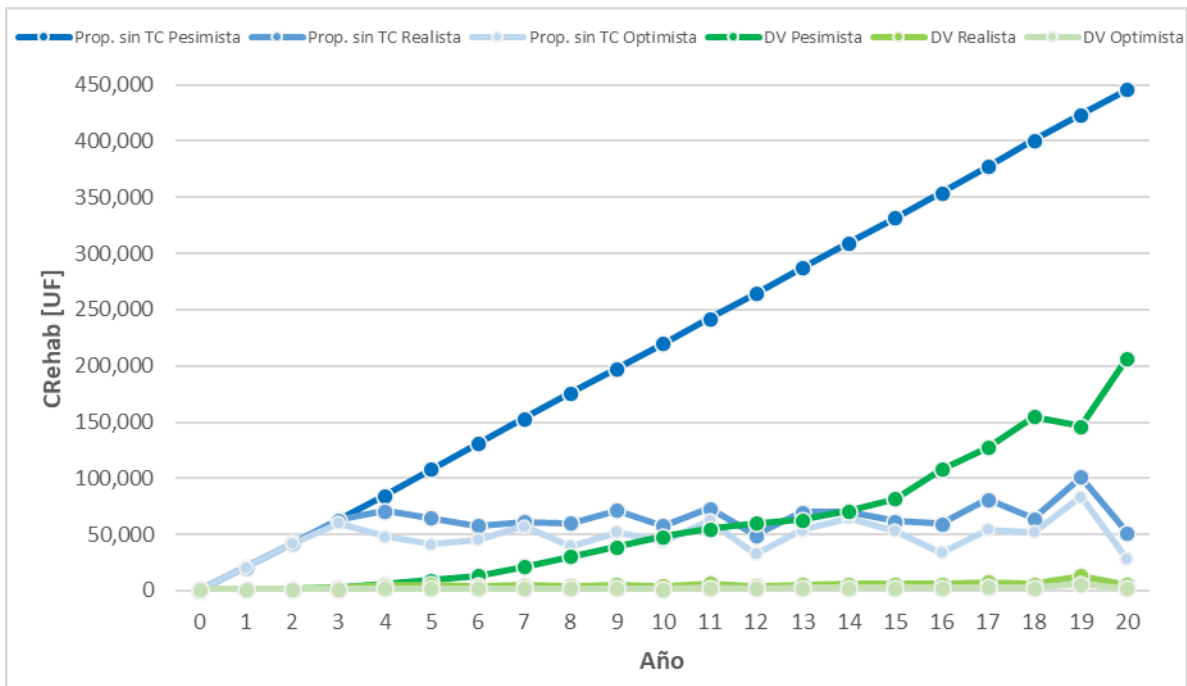


Figura 5.39. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta III).

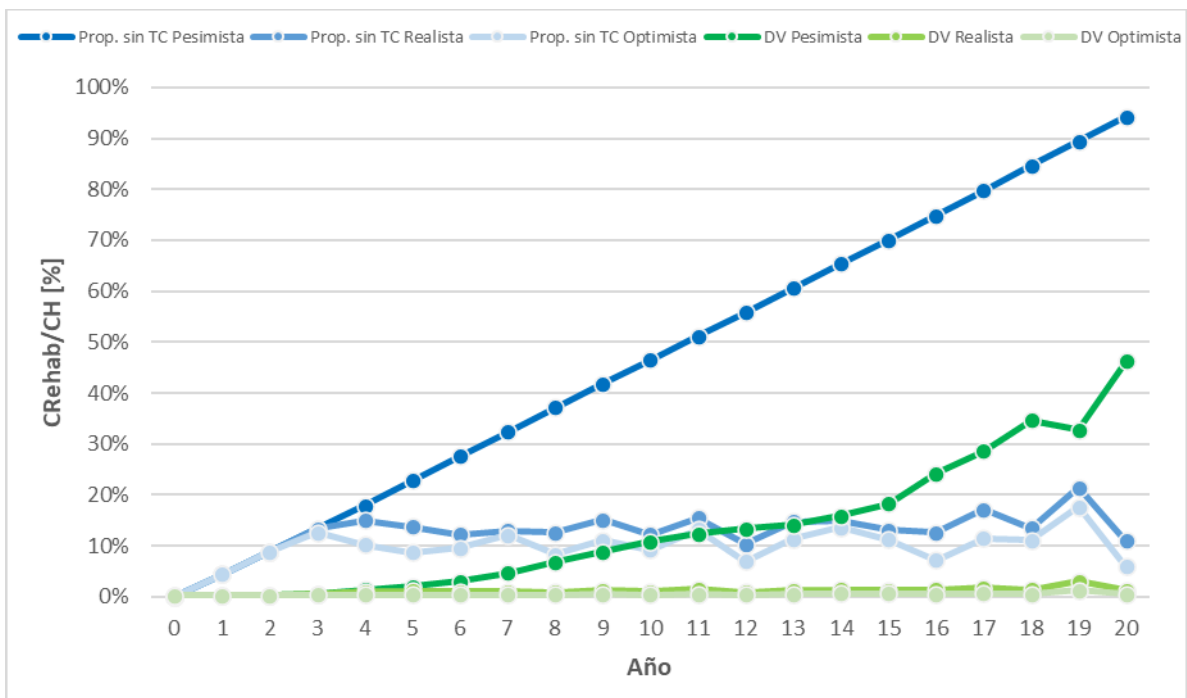


Figura 5.40. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta III).

De las figuras anteriores se puede observar que, el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto es mayor al obtenido con el modelo actual BALI en los tres escenarios de gestión. Además, con el primero se obtienen diferencias de resultados entre los escenarios mayores que con el segundo. Por otro lado, se puede observar que el modelo actual EI es insensible a los escenarios, y sus resultados son mayores al del modelo propuesto únicamente en el escenario optimista.

En cuanto al modelo propuesto sin TC, éste entrega un costo de rehabilitación mayor al del modelo actual DV en los tres escenarios de gestión. Además, con el primero se obtienen diferencias de resultados entre los escenarios mayores que con el segundo.

e. Penalización por desempeño

La penalización por desempeño del pavimento solo es obtenida con el modelo propuesto, ya que los modelos actuales no la contemplan. Esta penalización ocurre cuando en las secciones de pavimento el costo de rehabilitación supera al costo histórico, y su monto total en UF para cada año de análisis se presenta en la Figura 5.41. Notar que en el eje derecho se presenta el porcentaje que representa dicho monto respecto al costo histórico.

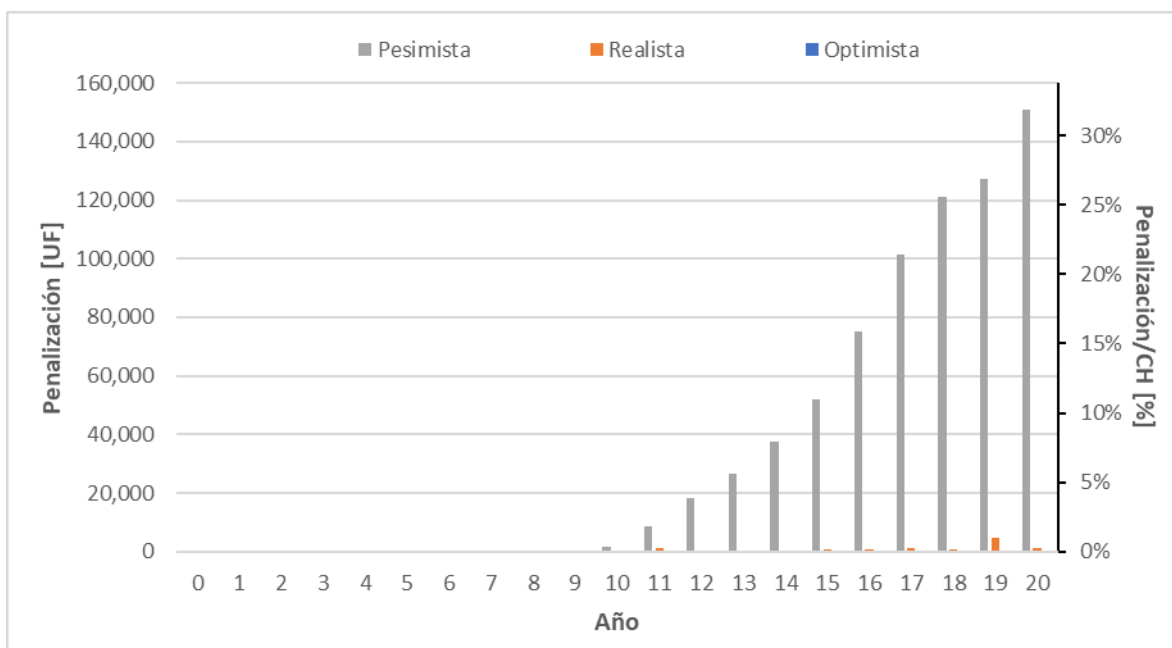


Figura 5.41. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta III).

Se puede apreciar que, la penalización por desempeño ocurre principalmente en el escenario pesimista, debido al alto nivel de agrietamiento y mal desempeño del indicador de transferencia de carga. En los escenarios realista y optimista, la penalización por desempeño es considerablemente menor que en el escenario pesimista. Lo anterior se debe a la mejor gestión realizada por el concesionario en la conservación del pavimento, al intervenirlo cuando se alcanzan los umbrales de desempeño.

f. Valor del activo

En la Figura 5.42 y la Figura 5.43 de la siguiente página se presenta el valor obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales BALI y EI en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Para el modelo actual EI, se incluye únicamente los resultados del escenario pesimista, ya que son idénticos a los otros dos escenarios, difiriendo sólo en los últimos 4 años en un porcentaje menor al 0.4% del costo histórico.

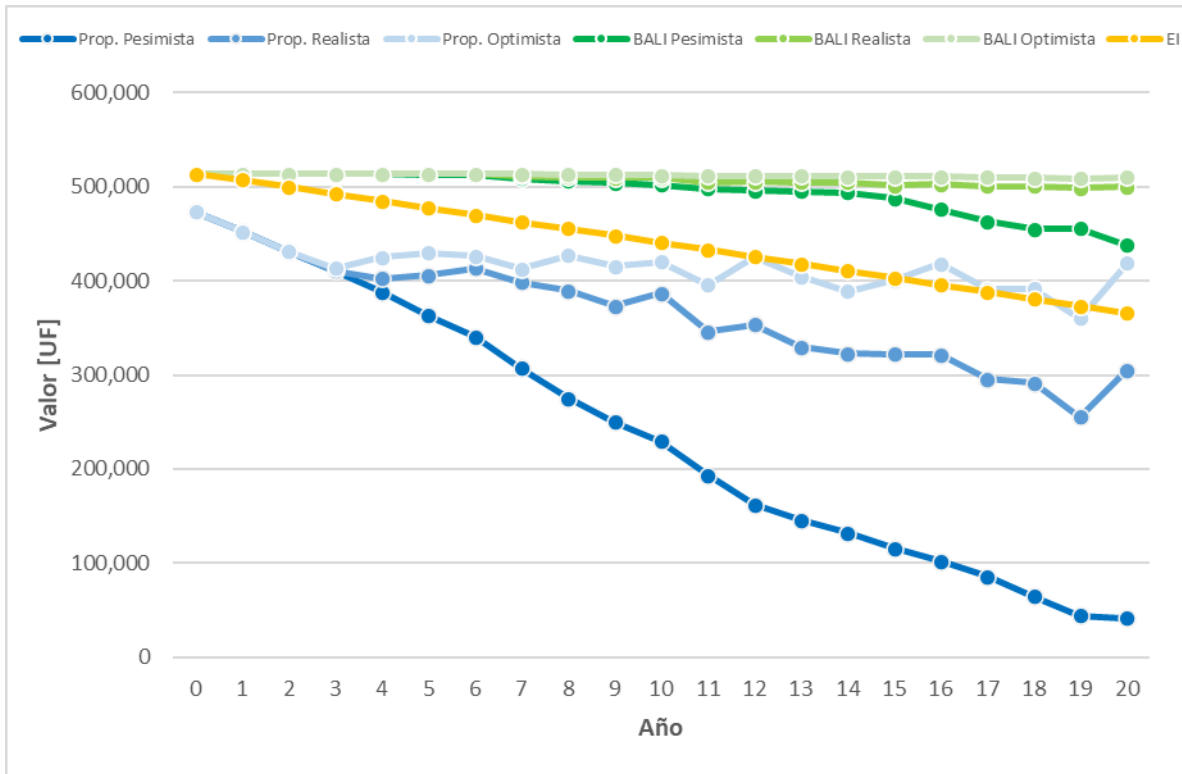


Figura 5.42. Valor en UF obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta III).

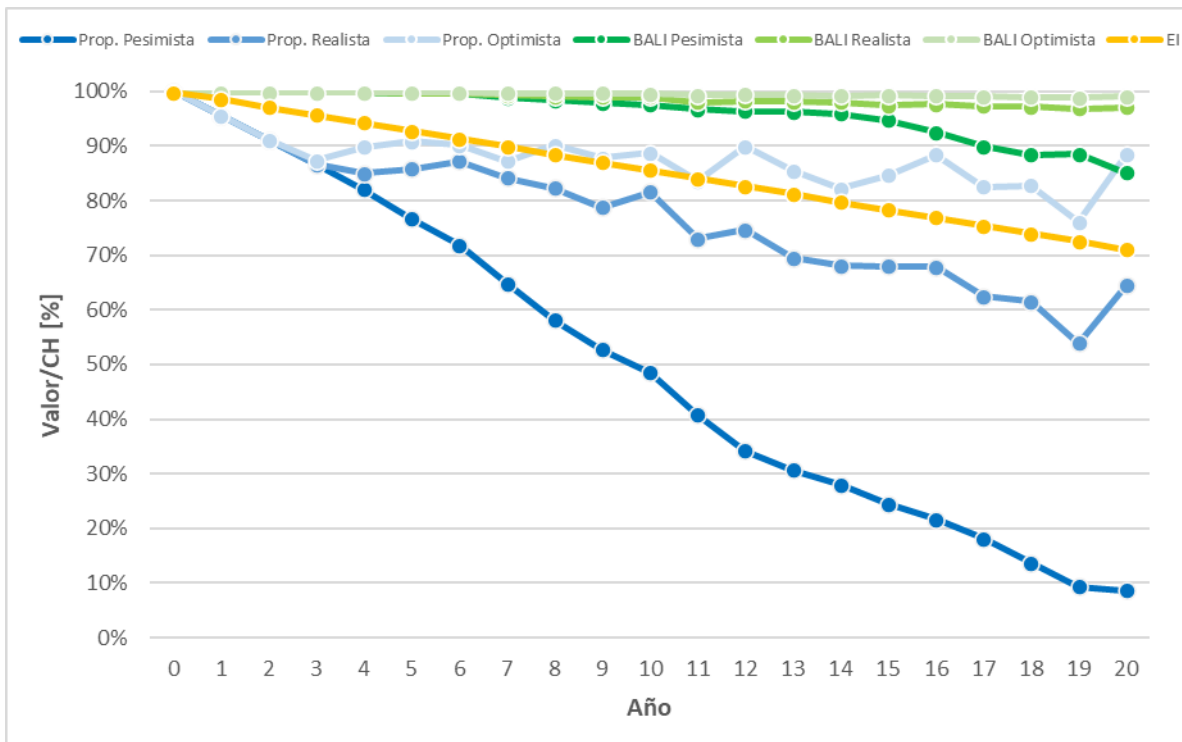


Figura 5.43. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta III).

En la Figura 5.44 y la Figura 5.45 se presenta el valor obtenido con el modelo propuesto sin TC y el modelo actual DV en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Se comparan estos dos modelos por separado debido a que ambos no consideran la transferencia de carga en la valorización.

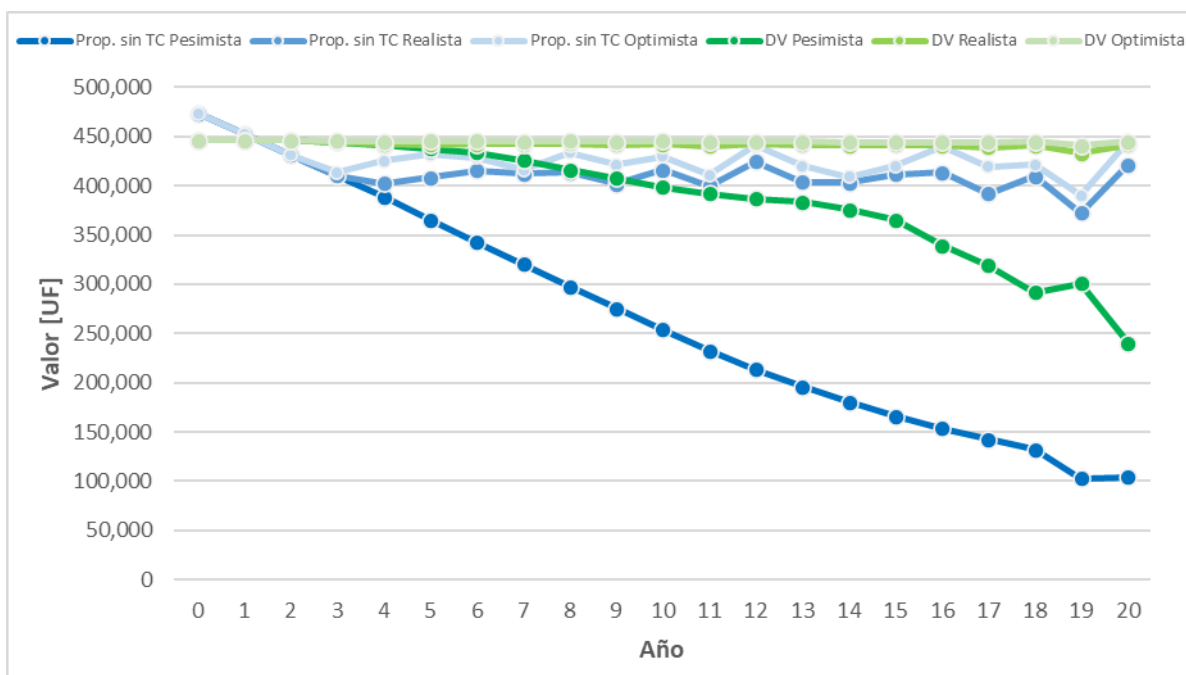


Figura 5.44. Valor en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta III).

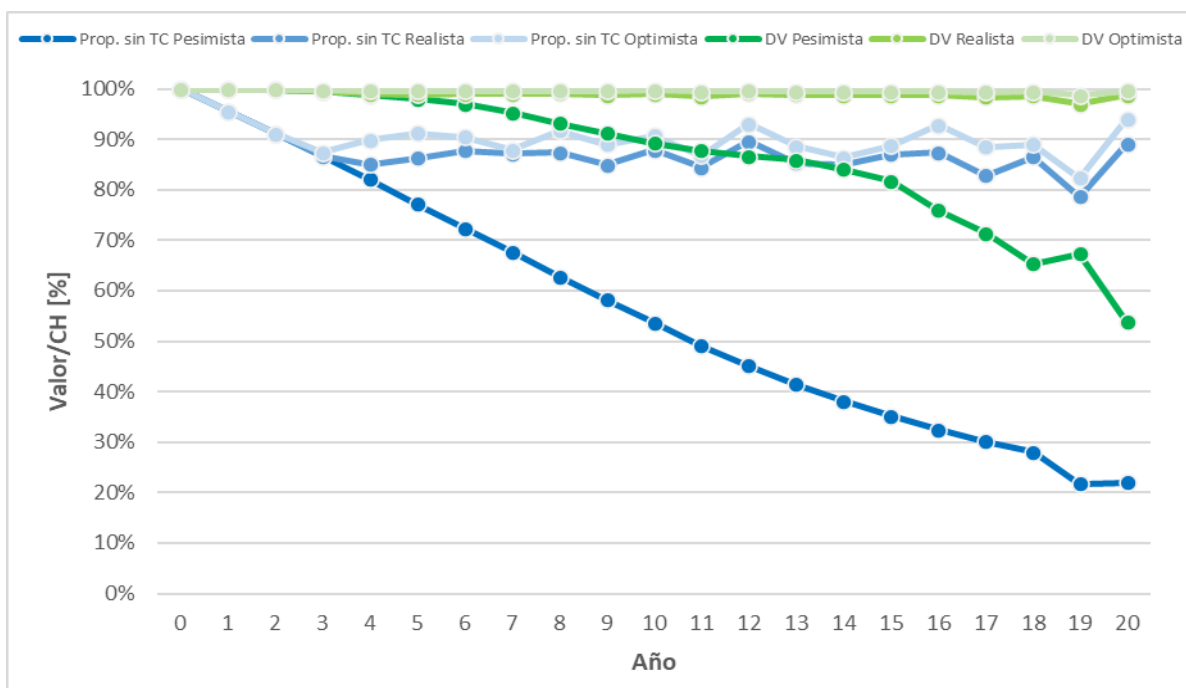


Figura 5.45. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta III).

A modo de resumen, en la Tabla 5.69 se presentan los mínimos, promedios y máximos del porcentaje de valor respecto al costo histórico, obtenidos en todo el periodo de análisis con los diferentes modelos en los tres escenarios.

Tabla 5.69. *Mínimo, promedio y máximo para el porcentaje de valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales en cada escenario (Ruta III).*

Escenario	Modelo	Mínimo	Promedio	Máximo
Pesimista	Propuesto	8.7%	50.4%	100.0%
	Propuesto sin TC	21.8%	56.7%	100.0%
	Actual EI	70.7%	85.5%	99.8%
	Actual BALI	85.1%	95.9%	99.8%
	Actual DV	53.7%	86.7%	99.8%
Realista	Propuesto	53.9%	77.2%	100.0%
	Propuesto sin TC	78.6%	87.4%	100.0%
	Actual EI	71.1%	85.5%	99.8%
	Actual BALI	96.9%	98.6%	99.8%
	Actual DV	97.0%	98.9%	99.8%
Optimista	Propuesto	76.0%	87.7%	100.0%
	Propuesto sin TC	82.3%	90.2%	100.0%
	Actual EI	71.1%	85.5%	99.8%
	Actual BALI	98.8%	99.4%	99.8%
	Actual DV	98.7%	99.5%	99.8%

Como se puede observar, el valor que entrega cada modelo para el año 0 es independiente del escenario, ya que corresponde al año inicial en donde el pavimento no presenta deterioros. Esto se debe al supuesto de que se encuentra recién construido, es decir, en condición “como nuevo”. Por otro lado, se puede apreciar que no existe pérdida de valor con el modelo propuesto, y el valor en el año inicial corresponde al costo histórico. En cambio, con los modelos actuales EI, DV y BALI si existe una pérdida de valor en el año inicial, que corresponde aproximadamente a un 0.2% del costo histórico. Lo anterior ocurre porque estos últimos modelos consideran el costo de conservación rutinaria cuando el ICP se encuentra en estado “Muy Bueno”, existiendo una pérdida de valor incluso cuando el pavimento no presenta deterioros. En efecto, dichos modelos se basan en la metodología de valorización del patrimonio vial de la DV, cuyos objetivos son presupuestarios a nivel de red y no de gestión a nivel de proyecto como los del modelo de valorización propuesto. La pérdida de valor para los tres modelos actuales en los tres escenarios es la misma y corresponde a UF 1,060. La pérdida de valor por conservación rutinaria en pavimentos de hormigón es relativamente baja respecto al costo histórico, debido a que incluye solo la limpieza de faja y saneamiento.

Para los años posteriores al año inicial, el valor entregado por cada modelo varía según el escenario, ya que estos últimos poseen criterios de progresión de deterioro distintos. En general, para todos los escenarios el modelo propuesto entrega valores menores que los modelos actuales EI-BALI. Los valores que entregan se vuelven similares únicamente cuando el modelo propuesto es aplicado en el escenario optimista y los actuales en el pesimista. En particular, la variación de los valores mínimos respecto al costo histórico entre un escenario pesimista y optimista corresponden a 67.4%, 13.7% y 0.4% para el modelo propuesto, actual BALI y actual EI, respectivamente. Por otro lado, la variación de los valores mínimos entre un escenario realista y optimista corresponden a 22.1%, 1.9% y 0% para el modelo propuesto, actual BALI y actual EI, respectivamente.

En cuanto a la versión del modelo propuesto sin la transferencia de carga (TC) se puede apreciar que entrega valores en UF y respecto al costo histórico menores al modelo actual DV, que tampoco

considera dicho indicador. Además, el modelo propuesto sin TC es más sensible a los escenarios de gestión. En particular, la variación de los valores mínimos entre un escenario pesimista y optimista corresponden a 60.5% y 44.9% para el modelo propuesto sin TC y actual DV, respectivamente. Por otro lado, la variación de los valores mínimos entre un escenario realista y optimista corresponden a 3.7% y 1.7% para el modelo propuesto sin TC y actual DV, respectivamente. Sin perjuicio de lo anterior, es necesario recalcar que estos modelos subestiman la pérdida de valor del pavimento, al no considerar la capacidad estructural a través de la transferencia de carga.

De esta forma, se puede afirmar que el modelo de valorización propuesto captura de forma más notoria los cambios de desempeño del pavimento en el tiempo, en comparación con los modelos actuales. La mayor sensibilidad que entrega el modelo propuesto para la pérdida de valor en los distintos escenarios se explica principalmente por las razones señaladas en la Tabla 5.24.

Por otro lado, el efecto sobre el valor de aplicar distintos límites del ICP en los modelos actuales no es tan significativo, como sí lo son la definición de porcentajes de intervención para cada actividad y la consideración estructural. En efecto, al aplicar intervenciones en toda la sección de pavimento, el modelo actual DV tiene costos de conservación funcional por ICP mayores a los correspondientes a los modelos EI y BALI. Sin embargo, debido a que el primero no toma en cuenta la condición estructural, entrega pérdidas de valor similares al modelo BALI. En cuanto al costo de conservación estructural del modelo actual BALI, en este informe no se utilizó la ecuación AASHTO al no contar con la información de EE de diseño. Por lo tanto, los resultados de dicho modelo podrían ser más exactos si es que se tienen todos los datos requeridos. Además, en cuanto al modelo actual EI, este propone una misma intervención en todas las secciones de pavimento para la obtención del costo estructural. Lo anterior implica que dicho modelo entrega prácticamente los mismos resultados para los tres escenarios y no es sensible al desempeño de los indicadores, al predominar el costo estructural por sobre el funcional en todos los escenarios. Cabe mencionar que el modelo actual EI corresponde a una cota inferior para los resultados de los modelos actuales. En efecto, dicho modelo corresponde a una solución determinada en el estudio integral de la ruta a partir de un criterio conservador.

Por último, es posible mencionar que si no se considera la transferencia de carga en el modelo propuesto se obtienen pérdidas de valor considerablemente menores que al sí tomar en cuenta dicho indicador. Lo anterior se debe al alto costo de la actividad de rehabilitación asociada al indicador, que corresponde a la colocación de barras de traspaso de carga. En efecto, el costo de dicha actividad aplicada en cada junta es aproximadamente igual al costo de construir una losa. Cabe mencionar, que en esta ruta el costo de reemplazar una losa es aproximadamente el doble de construirla. Lo anterior implica una pérdida de valor considerable, incluso si no se considera la pérdida asociada a la transferencia de carga, como fue visualizado en los resultados del modelo propuesto sin TC.

5.4. Ruta IV

5.4.1. Caracterización de la vía e información disponible

Esta ruta se ubica en la zona sur del país, y comprende un total de 161 km de longitud. El pavimento de la vía principal se distribuye en 4 pistas, existiendo en total 644 km-pista, donde 68.8 km corresponden a pavimento de hormigón, es decir, un 11% de la longitud total de la vía principal aproximadamente. En la Figura 5.46 se presenta el esquema de la enumeración de las pistas de la ruta (MOP, 2020b). En particular, el pavimento de hormigón se concentra en las pistas 2 y 4. El ancho de las pistas corresponde a 3.5 metros.

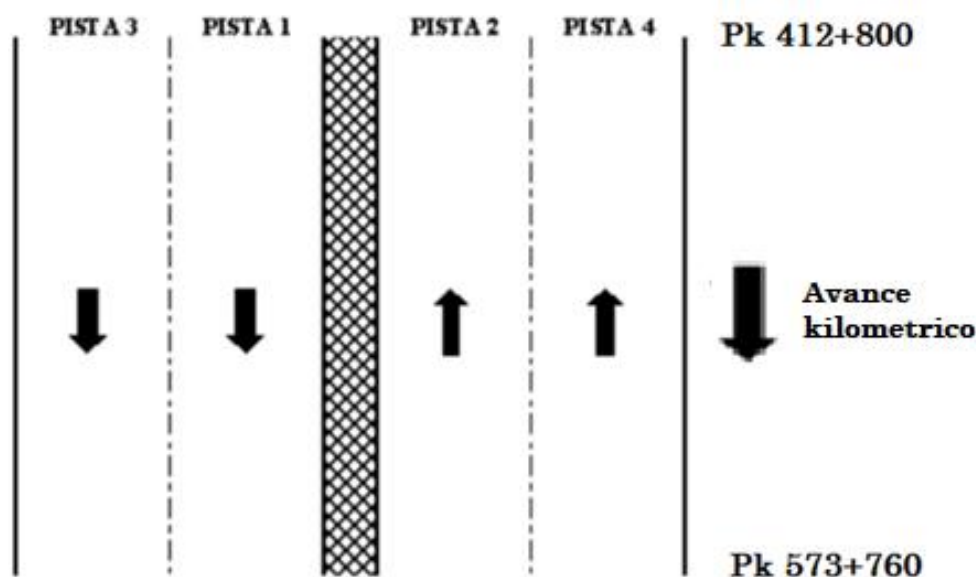


Figura 5.46. Esquema de la enumeración de las pistas en la Ruta IV (MOP, 2020b).

Por otro lado, para la aplicación del modelo de valoración propuesto se requiere de tres tipos de datos: información de inventario, de precios unitarios y condición. La información de inventario disponible corresponde a la estructura, longitudes y espesores del pavimento (MOP, 2020b), los cuales se presentan en la Tabla 5.70.

Tabla 5.70. Estructura y espesores del pavimento de hormigón en la Ruta IV (MOP, 2020b).

Tramo	Km inicio	Km fin	Longitud [km]	Pistas	Base estabilizada [cm]	Losas de hormigón [cm]
1	448.8	474.0	25.2	2 y 4	12	23
2	563.6	572.8	9.2	2 y 4	12	22

Como se observa, bajo las losas de hormigón se tiene una base estabilizada de 12 cm. En el tramo 1 y 2 el espesor de las losas de hormigón es de 23 y 22 cm, respectivamente.

Los datos de precios unitarios disponibles corresponden a los presentados en el estudio integral de la ruta (MOP, 2021d), los cuales son los mismos que los utilizados en el estudio integral de la Ruta I, presentados en la Tabla 5.2. Notar que en dicha tabla se presentan los precios unitarios de conservación rutinaria, sello de juntas e inyección de mortero. Estos últimos no son requeridos para la aplicación del modelo de valoración propuesto, pero si se utilizan en los modelos actuales.

Los datos de condición disponibles provienen de la evaluación funcional y estructural del pavimento llevadas a cabo en 2020 (MOP, 2020b). Respecto a la información disponible se distinguen datos para los siguientes indicadores:

- **Regularidad longitudinal del pavimento:** Para el año 2020 se tienen los datos de Mean Roughness Index (MRI) cada 200 m, excepto cuando existe alguna singularidad como un puente, paso superior, peaje o cambio de pavimento, donde este indicador no se reporta.
- **Resistencia al deslizamiento:** Para el año 2020 se tienen datos de SFC equivalente reportados cada 200 m por pista.
- **Agrietamiento:** Para el año 2018, se cuenta con datos de una inspección visual realizada cada 40 losas por km. Para cada losa inspeccionada, se distingue la presencia de grietas según tipo y severidad (baja, media y alta), y el número de trozos. Cabe mencionar que, no se cuenta con el porcentaje de losas agrietadas directamente, por lo que los datos deben ser procesados para obtener dicho indicador.
- **Transferencia de carga:** Para el año 2020, se cuenta con mediciones puntuales de este indicador cada 500 m en la pista 4 y cada 1 km en la pista 2.

De esta forma, la información disponible en cuanto a datos de condición debe ser adaptada al formato de evaluación de cada indicador de acuerdo con la ficha técnica correspondiente, presentada en el Anexo A. Además, debido a la falta de información que se tiene en algunos años y/o secciones de pavimento, el procesamiento de los datos se realiza únicamente para la comparación del modelo propuesto con modelos actuales usando secciones de 200 m en un periodo de análisis de 20 años.

Las consideraciones tomadas para el procesamiento de datos para cada este análisis y los resultados obtenidos se detallan a continuación.

5.4.2. Comparación entre modelo propuesto y modelos actuales en el tiempo

a. Procesamiento de datos

Para este análisis, se consideran todas las secciones de pavimento existentes entre el inicio y final de cada tramo de diseño. Lo anterior implica completar los datos faltantes en algunas secciones con los datos de secciones aledañas. De esta forma, la suma total de la longitud de las 344 secciones de 200 m a evaluar en este caso corresponde a 68.8 km-pista, equivalente al 100% de la longitud total del pavimento de hormigón en la ruta. Además, para la conservación rutinaria considerada en los modelos actuales, se define un porcentaje de los valores descritos en la Tabla 5.2, ya que no solo consideran la conservación de la calzada. El porcentaje corresponde a 73%, determinado a partir de la razón entre el ancho de calzada, y la suma del ancho de la calzada y berma de la vía.

Por otro lado, se consideran los datos de condición disponibles para el año 2020. Debido a las características de la información disponible, la valorización se realiza para secciones de 200 m, tanto para el modelo propuesto como los modelos actuales. En función de lo anterior, se tomaron las siguientes consideraciones para los indicadores técnicos:

- **Porcentaje de losas agrietadas:** Se considera el mismo valor para las 5 secciones de 200 metros ubicadas en cada km, correspondiente al porcentaje de losas agrietadas dentro de las 40 losas inspeccionadas en cada km.
- **Transferencia de carga:** Se considera las medias fijas cada 1 km de las mediciones puntuales reportadas cada 50 metros. Por cierto, antes del cálculo de las medias fijas, cada dato puntual reportado es corregido, ya que fueron medidos en diferentes condiciones horarias y de temperatura, que pueden estar sub o sobrestimando su valor. El detalle de las correcciones realizadas se presenta en el Anexo D, donde también se incluye un análisis de sensibilidad del modelo propuesto a diferentes consideraciones para la transferencia de carga.

- **MRI:** Se considera directamente los valores reportados en cada sección de 200 m. Para el caso de secciones sin datos, se completaron con valores promedio de las secciones anterior y siguiente, o con el valor de la sección más cercana en caso de encontrarse al final o inicio de un tramo de diseño.
- **SFC:** Se considera directamente los valores reportados en cada sección de 200 m.

En la Figura 5.47 y Figura 5.48 se presenta el diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas y transferencia de carga, y de los indicadores MRI y SFC, respectivamente.

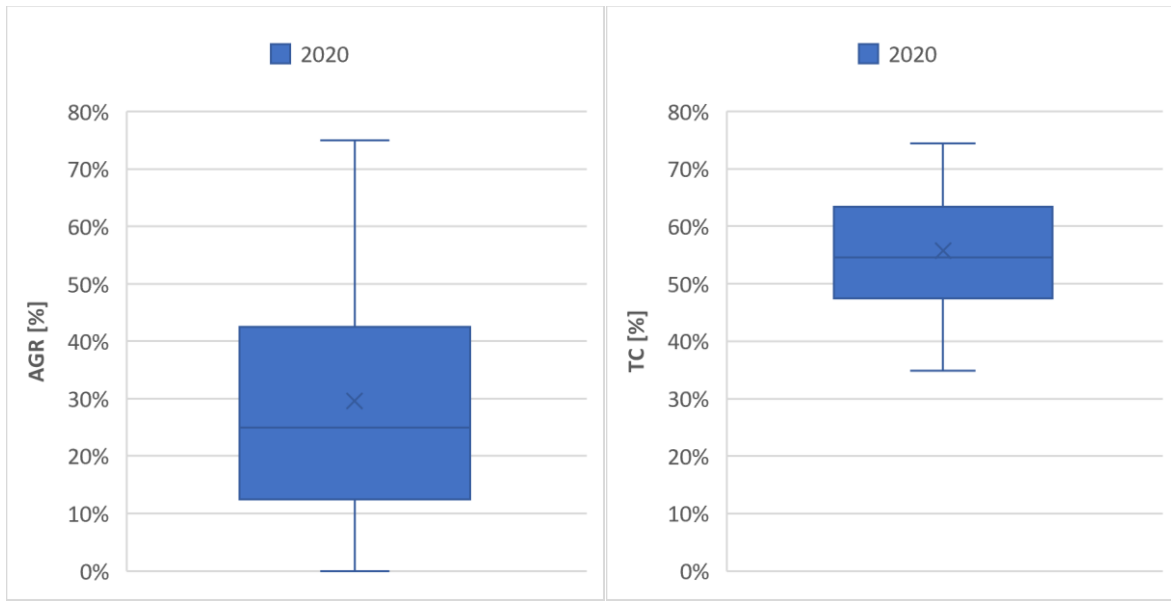


Figura 5.47. Diagrama de caja y bigotes del porcentaje de losas agrietadas y transferencia de carga en 2020 (Ruta IV).

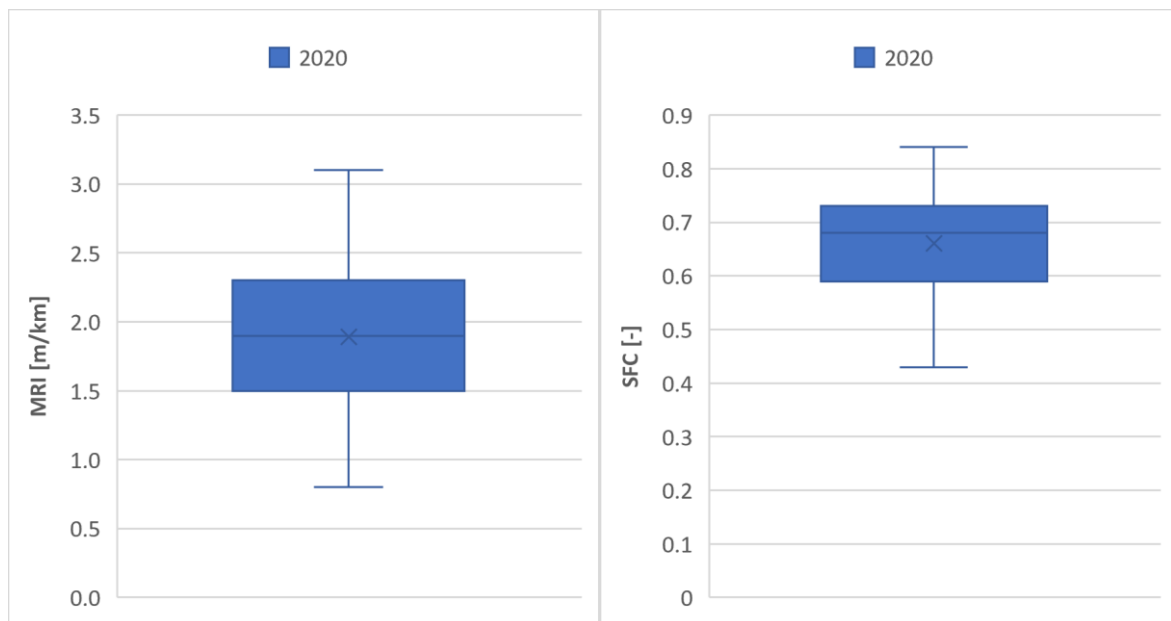


Figura 5.48. Diagrama de caja y bigotes del indicador MRI y SFC en 2020 (Ruta IV).

b. Costo histórico

En la Tabla 5.71 se presenta el costo histórico obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales, diferenciado por los elementos que componen el paquete estructural. De forma complementaria se presenta el porcentaje de participación de cada elemento en el costo histórico total.

Tabla 5.71. Costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales (Ruta IV).

Elemento	Propuesto		Actual EI-BALI		Actual DV	
	[UF]	[%]	[UF]	[%]	[UF]	[%]
Losas de Hormigón	269,640	89.8%	297,721	85.1%	249,090	83.3%
Base Granular Chancada	0	0.0%	47,212	13.5%	23,606	7.9%
Subbase Granular	0	0.0%	0	0.0%	21,391	7.2%
Base Estabilizada	25,655	8.5%	0	0.0%	0	0.0%
Preparación de la Subrasante	4,957	1.7%	4,957	1.4%	4,957	1.7%
Total	300,253	100.0%	349,891	100.0%	299,044	100.0%

Como se puede observar, las losas de hormigón son la capa del pavimento de mayor contribución al costo histórico, tanto para el modelo propuesto como para los modelos actuales. Sin embargo, el costo histórico total y la distribución por elemento difieren en cada modelo. Lo anterior se explica por el hecho de que el modelo propuesto considera el espesor de capa correspondiente a cada sección del pavimento según los datos de inventario disponibles de la ruta. En cambio, los modelos actuales consideran espesores iguales para todas las secciones de pavimento, que corresponden a valores promedio definidos a partir del inventario (EI-BALI) o de la zona geográfica en donde se emplaza el proyecto (DV). Esto significa que los modelos actuales subestiman o sobreestiman el costo histórico en algunas secciones del pavimento. En particular, si se toma como base los modelos actuales EI-BALI, la diferencia porcentual en costo histórico obtenido con el modelo propuesto es de -14.2% y con el modelo DV es de -14.5%. Dicho de otra forma, con el modelo propuesto se obtiene un resultado menor respecto al modelo actualmente utilizado en concesiones viales (EI-BALI) y similar al modelo utilizado en la red vial no concesionada (DV).

c. Escenarios de progresión de deterioro en el tiempo

Para la progresión del deterioro de cada uno de los indicadores técnicos se definen tres escenarios: pesimista, realista y optimista. Estos escenarios se basan en las mediciones reales de 2020 presentadas anteriormente, y en los umbrales admisibles tanto del contrato de concesión correspondiente (MOP, 1996) como los del modelo de valorización propuesto. Estos umbrales se presentan en la Tabla 5.72. Notar que en las bases de licitación no se definen umbrales admisibles para la transferencia de carga entre losas.

Tabla 5.72. Umbrales admisibles según bases de licitación y modelo de propuesto (Ruta IV).

Característica	Indicador técnico	Bases de licitación	Modelo Prop.
Regularidad longitudinal	MRI puntual	3.5 m/km	3.5 m/km
Resistencia al deslizamiento	SFC equiv.	0.40 y 0.55 [-]	0.40 [-]
Agrietamiento	% Losas agrietadas (AGR)	15% (Sólo alta severidad)	15%
Capacidad estructural	% Transferencia de carga (TC)	-	50%

A partir de esta información se define que los datos reales con los que se cuenta corresponden a un escenario pesimista. El motivo para definir esto se debe al aumento de exigencias para el indicador de agrietamiento y transferencia de carga, particularmente. En caso de que el concesionario no logre

ajustarse a las nuevas exigencias de servicio, se asume que puede mantener, al menos, los estándares antiguos. De esta forma, se convierten los datos reales en un escenario posible, pero de mala gestión de acuerdo con el nivel de servicio entregado a los usuarios. Cabe mencionar que, independiente de que los umbrales para MRI y SFC sean similares al modelo NS, igual hay secciones de pavimento que no cumplen con los estándares correspondientes de la base de licitación, por lo que se decide utilizar esta información como un escenario pesimista.

Dado que se define que la infraestructura es nueva, se asume que los indicadores se encuentran en nivel de desempeño “Muy Bueno” en el año 0. Para el año 20 de la concesión tipo se utilizan los datos reales disponibles de los indicadores para el año 2020. Para los años sin información disponible para los indicadores, se aplica interpolación lineal entre los años en donde existe disponibilidad de datos, es decir, desde el año 0 al 20.

Para los escenarios realista y optimista se toman las mediciones reales y se varían en un cierto rango para tener un nivel de desempeño mejor, donde el concesionario se ajusta a los niveles de servicio (escenario realista) y donde tiene un desempeño aún mejor que ajustarse a las exigencias mínimas de servicio (escenario optimista). En la Tabla 5.73 se presentan los rangos de variación que tienen los datos reales en los escenarios realista y optimista.

Tabla 5.73. Umbrales admisibles y rangos de variación para los diferentes escenarios (Ruta IV).

Indicador técnico	Umbral BALI correspondiente	Umbral Modelo NS	Escenario Pesimista	Escenario realista	Escenario optimista
MRI puntual	3.5 m/km	3.5 m/km	Datos reales	Datos reales (*)	- 0.5 m/km (*)
SFC equiv.	0.40 y 0.55 [-]	0.40 [-]	Datos reales	Datos reales (*)	+ 0.05 [-] (*)
Agrietamiento (AGR)	15% (Sólo alta severidad)	15%	Datos reales	Intervención 15% AGR	Intervención 10% AGR
Transferencia de carga (TC)	-	50%	Datos reales	Intervención 50% TC (*)	Intervención 60% TC (*)

(*) Los escenarios realista y optimista para los indicadores IRI, SFC y TC están sujetos a la intervención asociada al AGR.

Por ejemplo, si una sección de pavimento tiene un MRI de 2.63 m/km, en el escenario realista el valor es de 2.63 m/km, y en el escenario optimista es de 2.13 m/km (-0.5 m/km). Para el indicador SFC el proceso es similar a MRI. Para el agrietamiento existen diferencias significativas entre el umbral de las bases de licitación y del modelo propuesto, por lo que se opta por otra alternativa para la progresión de deterioro. Esta alternativa corresponde a utilizar la curva de los datos reales, pero cuando una sección alcanza el umbral "Malo" (15% losas agrietadas) se realiza un reemplazo de las losas agrietadas y un cepillado de la superficie en un escenario realista. Para un escenario optimista el umbral de intervención es de 10% de losas agrietadas, es decir, se interviene al llegar a nivel de desempeño “Aceptable”. Por cierto, el reemplazo de losas devuelve a la sección a nivel “Muy Bueno” en agrietamiento, MRI y SFC, por lo que, se "reinicia" la curva de deterioro para estos indicadores. En cuanto a la transferencia de carga, no existen umbrales definidos en las bases de licitación. Por lo tanto, para este indicador se usa la curva lineal asumida y explicada anteriormente, pero en los escenarios realista y optimista, se colocan barras de traspaso de carga cuando una sección alcanza el umbral "Malo" (50%) y “Aceptable” (60%), respectivamente, que la devuelve a nivel “Muy Bueno”. Además, se asume que cuando se reemplazan las losas agrietadas, la curva lineal de deterioro de la transferencia de carga retrocede 4 y 2 años para los escenarios realista y optimista, respectivamente.

Otro aspecto por considerar para el tratamiento de la información es la calificación global de cada indicador técnico según el modelo de nivel de servicio (Delgadillo et al., 2020). Tanto para el escenario realista como optimista se considera que la calificación global de los indicadores puede ser “Muy Bueno”, “Bueno” o “Aceptable”, ya que el concesionario no va a incurrir en penalizaciones por un mal servicio. En función de lo anterior, si luego de aplicar los rangos de variaciones de la Tabla 5.73 la calificación global no cumple con el nivel de servicio mínimo, se varían aquellas

secciones con indicadores en niveles “Malo” o “Muy Malo”, que afectan la calificación global. Por ejemplo, en el escenario realista, todas las secciones que tengan un MRI en nivel “Muy Malo” se cambian a nivel “Malo”, mientras que para el escenario optimista se cambian a nivel “Aceptable”. Criterios similares se tomaron para los demás indicadores técnicos. Es importante mencionar que la calificación global de los indicadores se considera para tener una compatibilidad entre el nivel de servicio a los usuarios y la valorización de los activos de la carretera. Sin embargo, el modelo de valorización considera el nivel de desempeño de cada indicador para cada sección de pavimento de manera independiente.

De esta manera, se completa la información para los 20 años de análisis y los tres escenarios. El porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para los diferentes indicadores y escenarios se pueden encontrar en la Tabla C.22, Tabla C.23, Tabla C.24 y Tabla C.25 del Anexo C. Cabe mencionar, que el nivel de desempeño del agrietamiento no se utiliza en el modelo de valorización propuesto, ya que este considera el costo de reemplazo de las losas agrietadas. La longitud total en km de las losas agrietadas en cada año del periodo de análisis se presenta en la Tabla 5.74.

Tabla 5.74. Longitud total en km de losas agrietadas por escenario (Ruta IV).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	0.0	1.0	2.0	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3
Rea.	0.0	1.0	2.0	3.1	4.1	4.2	4.0	4.3	4.6	4.6	4.4	4.8	4.1	4.1	4.3	4.4	4.3	5.3	4.0	4.6	4.4
Opt.	0.0	1.0	2.0	3.1	2.6	2.6	2.9	3.3	2.5	2.8	2.8	3.5	2.1	3.1	3.3	3.3	2.5	3.4	2.9	3.9	2.5

A modo de visualización, se presenta en la Figura 5.49 de la siguiente página los porcentajes de secciones en cada nivel de desempeño para el año inicial (año 0), tres años intermedios (año 5, 10 y 15) y para el último año de análisis (año 20), asociados al indicador MRI.

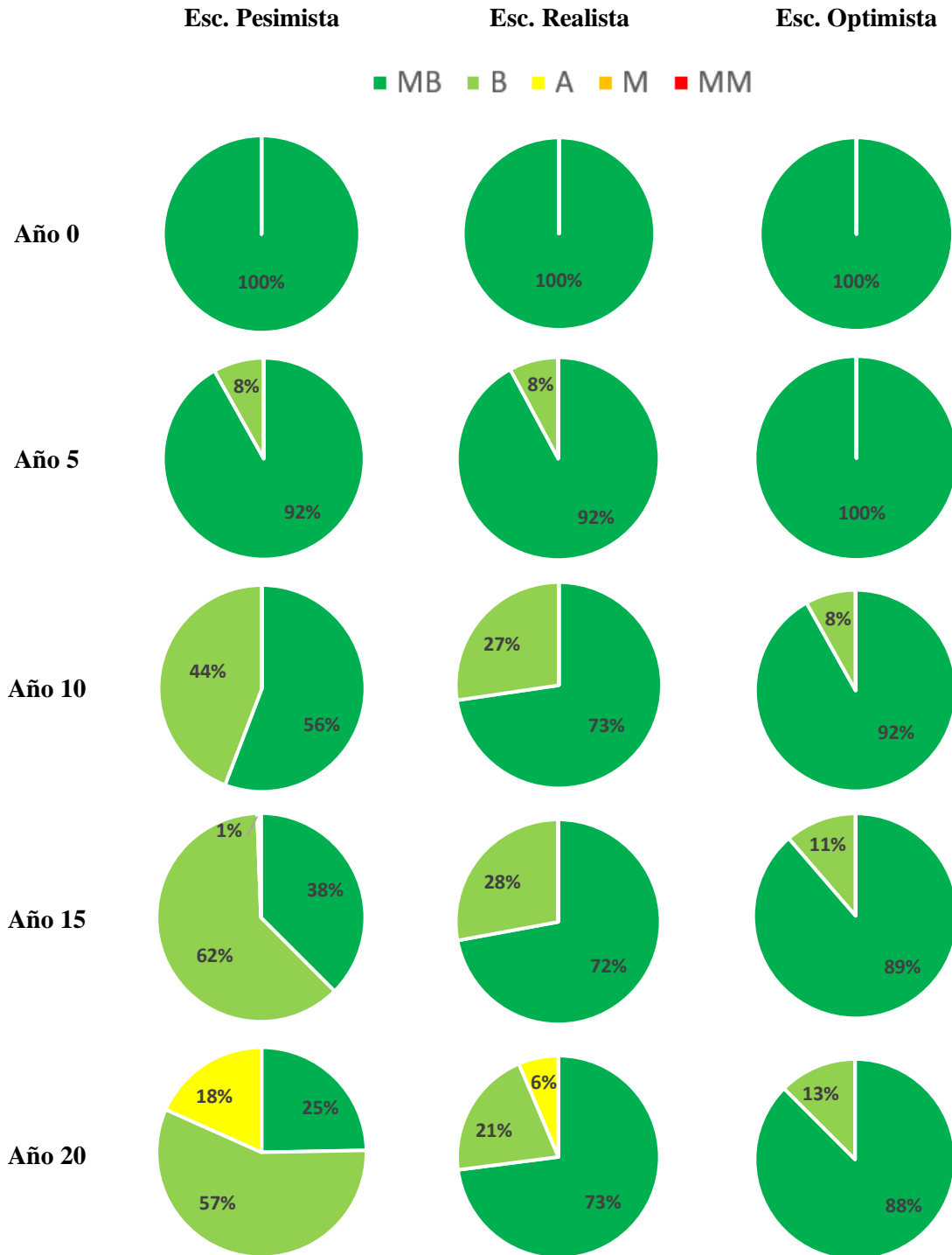


Figura 5.49. *Porcentaje de secciones en los diferentes niveles de desempeño del indicador MRI para los tres escenarios (Ruta IV).*

Como se puede observar, en los tres escenarios se comienza con el 100% de las secciones en nivel Muy Bueno, ya que se asume que el pavimento está recién construido. Luego, se observa que el porcentaje de secciones en este nivel disminuye notoriamente para el escenario pesimista. De todas maneras, se recalca que la información está basada en las mediciones reales de la ruta analizada.

Finalmente, a partir de todo el procesamiento de la información y la definición de los escenarios de progresión, se presenta en la Tabla 5.75, Tabla 5.76, Tabla 5.77 y Tabla 5.78 la calificación global del agrietamiento, transferencia de carga, MRI y SFC para los tres escenarios de progresión de deterioro, respectivamente. La metodología de obtención de esta calificación se indica en las fichas técnicas de cada indicador, presentadas en el Anexo A.

Tabla 5.75. Progresión de la calificación global del agrietamiento por escenario (Ruta IV).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	B	A	M	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM
Rea.	MB	MB	MB	B	A	A	B	B	B	A	B	A	B	B	A	B	B	A	B	A	B
Opt.	MB	MB	MB	B	B	MB	MB	B	MB	B	MB	B	MB	MB	B	B	MB	MB	MB	B	MB

Tabla 5.76. Progresión de la calificación global de transferencia de carga por escenario (Ruta IV).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	A	M	M	MM	MM	MM	MM
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	B	B	B	B	A	B	B	A	B
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B	B	B	B	B

Tabla 5.77. Progresión de la calificación global del indicador MRI por escenario (Ruta IV).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B	B
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB

Tabla 5.78. Progresión de la calificación global del indicador SFC por escenario (Ruta IV).

Esc.	Año																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	B
Rea.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Opt.	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB

La información anteriormente presentada es utilizada únicamente por el modelo propuesto. Los modelos actuales requieren de la evaluación del estado del Índice de Condición de Pavimento (ICP) y de la transferencia de carga según guía AASHTO. El porcentaje de secciones en cada estado del ICP y de la transferencia de carga según guía AASHTO para los diferentes indicadores y escenarios se puede encontrar en la Tabla C.26, Tabla C.27 y Tabla C.28 del Anexo C.

Los resultados de costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento para los tres escenarios en el periodo de análisis se presentan a continuación. Cabe mencionar, que el costo de rehabilitación corresponde a la pérdida de valor del pavimento en cada año según cada modelo, y no a la inversión realizada por el concesionario en cada escenario de gestión.

d. Costo de rehabilitación

En la Figura 5.50 y la Figura 5.51 se presenta el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales BALI y EI en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Para el modelo actual EI, se incluye únicamente los resultados del escenario pesimista, ya que son idénticos a los otros dos escenarios.

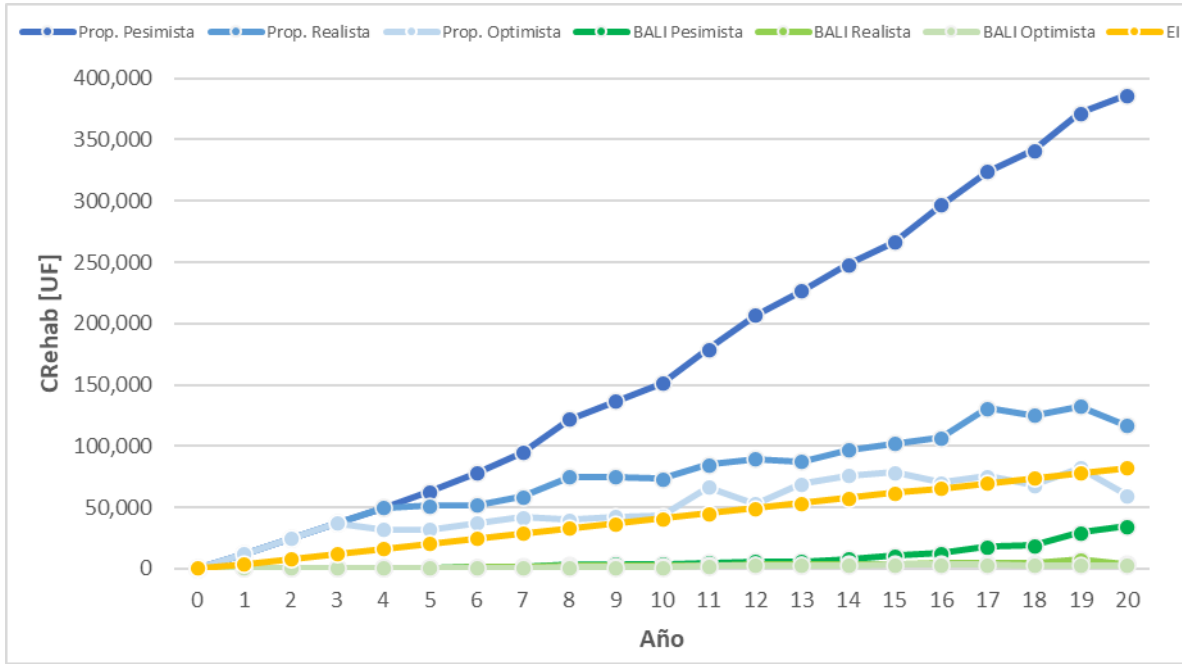


Figura 5.50. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta IV).

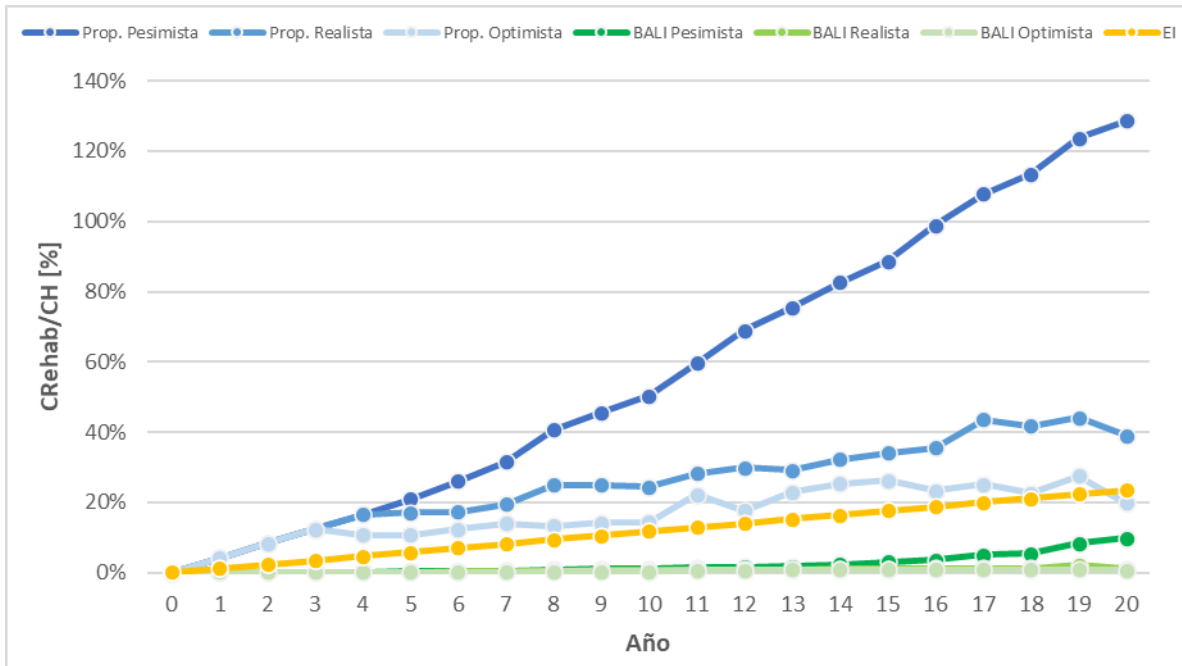


Figura 5.51. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y modelos actuales BALI-EI en los tres escenarios (Ruta IV).

En la Figura 5.52 y la Figura 5.53 se presenta el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto sin TC y el modelo actual DV en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Se comparan estos dos modelos por separado debido a que ambos no consideran la transferencia de carga en la valorización.

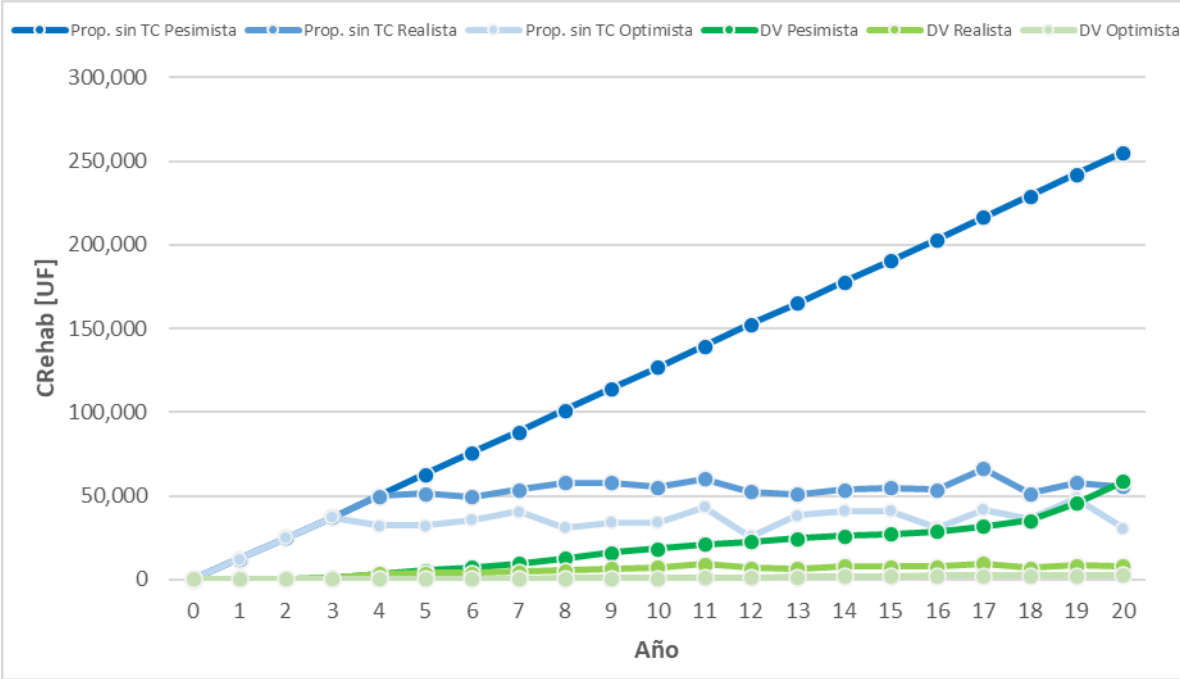


Figura 5.52. Costo de rehabilitación en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta IV).

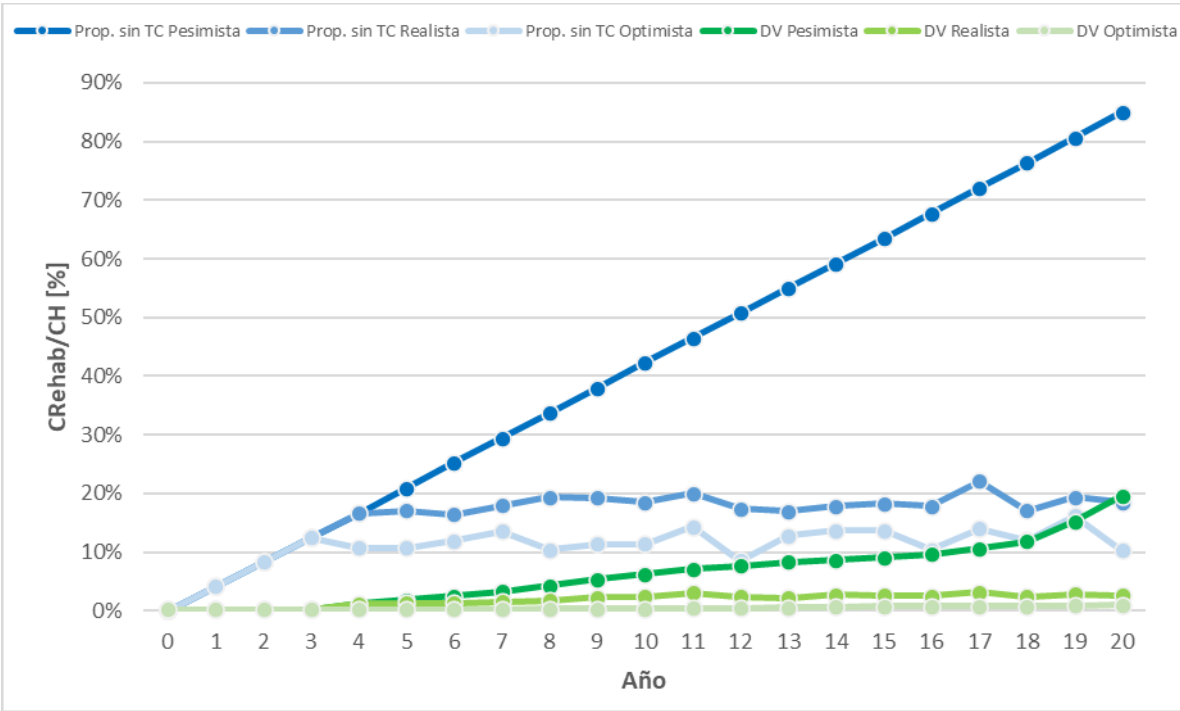


Figura 5.53. Costo de rehabilitación respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y modelo actual DV en los tres escenarios (Ruta IV).

De las figuras anteriores se puede observar que, el costo de rehabilitación obtenido con el modelo propuesto es mayor al obtenido con el modelo actual BALI en los tres escenarios de gestión. Además, con el primero se obtienen diferencias de resultados entre los escenarios mayores que con el segundo. Por otro lado, se puede observar que el modelo actual EI es insensible a los escenarios, y sus resultados son similares al del modelo propuesto únicamente en el escenario optimista.

En cuanto al modelo propuesto sin TC, éste entrega un costo de rehabilitación mayor al del modelo actual DV en los tres escenarios de gestión. Además, con el primero se obtienen diferencias mayores de resultados entre los escenarios que con el segundo.

e. Penalización por desempeño

La penalización por desempeño del pavimento solo es obtenida con el modelo propuesto, ya que los modelos actuales no la contemplan. Esta penalización ocurre cuando en las secciones de pavimento el costo de rehabilitación supera al costo histórico, y su monto total en UF para cada año de análisis se presenta en la Figura 5.54. Notar que en el eje derecho se presenta el porcentaje que representa dicho monto respecto al costo histórico.

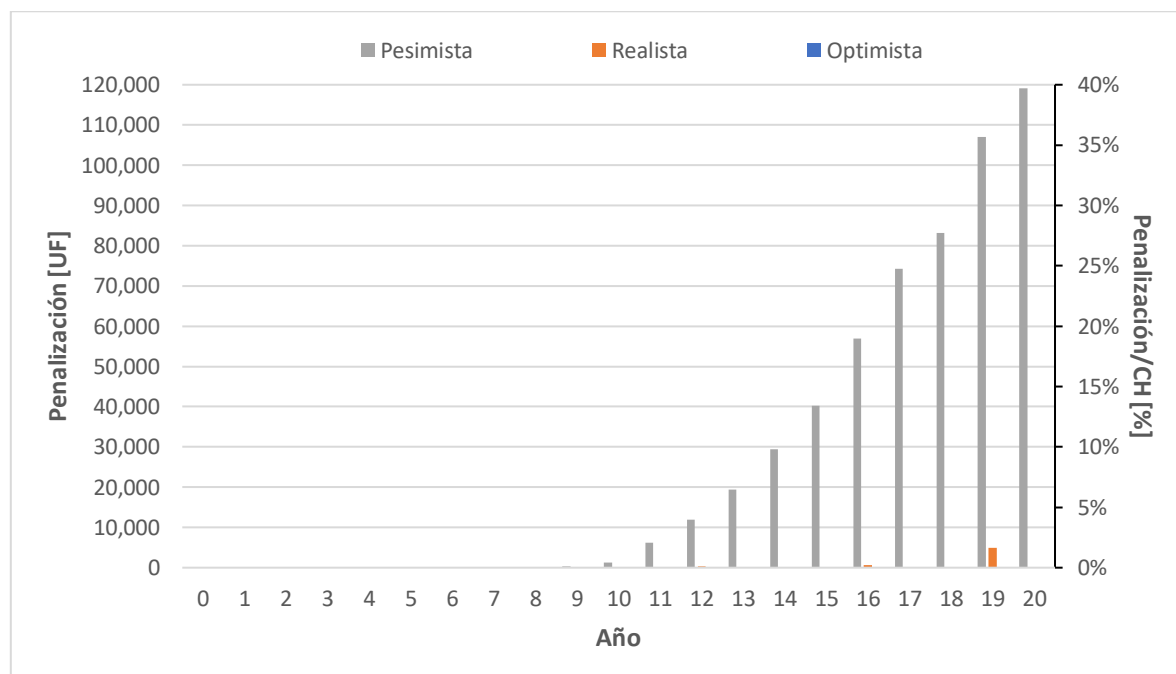


Figura 5.54. Penalización por desempeño en UF y respecto al costo histórico (Ruta IV).

Se puede apreciar que, la penalización por desempeño ocurre principalmente en el escenario pesimista, debido al alto nivel de agrietamiento y mal desempeño del indicador de transferencia de carga. En los escenarios realista y optimista, la penalización por desempeño es considerablemente menor que en el escenario pesimista. Lo anterior se debe a la mejor gestión realizada por el concesionario en la conservación del pavimento, al intervenirlos cuando se alcanzan los umbrales de desempeño.

f. Valor del activo

En la Figura 5.55 y la Figura 5.56 de la siguiente página se presenta el valor obtenido con el modelo propuesto y los modelos actuales BALI y EI en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Para el modelo actual EI, se incluye únicamente los resultados del escenario pesimista, ya que son idénticos a los otros dos escenarios, difiriendo sólo en los últimos 4 años en un porcentaje menor al 0.4% del costo histórico.

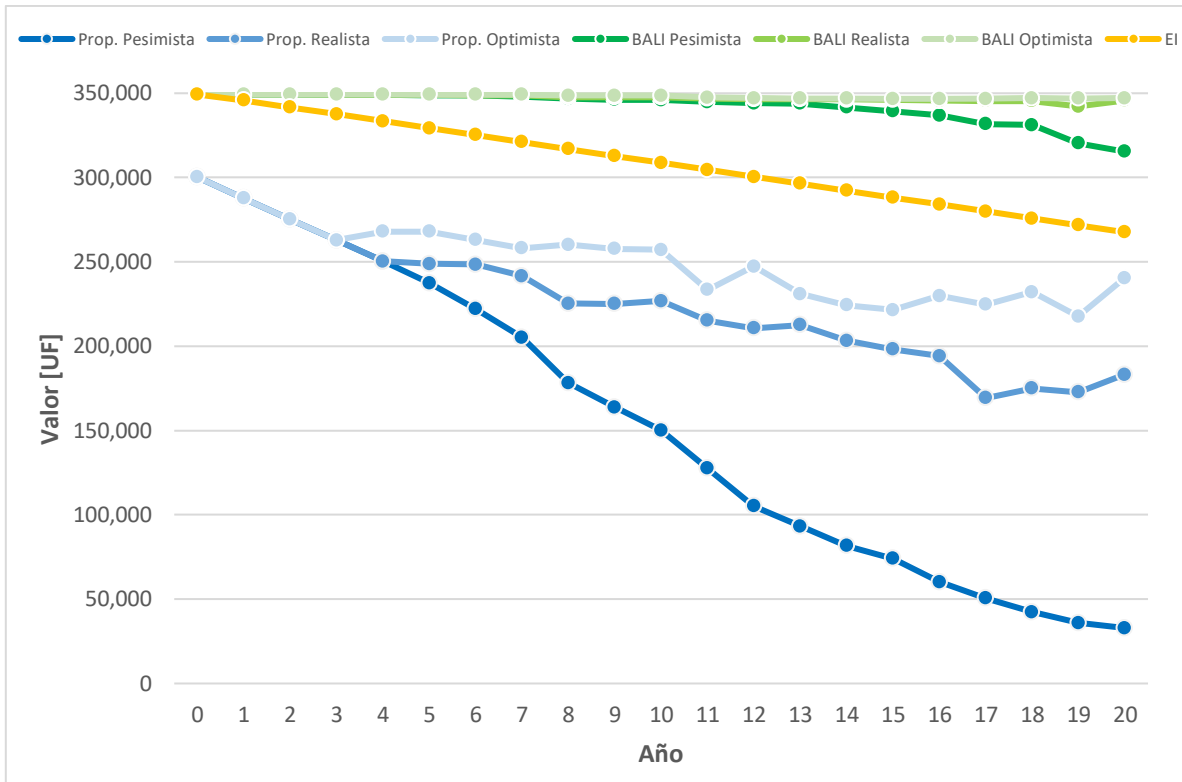


Figura 5.55. Valor en UF obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta IV).

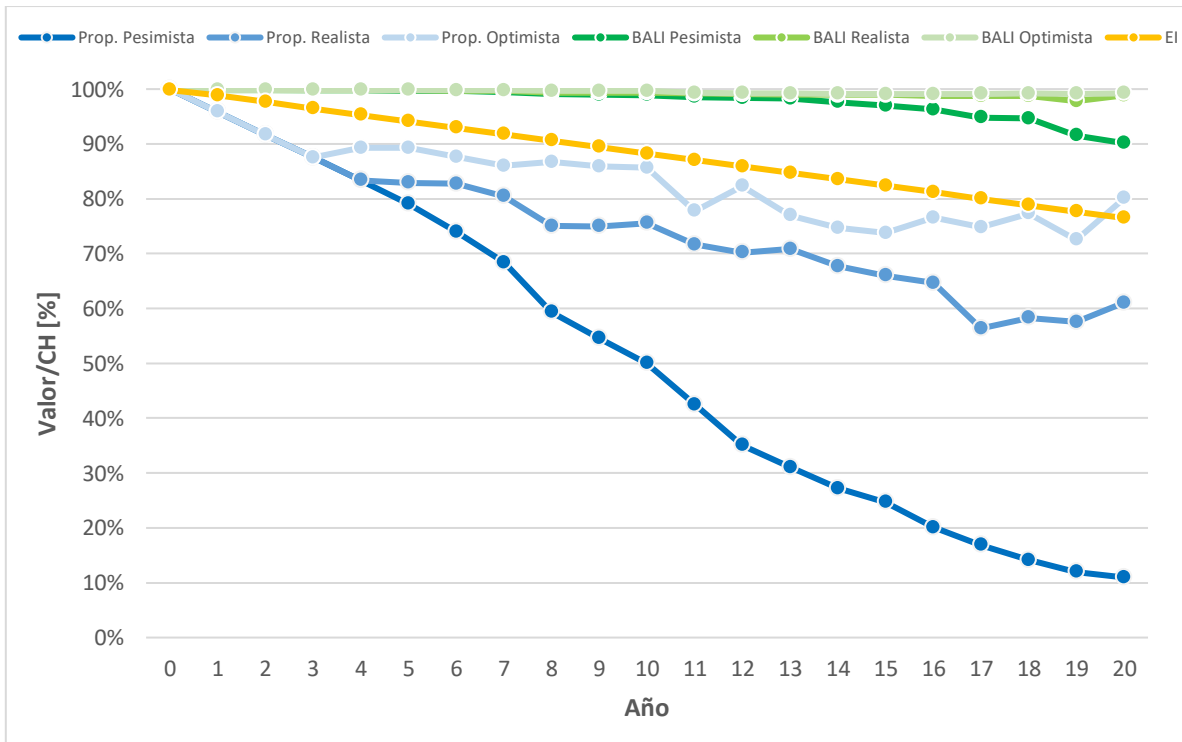


Figura 5.56. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales BALI-EI en tres escenarios (Ruta IV).

En la Figura 5.57 y la Figura 5.58 se presenta el valor obtenido con el modelo propuesto sin TC y el modelo actual DV en los tres escenarios, en UF y en porcentaje respecto al costo histórico correspondiente a cada modelo, respectivamente. Se comparan estos dos modelos por separado debido a que ambos no consideran la transferencia de carga en la valorización.

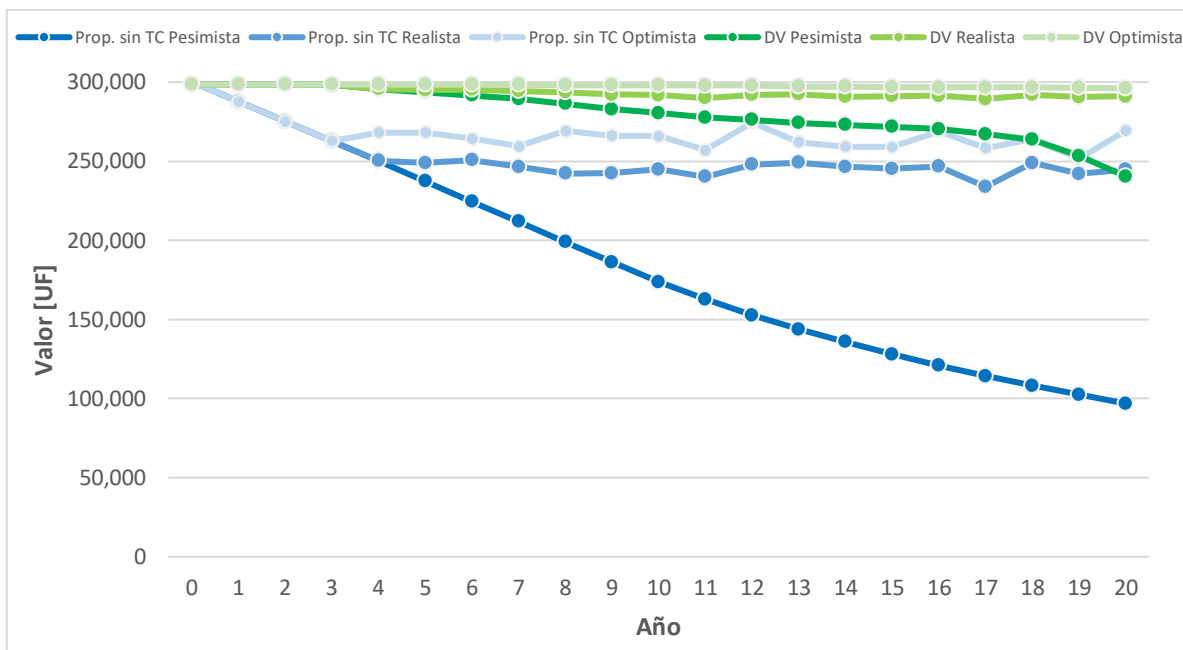


Figura 5.57. Valor en UF obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta IV).

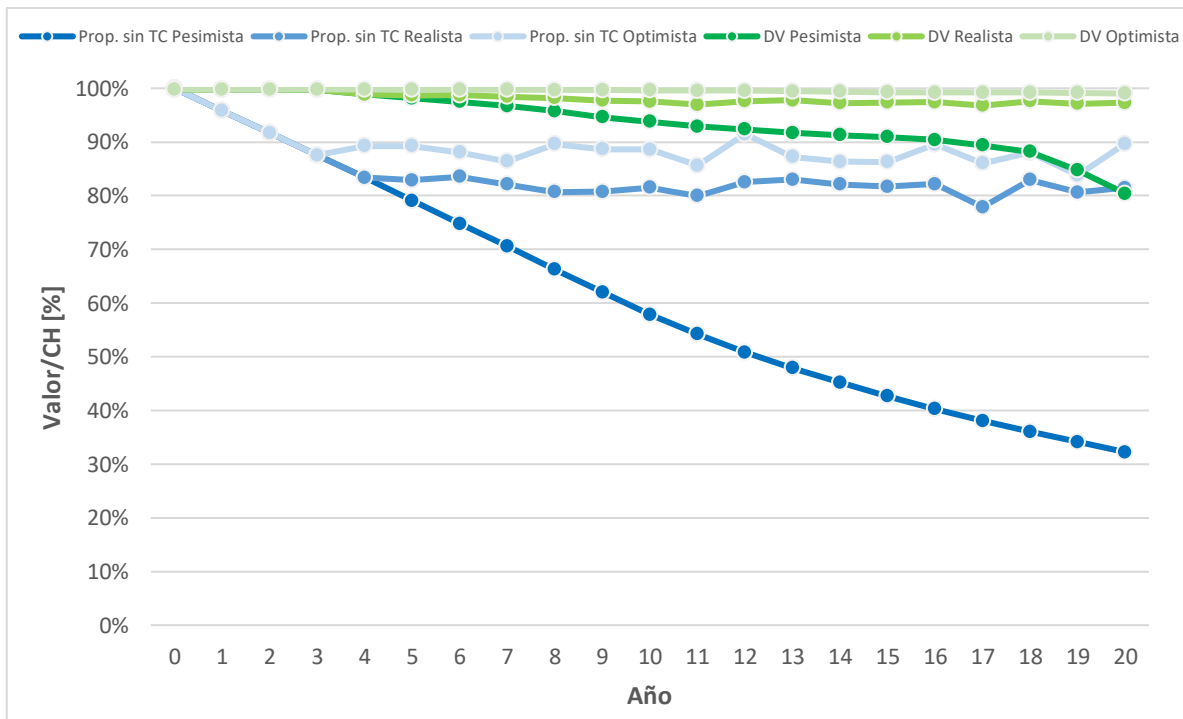


Figura 5.58. Valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto sin TC y actual DV en tres escenarios (Ruta IV).

A modo de resumen, en la Tabla 5.79 se presentan los mínimos, promedios y máximos del porcentaje de valor respecto al costo histórico, obtenidos en todo el periodo de análisis con los diferentes modelos en los tres escenarios.

Tabla 5.79. *Mínimo, promedio y máximo para el porcentaje de valor respecto al costo histórico obtenido con modelo propuesto y actuales en cada escenario (Ruta IV).*

Escenario	Modelo	Mínimo	Promedio	Máximo
Pesimista	Propuesto	11.0%	51.3%	100.0%
	Propuesto sin TC	32.2%	61.4%	100.0%
	Actual EI	76.5%	88.2%	99.8%
	Actual BALI	90.1%	97.7%	99.8%
	Actual DV	80.4%	93.7%	99.8%
Realista	Propuesto	56.4%	75.0%	100.0%
	Propuesto sin TC	77.9%	84.0%	100.0%
	Actual EI	76.5%	88.2%	99.8%
	Actual BALI	97.8%	99.3%	99.8%
	Actual DV	96.8%	98.1%	99.8%
Optimista	Propuesto	72.5%	83.4%	100.0%
	Propuesto sin TC	83.8%	89.0%	100.0%
	Actual EI	76.5%	88.2%	99.8%
	Actual BALI	99.1%	99.5%	99.8%
	Actual DV	99.0%	99.5%	99.8%

Como se puede observar, el valor que entrega cada modelo para el año 0 es independiente del escenario, ya que corresponde al año inicial en donde el pavimento no presenta deterioros. Esto se debe al supuesto de que se encuentra recién construido, es decir, en condición “como nuevo”. Por otro lado, se puede apreciar que no existe pérdida de valor con el modelo propuesto, y el valor en el año inicial corresponde al costo histórico. En cambio, con los modelos actuales EI, DV y BALI si existe una pérdida de valor en el año inicial, que corresponde aproximadamente a un 0.2% del costo histórico. Lo anterior ocurre porque estos últimos modelos consideran el costo de conservación rutinaria cuando el ICP se encuentra en estado “Muy Bueno”, existiendo una pérdida de valor incluso cuando el pavimento no presenta deterioros. En efecto, dichos modelos se basan en la metodología de valorización del patrimonio vial de la DV, cuyos objetivos son presupuestarios a nivel de red y no de gestión a nivel de proyecto como los del modelo de valorización propuesto. La pérdida de valor para los tres modelos actuales en los tres escenarios es la misma y corresponde a UF 622. La pérdida de valor por conservación rutinaria en pavimentos de hormigón es relativamente baja respecto al costo histórico, debido a que incluye solo la limpieza de faja y saneamiento.

Para los años posteriores al año inicial, el valor entregado por cada modelo varía según el escenario, ya que estos últimos poseen criterios de progresión de deterioro distintos. En general, para todos los escenarios el modelo propuesto entrega valores menores que los modelos actuales EI-BALI. Los valores que entregan se vuelven similares únicamente cuando el modelo propuesto es aplicado en el escenario optimista y los actuales en el pesimista. En particular, la variación de los valores mínimos respecto al costo histórico entre un escenario pesimista y optimista corresponden a 61.5%, 8.9% y 0% para el modelo propuesto, actual BALI y actual EI, respectivamente. Por otro lado, la variación de los valores mínimos entre un escenario realista y optimista corresponden a 16.1%, 1.3% y 0% para el modelo propuesto, actual BALI y actual EI, respectivamente.

En cuanto a la versión del modelo propuesto sin la transferencia de carga (TC) se puede apreciar que entrega valores en UF y respecto al costo histórico menores al modelo actual DV, que tampoco

considera dicho indicador. Además, el modelo propuesto sin TC es más sensible a los escenarios de gestión. En particular, la variación de los valores mínimos entre un escenario pesimista y optimista corresponden a 51.6% y 18.6% para el modelo propuesto sin TC y actual DV, respectivamente. Por otro lado, la variación de los valores mínimos entre un escenario realista y optimista corresponden a 5.9% y 2.3% para el modelo propuesto sin TC y actual DV, respectivamente. Sin perjuicio de lo anterior, es necesario recalcar que estos modelos subestiman la pérdida de valor del pavimento, al no considerar la capacidad estructural a través de la transferencia de carga.

De esta forma, se puede afirmar que el modelo de valorización propuesto captura de forma más notoria los cambios de desempeño del pavimento en el tiempo, en comparación con los modelos actuales. La mayor sensibilidad que entrega el modelo propuesto para la pérdida de valor en los distintos escenarios se explica principalmente por las razones señaladas en la Tabla 5.24.

Por otro lado, el efecto sobre el valor de aplicar distintos límites del ICP en los modelos actuales no es tan significativo, como sí lo son la definición de porcentajes de intervención para cada actividad y la consideración estructural. En efecto, al aplicar intervenciones en toda la sección de pavimento, el modelo actual DV tiene costos de conservación funcional por ICP mayores a los correspondientes a los modelos EI y BALI. Sin embargo, debido a que el primero no toma en cuenta la condición estructural, entrega pérdidas de valor similares al modelo BALI. En cuanto al costo de conservación estructural del modelo actual BALI, en este informe no se utilizó la ecuación AASHTO al no contar con la información de EE de diseño. Por lo tanto, los resultados de dicho modelo podrían ser más exactos si es que se tienen todos los datos requeridos. Además, en cuanto al modelo actual EI, este propone una misma intervención en todas las secciones de pavimento para la obtención del costo estructural. Lo anterior implica que dicho modelo entrega prácticamente los mismos resultados para los tres escenarios y no es sensible al desempeño de los indicadores, al predominar el costo estructural por sobre el funcional en todos los escenarios. Cabe mencionar que el modelo actual EI corresponde a una cota inferior para los resultados de los modelos actuales. En efecto, dicho modelo corresponde a una solución determinada en el estudio integral de la ruta a partir de un criterio conservador.

Por último, es posible mencionar que si no se considera la transferencia de carga en el modelo propuesto se obtienen pérdidas de valor considerablemente menores que al sí tomar en cuenta dicho indicador. Lo anterior se debe al alto costo de la actividad de rehabilitación asociada al indicador, que corresponde a la colocación de barras de traspaso de carga. En efecto, el costo de dicha actividad aplicada en cada junta es aproximadamente igual al costo de construir una losa. Cabe mencionar, que en esta ruta el costo de reemplazar una losa es aproximadamente el triple de construirla. Lo anterior implica una pérdida de valor considerable, incluso si no se considera la pérdida asociada a la transferencia de carga, como fue visualizado en los resultados del modelo propuesto sin TC.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones por objetivos

Objetivo específico N°1: Actualizar el estado del arte y de la práctica en la valorización de activos viales, identificando los distintos métodos de valorización existentes a nivel nacional e internacional.

Existe en la literatura una cantidad significativa de métodos de valorización de activos viales, los cuales entregan distintos resultados debido a que tienen distintos objetivos que dependen de las partes interesadas en la valorización de la infraestructura vial.

La forma más común de clasificar los métodos de valorización es por el tipo de valor considerado, en consecuencia, los métodos se dividen fundamentalmente en tres grupos: métodos basados en los costos, en los beneficios y en el valor de mercado. Los métodos del primer grupo consideran los costos incurridos en la construcción de la infraestructura, pudiendo ser ajustados de acuerdo al desempeño actual y/o la vida útil remanente. Los del segundo grupo consideran los beneficios socioeconómicos percibidos por los usuarios de la carretera, la comunidad aledaña y el medio ambiente, así como también, los ingresos que generan los administradores viales por conceptos de peajes. Los del tercer grupo consideran el precio que un comprador estaría dispuesto a pagar para adquirir los activos, basado en la venta de activos similares en el mercado.

Las prácticas actuales de valorización de activos viales están en su mayoría orientadas a ser aplicadas a nivel de red, en donde Australia y Reino Unido tienen un mayor nivel de desarrollo y avance. A nivel de proyecto existe menor nivel de desarrollo a nivel mundial, sin embargo, se pueden destacar las prácticas de valorización en el contexto de asociaciones público-privadas en el continente americano. En particular, Chile es el único país en donde se encontró evidencia de la incorporación directa de la valorización de las obras en bases de licitación de contratos de concesiones viales, mientras que, en el resto de los países americanos las prácticas se limitan a incorporar conceptos relacionados con la valorización, como la vida útil de los activos, costos y beneficios, pero no la valorización de las obras propiamente tal.

Objetivo específico N°2: Identificar los métodos de valorización aplicables en carreteras concesionadas para evaluar la gestión de la conservación de los operadores privados.

Para que un método pueda ser implementado en bases de licitación de concesiones viales tiene que cumplir con las siguientes características:

- Debe ser lo más claro y preciso posible, y admitir la menor cantidad de fuentes de variabilidad e incertidumbre en la determinación del valor de un activo, de manera de no aumentar innecesariamente los riesgos y en consecuencia los costos del proyecto.
- Debe valorizar solo la conservación del valor que depende del operador privado por contrato, sin considerar efectos que no están bajo dominio de este último, como la demanda de tránsito, factores financieros y obsolescencia normativa o tecnológica de los activos.
- El valor inicial de la infraestructura y la forma en que se calculan sus cambios de valor deben estar definidas en el contrato de concesión, no habiendo espacio para cambios posteriores, debido a que las condiciones del contrato entre el Estado y el operador privado se establecen al momento de la licitación.
- El valor de los activos debe ser compatible con el nivel de servicio brindado por el activo a los usuarios de la carretera, de forma tal que disminuciones de la calidad de servicio entregado se reflejen en pérdidas del valor del activo.
- No deben incrementar innecesariamente los costos de operación incurridos por el concesionario, por lo que la aplicación de cada método debe evaluarse en función de su costo de implementación, los beneficios que tenga su aplicación y la relevancia de cada activo.

Las principales ventajas identificadas para los métodos de valorización, en el contexto de obras viales concesionadas, son que estos permitan relacionar la pérdida del valor de los activos con indicadores de desempeño y que el método considere los costos pasados. De esta forma, se puede evaluar directamente la conservación que realiza el concesionario y tener una valorización más precisa al basarse en datos generalmente conocidos. Por otra parte, las principales desventajas identificadas son la utilización de costos presentes o futuros, y la admisión de variabilidad en la estimación del valor de los activos, ya que el valor de los activos estaría influenciado por aspectos que no dependen del concesionario y aumentarían los riesgos de la licitación, respectivamente. Además, la utilización de cada método debe evaluarse considerando su costo de implementación, el que será bajo cuando el método no requiera de mediciones en terreno ni calibración de parámetros, medio cuando solo se requiera calibración de parámetros, y alto cuando se necesite de mediciones en terreno.

Se confirma lo indicado en la literatura respecto a que los métodos basados en los costos son más apropiados para evaluar al operador privado de la carretera, ya que estos poseen una mayor cantidad de ventajas que los métodos basados en los beneficios y en el valor de mercado, además de poseer, en la mayoría de los casos, al menos una de las ventajas identificadas como principales. Particularmente, los métodos del enfoque modificado tienen una menor cantidad de desventajas, la que es nula para el caso de aquellos calculados con base en el costo histórico.

En activos de alto valor está justificado el uso de métodos sofisticados que consideren la condición obtenida en terreno, ya que el beneficio que trae utilizar una valorización precisa y objetiva de estos activos puede ser mayor que el costo de implementación del método en cuestión. Los métodos identificados de forma preliminar como técnicamente ideales para este tipo de activos son el Valor Neto Residual (NSV), Costo de Reemplazo Escrito (WDRC), Valor Ajustado Respecto a Condición Límite (AVRLC) y Valor Fijo Respecto a Condición Límite (FVRLC), todos calculados con base en el costo histórico. Por el contrario, para activos de bajo valor no se justifica el uso de métodos sofisticados, de modo que los métodos identificados de forma preliminar como económicamente ideales para este tipo de activos son el Costo Histórico (HC) y Costo de Reemplazo Ajustado (RCaj).

Los pavimentos son el activo más importante en términos de valor en una carretera y requieren una valorización precisa basada en indicadores técnicos apropiados, lo que puede ser cubierto por el método del Valor Neto Residual (NSV) calculado con base en el costo histórico. Dicho método señala que el valor del pavimento corresponde a su costo histórico de construcción, menos el costo de rehabilitación necesario para devolver el pavimento a su condición prístina o “como nuevo”. Para los pavimentos de hormigón de carreteras chilenas se cuenta con las actividades de rehabilitación, precios unitarios de construcción y de rehabilitación claramente definidos, no existiendo mayores brechas técnicas, tecnológicas ni de información para la aplicación de este método. Además, este método ya es utilizado por la Dirección de Vialidad para los pavimentos de la red vial nacional no concesionada, y ha sido adoptado en la valorización de carreteras concesionadas interurbanas.

Objetivo específico N°3: Proponer un modelo de valorización para los pavimentos de hormigón implementable en bases de licitación de carreteras concesionadas interurbanas.

El modelo propuesto se basa en el método de Valor Neto Residual (NSV), por lo que resulta necesario que incluya una formulación para el costo histórico y costo de rehabilitación del pavimento. Además, el modelo propuesto indica que la valorización debe llevarse a cabo cada 50 m, por lo que las formulaciones anteriores deben estar definidas y aplicarse para cada sección de pavimento de dicha longitud. El costo histórico de cada sección considera una configuración típica de Pavimento de Hormigón Simple con Juntas, y se obtiene a partir de los precios unitarios de partidas de construcción definidas en las bases de licitación correspondientes, la cubicación de los espesores de capas de la estructura del pavimento y las demarcaciones. El costo de rehabilitación de cada sección de pavimento se obtiene a partir de los precios unitarios de actividades de conservación definidas en las bases de licitación del contrato de concesión correspondiente, y la condición del pavimento en el momento de la evaluación, representada a través de los indicadores técnicos correspondientes.

Las características e indicadores técnicos considerados en el desarrollo del modelo de valorización de pavimentos de hormigón de la calzada de la vía principal de carreteras concesionadas interurbanas son los siguientes:

- Regularidad longitudinal del pavimento: Característica funcional evaluada a través del indicador técnico Mean Roughness Index (MRI), y asociada a la comodidad de los usuarios.
- Resistencia al deslizamiento de la capa de rodadura: Característica funcional evaluada a través del indicador técnico Sideway Force Coefficient (SFC) y asociada a la seguridad de los usuarios.
- Nivel de ruido de rodadura: Característica funcional evaluada a través del indicador técnico Overall A-weighted Sound Intensity Level (OASI), y asociada a la comodidad de los usuarios.
- Transferencia de carga entre losas: Característica estructural evaluada a través del indicador técnico Porcentaje de Eficiencia de Transferencia de Carga, y no percibida directamente por los usuarios.
- Agrietamiento en pavimentos rígidos: Característica estructural evaluada a través del indicador técnico Porcentaje de Losas Agrietadas, y no percibida directamente por los usuarios.
- Presencia de baches: Este deterioro no es admisible en carreteras concesionadas y debe también ser considerado en el modelo de valorización.

Las actividades de rehabilitación a considerar en el modelo de valorización propuesto que permiten mejorar la condición del pavimento hasta llevarlo a un nivel de desempeño “Muy Bueno” son las siguientes:

- Cepillado de Losas de Hormigón: Permite mejorar el nivel desempeño de los indicadores técnicos funcionales asociados al nivel de servicio (MRI, SFC y OASI).
- Colocación de barras de traspaso de carga entre losas: Permite mejorar el nivel de desempeño del indicador técnico de la transferencia de carga, aumentando la capacidad estructural del pavimento.
- Reemplazo de Losas de Hormigón: Permite mejorar el nivel desempeño del indicador técnico de agrietamiento.
- Reconstrucción del pavimento: Actividad aplicable cuando existen baches en el pavimento.

Las anteriores actividades son escogidas en el modelo únicamente para definir una pérdida equivalente de valor del pavimento, y no están relacionadas con la estrategia de conservación seleccionada por el concesionario en la realidad. En efecto, el concesionario posee la libertad de seleccionar la estrategia de conservación que estime conveniente, y el modelo propuesto corresponde únicamente a una herramienta paralela que permite al Estado evaluar la gestión del concesionario.

Para tener una compatibilización con el nivel de servicio a los usuarios, el modelo propuesto relaciona la pérdida de valor del activo a la pérdida del desempeño de los indicadores técnicos relacionados con la funcionalidad del pavimento, al alcanzar los umbrales correspondientes que han sido incluidos en un modelo de nivel de servicio actualmente en implementación por parte de la Dirección General de Concesiones. En particular, el modelo considera la pérdida de valor asociada a los indicadores funcionales MRI, SFC y OASI, que corresponde a un porcentaje del costo la actividad de rehabilitación asociada y gatillada al llegar al nivel “Malo”, correspondiente al cepillado del pavimento. Dicho porcentaje equivale a 0%, 25%, 50%, 100% y 200% si el indicador en cuestión se encuentra en nivel “Muy Bueno”, “Bueno”, “Aceptable”, “Malo” y “Muy Malo”, respectivamente.

Por otro lado, el modelo propuesto considera indicadores relacionados con la integridad y capacidad estructural del pavimento, que, si bien no son relevantes para los usuarios de la carretera, sí lo son para los propietarios y administradores de esta, que corresponden al Estado y el concesionario, respectivamente. En particular, estos indicadores corresponden a la transferencia de carga, agrietamiento y baches. Para el indicador de transferencia de carga, la pérdida se define de manera análoga a los indicadores funcionales aplicando los mismos porcentajes según nivel de desempeño,

pero al llegar a “Muy Malo” solo se considera el 100% del costo de la actividad de rehabilitación asociada, correspondiente a la colocación de barras de traspaso de carga. Para el indicador de agrietamiento y los baches, se considera directamente el costo de reemplazo de las losas agrietadas de la sección y de la reconstrucción de la sección completa, respectivamente.

Por último, cuando en una sección el costo de rehabilitación supera al costo histórico, se define que su valor es cero, puesto que no se considera posible que una sección tenga valor negativo. El valor negativo ocurrido en algunas secciones de pavimento se contabiliza en un monto denominado “penalización por desempeño”.

Objetivo específico N°4: Aplicar, sensibilizar y verificar el modelo de valorización propuesto en casos de estudio utilizando datos reales de carreteras concesionadas interurbanas chilenas en etapa de explotación y diferentes escenarios de gestión.

Las losas de hormigón son la capa de pavimento con mayor peso en el costo histórico del pavimento, seguida por la base y/o subbase granular, o bien, la base estabilizada en caso de existir. La preparación de la subrasante corresponde a la partida de menor peso en el costo histórico. En cuanto a los indicadores del pavimento, los que están asociados a una mayor pérdida de valor corresponden al porcentaje de losas agrietadas y de transferencia de carga. El costo de rehabilitación asociado al primer indicador en las diferentes rutas alcanza desde un 8.5% a un 83.1% respecto al costo histórico, mientras que el asociado al segundo alcanza desde un 32.2% a un 76.5% respecto al costo histórico. Lo anterior se debe al alto costo de la actividad asociada a dichos indicadores, y al bajo o inexistente nivel de exigencia en las bases de licitación. Las pérdidas de valor asociadas a los indicadores funcionales son considerablemente menores, y no superan el 4% respecto al costo histórico en las rutas analizadas. Lo anterior se debe al bajo costo de la actividad asociada a dichos indicadores, y al continuo control por parte del concesionario debido a las exigencias de las bases de licitación.

Existen grandes diferencias entre el modelo de valorización propuesto y los modelos actuales utilizados en Chile para el cálculo de costo histórico y costo de rehabilitación. La principal diferencia en el cálculo de costo histórico corresponde a que el modelo propuesto considera los espesores de capas correspondientes a cada sección del pavimento según los datos de inventario disponibles. En cambio, los modelos actuales consideran espesores iguales para todas las secciones de pavimento, que corresponden a estructuraciones estándar definidas a partir del inventario o de la zona geográfica en donde se emplaza el proyecto. Esto significa que los modelos actuales subestiman o sobreestiman el costo histórico en algunas secciones del pavimento, por lo que el modelo propuesto es más exacto en su cálculo al considerar las dimensiones de la infraestructura construida en terreno. En particular, el modelo propuesto permite la valorización de al menos tres posibles capas bajo la losa de hormigón y sobre la subrasante: base granular, subbase granular y base estabilizada. De estas tres capas, el modelo actual utilizado en Chile para la red vial no concesionada solo reconoce la base y subbase granular, mientras que el modelo actual utilizado para concesiones viales interurbanas chilenas solo reconoce la base granular. Para las rutas analizadas, con el modelo propuesto se obtienen resultados de costo histórico mayores respecto al modelo actual utilizado para la red vial no concesionada, y menores respecto al modelo actual utilizado para concesiones viales interurbanas.

En cuanto a las diferencias en el cálculo de costo de rehabilitación entre el modelo propuesto y los actuales, están se deben principalmente a la forma de tratar la relación entre las actividades de rehabilitación y los indicadores técnicos del pavimento, así como también, la relación entre los porcentajes de intervención para cada actividad y el nivel de desempeño de los indicadores técnicos. A su vez, estas diferencias están estrechamente relacionadas con los objetivos de cada modelo de valorización. En efecto, el modelo propuesto está enfocado en valorizar el pavimento con objetivos de gestión a nivel de proyecto en un contrato de concesión vial interurbana, mientras que los modelos actuales se basan en una metodología desarrollada originalmente para la red vial nacional no concesionada, con el objetivo de justificar necesidades de financiamiento para el mantenimiento de los caminos. Para las rutas analizadas, con el modelo propuesto se obtienen pérdidas de valor mayores

y más sensibles a los diferentes escenarios de gestión que las pérdidas obtenidas con los modelos actuales.

Si se adapta el modelo actual utilizado en concesiones viales, sensibilizándolo a la condición estructural del pavimento de forma de representar fielmente lo exigido actualmente en bases de licitación para la valorización, los resultados cambian para los distintos escenarios. Sin embargo, es importante mencionar que, esta adaptación solo ha sido abordada en este trabajo y no ha sido adoptada para la valorización de carreteras concesionadas en los estudios integrales correspondientes. Además, de todas formas, entrega una menor pérdida de valor y sensibilidad a los escenarios de gestión que el modelo de valorización propuesto. Por otro lado, si no se considera la transferencia de carga en la valorización, los resultados para el modelo propuesto cambian considerablemente para las diferentes rutas y escenarios, pudiendo ser mayores o menores que los resultados obtenidos con el modelo actual utilizado en la red vial no concesionada, que tampoco considera la transferencia de carga. Sin embargo, es importante recalcar que, los resultados entregados por el primero siguen siendo más sensibles a los escenarios de gestión que los resultados entregados por el segundo, y que, al no considerar la transferencia de carga, ambos modelos no representan fielmente la capacidad estructural del pavimento en la valorización.

De esta forma, se concluye que el modelo propuesto es una mejor herramienta que los modelos actuales para la valorización de los pavimentos de hormigón de concesiones viales interurbanas, al ser más sensible a cambios en su desempeño. Por la misma razón, además, el modelo es susceptible de ser implementado en bases de licitación con el objetivo de permitir al Estado evaluar la gestión de la conservación del valor de los activos llevada a cabo por el concesionario.

6.2. Comentarios generales y recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en los casos de estudio, se comprueba la hipótesis de investigación, ya que el modelo de valorización propuesto evidencia mayores niveles de exactitud y precisión que los modelos actuales utilizados en Chile. La mayor exactitud se refleja en la obtención de un costo histórico intermedio respecto a los modelos actuales utilizados en concesiones viales y en la red no concesionada, al utilizar los datos de espesores de capas correspondientes a cada sección de pavimento según información de inventario disponible. En efecto, los modelos actuales consideran espesores iguales para todas las secciones de acuerdo a estructuraciones estándar para el pavimento. Por otra parte, la mayor precisión se refleja en la mayor sensibilidad del modelo propuesto respecto a los actuales, a los cambios de desempeño ocurridos en el tiempo para los diferentes escenarios de gestión. La mayor sensibilidad ocurre principalmente porque el modelo propuesto considera los estándares y objetivos correspondientes a carreteras concesionadas interurbanas en fase de explotación. Lo anterior no ocurre para los modelos actuales, que se basan en una metodología enfocada en la valorización de la red vial nacional no concesionada.

Sin perjuicio de lo anterior, es importante recalcar algunas de las limitaciones del presente estudio. En particular, existen algunas limitaciones para el análisis de las concesiones tipo, ya que fue necesario aplicar diversas consideraciones y supuestos razonables. Lo anterior implica que los resultados obtenidos no necesariamente reflejan la evolución real de la condición y el valor del pavimento. Algunas de estas consideraciones y supuestos son: considerar una interpolación lineal de ciertos indicadores en años sin información; completar datos faltantes en algunas secciones con los datos de secciones aledañas; asumir un periodo de análisis de 20 años considerando un nivel de desempeño “Muy Bueno” en el año inicial, aun cuándo en algunas rutas el año de construcción del pavimento no coincide con el año 0 de la concesión tipo; no considerar en el análisis los aumentos en el tiempo de viaje debido a las intervenciones en los escenarios realista y optimista; y no considerar el efecto de la instalación de barras de traspaso de carga en el agrietamiento y los otros indicadores. Cabe señalar que, a pesar de estas limitaciones, el análisis de las concesiones tipo permite una comparación justa entre el modelo propuesto y los actuales, basada en los datos reales y el historial

de cumplimiento de las exigencias por parte del concesionario. En efecto, el objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo de valorización más preciso y exacto que los procedimientos actuales, y no predecir el comportamiento real de los pavimentos ni la estrategia de conservación que el concesionario debería seguir.

Otra de las limitaciones en el análisis de las concesiones tipo, es que las diferencias de resultados entre el modelo propuesto y los modelos actuales se deben únicamente a la definición de espesores de capas para el cálculo de costo histórico y a las diferencias de cálculo para la obtención del costo de rehabilitación. Sin embargo, es importante recalcar que el modelo propuesto no considera los tramos de pavimento de otra materialidad que pueden encontrarse en singularidades como puentes, peajes o cambios de pavimento, por lo que valoriza sólo la longitud que efectivamente corresponde a pavimento de hormigón. Lo anterior no ocurre en los modelos actuales, en donde se asume que todo el pavimento existente en un tramo de diseño corresponde a pavimento de hormigón, sin distinguir si existe pavimento de otra materialidad en ciertos subtramos. Esto implica que el modelo propuesto posee un mayor nivel de exactitud en la valorización, que no fue considerado en el análisis de las concesiones tipo de 20 años. Lo anterior debido a que sólo se conoce con exactitud la ubicación de los subtramos de diferente materialidad para el año en que se encuentra disponible la información de inspección visual del 100% de las losas, decidiéndose utilizar la misma base de datos planimétrica para los distintos escenarios. En el análisis correspondiente a la aplicación del modelo propuesto sólo en secciones de 50 m con información disponible, fueron descontados todos los tramos en donde no existía información de MRI o transferencia de carga por presencia de singularidades o la no ejecución de deflectometría en todas las pistas, respectivamente. Por lo tanto, dicho análisis no considera los subtramos de pavimento de otra materialidad, aunque tampoco considera el pavimento de hormigón existente en las secciones de 50 sin información suficiente para la aplicación del modelo. De esta forma, para la aplicación del modelo propuesto se recomienda recolectar todos los datos necesarios, identificar aquellos subtramos en donde exista un pavimento de una materialidad diferente al hormigón y no considerarlos en la valorización.

Por otro lado, debido a la alta pérdida de valor asociada a los indicadores de transferencia de carga y agrietamiento entregada por el modelo propuesto, se recalca la importancia de evaluar y reportar correctamente estos indicadores de acuerdo a lo indicado en las fichas técnicas correspondientes. En efecto, la información actualmente disponible acerca de estos indicadores puede dificultar la aplicación del modelo y/o implicar una sub o sobre estimación del valor del pavimento de hormigón si no se trata adecuadamente. Las mediciones de transferencia de carga en concesiones interurbanas de Chile, en particular, se han realizado en condiciones horarias y de temperatura muy variadas, y con un nivel de muestreo más bajo que el recomendado en la ficha técnica del indicador. De esta forma, se recomienda que las mediciones de la transferencia de carga se realicen en condiciones de temperatura y horario controladas en el tiempo, en al menos el 15% de las losas cada 250 m. De lo contrario, la valorización podría estar fuertemente influenciada por los cambios horarios y estacionales de la condición de apoyo de las losas, y no capturar de manera completa el patrón de agrietamiento generado bajo las juntas transversales del pavimento tras su construcción, sub o sobreestimando la pérdida de valor. Además, se recomienda siempre aplicar el factor de corrección señalado en el Manual de Carreteras, en función de las deflexiones medidas para una carga en el centro de las losas. En cuanto al agrietamiento, se recomienda considerar como losas agrietadas aquellas que posean grietas de cualquier severidad que la dividan en dos o más trozos. De esta forma se puede asegurar la pérdida de valor efectivamente esté asociada a un agrietamiento estructural que abarca todo el espesor de la losa, y no a deterioros superficiales como, por ejemplo, las grietas de retracción.

6.3. Investigaciones futuras

En base a todo el trabajo realizado, para futuros trabajos de investigación se sugiere lo siguiente:

- Trabajar en la actualización de los precios unitarios de partidas de construcción y actividades de rehabilitación de pavimentos de hormigón de carreteras concesionadas, para incluirlos en nuevas bases de licitación. Los resultados del modelo propuesto son muy sensibles a los precios unitarios, siendo estos últimos un dato de entrada muy relevante. Sin embargo, en las bases de licitación actuales estos precios no varían para las diferentes zonas geográficas del país. Además, no incluyen algunas partidas, como la construcción de bases estabilizadas, la colocación de barras de traspaso de carga o la reconstrucción completa del pavimento.
- Estudiar la posibilidad de adaptar de modelo propuesto a configuraciones que no correspondan a Pavimento de Hormigón Simple con Juntas. En efecto, tanto el modelo propuesto como los resultados entregados por este son válidos únicamente para este tipo de pavimentos, que corresponden a la configuración típica existente para los pavimentos rígidos de la vía principal de rutas concesionadas interurbanas del país. En el caso de que, a futuro se incluyan otras configuraciones, como pavimentos de hormigón continuamente reforzados o formados losas cortas en tramos de estas rutas, las formulaciones de costo histórico y costo de rehabilitación del modelo propuesto requieren de los ajustes correspondientes.
- Aplicar el modelo de valorización propuesto en otras rutas concesionadas diferentes a las analizadas en este estudio, en donde también exista pavimento de hormigón en la vía principal. Rutas candidatas pueden ser aquellas ubicadas en la zona sur del país, en las cuales existen tramos conformados por pavimentos de hormigón, pero donde no fue posible recolectar información para la aplicación del modelo propuesto. Otras rutas candidatas pueden ser aquellas correspondientes a concesiones viales interurbanas de otros países, con la correspondiente adaptación de factores que pueden variar respecto a la realidad de Chile, como los precios unitarios o los umbrales de desempeño.
- Sensibilizar los porcentajes de pérdida según el nivel de desempeño definidos para los indicadores técnicos. En este trabajo, fueron definidos costos de rehabilitación asociados a los indicadores de nivel de servicio, que corresponden a un porcentaje del costo de la actividad de rehabilitación asociada que depende del nivel de desempeño de los indicadores. Dicho porcentaje es de 0%, 25%, 50%, 100% y 200% si los indicadores se encuentran en nivel “Muy Bueno”, “Bueno”, “Aceptable”, “Malo” y “Muy Malo”, respectivamente. Sin embargo, es posible estudiar la variación de los resultados empleando otros porcentajes, pudiendo ser diferentes para los indicadores, de acuerdo con curvas de deterioro características de cada uno u otros criterios.
- Definir incentivos o penalizaciones al concesionario en función del valor del activo obtenido con el modelo propuesto. Si bien este último está enfocado en la obtención del valor del pavimento de hormigón en un tiempo determinado, es posible definir mecanismos que incentiven al operador privado a mantenerlo en buena condición estructural y funcional. En este trabajo se define un monto de “penalización por desempeño”, cuya aplicación puede ser explorada en futuros estudios.
- Estudiar el incremento de los costos de operación incurridos por el concesionario que puede ocurrir con la implementación del modelo propuesto. Algunos indicadores técnicos no se miden con el mismo nivel de detalle recomendado en las fichas técnicas correspondientes, por lo que su implementación puede aumentar los costos asociados al levantamiento de datos en terreno. Además, en bases de licitación actuales no existen exigencias para la transferencia de carga, por lo que pueden aumentar los costos asociados a la conservación del pavimento. De esta forma, puede ser de interés realizar una contabilización del aumento de los costos relacionados con la auscultación y conservación del pavimento, para compararlos con los beneficios que trae su valorización precisa y objetiva.

Referencias

- Acharya, D. (2014). *Transportation Asset Valuation* [Tesis de Magíster, The University of Toledo]. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=toledo1418387965
- Alyami, Z. (2017). *Asset Valuation: A Performance Measure for Comprehensive Infrastructure Asset Management* [Tesis de Doctorado, University of Waterloo]. <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/12727>
- Alyami, Z., & Tighe, S. (2016). A Methodology for Integrating Asset Valuation in Transportation Asset Management. *Resilient Infrastructure, Canadian Society for Civil Engineering (CSCE) Proc.*
- Alyami, Z., & Tighe, S. (2018). Incorporating Asset Value in Life Cycle Cost Analysis for Transportation Infrastructure Assets. *Conference: Canadian Society for Civil Engineering (CSCE)*. https://www.csce.ca/elf/apps/CONFERENCEVIEWER/conferences/2018/pdfs/Paper_TR9_0610044300.pdf
- Amekudzi, A., Herabat, P., Wang, S., & Lancaster, C. (2002). Multipurpose Asset Valuation for Civil Infrastructure: Aligning Valuation Approaches with Asset Management Objectives and Stakeholder Interests. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1812(1), 211–218. <https://doi.org/10.3141/1812-26>
- Amekudzi-Kennedy, A., Labi, S., & Singh, P. (2019). Transportation Asset Valuation: Pre-, Peri- and Post-Fourth Industrial Revolution. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673(12), 163–172. <https://doi.org/10.1177/0361198119846470>
- American Society for Testing and Materials. (2007). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys* (Standard D 6433-07).
- Austroroads. (2018). *Guide to Asset Management – Processes Part 8: Financial Management* (Publication No. AGAM08-18). AustRoads Incorporated.
- Burgos, S. (2019). *Indicadores de desempeño para capacidad estructural y vibraciones del pavimento y serviciabilidad de paraderos, para modelo de niveles de servicio en carreteras concesionadas* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/47059>
- Burrow, M., & Ghataora, G. (2018). Adoption of Road Asset valuation that takes into account economic, environmental, political and social factors as a means of prioritising development and preservation of rural road assets. *Regional Conference for Africa*.
- Chicago Department of Transportation. (2004). *Authorization for Execution of Concession and Lease Agreement for Operation of Chicago Skyway Toll Bridge System*.
- Colorado Department of Transportation. (2016). *CDOT Asset Valuation Report 2016*. Business Services Branch, Division of Accounting and Finance. <http://www.larryreddllc.com/Asset%20Valuation%20CDOT%20Summer%202016.pdf>
- Contraloría General de la República de Chile. (2015). *Normativa del Sistema de Contabilidad General de la Nación NICSP – CGR Chile*. (2017^a ed.).
- Chorzepa, M. G., Durham, S., Kim, S. S., & Oyegbile, O. B. (2019). *Bridge Asset Valuation Utilizing Condition States Obtained from Element-Based Inspection Inventories and Depreciation Models over the Life Cycle of the Assets* (Final Report FHWA-GA-19-1728). Georgia Department of Transportation Office of Performance-Based Management and Research.

- Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. (2005). *Libro Verde de Indicadores de Calidad de Servicio de Carreteras*.
- Chartered Institute of Public Finance and Accountancy. (2016). *Code of practice on the highways network asset*.
- European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research. (2008). *COST action 354: Performance indicators for road pavements* [Final Report]. FSV-Austrian Transport Research Association.
- Davids, W. G., & Mahoney, J. P. (1999). Experimental Verification of Rigid Pavement Joint Load Transfer Modeling with EverFE. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1684(1), 81–89. <https://doi.org/10.3141/1684-10>
- De Palma, A., Leruth, L., & Prunier, G. (2012). Towards a Principal-Agent Based Typology of Risks in Public-Private Partnerships. *Reflets et Perspectives de La Vie Économique*, LI(2), 57. <https://doi.org/10.3917/rpve.512.0057>
- De Solminihac, H. E., Hidalgo, P., & Chamorro, A. (2007). Asset Valuation of Low-Volume Road Networks: Application to Chilean Unpaved Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1989–1(1), 72–79. <https://doi.org/10.3141/1989-08>
- de Solminihac, H., Echaveguren, T., & Chamorro, A. (2018). *Gestión de Infraestructura Vial* (Tercera Edición). Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Delgadillo, R., Echaveguren, T., Wahr, C., Muñoz, R., Gómez, J., & Jiménez, G. (2018). Estado del Arte y de la Práctica en Evaluación de Carreteras por Nivel de Servicio. *13th Chilean Maintenance Conference (PROVIAL)*, 17.
- Delgadillo, R., Echaveguren, T., Wahr, C., Muñoz, R., Gómez, J., Jiménez, G., & Ebensperger, M. (2020). *Manual Técnico para Licitación de Concesiones Viales por Nivel de Servicio* (Informe Final DT-06-2020; Proyecto FONDEF IT16I10008). Universidad Técnica Federico Santa María y Universidad de Concepción.
- Deng, J., Han, X., Pan, Z., Wang, J., Zhang, H., Geng, G., & Ling, C. (2020). Research on Physical Depreciation Methods of Non-Toll Road Assets. *CICTP 2020*, 1011–1021. <https://doi.org/10.1061/9780784482933.088>
- Dewan, S. A., & Smith, R. E. (2005). Valuing Pavement Network Assets and Use of Values as Decision Supports. *Journal of Infrastructure Systems*, 11(4), 202–210. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2005\)11:4\(202\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2005)11:4(202))
- Do, M., & Jung, H. (2018). Enhancing Road Network Resilience by Considering the Performance Loss and Asset Value. *Sustainability*, 10(11), 4188. <https://doi.org/10.3390/su10114188>
- Dojutrek, M., Makwana, P., & Labi, S. (2012). *A Methodology for Highway Asset Valuation in Indiana* (Final Report FHWA/IN/JTRP-2012/31). Joint Transportation Research Program and Purdue University. <https://doi.org/10.5703/1288284315035>
- Dojutrek, M., Volovski, M., & Labi, S. (2014). Elemental Decomposition and Multicriteria Method for Valuing Transportation Infrastructure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2460(1), 137–145. <https://doi.org/10.3141/2460-15>
- Ebensperger, M. (2018). *Definición de un indicador de nivel de servicio asociado al ruido de rodadura* (Informe de Avance PL-CA-FT4; Proyecto FONDEF IT16I10008). Universidad Técnica Federico Santa María.

- Ebensperger, M. (2020). *Propuesta conceptual para evaluación del servicio a la comunidad y el medio ambiente aledaños durante la operación de una carretera interurbana concesionada* [Tesis de Magíster]. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Ellis, R. M., & Thompson, P. D. (2007). Bridge Asset Valuation and the Role of the Bridge Management System. *2007 Annual Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada: Transportation-An Economic Enabler*.
- Falls, L. C., Haas, R. C. G., & Tighe, S. L. (2004). A Comparison of Asset Valuation Methods for Civil Infrastructure. *6th International Conference on Managing Pavements: The Lessons, The Challenges, The Way Ahead*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.651.9483&rep=rep1&type=pdf>
- Falls, L. C., Haas, R., & Tighe, S. (2005). A Framework for Selection of Asset Valuation Methods for Civil Infrastructure. *2005 Annual Conference of the Transportation Association of Canada Session: Very Long-term Life Cycle Analysis of Pavements – Determining the True Value of our Investment*.
- Federal Highway Administration. (2001). *Concrete Pavement Rehabilitation – Guide for Diamond Grinding*. United States Department of Transportation.
- Federal Highway Administration. (2003). *Evaluation of Joint and Crack Load Transfer Final Report* (Final Report FHWA-RD-02-088). United States Department of Transportation.
- Federal Highway Administration. (2014). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program* (Report FHWA-HRT-13-092). United States Department of Transportation.
- Federal Highway Administration. (2016). *Incorporating Asset Valuation into Transportation Asset Management Financial Plans* (FHWA-HIF-16-009). United States Department of Transportation. <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/42719>
- Gómez, J. (2019). *Desarrollo de herramientas de gestión para evaluar el desempeño en la operación y conservación del patrimonio durante la etapa de explotación de la concesión vial, aplicables en bases de licitación para futuras concesiones* [Tesis de Magíster]. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Gyamfi-Yeboah, F., & Ayitey, J. (2009). Assessing Depreciation For Valuation Purposes – A Decompositional Approach. *Journal of Science and Technology (Ghana)*, 29(2). <https://doi.org/10.4314/just.v29i2.46223>
- Herabat, P., Amekudzi, A. A., & Sirirangsi, P. (2002). Application of Cost Approach for Pavement Valuation and Asset Management. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1812(1), 219–227. <https://doi.org/10.3141/1812-27>
- Hogg, E., & Reid, D. (2016). *Road Asset Management Planning—Asset Valuation Report 2015-2016* (Version 3.0). Falkirk Council.
- Indiana Department of Transportation. (2017). *Amended and Restated Indiana Toll Road Concession and Lease Agreement*.
- Irwin, T. C. (2007). *Government Guarantees: Allocating and Valuing Risk in Privately Financed Infrastructure Projects*. The World Bank.
- Islami, R. C., & Hazhiyah, A. U. (2020). Correlation Model Between Estimated Project Cost and Net Present Value (NPV) on Transportation Infrastructure Projects Using Public Private Partnership (PPP) Scheme. *Journal of Physics: Conference Series*, 1625, 012029. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1625/1/012029>

- Khaki, A. M., & Azadavesh, E. (2010). *Generating a 3D model for evaluating the joint opening effects on load transfer efficiency in concrete pavements, using Abaqus*. 7.
- Lee, D.-Y., & Lee, M.-J. (2014). A Study of the Asset Valuation Method for Efficient Road Facility Maintenance. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 13(2), 279–286. <https://doi.org/10.3130/jaabe.13.279>
- Leviäkangas, P., & Michaelides, S. (2014). Transport system management under extreme weather risks: Views to project appraisal, asset value protection and risk-aware system management. *Natural Hazards*, 72(1), 263–286. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0970-x>
- Leviäkangas, P., Pargar, F., Sirvio, K., Khabbaz Beheshti, B., & Love, P. E. D. (2019). Service Value and Componentized Accounting of Infrastructure Assets. *Journal of Infrastructure Systems*, 25(3), 04019025. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000497](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000497)
- Li, R. J., & Li, J. (2014). Data Processing for Countermeasures on the Problems of the Assessment of the Value of Highway—With the Example of Highway Assets which Need Expansion. *Advanced Materials Research*, 1056, 211–214. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1056.211>
- Lim, T., Porras-Alvarado, J. D., & Zhang, Z. (2019). Pricing of Highway Infrastructure for Transportation Asset Management. *Built Environment Project and Asset Management*, 9(1), 64–79. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-05-2018-0083>
- London Bridges Engineering Group. (2012). *Asset Valuation for Highway Structures (LoBEG Technical Note Version3.0)*.
- Luburić, G., Miljković, G., & Buntak, K. (2012). Model of Investment in Road Maintenance as Preservation of Road Infrastructure Value. *Promet - Traffic & Transportation*, 24(1), 73–83. <https://doi.org/10.7307/ptt.v24i1.270>
- Maitra, S. R., Reddy, K. S., & Ramachandra, L. S. (2009). Load Transfer Characteristics of Dowel Bar System in Jointed Concrete Pavement. *Journal of Transportation Engineering*, 135(11), 813–821. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000065](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000065)
- Maitra, S. R., Reddy, K. S., & Ramachandra, L. S. (2019). Effect of Joint- and Pavement-Related Parameters on Load Transfer Characteristics of Aggregate Interlocked Jointed Concrete Pavement. *Transportation in Developing Economies*, 5(2), 15. <https://doi.org/10.1007/s40890-019-0080-x>
- Marzal, I., Delgadillo, R., Wahr, C., Osorio, A., Echaveguren, T., & Araya, F. (2021). Método de valoración de pavimentos asfálticos implementable en contratos de asociación público-privada. *XI Congreso Mexicano del Asfalto*, 12.
- Ministerio de Desarrollo Social. (2017). *Documento de trabajo: “Configuración y parametrización del Modelo HDM-4 a las condiciones de Chile”*. Subsecretaría de Evaluación Social. <http://sni.gob.cl/storage/docs/Informe%20Etapa%20FINAL%20HDM4%20MDS.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas. (1995a). *Bases de Licitación: Primera Concesión Autopista Santiago-San Antonio, Ruta 78*. Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (1995b). *Bases de Licitación: Primera Concesión Ruta 5 Tramo Talca—Chillán*. Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (1996). *Bases de Licitación: Primera Concesión Ruta 5 Tramo Chillán-Collipulli*. Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (1997). *Bases de Licitación: Primera Concesión Interconexión Vial Santiago-Valparaíso-Viña del Mar*. Dirección General de Concesiones.

- Ministerio de Obras Públicas. (2007). *Indicadores de Pavimento Autopista del Sol*. Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2014). *Estudio Básico: Metodología para la Determinación del Patrimonio Vial* (Informe Final DDQ-107-08-ID-VO-PV-IDI-006-Vb). Departamento de Gestión Vial, Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas. (2016a). *Concesiones de Obras Públicas en Chile, 20 años*. Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2016b). *Valor del Patrimonio Vial de la Red Vial Nacional—Año 2013*. Departamento de Gestión Vial, Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas. (2018). *Estudio de rehabilitación, Tramo Talca-Chillán* (Informe Final DDQ-18-114-01-B; Estudio de rehabilitación, Tramo Talca-Chillán). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2019a). *Bases de Licitación: Segunda Concesión Ruta 5 Tramo Talca—Chillán*. Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2019b). *Estimación del valor patrimonial de la concesión Talca Chillán* (Informe Final DDQ-MOP-001-19-010-03). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2019c). *Evaluación de Pavimentos, Diseño y Plan de Conservación* (Informe Final DDQ-18-114-11; Estudio de Rehabilitación, Tramo Talca-Chillán). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2020a). *Informe Anual 2020, Seguimiento de Pavimentos* (Informe Final APSA 20-102-A-01; Seguimiento de pavimentos Ruta del Maule). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2020b). *Informe de seguimiento de pavimentos Ruta del Bosque 2020* (Informe Final APSA 20-051-A-01). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2020c). *Plan de conservación años 2020-2021 Autopista Santiago—San Antonio* (Informe de Conservación ASSA Versión 1.0 30-11-2020). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2020d). *Proposición de acciones de mantenimiento (PAM) y estado de la calzada y bermas para caminos pavimentados de la red vial nacional*. Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021a). *Bases de Licitación: Segunda Concesión Autopista Santiago—San Antonio, Ruta 78*. Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021b). *Fase A1: Informe de Diagnóstico de Pavimentos* (Informe TYPASA Versión F N° RD6614-A1-IN-LE-001-Pavimentos_EdF; Estudio integral: Ruta 68: Tramo Pajaritos - Placilla Ruta F-852: Tramo Casablanca - Lo Vásquez). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021c). *Informe de Seguimiento de Pavimentos, Autopista del Sol 2020* (Informe Final APSA 20-138-B-01). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021d). *Informe valor patrimonial de las obras del proyecto tramo Chillán-Collipulli* (Revisión A-Abril 2021; Estudio integral concesión Ruta 5: Tramo Chillán-Collipulli y tramo Temuco-Río Bueno). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021e). *Informe valorización patrimonial-Item pavimentos tramo Santiago-San antonio* (Informe Final N° 19-D09-1-R78-A4-PV-ING-INF-001—C; Estudio

- integral concesión Ruta 78: tramo Santiago - San Antonio y tramo acceso vial a puertos). Dirección General de Concesiones.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021f). *Manual de Carreteras: Vol. 3. Instrucciones y criterios de diseño* (2021^a ed.). Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021g). *Manual de Carreteras: Vol. 5. Especificaciones técnicas generales de construcción* (2021^a ed.). Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021h). *Manual de Carreteras: Vol. 6. Seguridad Vial* (2021^a ed.). Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021i). *Manual de Carreteras: Vol. 7. Mantenimiento Vial* (2021^a ed.). Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021j). *Manual de Carreteras: Vol. 8. Especificaciones y métodos de muestreo, ensayo y control* (2021^a ed.). Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas. (2021k). *Manual de Carreteras: Vol. 9. Estudios y criterios ambientales en proyectos viales* (2021^a ed.). Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Paraguay. (2017). *Pliego De Bases y Condiciones De “Contrato De Diseño, Financiación, Construcción, Mantenimiento Y Operación De Dos Rutas Nacionales (Nº 2 Y 7)”*.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica. (2011). *Contrato de Concesión de Obra Pública con servicios públicos de la carretera San José – Caldera*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2013). *Contrato de Concesión del Tramo Vial Desvío Quilca-Desvío Arequipa (Repartición) – Desvío Matarani – Desvío Moquegua – Desvío Ilo – Tacna – La Concordia*.
- Muñoz, R. (2018). *Definición de indicadores técnicos para la evaluación de pavimentos* (Informe de Avance PL-CA-IT2; Proyecto FONDEF IT16I10008). Universidad Técnica Federico Santa María.
- Muñoz, R. (2020). *Desarrollo de un modelo para evaluar el nivel de servicio de carreteras interurbanas concesionadas desde el punto de vista del usuario* [Tesis de Magíster]. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Muslim, H. B., Haider, S. W., & Chatti, K. (2021). Influence of seasonal and diurnal FWD measurements on deflection-based parameters for rigid pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1958217>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2001a). *Performance Indicators for the Road Sector: Summary of the Field Tests*. OECD Publication Service. <https://doi.org/10.1787/9789264192942-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2001b). *Asset Management for the Roads Sector*. OECD Publication Service. <https://doi.org/10.1787/9789264193208-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2013). *Understanding the value of transport infrastructure: Guidelines for macro-level measurement of spending and assets*. International Transport Forum. <https://www.itf-oecd.org/understanding-value-transport-infrastructure>
- Ohiduzzaman, M., Sirin, O., & Kassem, E. (2017). Assessment of tire-pavement noise by using On-Board Sound Intensity (OBSI) method in the State of Qatar. En A. Loizos, I. L. Al-Qadi, &

- A. (Tom) Scarpas (Eds.), *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields* (pp. 953–959). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315100333-139>
- Opara, K. (2012). Road asset evaluation models. *4th European Pavement and Asset Management Conference*, 10. <https://trid.trb.org/view/1240112>
- Park, T., & Sinha, S. K. (2009). Asset Valuation Model for Sewer Pipe Infrastructure System. *Pipelines 2009: Infrastructure's Hidden Assets*, 1312–1331. [https://doi.org/10.1061/41069\(360\)123](https://doi.org/10.1061/41069(360)123)
- Plazak, D. (2010). *Roadway Alignments as Assets: Evaluating Alternatives for Valuing Major Highway Corridor Rights of Way* (Final Report MTC Project 2003-2). Center for Transportation Research and Education, Institute for Transportation, Iowa State University. <https://intrans.iastate.edu/research/completed/roadway-alignments-as-assets-evaluating-alternatives-for-valuing-major-highway-corridor-rights-of-way/>
- Porrás-Alvarado, J. D., Peters, D., Han, Z., & Zhang, Z. (2015). Novel Utility-Based Methodological Framework for Valuation of Road Infrastructure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2529(1), 37–45. <https://doi.org/10.3141/2529-04>
- Pradena, M., & Houben, L. (2018). LOAD TRANSFER-CRACK WIDTH RELATION OF NON-DOWELLED JOINTED PLAIN CONCRETE SHORT SLABS. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 13(1), 40–45. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2018.388>
- Rodríguez, M. S. (2020). La variabilidad del precio en el contrato de construcción. *Revista de derecho (Valdivia)*, 33(2), 79–99. <https://doi.org/10.4067/S0718-09502020000200079>
- Roux, M., Sallie, I., & Kemp, M. (2018). Proposed Method to Calculate Asset Values for Road Structures. *4th International Conference on Transportation Infrastructure*. <http://hdl.handle.net/10204/10348>
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2021). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Recuperado de: <https://www.sea.gob.cl/evaluacion-de-impacto-ambiental/que-es-el-sistema-de-evaluacion-de-impacto-ambiental-seia>
- Slavinska, O., Savenko, V., Kharchenko, A., & Bubela, A. (2017). Development of a Mathematical Model of Evaluation of Road-and-transport Assets as a Component of Information-and-management System. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4 (90)), 45–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118798>
- Snaith, M. S., & Orr, D. M. (2006). Condition-based capital valuation of a road network. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer*, 159(2), 91–95. <https://doi.org/10.1680/muen.2006.159.2.91>
- Stone, C. D. (2014). *A Methodological Framework for Economic Evaluation of Existing Roadway Assets* [Tesis de Magíster, The University of Texas at Austin]. <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/25856>
- Timár, A. (2016). Determining the asset value and average depreciation key of a tolled road network. *Pollack Periodica*, 11(2), 55–64. <https://doi.org/10.1556/606.2016.11.2.5>
- Turnbull, K. (2015). *Data and Statistics for Valuing Transportation Infrastructure and Transportation's Contribution to the Economy* (Transportation Research Circular Number E-C192). <http://www.trb.org/Main/Blurbs/172046.aspx>
- The World Bank. (2017). *Public-Private Partnerships Reference Guide*. International Bank for Reconstruction and Development. <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/library/ppp-reference-guide-3-0-full-version>

- Texas Department of Transportation. (2014). *Development Agreement SH 183 Managed Lanes Project*.
- Weldemicael, E., Li, S. X., & Redd, L. (2018). Asset Valuation of Transportation Infrastructure: Proof of Concept in Colorado. *Transportation Research Board 97th Annual Meeting*. <http://www.larryreddllc.com/Asset%20Valuation%20of%20Transportation%20Infrastructure%20Colorado%20DOT%20July%202017.pdf>
- Yuan, X.-X., & Li, Y. (2018). Residual Value Risks of Highway Pavements in Public–Private Partnerships. *Journal of Infrastructure Systems*, 24(3), 04018020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000438](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000438)
- Zhang, Z., & Peters, D. D. (2014). *Productivity-based Approach to Valuation of Transportation Infrastructure* (Final Report SWUTC/14/600451-00089-1). Center for Transportation Research and University of Texas at Austin. <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/29375>
- Zhu, J., Chen, M., & Lei, Q. (2020). Study on Evaluation Method of the Total Asset Value of National and Provincial Highway Infrastructure. *International Conference on Construction and Real Estate Management 2020: Intelligent Construction and Sustainable Buildings*, 793–803. <https://doi.org/10.1061/9780784483237.091>
- Zhu, Y. T., & Lei, M. J. (2011). The Application of Assets Evaluation in Analysis of Asphalt Pavement Maintenance Technology. *Applied Mechanics and Materials*, 97–98, 347–351. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.97-98.347>

Anexos

A. Indicadores técnicos del modelo de nivel de servicio

A.1. Mean Roughness Index (MRI)

En la Figura A.1 se presenta la ficha técnica asociada a la regularidad longitudinal del pavimento.

TIPO DE DOCUMENTO	Ficha técnica	
CARACTERÍSTICA	Regularidad longitudinal del Pavimento	
IDENTIFICADOR	PL-CA-FT1	
INFORME TÉCNICO ASOCIADO	Definición de un indicador de nivel de servicio asociado a la regularidad longitudinal del pavimento (PL-CA-IT1)	
DESARROLLADO POR	Universidad Técnica Federico Santa María	
INDICADOR	UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA
Mean Roughness Index (MRI)	m/km	Anual
NORMATIVA DE REFERENCIA		
ASTM E950 / E950M - 09(2018) Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer-Established Inertial Profiling Reference.		
ASTM E1170 - 97(2017) Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces.		
EQUIPO DE MEDICIÓN		
Perfilómetro Inercial (Clase 1, según ASTM E950)		
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES		
La metodología de medición del perfil longitudinal se debe basar en la normativa ASTM E950. Esta medición se debe realizar en todas las pistas del área de concesión exceptuando las vías de servicio.		
Se deben medir 2 perfiles longitudinales por pista, cada uno a 0.7 m de distancia de las líneas que demarcan la pista (2.1 m de separación entre los transductores de distancia en el caso de una pista de 3.5 m).		
Los datos obtenidos cada perfil longitudinal deben ser guardados en un archivo de formato compatible con el software ProVal, para permitir realizar análisis posteriores de los resultados obtenidos, por ejemplo usando otros intervalos de evaluación.		
Respecto del equipo de medición, debe ser un perfilómetro inercial, que cumpla los requisitos necesarios para calificar como Clase 1 (según ASTM E950), tanto para el intervalo de muestreo longitudinal como de resolución vertical. Adicionalmente, debe poseer una certificación anual (Clase 1) de precisión y exactitud según ASTM E950. Para tales efectos, se debe contar con un valor de referencia aceptado en cada punto del perfil del pavimento, el que se debe derivar de un método de referencia como el de mira y nivel según ASTM 1364, o bien el uso de equipos tipo pivote como el Dipstick utilizando métodos de ensayo referenciales como AASHTO R41 o ASTM E2133.		
Posteriormente, se debe calcular el IRI de cada perfil longitudinal, basado en la normativa ASTM E1170. Para tal efecto, se debe utilizar el modelo de simulación de cuarto de vehículo. El valor final a reportar debe ser el IRI promedio de ambos perfiles (MRI), en unidades de m/km con un decimal.		
Las definiciones de singularidades debe ser aprobada por el inspector fiscal.		
Se calcula el valor de MRI individual (cada 50 m) y el valor de MRI promedio cada (1 km).		

Figura A.1. Ficha técnica para evaluar la regularidad longitudinal del pavimento (Muñoz, 2020).

El protocolo de calificación del indicador MRI para secciones de 50 m y de 1 km se presenta en la Figura A.2.

PROTOCOLO DE CALIFICACIÓN				
Cada 50 m se tiene un nivel de desempeño según se define en (I).				
Cada 1 km se tiene un nivel de desempeño según se define en (II).				
NIVELES DE DESEMPEÑO				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
(I) MRI individual (cada 50 m) [m/km]				
[0.0, 1.5[	[1.5, 2.5[	[2.5, 3.5[	[3.5, 5.0[	≥ 5.0
(II) MRI promedio (cada 1 km) [m/km]				
[0.0, 1.0[	[1.0, 2.0[	[2.0, 3.0[	[3.0, 4.5[	≥ 4.5

Figura A.2. Protocolo de calificación del indicador MRI por sección de la carretera (Muñoz, 2020).

El protocolo de calificación global del indicador MRI se presenta en la Figura A.3.

		MRI puntual (50 m)				
		Porcentaje de secciones dentro de cada rango de MRI puntual				
		[0.0 , 1.5]	[1.5 , 2.5]	[2.5 , 3.5]	[3.5 , 5.0]	≥ 5.0
Calificación del indicador	Muy Bueno	≥ 50%	< 50%	≤ 3.0%	≤ 0.5%	= 0%
	Bueno	≥ 50%		< 50%	≤ 0.5%	= 0%
	Justo	100%			≤ 0.5%	= 0%
	Malo	-			[0.5, 2.0]	= 0%
	Muy malo	100%				

		MRI promedio (1 km)				
		Porcentaje de secciones dentro de cada rango de MRI promedio				
		[0.0 , 1.0]	[1.0 , 2.0]	[2.0 , 3.0]	[3.0 , 4.5]	≥ 4.5
Calificación del indicador	Muy Bueno	≥ 50%	< 50%	≤ 1.0%	= 0%	= 0%
	Bueno	≥ 50%		< 50%	= 0%	= 0%
	Justo	100%			= 0%	= 0%
	Malo	-			[0.0, 5.0]	= 0%
	Muy malo	100%				

* La calificación que ingresa al modelo de N.S. es la peor de las anteriores (entre MRI promedio e MRI puntual).

Figura A.3. Protocolo de calificación global del indicador MRI (Muñoz, 2020).

A.2. SFC equivalente

En la Figura A.4 se presenta la ficha técnica asociada a la resistencia al deslizamiento del pavimento.

TIPO DE DOCUMENTO	Ficha técnica	
CARACTERÍSTICA	Resistencia al deslizamiento de la Capa de Rodadura	
IDENTIFICADOR	PL-CA-FT6	
INFORME TÉCNICO ASOCIADO	Definición de un indicador de nivel de servicio asociado a la resistencia al deslizamiento en la capa de rodadura (PL-CA-IT6)	
DESARROLLADO POR	Universidad de Concepción	
INDICADOR	UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA
SFC equivalente	-	Anual
NORMATIVAS DE REFERENCIA		
Medición de fricción con Grip Tester, Numeral 8.502.18 del Manual de Carreteras Volumen 8, Edición 2018.		
Medición de fricción con Scrim Numeral, 8.502.17 del Manual de Carreteras Volumen 8, Edición 2018.		
ASTM E2340M-15 Runway Friction Tester.		
EQUIPOS DE MEDICIÓN		
Grip Tester (Norma 8.502.18); SCRIM (Norma 8.502.17); Runway Friction Tester (ASTM E2340.M-15)		
METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES		
Los procedimientos de medición se realizarán de acuerdo a las normas 8.502.17 y 8.502.18. Previamente se deberá verificar la repetibilidad y reproducibilidad de la flota de equipos mediante el estándar 8.502.20 del Manual de Carreteras Volumen 6, Edición 2018. En el caso en que la medición se desarrolle con un equipo distinto del equipo SCRIM, se deberán aplicar los coeficientes de homologación mediante el procedimiento descrito en el estándar 8.503.19 del Manual de Carreteras Volumen 6, Edición 2018. Las mediciones se procesan para una longitud de muestreo de 50 m.		
La ITO deberá verificar si los valores de fricción obtenidos se encuentran sobre los umbrales de alerta o intervención, según sea el caso, de acuerdo a lo especificado en las tablas 6.203.303(1) y 6.203.303.B del Volumen 6 del Manual de Carreteras, Edición 2018.		
La medición descrita, se debe realizar en todas las pistas del área de concesión exceptuando las vías de servicio.		

Figura A.4. Ficha técnica para evaluar la resistencia al deslizamiento del pavimento (Muñoz, 2020).

El protocolo de calificación del indicador SFC para secciones de 50 m se presenta en la Figura A.5.

PROTOCOLO DE CALIFICACIÓN				
Cada sección se define como 50 m de pista, y tiene un nivel de desempeño según se define en (I). La calificación global se obtiene según se define en (II).				
(I) Calificación para cada sección de 50 m en base a SFC equivalente de dicha sección				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
]0.65 , 1.00]	]0.55 , 0.65]	]0.40 , 0.55]	]0.20 , 0.40]	]0.00 , 0.20]

Figura A.5. Protocolo de calificación del indicador SFC por sección de la carretera (Muñoz, 2020).

El protocolo de calificación global del indicador SFC se presenta en la Figura A.6.

(II) Calificación global del indicador en base al porcentaje de secciones en cada rango de SFC equivalente						
		Rangos de SFC equivalente				
		]0.65, 1.00]	]0.55, 0.65]	]0.40, 0.55]	]0.20, 0.40]	]0.00, 0.20]
Calificación global del indicador	Muy Bueno	≥ 50 %	≤ 50 %	≤ 5 %	= 0.0%	= 0.0%
	Bueno	≥ 50 %		< 50 %	= 0.0%	= 0.0%
	Justo	100%			= 0.0%	= 0.0%
	Malo	≤ 100 %			]0.0, 5.0]	= 0.0%
	Muy malo	100%				

Figura A.6. Protocolo de calificación global del indicador SFC (Muñoz, 2020).

A.3. Overall A-Weighted Sound Intensity Level (OASI)

En la Figura A.7 se presenta la ficha técnica asociada al nivel de ruido de rodadura del pavimento.

TIPO DE DOCUMENTO	Ficha técnica			
CARACTERÍSTICA	Nivel de Ruido de Rodadura			
IDENTIFICADOR	PL-CA-FT4			
INFORME TÉCNICO ASOCIADO	Definición de un indicador de nivel de servicio asociado al ruido de rodadura (PL-CA-IT4)			
DESARROLLADO POR	Universidad Técnica Federico Santa María			
INDICADOR	UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA		
Overall A-weighted Sound Intensity Level	dBA	Anual		
NORMATIVA DE REFERENCIA				
AASHTO T360-16 Measurement of Tire/Pavement Noise Using the On-Board Sound Intensity (OBSI) Method.				
EQUIPO DE MEDICIÓN				
Sistema de medición OBSI, según AASHTO T360-16.				
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES				
La metodología de medición del Nivel de Ruido de Rodadura se debe basar en la normativa AASHTO T360.				
Las mediciones deben ser realizadas a una velocidad de $95 \pm 1,5$ [km/h]. Si esta velocidad no es permitida en el tramo, el ensayo debe ser realizado a la más alta que se pueda alcanzar de las siguientes velocidades: 70, 55 y 40 [km/h].				
En cada una de las pistas se debe determinar el Nivel General de Intensidad de Sonido en escala de ponderación A (Overall A-weighted Sound Intensity Level) medido y normalizado según la normativa AASHTO T360.				
El valor final a reportar debe ser el Nivel General de Intensidad de Sonido en escala de ponderación A (Overall A-weighted Sound Intensity Level) normalizado de cada pista.				
El valor de Nivel General de Intensidad de Sonido en escala de ponderación A se debe determinar en tramos de 200 [m], donde se considerará el valor máximo entre las pistas como Nivel General de Intensidad de Sonido en escala de ponderación A del tramo.				
La medición descrita, se debe realizar en toda el área de concesión (exceptuando las vías de servicio), pero en el caso de puentes y túneles sus resultados solo tienen que ser reportados, pero no serán evaluados dentro del Modelo de Nivel de Servicio.				
Si el ensayo es realizado a velocidades inferiores a 93,5 [km/h], no será considerado en la evaluación por Nivel de Servicio. Aún así, los resultados del ensayo deben ser reportados.				
NIVELES DE DESEMPEÑO				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [dBA]				
< 100]100, 102]]102, 104]]104,106]	> 106

Figura A.7. Ficha técnica para evaluar el ruido de rodadura del pavimento (Muñoz, 2020).

El protocolo de calificación del indicador OASI para secciones de 50 m se presenta en la Figura A.8.

NIVELES DE DESEMPEÑO				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [dBA]				
< 100	]100, 102]	]102, 104]	]104,106]	> 106

Figura A.8. Protocolo de calificación del indicador OASI por sección de la carretera (Muñoz, 2020).

El protocolo de calificación global del indicador OASI se presenta en la Figura A.9.

		Overall A-Weighted Sound Intensity				
		Porcentaje de secciones dentro de cada rango de OAWSI [dBA]				
		< 100	]100, 102]	]102, 104]	]104,106]	> 106
Calificación del indicador	Muy Bueno	≥ 50%	< 50%	= 0%	= 0%	= 0%
	Bueno	≥ 45%		< 55%	= 0%	= 0%
	Justo		100%		= 0%	= 0%
	Malo				]0.0, 10.0]	= 0%
	Muy malo				]10.0, 15.0]	= 0%
						> 0%

Figura A.9. Protocolo de calificación global del indicador OASI (Muñoz, 2020).

A.4. Porcentaje de Losas Agrietadas

En la Figura A.10 se presenta la ficha técnica asociada al agrietamiento del pavimento.

TIPO DE DOCUMENTO	Ficha técnica	
CARACTERÍSTICA	Arietamientos en pavimentos flexibles/rígidos	
IDENTIFICADOR	PL-CA-FT8	
INFORME TÉCNICO ASOCIADO	Definición de un indicadores técnicos para la evaluación de pavimentos (PL-CA-IT2)	
DESARROLLADO POR	Universidad Técnica Federico Santa María	
INDICADOR	UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA
Porcentaje de agrietamiento (pav. flexible)	[%]	Anual
Porcentaje de losas agrietadas (pav. rígido)	[%]	Anual
NORMATIVA DE REFERENCIA		
AASHTO PP 67 Quantifying Cracks in Asphalt Pavement Surfaces from Collected Pavement Images Utilizing Automated Methods		
AASHTO PP 68 Collecting Images of Pavement Surfaces for Distress Detection		
ASTM E-1656 Standard Guide for Classification of Automated Pavement Condition Survey Equipment. Pavement Condition Survey Equipment		
EQUIPO DE MEDICIÓN		
Equipo de medición de grietas C2221 o superior (según ASTM E-1656)		
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES		
Se deben inspeccionar todas las pistas.		
Se deben recolectar imágenes del pavimento según se establece en AASHTO PP 68		
Se deben reportar las grietas por tipo (pattern, transverse, longitudinal), severidad y zona según se define en AASHTO PP 67. Para efectos de evaluar el desempeño se consideran como grietas aquellas que no poseen sello íntegro y bien adherido, sin embargo de igual forma se deben reportar las grietas selladas.		
La longitud de la sección de resumen debe ser 50 m. Tanto para pavimento flexibles como de hormigón.		
Para determinar los niveles de desempeño se deben sumar los valores de agrietamiento por tipo (pattern, transverse, longitudinal) en la sección de resumen y contrastarlos con lo establecido en (I) en el caso de los pavimentos flexibles, las grietas transversales y longitudinales se transforman a un equivalente de área al multiplicar su longitud por 0.5 m.		
Se considera que una losa está agrietada si presenta al menos una grieta longitudinal, transversal o de esquina según la sección Deterioros en Pavimentos Rígidos del Catálogo de Deterioros Anexo al MC-V7. Cabe destacar que, pensando en el patrimonio vial, se deberían considerar todo tipo de grietas, independiente de la severidad (baja, media o alta), sin embargo, esto puede ser muy exigente, por lo que se da la alternativa de considerar solo grietas de media y alta severidad. Los niveles de desempeño se establecen según (II) en el caso de los pavimentos rígidos.		
La escala de desempeño es distinta para cada tipo de pavimento, pero como en ambos casos se mide en unidades espaciales de 50 metros, se utiliza la tabla adjunta para evaluar el comportamiento a nivel de carretera, considerando la totalidad de secciones analizadas.		

Figura A.10. Ficha técnica para evaluar el agrietamiento del pavimento (Gómez, 2020).

El protocolo de calificación del porcentaje de losas agrietadas para secciones de 50 m se presenta en la Figura A.11.

NIVELES DE DESEMPEÑO				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
(I) Agrietamiento pavimento flexible [%]				
[0.0 , 4.0[	[4.0 , 7.0[	[7.0 , 10.0[	[10.0 , 15.0[	> 15.0
(II) Losas de hormigón agrietadas [%]				
[0.0 , 5.0[	[5.0 , 10[	[10 , 15[	[15 , 20[	> 20.0

Figura A.11. Protocolo de calificación del porcentaje de losas agrietadas por sección de la carretera (Gómez, 2020).

El protocolo de calificación global del porcentaje de losas agrietadas se presenta en la Figura A.12.

		Porcentaje de secciones dentro de cada rango de agrietamiento				
		MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
Calificación del indicador	Muy Bueno	≥ 50	< 50	≤ 0.5	0	0
	Bueno	≥ 50	< 50	≤ 0.5	0	0
	Justo	100%			≤ 0.5	≤ 0.1
	Malo	-			]0.5, 2.0]	= 0
	Muy malo	100%				

Figura A.12. Protocolo de calificación global del porcentaje de losas agrietadas (Gómez, 2020).

A.5. Porcentaje de Transferencia de Carga

En la Figura A.13 se presenta la ficha técnica asociada a la transferencia de carga del pavimento.

TIPO DE DOCUMENTO	Ficha técnica	
CARACTERÍSTICA	Capacidad Estructural Eficiencia de Transferencia de Carga Pavimento Hormigón	
IDENTIFICADOR	PL-CA-FT13	
INFORME TÉCNICO ASOCIADO	Definición de un indicador asociado a la capacidad estructural de pavimentos (PL-CA-IT9)	
DESARROLLADO POR	Universidad Técnica Federico Santa María	
INDICADOR	UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA
Transferencia de carga (TC%)	[%]	Cada 3 años
NORMATIVA DE REFERENCIA		
8.502.5 Manual de Carreteras Volumen N°8		
EQUIPO DE MEDICIÓN		
Deflectómetro de Impacto (FWD)		
METODO DE MEDIDA		
<p>La carga debe ser ubicada en el centro de la losa y luego movida a la junta de salida con respecto a la misma losa.</p> <p>Se medirán los valores puntuales de las deflexiones a 0[mm] y 300 [mm] desde el centro de carga, se informarán en μm. La medición D0 se mide a 150 [mm] de la junta transversal.</p> <p>El área mínima de muestreo es el 15% de las losas cada 250 m. Las juntas a medir serán escogidas aleatoriamente o por el inspector fiscal, si este lo estima conveniente. Quedan exentas de este análisis secciones de viaductos, pasos superiores y puentes que estén contenidos en la carretera. Se evalúan todas las pistas.</p> <p>Se considerarán valores puntuales de las deflexiones corregidas por humedad, temperatura y carga, según indique la normativa o recomendaciones vigentes.</p> <p>Quedan exentas de este análisis secciones de viaductos, pasos superiores y puentes que estén contenidos en la carretera.</p> <p>La primera medición se debe realizar al momento de poner en marcha la carretera.</p>		

Figura A.13. Ficha técnica para evaluar la transferencia de carga del pavimento (Gómez, 2020).

El protocolo de calificación del porcentaje de transferencia de carga para secciones de 50 m se presenta en la Figura A.14.

NIVELES DE DESEMPEÑO				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
Porcentaje eficiencia transferencia de carga [%]				
≥70	]70;60]	]60;50]	]50;40]	<40

Figura A.14. Protocolo de calificación del porcentaje de transferencia de carga por sección de la carretera (Gómez, 2020).

El protocolo de calificación global del porcentaje de transferencia de carga se presenta en la Figura A.15.

		Porcentaje del total de mediciones puntuales de D_0 dentro de cada rango				
		Muy Bueno	Bueno	Justo	MALO	MUY MALO
Calificación del indicador	Muy Bueno	≥ 50	< 50	< 1	0	0
	Bueno	≥ 50		< 50	0	0
	Justo	-			≤ 5	0
	MALO	-			≤ 10	≤ 2
	MUY MALO	-			> 10	≤ 2
					-	> 2

Figura A.15. Protocolo de calificación global del porcentaje de transferencia de carga (Gómez, 2020).

B. Revisión de actividades y umbrales de rehabilitación

En la red vial nacional no concesionada del país se utilizan diferentes actividades, umbrales y árboles de decisión para la conservación de pavimentos de hormigón, que se presentan en la Figura B.1, Figura B.2 y Figura B.3, respectivamente.

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

Figura B.1. Acciones de conservación para pavimentos de hormigón en red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d).

Umbrales para Pavimentos de Hormigón			
Tránsito	Deterioros		
	Losas Agrietadas (%)	IRI (m/km)	Estado Juntas y Grietas
Alto (>3000)	>40	>5,5	Malo
	20 a 40	<5,5	Regular
	<20	-	Bueno
Medio (1200 a 3000)	>50	>5,5	Malo
	30 a 50	<5,5	Regular
	<30	-	Bueno
Bajo (<1200)	>60	>5,5	Malo
	40 a 60	<5,5	Regular
	<40	-	Bueno

Nota: Los valores en % se refieren a la relación entre el área afectada por el deterioro y el total del área muestral.

Figura B.2. Umbrales de intervención para pavimentos de hormigón en red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d).

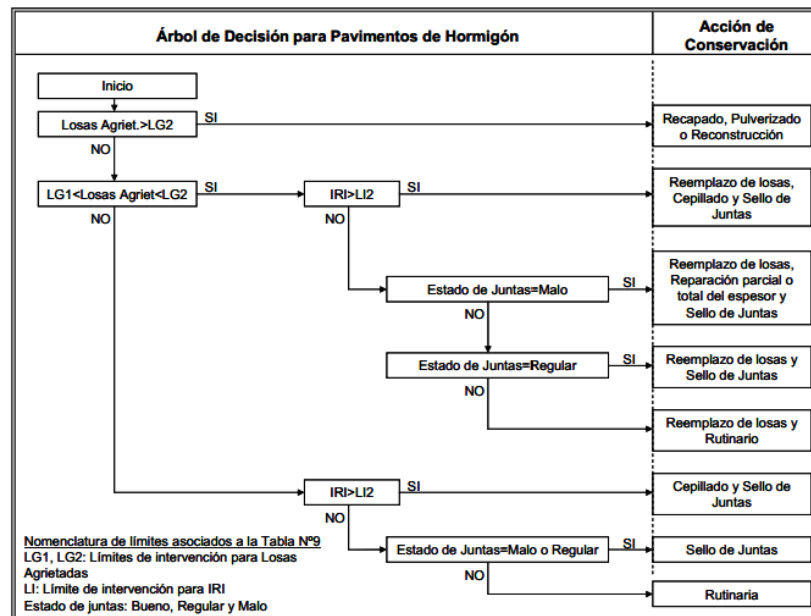


Figura B.3. Árbol de decisión para pavimentos de hormigón para conservación en red vial nacional no concesionada (MOP, 2020d).

Por otro lado, existen estándares de trabajo sugeridos por el Ministerio de Desarrollo Social para pavimentos de hormigón de autopistas, los cuales se presentan en la Figura B.4.

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

Figura B.4. Estándares de trabajo sugeridos para pavimentos de hormigón de autopistas (MDS, 2017).

C. Casos de estudio: Desempeño en el tiempo de los indicadores

C.1. Ruta I

En la Tabla C.1, Tabla C.2, Tabla C.3 y Tabla C.4 se presenta el porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño según el modelo propuesto para el porcentaje de losas agrietadas, transferencia de carga, MRI y SFC, respectivamente. Notar que lo anterior se presenta para cada escenario en el periodo de análisis de 20 años. Los niveles de desempeño posibles son: Muy Bueno (MB), Bueno (B), Aceptable (A), Malo (M) y Muy Malo (MM).

Tabla C.1. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para agrietamiento en Ruta I [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	88	90	100	100	100	98	84	83	82	83	75
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	1	0	0	0	2	6	4	7	4	6
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	2	5	3	3	4
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	4	4	1	3	3
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	3	0	0	0	0	4	5	7	8	12
Rea.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	91	97	100	100	100	98	91	95	94	91	86
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	1	0	0	0	2	4	3	4	3	8
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	1	1	2
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	2	0	0	0	0	5	0	1	5	4
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	95	99	100	100	100	99	93	97	98	90	93
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	1	4	2	2	5	3
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	3	0	0	4	3
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.2. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para transferencia de carga en Ruta I [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	90	82	75	61	49	44	40	38	25	19	18	17	17	15	14	12	12	12
	B	0	0	0	10	12	15	21	31	34	34	26	32	31	25	21	19	14	11	12	11	10
	A	0	0	0	0	5	8	12	10	10	12	23	27	31	35	32	26	26	24	22	18	18
	M	0	0	0	0	0	2	6	4	6	8	9	10	14	13	19	27	30	32	24	23	18
	MM	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	6	6	6	8	11	12	15	19	30	35	41
Rea.	MB	100	100	100	90	82	75	64	56	59	53	46	32	27	27	37	41	53	55	61	60	50
	B	0	0	0	10	12	15	21	31	34	37	30	36	38	31	23	22	15	17	18	19	30
	A	0	0	0	0	5	8	12	10	7	10	24	29	33	38	37	32	29	25	20	20	19
	M	0	0	0	0	0	2	3	2	0	0	0	3	2	3	3	5	2	3	1	0	1
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	90	82	81	72	69	60	55	62	54	57	57	66	71	67	66	66	59	65
	B	0	0	0	10	12	15	21	31	38	37	31	38	37	31	25	28	29	26	34	35	30
	A	0	0	0	0	5	4	6	0	2	8	7	8	5	12	9	2	4	8	0	6	5
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.3. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para MRI en Ruta I [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	87	52	32	18	7	3	1	1	1	3	3	14	10	4	1	15	7	11	10	7
	B	0	13	48	68	77	74	67	60	64	55	59	57	66	67	47	55	57	72	68	70	58
	A	0	0	0	0	5	19	29	33	33	37	33	32	19	20	40	33	27	20	20	19	34
	M	0	0	0	0	0	0	1	6	3	8	5	8	1	3	10	12	1	1	1	1	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	98	84	68	54	45	37	27	21	18	29	65	64	13	26	37	48	52	42	31
	B	0	0	2	16	32	44	45	43	55	58	68	55	30	30	66	54	61	51	46	55	65
	A	0	0	0	0	0	3	10	20	17	20	14	16	5	6	21	19	2	2	3	2	3
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	97	90	80	83	80	85	84	96	95	80	82	98	97	97	97	96
	B	0	0	0	0	0	3	10	20	17	20	14	15	4	5	18	15	2	3	3	3	4
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	3	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.4. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para SFC en Ruta I [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	99	96	92	87	82	59	48	38	41	77	53	70	70	60	77	31	41	59
	B	0	0	0	1	4	8	9	10	30	36	28	34	12	12	11	11	21	19	47	22	24
	A	0	0	0	0	0	1	3	7	11	16	33	24	10	27	19	18	18	3	22	37	16
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9	1	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	99	97	92	87	78	69	53	61	90	66	83	82	74	94	62	58	77
	B	0	0	0	0	1	3	7	9	19	23	32	30	6	9	10	11	23	5	32	27	20
	A	0	0	0	0	0	0	1	4	3	7	15	9	5	25	7	6	2	1	5	15	2
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	99	97	93	89	84	70	81	93	71	89	89	87	95	85	72	92
	B	0	0	0	0	0	1	3	6	10	15	26	15	4	11	8	8	13	3	13	27	8
	A	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5	5	3	17	2	2	0	1	1	1	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la Tabla C.5 y Tabla C.6 de la siguiente página se presenta el porcentaje de secciones en cada calificación de estado para el índice ICP según el modelo EI y los modelos DV-BALI, respectivamente. Por su parte, la Tabla C.7 presenta el porcentaje de secciones en cada calificación de estado para la transferencia de carga según el modelo BALI, de acuerdo a los estándares de la guía AASHTO. Notar que lo anterior se presenta para cada escenario en el periodo de análisis de 20 años. Las calificaciones de estado posibles para el ICP son: Muy Bueno (MB), Bueno (B), Regular (R), Malo (M) y Muy Malo (MM). Las calificaciones de estado posibles para la transferencia de carga según guía AASHTO son: Bueno (B), Regular (R) y Malo (M).

Tabla C.5. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelo EI (Ruta I) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	100	94	84	87	81	82	78	96	94	83	83	93	91	90	90	85
	B	0	0	0	0	0	0	6	16	13	19	18	21	4	6	17	17	7	9	10	9	12
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3	
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	100	100	100	97	99	93	95	94	100	99	94	93	99	100	100	97	99
	B	0	0	0	0	0	0	0	3	1	7	5	5	0	1	6	7	1	0	0	3	1
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	99	100	100	100	100	100	100	100	99	100
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.6. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelos DV-BALI (Ruta I) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	98	82	66	52	43	35	26	16	9	21	57	55	9	22	26	34	39	28	14
	B	0	0	2	18	34	47	52	49	61	65	74	57	39	39	74	62	67	57	51	62	70
	R	0	0	0	0	0	0	6	16	13	19	18	21	4	6	17	17	7	9	10	10	15
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	94	81	69	60	63	49	55	60	84	81	51	59	70	79	80	77	63
	B	0	0	0	0	6	19	31	37	35	44	41	34	16	17	43	34	30	20	19	20	36
	R	0	0	0	0	0	0	0	3	1	7	5	6	0	1	6	7	1	0	0	3	1
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	99	94	97	88	95	92	99	98	90	90	98	100	99	96	97
	B	0	0	0	0	0	0	1	6	3	11	5	7	1	2	10	10	2	0	1	3	3
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.7. Porcentaje de secciones por calificación de TC según modelo BALI (Ruta I) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	B	100	100	100	90	82	75	61	49	44	40	38	25	19	18	17	17	15	14	12	12	12
	R	0	0	0	10	18	23	34	41	44	46	48	59	61	61	53	44	41	35	34	30	29
	M	0	0	0	0	0	2	6	10	12	13	14	16	20	21	30	39	45	51	53	58	59
Rea.	B	100	100	100	90	82	75	64	56	59	53	46	32	27	27	37	41	53	55	61	60	50
	R	0	0	0	10	18	23	34	41	41	47	54	65	71	69	60	54	44	42	38	39	49
	M	0	0	0	0	0	2	3	2	0	0	0	3	2	3	3	5	2	3	1	0	1
Opt.	B	100	100	100	90	82	81	72	69	60	55	62	54	57	57	66	71	67	66	66	59	65
	R	0	0	0	10	18	19	28	31	40	45	38	46	43	43	34	29	33	34	34	41	35
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

C.2. Ruta II

En la Tabla C.8, Tabla C.9, Tabla C.10 y Tabla C.11 se presenta el porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño según el modelo propuesto para el porcentaje de losas agrietadas, transferencia de carga, MRI y SFC, respectivamente. Notar que lo anterior se presenta para cada escenario en el periodo de análisis de 20 años. Los niveles de desempeño posibles son: Muy Bueno (MB), Bueno (B), Aceptable (A), Malo (M) y Muy Malo (MM).

Tabla C.8. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para agrietamiento en Ruta II [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	97	93	92	91	90	89	87	85	85	85	79	79	79	78	78	78	75	72	69
	B	0	0	3	5	5	4	4	4	5	6	6	5	10	10	10	9	9	9	10	12	12
	A	0	0	0	2	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	4	3	3	5	4	5
	M	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	4	3
	MM	0	0	0	0	0	0	2	2	3	4	5	6	7	7	7	7	8	8	8	9	12
Rea.	MB	100	100	97	93	92	91	92	93	90	87	88	87	83	83	83	82	80	80	81	77	75
	B	0	0	3	5	5	4	4	4	6	8	8	6	13	12	13	10	12	12	11	14	15
	A	0	0	0	2	3	3	3	2	3	4	4	4	4	3	4	7	7	4	7	5	5
	M	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	0	3	1	2	0	1	1	3	1	4	4
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	97	93	94	95	93	93	92	90	89	89	86	85	85	83	87	84	82	80	82
	B	0	0	3	5	5	4	5	6	6	8	11	7	14	13	14	13	13	13	16	13	13
	A	0	0	0	2	2	2	1	2	2	2	0	4	1	2	2	4	0	3	2	6	4
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.9. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para transferencia de carga en Ruta II [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	96	71	64	64	64	64	64	64	61	59	57	57	53	51	48	46	46	46	46
	B	0	0	4	29	36	34	32	24	16	7	5	5	7	7	12	14	15	15	13	11	11
	A	0	0	0	0	0	2	4	11	19	27	30	26	24	16	11	7	4	5	7	7	7
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	9	9	17	21	21	23	23	15	16	7
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	8	11	11	19	19	29
Rea.	MB	100	100	96	71	64	64	64	64	64	66	63	64	66	70	64	68	66	62	55	57	50
	B	0	0	4	29	36	34	32	24	16	7	5	8	9	11	17	23	29	28	32	27	35
	A	0	0	0	0	0	2	4	11	19	27	30	26	24	16	14	9	6	9	13	16	15
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	5	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	96	71	64	64	66	68	73	80	85	81	76	66	61	54	57	58	69	63	72
	B	0	0	4	29	36	34	32	24	19	11	9	15	24	32	39	38	41	30	29	25	27
	A	0	0	0	0	0	2	2	7	8	9	5	4	0	2	0	7	2	12	2	11	1
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.10. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para MRI en Ruta II [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	99	98	96	94	92	89	86	83	80	74	73	74	82	82	80	78	72	70	64
	B	0	0	1	2	4	6	8	11	13	17	19	26	26	25	14	15	17	20	26	27	33
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	3	3	1	2	2	2
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	99	98	96	94	92	90	88	85	82	77	76	77	87	87	86	83	77	76	72
	B	0	0	1	2	4	6	8	10	12	15	18	23	24	23	12	13	14	17	22	23	27
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	98	97	97	98	98	97	96	96
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	3	3	2	2	3	3	4
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.11. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para SFC en Ruta II [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	99	97	95	92	88	83	85	83	69	61	49	43	36	33	24	14
	B	0	0	0	0	0	1	3	5	7	9	11	11	12	25	32	43	47	47	41	42	44
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	6	4	5	6	7	7	10	17	26	34	42
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	100	99	97	96	93	91	86	88	89	76	69	57	52	46	42	34	26
	B	0	0	0	0	0	1	3	4	5	7	9	9	8	21	28	39	43	44	39	41	43
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	3	3	3	3	4	5	10	19	26	31
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	98	97	96	93	95	96	96	94	89	80	71	66	61	53
	B	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	5	3	3	3	4	10	19	28	31	32	32
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	2	1	1	1	0	3	8	14
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la Tabla C.12 y Tabla C.13 de la siguiente página se presenta el porcentaje de secciones en cada calificación de estado para el índice ICP según el modelo EI y los modelos DV-BALI, respectivamente. Por su parte, la Tabla C.14 presenta el porcentaje de secciones en cada calificación de estado para la transferencia de carga según el modelo BALI, de acuerdo a los estándares de la guía AASHTO. Notar que lo anterior se presenta para cada escenario en el periodo de análisis de 20 años. Las calificaciones de estado posibles para el ICP son: Muy Bueno (MB), Bueno (B), Regular (R), Malo (M) y Muy Malo (MM). Las calificaciones de estado posibles para la transferencia de carga según guía AASHTO son: Bueno (B), Regular (R) y Malo (M).

Tabla C.12. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelo EI (Ruta II) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	96	96	95	95	94	94	93	93	92	91	88
	B	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3	4	4	5	4	5	5	5	6	6	7
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	3	3
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	99	99	99	99
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.13. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelos DV-BALI (Ruta II) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	99	97	95	93	93	92	91	89	86	85	85	84	84	83	82	82	77	73
	B	0	0	0	1	3	5	6	7	7	6	8	9	10	10	9	9	10	11	10	14	15
	R	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	10
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	99	97	95	95	96	96	95	93	90	91	91	92	90	88	87	89	84	82
	B	0	0	0	1	3	5	5	4	4	5	7	10	9	9	8	9	12	12	10	15	16
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	96	97
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	3	3
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.14. Porcentaje de secciones por calificación de TC según modelo BALI (Ruta II) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	B	100	100	96	71	64	64	64	64	64	64	61	59	57	57	53	51	48	46	46	46	46
	R	0	0	4	29	36	36	36	36	36	34	35	32	32	24	23	20	18	20	20	18	18
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	9	11	19	25	29	34	34	34	36	36
Rea.	B	100	100	96	71	64	64	64	64	64	66	63	64	66	70	64	68	66	62	55	57	50
	R	0	0	4	29	36	36	36	36	36	34	35	34	34	28	31	32	34	38	45	43	50
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	B	100	100	96	71	64	64	66	68	73	80	85	81	76	66	61	54	57	58	69	63	72
	R	0	0	4	29	36	36	34	32	27	20	15	19	24	34	39	46	43	42	31	37	28
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

C.3. Ruta III

En la Tabla C.15, Tabla C.16, Tabla C.17 y Tabla C.18 se presenta el porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño según el modelo propuesto para el porcentaje de losas agrietadas, transferencia de carga, MRI y SFC, respectivamente. Notar que lo anterior se presenta para cada escenario en el periodo de análisis de 20 años. Los niveles de desempeño posibles son: Muy Bueno (MB), Bueno (B), Aceptable (A), Malo (M) y Muy Malo (MM).

Tabla C.15. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para agrietamiento en Ruta III [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	61	37	27	21	19	17	16	13	11	11	9	9	8	7	7	7	7	1	1
	B	0	0	39	44	34	24	18	14	11	9	10	9	9	9	9	9	9	7	6	3	2
	A	0	0	0	19	26	30	25	18	16	14	12	10	8	5	5	5	4	5	6	5	4
	M	0	0	0	0	12	17	20	22	18	15	12	13	10	12	9	7	7	5	3	6	3
	MM	0	0	0	0	0	8	19	29	39	48	55	58	63	65	69	71	73	76	78	85	91
Rea.	MB	100	100	61	37	35	46	54	47	46	45	45	42	50	46	33	44	56	25	41	30	53
	B	0	0	38	44	34	24	25	30	31	27	34	27	35	27	41	36	21	45	40	15	27
	A	0	0	0	19	26	30	21	22	23	23	21	30	15	26	21	19	23	30	19	50	17
	M	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	3
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	61	39	52	66	55	48	64	57	51	47	64	55	35	45	74	53	37	32	77
	B	0	0	38	44	34	26	40	33	35	29	49	29	36	41	51	36	26	39	63	30	17
	A	0	0	0	17	14	8	5	19	1	14	0	25	0	5	14	19	0	9	0	34	5
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.16. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para transferencia de carga en Ruta III [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	98	98	88	81	77	77	66	54	51	50	45	42	38	24	21	19
	B	0	0	0	0	0	2	2	12	17	21	21	26	28	31	29	32	27	24	31	31	31
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	6	15	16	19	18	22	21	27	28	27
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	3	7	15	16	15	15
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	5	8
Rea.	MB	100	100	100	100	100	98	98	89	82	78	78	68	60	57	56	52	54	53	41	39	43
	B	0	0	0	0	0	2	2	11	16	19	19	24	26	28	26	30	25	25	33	33	30
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	6	14	15	18	17	21	19	25	26	25
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	1	2	1	2	2
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	98	99	97	95	95	92	89	90	88	85	86	85	82	79	77	81
	B	0	0	0	0	0	2	1	3	4	5	8	10	8	12	14	13	14	15	20	22	19
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0	1	1	1	3	1	1	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.17. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para MRI en Ruta III [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	96	86	76	68	59	56	51	47	42	40	37	35	34	32	29	27	33
	B	0	0	0	0	4	14	24	32	41	44	49	52	55	54	55	54	54	52	52	58	48
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	6	8	10	12	16	18	15	18
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	96	87	86	85	84	86	85	84	86	84	85	85	83	80	84	82	88
	B	0	0	0	0	4	13	14	15	16	14	15	15	13	15	15	14	15	17	12	15	11
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	3	3	3	1
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	98	96	95	95	94	94	94	93	92	93	92	93	93	94	94	97
	B	0	0	0	0	0	2	4	5	5	6	6	6	7	8	7	7	6	7	5	6	3
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.18. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para SFC en Ruta III [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	91	83	76	71	65	58	49	45	42
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9	17	24	27	30	33	36	35	33
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	9	15	21	25
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	94	94	93	93	92	92	97
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	6	6	5	6	5	5	2
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	1
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	97	95	95	94	96	99
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	4	4	3	1
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la Tabla C.19 y Tabla C.20 de la siguiente página se presenta el porcentaje de secciones en cada calificación de estado para el índice ICP según el modelo EI y los modelos DV-BALI, respectivamente. Por su parte, la Tabla C.21 presenta el porcentaje de secciones en cada calificación de estado para la transferencia de carga según el modelo BALI, de acuerdo a los estándares de la guía AASHTO. Notar que lo anterior se presenta para cada escenario en el periodo de análisis de 20 años. Las calificaciones de estado posibles para el ICP son: Muy Bueno (MB), Bueno (B), Regular (R), Malo (M) y Muy Malo (MM). Las calificaciones de estado posibles para la transferencia de carga según guía AASHTO son: Bueno (B), Regular (R) y Malo (M).

Tabla C.19. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelo EI (Ruta III) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	100	97	89	78	68	57	49	43	39	33	30	27	26	24	17	19
	B	0	0	0	0	0	0	3	11	22	32	43	51	56	57	58	57	55	51	48	54	45
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	8	13	18	23	27	28	34
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	93	98
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	7	2
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	100
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.20. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelos DV-BALI (Ruta III) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	91	68	48	36	29	24	19	16	13	12	11	10	9	8	8	7	2	3
	B	0	0	0	9	32	52	60	60	54	49	40	35	30	28	23	21	19	18	17	15	16
	R	0	0	0	0	0	0	3	11	22	32	43	51	57	61	66	69	69	68	67	76	67
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	6	9	7	14
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	91	76	73	78	77	80	72	78	65	82	74	72	75	75	65	78	53	79
	B	0	0	0	9	24	27	22	23	20	28	22	35	18	26	28	24	24	34	20	40	19
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	7	2
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	97	95	96	96	94	95	93	97	91	94	92	90	90	93	90	94	84	95
	B	0	0	0	3	5	4	4	6	5	7	3	9	6	8	10	9	7	10	5	14	5
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.21. Porcentaje de secciones por calificación de TC según modelo BALI (Ruta III) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	B	100	100	100	100	100	98	98	88	81	77	77	66	55	51	50	45	42	38	24	21	19
	R	0	0	0	0	0	2	2	12	19	23	23	32	43	47	48	50	49	45	58	59	58
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	5	9	17	18	20	23
Rea.	B	100	100	100	100	100	98	98	89	82	78	78	68	60	57	56	52	54	53	41	39	43
	R	0	0	0	0	0	2	2	11	18	22	22	30	40	43	44	47	45	44	58	59	55
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	1	2	1	2	2
Opt.	B	100	100	100	100	100	98	99	97	95	95	92	89	90	88	85	86	85	82	79	77	81
	R	0	0	0	0	0	2	1	3	5	5	8	11	10	12	15	14	15	18	21	23	19
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

C.4. Ruta IV

En la Tabla C.22, Tabla C.23, Tabla C.24 y Tabla C.25 se presenta el porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño según el modelo propuesto para el porcentaje de losas agrietadas, transferencia de carga, MRI y SFC, respectivamente. Notar que lo anterior se presenta para cada escenario en el periodo de análisis de 20 años. Los niveles de desempeño posibles son: Muy Bueno (MB), Bueno (B), Aceptable (A), Malo (M) y Muy Malo (MM).

Tabla C.22. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para agrietamiento en Ruta IV [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	82	64	47	34	30	25	22	22	20	20	20	20	10	10	10	10	10	10	3
	B	0	0	18	31	35	36	34	32	24	13	15	15	10	10	16	16	13	13	13	13	17
	A	0	0	0	5	17	17	18	19	23	28	23	17	17	16	10	9	12	12	8	8	6
	M	0	0	0	0	1	12	13	10	12	12	13	19	17	15	22	17	13	13	6	6	9
	MM	0	0	0	0	0	0	5	14	18	24	30	30	36	40	43	49	53	53	64	64	66
Rea.	MB	100	100	82	64	47	42	48	41	34	44	47	47	47	54	38	40	46	33	42	39	32
	B	0	0	18	31	35	36	34	40	38	24	20	26	30	23	39	39	26	37	43	36	46
	A	0	0	0	5	17	17	18	19	28	31	33	23	23	22	22	21	28	26	15	24	22
	M	0	0	0	0	1	4	0	0	0	1	0	4	0	0	1	0	0	4	0	1	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	82	64	63	64	53	56	64	69	59	54	80	67	41	48	66	63	47	42	60
	B	0	0	18	31	35	36	47	39	36	30	41	41	20	33	58	47	34	38	53	51	40
	A	0	0	0	5	1	0	0	5	0	1	0	5	0	0	1	5	0	0	0	6	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.23. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para transferencia de carga en Ruta IV [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	100	97	91	74	72	72	53	41	35	34	32	23	21	18	18	18
	B	0	0	0	0	0	0	3	9	26	28	26	41	44	45	40	40	33	27	23	17	16
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	15	20	23	23	35	38	44	39
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	9	15	12	23
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	6
Rea.	MB	100	100	100	100	100	100	97	94	80	79	80	70	61	60	58	56	53	46	42	46	51
	B	0	0	0	0	0	0	3	6	20	21	18	30	32	37	33	31	31	32	28	28	24
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7	3	9	13	15	23	30	22	25
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	99	99	90	90	90	73	68	65	63	61	61	63	67	66	70
	B	0	0	0	0	0	0	1	1	10	10	10	27	32	33	33	34	31	34	28	29	26
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	8	3	5	6	4
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.24. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para MRI en Ruta IV [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	92	82	82	71	66	56	56	48	42	42	38	38	31	31	31	25
	B	0	0	0	0	0	8	18	18	29	34	44	44	52	58	58	62	60	64	61	55	57
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	8	14	18
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	100	92	84	86	79	78	73	73	71	73	75	72	75	71	74	74	73
	B	0	0	0	0	0	8	16	14	21	22	27	27	29	27	25	28	24	27	23	21	21
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	5	6	6
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	97	97	92	93	92	90	90	89	89	89	89	89	88
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	8	7	8	10	10	11	11	11	11	11	13
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.25. Porcentaje de secciones en cada nivel de desempeño para SFC en Ruta IV [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	90	86	82	76	71	68	65	64	64
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	10	14	18	22	26	22	23	22	22
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	10	12	14	14
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	96	96	94	94	92	91	93	92	92
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	4	6	6	7	6	5	5	5
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	2	3	3
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	98	97	97	96	96
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	3	3	3
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la Tabla C.26 y Tabla C.27 de la siguiente página se presenta el porcentaje de secciones en cada calificación de estado para el índice ICP según el modelo EI y los modelos DV-BALI, respectivamente. Por su parte, la Tabla C.28 presenta el porcentaje de secciones en cada calificación de estado para la transferencia de carga según el modelo BALI, de acuerdo a los estándares de la guía AASHTO. Notar que lo anterior se presenta para cada escenario en el periodo de análisis de 20 años. Las calificaciones de estado posibles para el ICP son: Muy Bueno (MB), Bueno (B), Regular (R), Malo (M) y Muy Malo (MM). Las calificaciones de estado posibles para la transferencia de carga según guía AASHTO son: Bueno (B), Regular (R) y Malo (M).

Tabla C.26. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelo EI (Ruta IV) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	100	100	100	100	99	92	85	82	76	72	67	64	60	53	50	46	42	38
	B	0	0	0	0	0	0	0	1	8	15	18	24	28	33	36	39	43	43	44	44	47
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	8	10	14	15
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	98	97	
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla C.27. Porcentaje de secciones por calificación de ICP según modelos DV-BALI (Ruta IV) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	MB	100	100	100	99	86	76	66	56	47	38	28	21	18	13	10	8	8	7	6	5	4
	B	0	0	0	1	14	24	34	43	45	48	54	56	53	55	54	52	45	43	40	37	34
	R	0	0	0	0	0	0	0	1	8	15	18	24	28	33	36	40	47	50	54	56	58
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rea.	MB	100	100	100	99	86	83	84	80	76	69	67	58	67	70	62	64	65	56	70	63	66
	B	0	0	0	1	14	17	16	20	24	31	33	42	33	30	38	36	34	43	28	35	31
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opt.	MB	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	97	97	94	94	92	92	91	92	90	89
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	6	6	8	8	9	8	10	11
	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C.28. Porcentaje de secciones por calificación de TC según modelo BALI (Ruta IV) [%].

Esc.	ND	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pes.	B	100	100	100	100	100	100	97	91	74	72	72	53	41	35	34	32	23	21	18	18	18
	R	0	0	0	0	0	0	3	9	26	28	28	47	59	65	63	63	68	65	68	57	54
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	9	15	15	26	28
Rea.	B	100	100	100	100	100	100	97	94	80	79	80	70	61	60	58	56	53	46	42	46	51
	R	0	0	0	0	0	0	3	6	20	21	20	30	39	40	42	44	46	54	58	50	49
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0
Opt.	B	100	100	100	100	100	99	99	90	90	90	73	68	65	63	61	61	63	67	66	70	
	R	0	0	0	0	0	1	1	10	10	10	27	32	35	37	39	39	37	33	34	30	
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

D. Sensibilidad a diferentes consideraciones para la transferencia de carga

El modelo de valorización propuesto para pavimentos de hormigón de concesiones viales interurbanas debe ser compatible con el nivel de servicio a usuarios, y además, considerar su capacidad estructural. Para lograr lo último, el indicador técnico más apropiado corresponde al porcentaje de eficiencia de transferencia de carga (Burgos, 2019; Gómez, 2019). Sin embargo, las mediciones de este indicador con Deflectómetro de Impacto (FWD) en concesiones viales interurbanas de Chile se han realizado en condiciones horarias y de temperatura muy variadas. Debido a que la temperatura del ambiente afecta las condiciones de apoyo de las losas y el ancho de grieta bajo las juntas transversales (FHWA, 2003; Muslim et al., 2021), los valores de transferencia de carga medidos en ciertos horarios o estación del año pueden no reflejar fielmente la pérdida de valor asociada a este indicador estructural. Por otro lado, el nivel de muestreo de las mediciones realizadas en concesiones viales interurbanas del país es más bajo que el nivel recomendado en la ficha técnica del indicador presentada en la Figura A.13 del Anexo A. En efecto, los ensayos en cada pista se han llevado a cabo realizando mediciones puntuales a intervalos entre 50 m y 1 km, cuando el área de muestreo mínimo recomendado corresponde al 15% de las losas cada 250 m. Además, según lo señalado en la Ecuación 3.1, existe un factor de corrección por flexibilidad del material, que se obtiene como la razón entre la deflexión a 30 cm y bajo el plato de carga para una medición en el centro de la losa. Sin embargo, dicho factor de corrección no ha sido aplicado en algunos reportes de evaluación estructural de concesiones viales interurbanas del país.

De esta forma, en el capítulo 5 se presentaron resultados de valorización considerando correcciones a los datos de transferencia de carga reportados por cada concesionario. Lo anterior debido a que se estima que el uso directo de los datos reportados puede no representar fielmente la pérdida de valor asociada a la transferencia de carga, y, por ende, estar subestimado o sobreestimando el valor del pavimento de hormigón. Con el objetivo de conocer de forma aproximada dicha sub o sobrestimación, en este capítulo se presenta los resultados de valorización para los casos de estudio considerando 5 alternativas para la inclusión de la transferencia de carga:

- **Alternativa 1:** Incluir los datos de transferencia de carga sin corregir y aplicando medias fijas cada 1 km.
- **Alternativa 2:** Incluir los datos de transferencia de carga sin corregir y utilizando directamente los valores puntuales reportados por la concesionaria.
- **Alternativa 3 (usada en capítulo 5):** Incluir los datos de transferencia de carga corregidos en primer lugar por flexibilidad, luego por temperatura, y finalmente aplicando medias fijas cada 1 km. La corrección por flexibilidad corresponde al factor D_{0^*}/D_{30^*} presentado en la Ecuación 3.1. La corrección por temperatura se obtiene por medio de la variación del ancho de grieta bajo la junta respecto a una temperatura estándar y su efecto sobre la transferencia de carga. La variación del ancho de grieta se obtiene según lo señalado en la ecuación B.1 (FHWA, 2003):

$$\Delta L = c \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (B.1)$$

Donde,

ΔL : Variación del ancho de grieta bajo la junta, equivalente a variación del largo de losa para un cierto cambio de la temperatura del pavimento.

c : Factor de fricción, equivalente a 0.65 y 0.8 para base estabilizada y base granular, respectivamente.

L : Largo de la losa de hormigón.

α : Coeficiente de expansión térmica, igual a $1.1 \cdot 10^{-5}$ [$1/^\circ\text{C}$].

ΔT : Variación de temperatura del pavimento, correspondiente a la diferencia entre la temperatura del pavimento al momento de la medición y 20°C .

En cuanto al efecto de la variación de apertura de grieta bajo la junta sobre la transferencia de carga, se considera una variación negativa o positiva de 25% por cada milímetro que aumenta o disminuye el ancho de la grieta, respectivamente. Dicho valor corresponde a un valor característico de acuerdo a la literatura, en donde se señala una relación lineal entre ambas variables, pudiendo la transferencia de carga variar entre un 12.5% a un 30% por cada milímetro de variación de apertura de juntas o grietas (Davids & Mahoney, 1999; FHWA, 2003; Khaki & Azadrvash, 2010; Maitra et al., 2019; Pradena & Houben, 2018). Cabe mencionar, que la corrección por temperatura solo se aplica en la Ruta I, al ser la única ruta en donde fue reportada la temperatura del aire y del pavimento. Además, dicha ruta es la única en donde se cuenta con datos de transferencia de carga para más de un año, por lo que se limita el indicador a un valor constante en algunas secciones en donde el valor del indicador aumenta en el tiempo en lugar de disminuir, luego de aplicar las correcciones y medias fijas.

- **Alternativa 4:** Incluir los datos de transferencia de carga corregidos de manera análoga a la alternativa C, pero utilizando valores puntuales en lugar de medias fijas cada 1 km.
- **Alternativa 5:** No incluir la transferencia de carga en la valorización.

A continuación, se presentan los resultados aplicando estas 5 alternativas, para cada una de las rutas analizadas en los casos de estudio. Cabe mencionar que, en el caso de la Ruta II, donde se reportaron valores puntuales a intervalos de 50 m, para las alternativas 2 y 4 se aplican medias fijas cada 250 m. En el caso de la pista 2 de la Ruta IV, donde se reportaron valores puntuales a intervalos de 1 km, para las alternativas 1 y 3 se aplican medias fijas cada 2 km.

D.1. Ruta I

D.1.1. Corrección de datos de transferencia de carga

Para esta ruta se tienen datos de transferencia de carga del año 2007 y 2020 medidos con Deflectómetro de Impacto (FWD). En 2007 se realizó una medición puntual del indicador a intervalos de 200 m a 1 km solo en las pistas pesadas 3 y 4. Se reportó la temperatura del aire y del pavimento, la fecha y hora de medición, la deflexión bajo el plato de carga (D0) y a 30 cm de este (D30). Las mediciones se realizaron entre el 8 de agosto al 13 de septiembre desde el km 67 al 93. Un 14% de las mediciones se realizó entre las 3:55 y 5:05 (km 72-81), mientras que el 84% restante de las mediciones se realizó entre las 14:45 y las 18:00. No se realizó corrección por flexibilidad del material (factor $D30^*/D0^*$), pese a que si se realizaron mediciones en el centro de las losas para obtener el módulo de reacción de la subrasante. La temperatura del pavimento va desde los 14 a 16°C en las mediciones realizadas en la madrugada, y desde 19 a 45°C en las mediciones realizadas durante la tarde. La relación entre la temperatura del pavimento y la del aire se presenta en la Figura D.1.

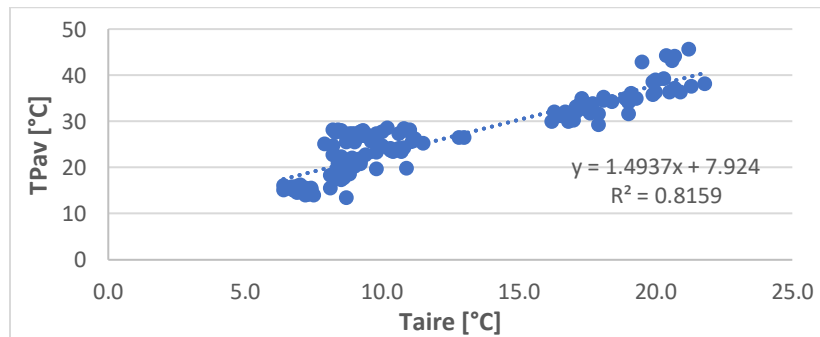


Figura D.1. Relación entre temperatura del pavimento y del aire (Ruta I).

En el año 2020 se realizaron mediciones puntuales de transferencia de carga a intervalos de 200 m en las pistas 1, 2, 3 y 4. También se reportó la temperatura del pavimento, la fecha y hora de medición, la deflexión bajo el plato de carga (D0) y a 30 cm de este (D30). Las mediciones se realizaron entre el 7 y 29 de septiembre entre las 22:55 y las 3:45, incluyendo el primer tramo de 2.2 km, y desde el km 67 al 93. No se realizó corrección por flexibilidad del material (factor $D30/D0^*$), pese a que si se realizaron mediciones en el centro de las losas para obtener el módulo de reacción de la subrasante. La temperatura del pavimento durante la medición se encontraba entre los 10 a 27 °C. No se reportó la temperatura del aire, por lo que para su obtención se utiliza la regresión en función de la temperatura del pavimento obtenida para el año 2007, presentada en la Figura D.1.

Para cada dato puntual de transferencia de carga, se aplica en primer lugar la corrección por flexibilidad, por medio de la Ecuación 3.1. Luego, la corrección por temperatura se aplica para los datos puntuales corregidos por flexibilidad y en aquellas mediciones puntuales realizadas para una temperatura ambiente fuera del rango entre 16 y 24 °C, o bien, realizadas fuera del rango horario entre las 8:00 y 12:00 AM. En efecto, estos corresponden a rangos horarios y de temperatura del aire recomendados en la literatura (Muslim et al., 2021). Una vez corregidos los datos puntuales, se procede a calcular las medias fijas cada 1 km. Por cierto, la corrección por temperatura se aplica solo en esta ruta, al ser la única ruta en donde fue reportada la temperatura del pavimento y del aire. Además, en la ruta se cuentan con datos para el año 2007 y 2020, por lo que, si luego de aplicar las correcciones y el cálculo de las medias fijas, la transferencia de carga en 2007 es menor que en 2020 en alguna sección, se asume que la transferencia de carga es constante entre dichos años. Esto último solamente ocurre en uno de los tramos de la pista 4 (km 67 a 82), y se aplica con el objetivo de no permitir que aumente la transferencia de carga en algunas secciones sin que exista una intervención. En efecto, no se evidencia la colocación de barras de traspaso de carga en la carretera, y el bajo valor del indicador en 2007 en el tramo bajo cuestión se debe a que las mediciones se realizaron por la madrugada entre las 3:55 y 5:05 AM.

En la Figura D.2 se presenta el diagrama de caja y bigotes para los datos de transferencia de carga en pistas 3 y 4 del año 2007, para las diferentes alternativas de inclusión del indicador.

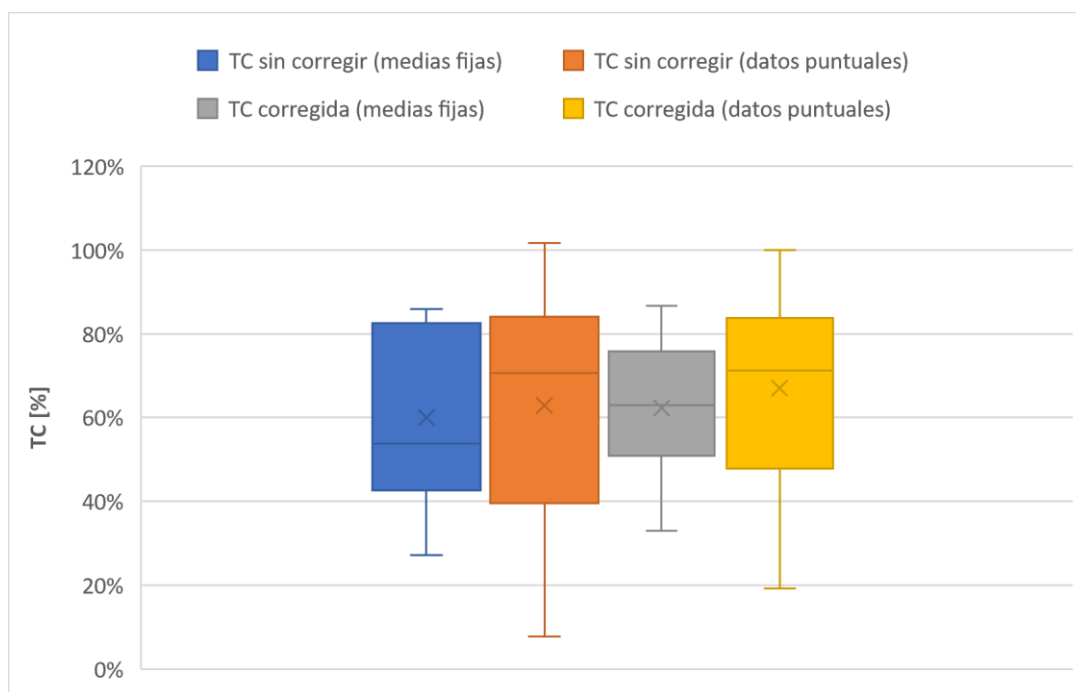


Figura D.2. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2007 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta I).

En la Figura D.3 se presenta el diagrama de caja y bigotes para los datos de transferencia de carga en pistas 1, 2, 3 y 4 del año 2020, para las diferentes alternativas de inclusión del indicador.

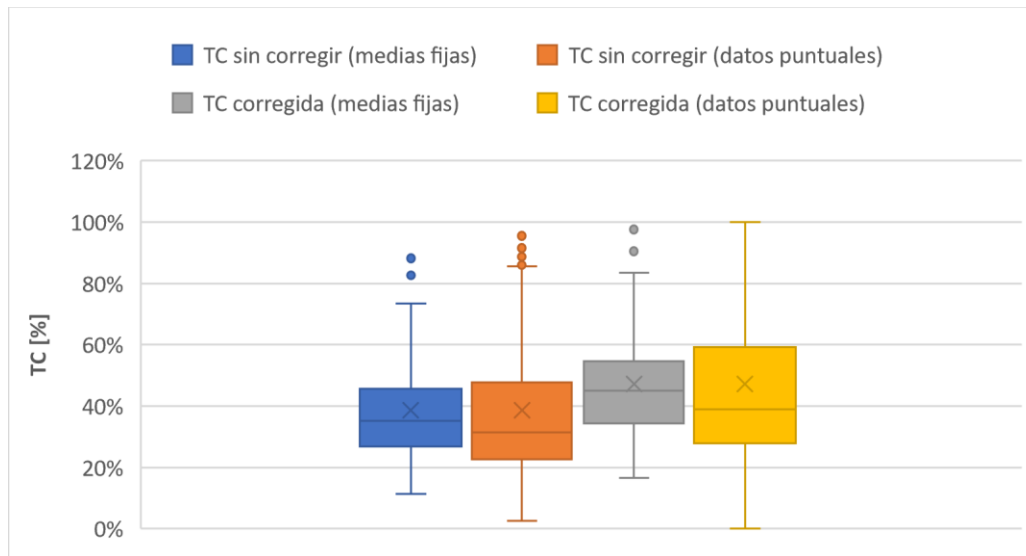


Figura D.3. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2020 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta I).

D.1.2. Aplicación del modelo propuesto en secciones con datos disponibles

Se realiza una sensibilización de los resultados de aplicación del modelo propuesto sólo en secciones de 50 m con datos disponibles, a las alternativas de inclusión de transferencia de carga. El procesamiento de los datos de costos, inventario y condición fue detallado en el apartado 5.1.2.a. Los datos de transferencia de carga, en particular, corresponden a los del año 2020 y sus alternativas de inclusión para la valorización fueron presentadas gráficamente en la Figura D.3.

En la Figura D.4 se presenta la sensibilización de resultados para el año 2020 a las diferentes consideraciones para la transferencia de carga. En particular, lo anterior se presenta para las siguientes variables de valorización: costo de rehabilitación asociado a transferencia de carga (CRehabTC), costo de rehabilitación total (CRehab), penalización por desempeño (Pt) y valor del pavimento (Vt). Se incluyen también los porcentajes que representan los montos respecto al costo histórico.

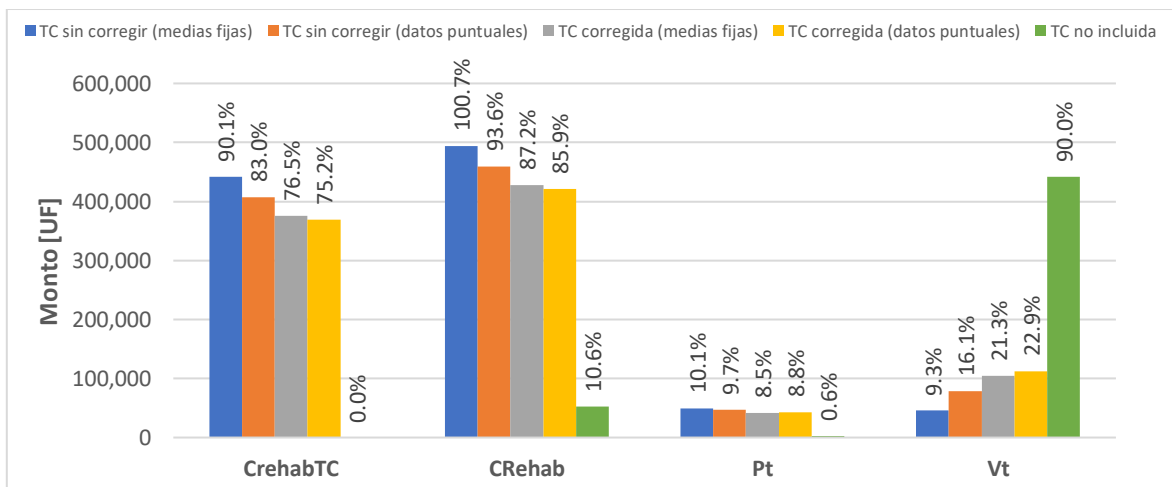


Figura D.4. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2020 a diferentes alternativas de inclusión de la transferencia de carga (Ruta I).

Se puede observar que, al incluir la transferencia de carga, el rango de variación expresado en porcentaje respecto al costo histórico varía significativamente para las variables de valorización, excepto para la penalización por desempeño en donde solo varía 1.3%. En particular, para el costo de rehabilitación y valor del pavimento, dicha variación corresponde a 14.9% y 13.6%, respectivamente. Por otro lado, si se compara la alternativa de inclusión más conservadora (uso de medias fijas de datos sin corregir) con la alternativa de no incluir la transferencia de carga en la valorización, la diferencia de los montos expresada en porcentaje respecto al costo histórico aumenta considerablemente para todas las variables. En particular, para el costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento, dicha diferencia corresponde a 90.1%, 9.5% y 81.7%, respectivamente.

D.2. Ruta II

D.2.1. Corrección de datos de transferencia de carga

Para esta ruta se tienen datos de transferencia de carga medidos con Deflectómetro de Impacto (FWD). Se realizaron mediciones puntuales de transferencia de carga a intervalos de 50 m en las pistas 3 y 4. Fue reportada la fecha y hora de medición, y la deflexión bajo el plato de carga (D0) y a 30 cm de este (D30). Las mediciones se realizaron entre el 25 de noviembre de 2020 y 4 de febrero de 2021, entre las 21:12 y las 6:42. Se realizó la corrección por flexibilidad del material (factor $D30/D0^*$), ya que se llevaron a cabo mediciones en el centro de las losas para obtener el módulo de reacción de la subrasante. Ni la temperatura del pavimento ni la del aire fueron reportadas, por lo que no es posible realizar correcciones por temperatura.

En la Figura D.5 de la siguiente página se presenta el diagrama de caja y bigotes para los datos de transferencia de carga en pistas 3 y 4, para las diferentes alternativas de inclusión del indicador.

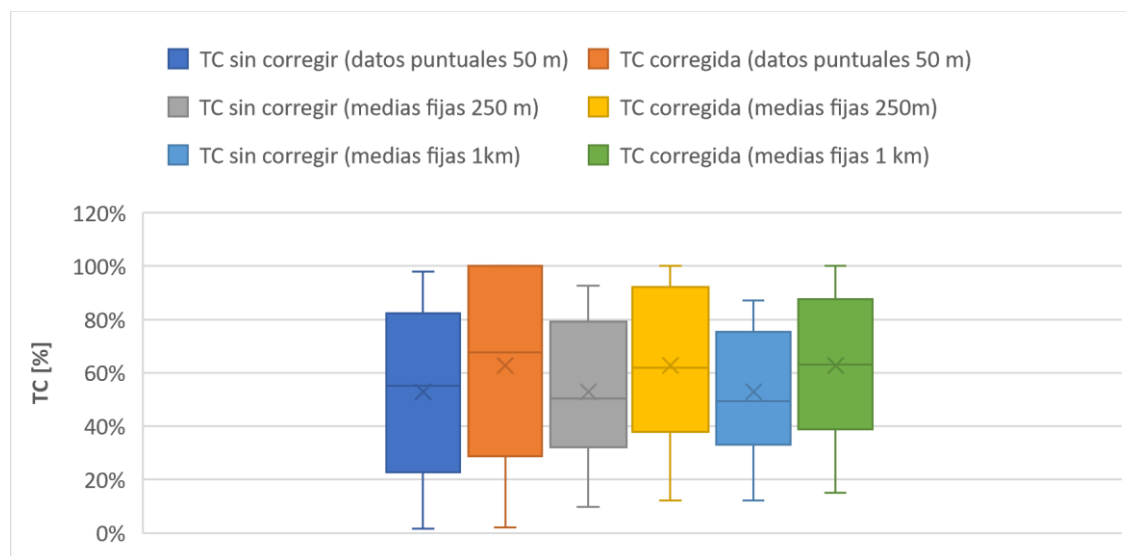


Figura D.5. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2020 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta II).

D.2.2. Aplicación del modelo propuesto en secciones con datos disponibles

Se realiza una sensibilización de los resultados de aplicación del modelo propuesto sólo en secciones de 50 m con datos disponibles, a las alternativas de inclusión de transferencia de carga. El procesamiento de los datos de costos, inventario y condición fue detallado en el apartado 5.2.2.a. Los datos de transferencia de carga corresponden a los del año 2020 para las pistas 3 y 4, y sus alternativas de inclusión para la valorización fueron presentadas gráficamente en la Figura D.5.

En la Figura D.6 se presenta la sensibilización de resultados para el año 2020 a las diferentes consideraciones para la transferencia de carga. En particular, lo anterior se presenta para las siguientes variables de valorización: costo de rehabilitación asociado a transferencia de carga (CRehabTC), costo de rehabilitación total (CRehab), penalización por desempeño (Pt) y valor del pavimento (Vt). Se incluyen también los porcentajes que representan los montos respecto al costo histórico.

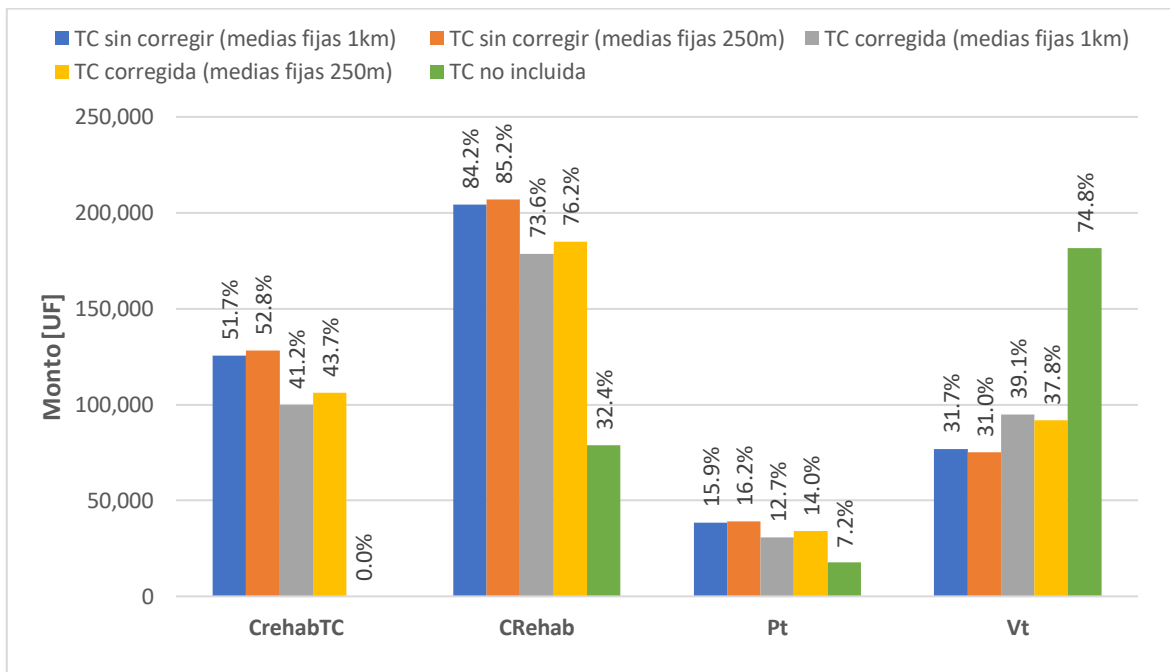


Figura D.6. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2020 a diferentes alternativas de inclusión de la transferencia de carga (Ruta II).

Se puede observar que, al incluir la transferencia de carga, el rango de variación expresado en porcentaje respecto al costo histórico varía significativamente para las variables de valorización. En particular, para el costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento, dicha variación corresponde a 11.6%, 3.5% y 8.1%, respectivamente. Por otro lado, si se compara la alternativa de inclusión más conservadora (uso de medias fijas cada 250 m sin corregir) con la alternativa de no incluir la transferencia de carga en la valorización, la diferencia de los montos expresada en porcentaje respecto al costo histórico aumenta considerablemente para todas las variables. En particular, para el costo de rehabilitación total, penalización por desempeño y valor del pavimento, dicha diferencia corresponde a 52.8%, 9.0% y 43.8%, respectivamente.

D.3. Ruta III

D.3.1. Corrección de datos de transferencia de carga

Para esta ruta se tienen datos de transferencia de carga medidos con Deflectómetro de Impacto (FWD). Se realizaron mediciones puntuales de transferencia de carga a intervalos de 200 m en cada pista. Fue reportada la fecha y hora de medición, y la deflexión bajo el plato de carga (D0) y a 30 cm de este (D30). Las mediciones se realizaron entre el 2 y 12 de octubre de 2018, entre las 22:28 y las 4:19. Se realizó la corrección por flexibilidad del material (factor $D30/D0^*$), ya que se llevaron a cabo mediciones en el centro de las losas para obtener el módulo de reacción de la subrasante. Ni la temperatura del pavimento ni la del aire fueron reportadas, por lo que no es posible realizar correcciones por temperatura.

En la Figura D.7 se presenta el diagrama de caja y bigotes de los datos de transferencia de carga, para las diferentes alternativas de inclusión del indicador.

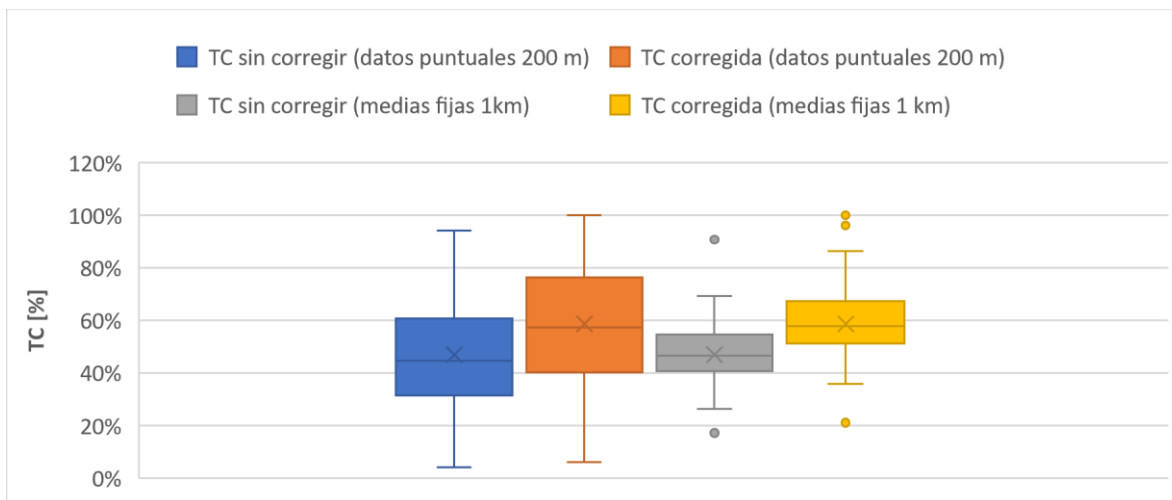


Figura D.7. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2018 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta III).

D.3.2. Aplicación del modelo propuesto en secciones con datos disponibles

Se realiza una sensibilización de los resultados de aplicación del modelo propuesto sólo en secciones de 50 m con datos disponibles, a las alternativas de inclusión de transferencia de carga. El procesamiento de los datos de costos, inventario y condición fue detallado en el apartado 5.3.2.a. Los datos de transferencia de carga corresponden a los del año 2018, y sus alternativas de inclusión para la valorización fueron presentadas gráficamente en la Figura D.7.

En la Figura D.8 se presenta la sensibilización de resultados para el año 2018 a las diferentes consideraciones para la transferencia de carga. En particular, lo anterior se presenta para las siguientes variables de valorización: costo de rehabilitación asociado a transferencia de carga (CRehabTC), costo de rehabilitación total (CRehab), penalización por desempeño (Pt) y valor del pavimento (Vt). Se incluyen también los porcentajes que representan los montos respecto al costo histórico.

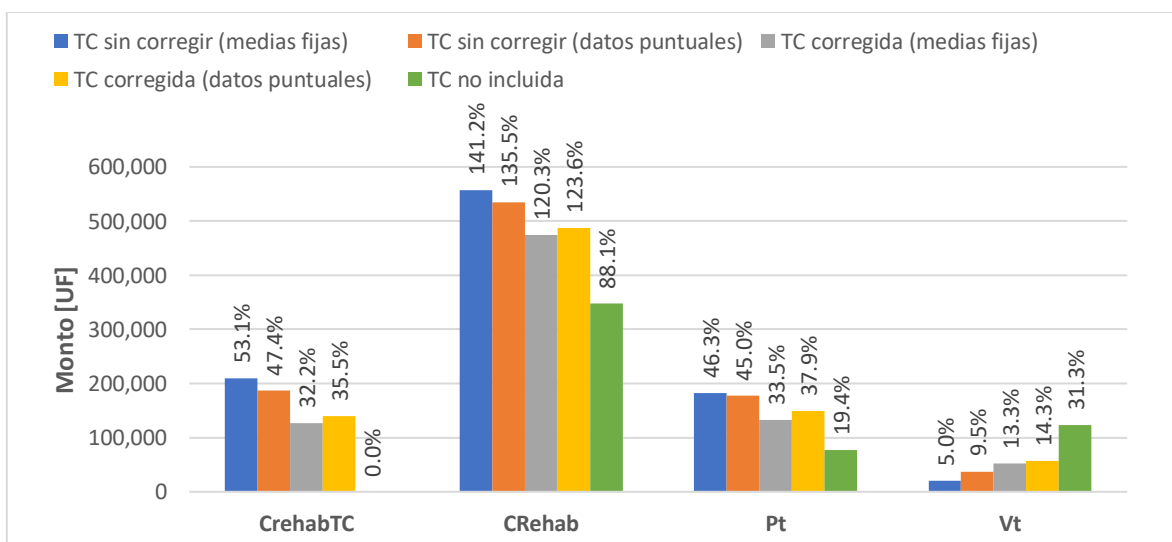


Figura D.8. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2018 a diferentes alternativas de inclusión de la transferencia de carga (Ruta III).

Se puede observar que, al incluir la transferencia de carga, el rango de variación expresado en porcentaje respecto al costo histórico varía significativamente para las variables de valorización. En particular, para el costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento, dicha variación corresponde a 20.9%, 12.8% y 9.3%, respectivamente. Por otro lado, si se compara la alternativa de inclusión más conservadora (uso de medias fijas cada 1km sin corregir) con la alternativa de no incluir la transferencia de carga en la valorización, la diferencia de los montos expresada en porcentaje respecto al costo histórico aumenta considerablemente para todas las variables. En particular, para el costo de rehabilitación total, penalización por desempeño y valor del pavimento, dicha diferencia corresponde a 53.1%, 26.9% y 25.3%, respectivamente.

D.4. Ruta IV

D.4.1. Corrección de datos de transferencia de carga

Para esta ruta se tienen datos de transferencia de carga medidos con Deflectómetro de Impacto (FWD). Se realizaron mediciones puntuales de transferencia de carga a intervalos de 500 m en la pista 4 y cada 1 km en la pista 2. Fue reportada la fecha y hora de medición, y la deflexión bajo el plato de carga (D0) y a 30 cm de este (D30). Las mediciones se realizaron entre el 27 de junio y 15 de julio de 2020, entre las 21:43 y las 3:02. No se realizó la corrección por flexibilidad del material (factor $D30/D0^*$), a pesar de que se llevaron a cabo mediciones en el centro de las losas para obtener el módulo de reacción de la subrasante. Por otro lado, ni la temperatura del pavimento ni la del aire fueron reportadas, por lo que no es posible realizar correcciones por temperatura.

En la Figura D.9 se presenta el diagrama de caja y bigotes de los datos de transferencia de carga, para las diferentes alternativas de inclusión del indicador.

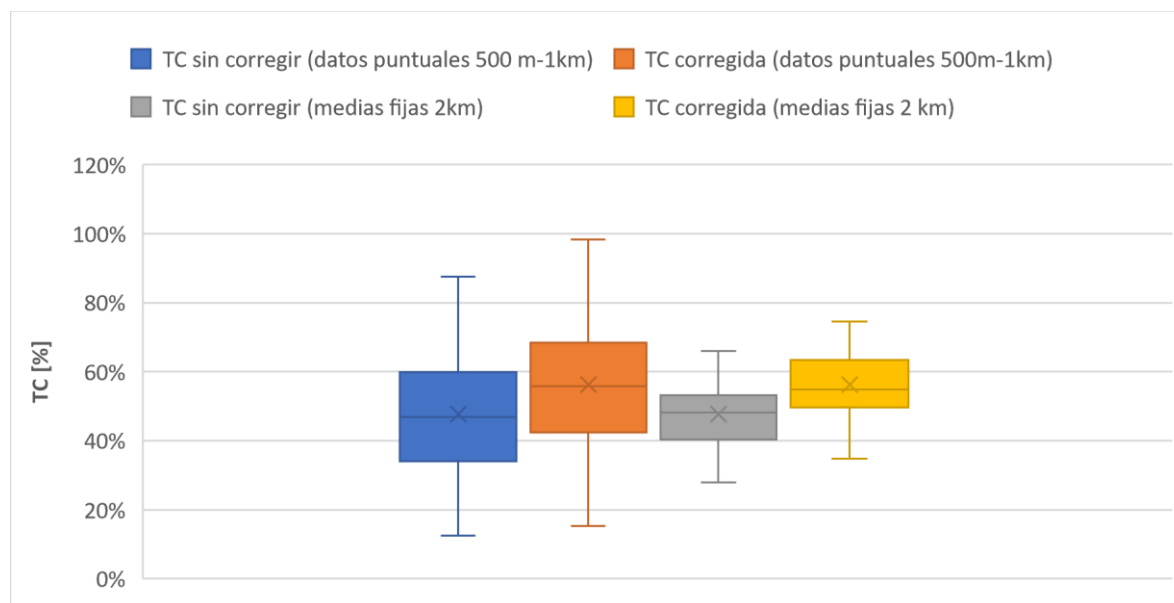


Figura D.9. Diagrama de caja y bigotes de datos de transferencia de carga del año 2020 para diferentes alternativas de inclusión del indicador (Ruta IV).

D.4.2. Aplicación del modelo propuesto en año 20 de concesión tipo

Se realiza una sensibilización de los resultados de aplicación del modelo propuesto en el año 20 de una concesión tipo basado en los datos de esta ruta, a las alternativas de inclusión de transferencia de carga. El procesamiento de los datos de costos, inventario y condición para la concesión tipo fue detallado en el apartado 5.4.2.a. Las alternativas de inclusión de la transferencia de carga para la valorización fueron presentadas gráficamente en la Figura D.9.

En la Figura D.10 se presenta la sensibilización de resultados para el año 20 de la concesión tipo a las diferentes consideraciones para la transferencia de carga. En particular, los resultados corresponden a los del escenario pesimista basado en datos reales de la ruta, y se presentan para las siguientes variables de valorización: costo de rehabilitación asociado a transferencia de carga (CRehabTC), costo de rehabilitación total (CRehab), penalización por desempeño (Pt) y valor del pavimento (Vt). Se incluyen también los porcentajes que representan los montos respecto al costo histórico.

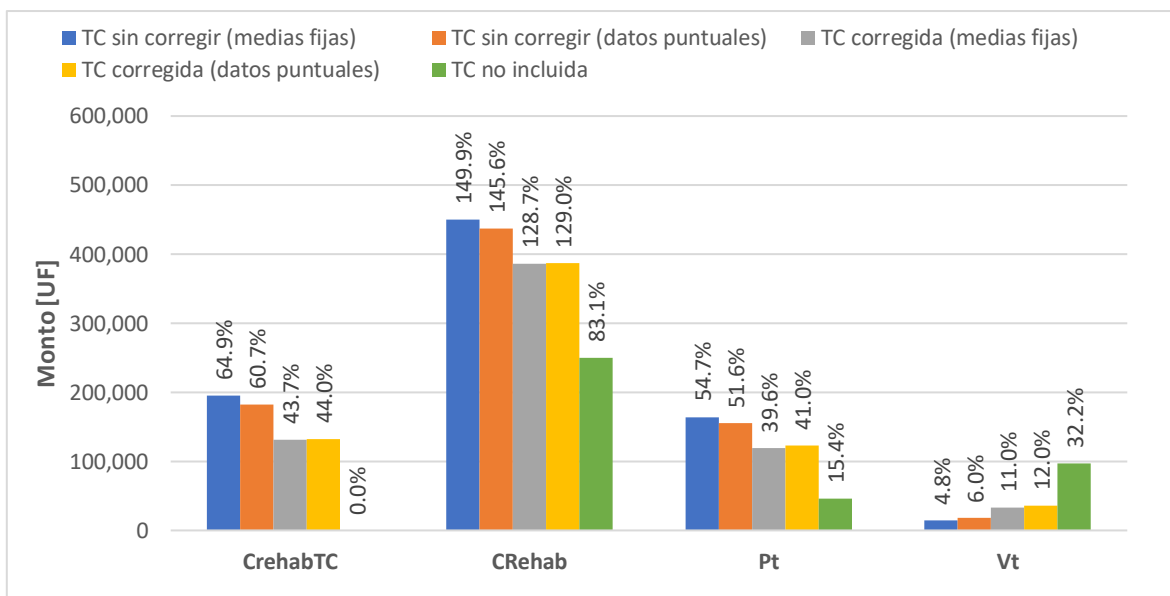


Figura D.10. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 20 de la concesión tipo a diferentes alternativas de inclusión de la transferencia de carga (Ruta IV).

Se puede observar que, al incluir la transferencia de carga, el rango de variación expresado en porcentaje respecto al costo histórico varía significativamente para las variables de valorización. En particular, para el costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento, dicha variación corresponde a 20.9%, 13.7% y 7.2%, respectivamente. Por otro lado, si se compara la alternativa de inclusión más conservadora (uso de medias fijas cada 1km sin corregir) con la alternativa de no incluir la transferencia de carga en la valorización, la diferencia de los montos expresada en porcentaje respecto al costo histórico aumenta considerablemente para todas las variables. En particular, para el costo de rehabilitación total, penalización por desempeño y valor del pavimento, dicha diferencia corresponde a 67%, 39.3% y 27.4%, respectivamente.

En función de los análisis presentados anteriormente, se puede concluir que utilizar los datos puntuales de transferencia de carga directamente no permite una valorización que represente fielmente la capacidad estructural del pavimento, pudiendo sobreestimar su valor en el tiempo. En efecto, si el muestreo mínimo no se cumple, puede no capturarse de manera completa el patrón de agrietamiento generado bajo las juntas transversales del pavimento tras su construcción, subestimando o sobreestimando la pérdida de valor. Lo anterior puede ser particularmente relevante en pavimentos de hormigón sin barras de traspaso de carga, en donde la transferencia de carga entre una losa y otra se genera únicamente a través de la trabazón de agregados, siendo recomendable en vías alto tránsito contar con dichos dispositivos (Maitra et al., 2009, 2019).

Por último, se estima que la alternativa 3, al considerar las medias fijas de los datos corregidos por flexibilidad (y temperatura en el caso de la ruta I), corresponde a la alternativa más representativa de la condición estructural del pavimento de hormigón entre las 5 alternativas analizadas. Si se compara el valor del pavimento en el año 20 según dicha alternativa y la de utilizar medias fijas para los datos

no corregidos, se obtienen diferencias que pueden alcanzar hasta un 12% del costo histórico. Sin perjuicio de lo anterior, es pertinente aclarar que la alternativa 3 corresponde únicamente a una aproximación de las condiciones reales de transferencia de carga. En efecto, esta aproximación considera correcciones por temperatura iguales para todas las mediciones en función de literatura disponible, y el promedio de mediciones puntuales cada cierta distancia. Debido a lo anterior, se recalca la importancia de medir la transferencia de carga en primavera, en condiciones de horario y temperatura del ambiente que sean controladas en el tiempo, para que su valor numérico no se vea afectado por disminuciones o aumentos excesivos en la apertura de las juntas transversales o el alabeo térmico de las losas. De esta forma, se puede asegurar que la pérdida de valor asociada al indicador no se encuentre sub o sobrestimada, y que sea consistente para diferentes años de evaluación. Además, se recalca la importancia de aplicar el factor de corrección del Manual de Carreteras señalado en la Ecuación 3.1, y cubrir el área mínima de muestreo para la valorización, que corresponde a un 15% de las losas cada 250 m.

E. Sensibilidad a diferentes consideraciones para el agrietamiento

Uno de los indicadores técnicos considerados en el modelo de valorización propuesto para los pavimentos de hormigón corresponde al porcentaje de losas agrietadas. Los resultados obtenidos en los casos de estudio con el modelo propuesto consideran como losas agrietadas aquellas que tienen un número de trozos mayor o igual a 2. Sin embargo, existen diferentes criterios para la definición de una losa agrietada, como se señala a continuación:

- En la metodología de valorización actual desarrollada por la Dirección de Vialidad (DV) no se establece claramente la definición de agrietamiento en pavimentos de hormigón (MOP, 2014). En el informe de proposiciones de acciones de mantenimiento (PAM) para la red vial nacional, desarrollada por la DV, se define el uso del Índice de Condición de Pavimento (ICP), identificando como losas agrietadas aquellas con más de tres trozos (MOP, 2020d).
- En los informes de valorización desarrollados en los estudios integrales de rutas concesionadas interurbanas chilenas, se referencia la misma ecuación de ICP del informe PAM, pero no se aplica el mismo criterio de agrietamiento. En particular, se señala que el agrietamiento de losas corresponde al quiebre en las losas del pavimento, que cuando se desarrolla completamente, atraviesa todo su espesor (MOP, 2019b, 2021e).
- En las bases de licitación de rutas concesionadas interurbanas chilenas, se considera agrietada cualquier losa que presente, al menos, una de las grietas descritas en el catálogo de deterioros del Manual de Carreteras Volumen 7. Además, no se permite que más de un 15% de las losas en pista presenten grietas angostas de cualquier tipo, y no se aceptan grietas medias ni anchas, sean éstas del tipo longitudinales, transversales, oblicuas o de esquina (MOP, 2019a, 2021a).
- En los apartados 2.1, 2.2 y 2.3 de la sección Deterioros en Pavimentos Rígidos del Catálogo de Deterioros de Pavimentos anexo al Manual de Carreteras Volumen 7, se encuentran las definiciones para grietas de esquina, longitudinales y transversales, respectivamente (MOP, 2021i). Las grietas de esquina son aquellas que originan un trozo de losa de forma triangular, al interceptar las juntas transversal y longitudinal, formando un ángulo de 50 grados con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varía entre 300 mm y la mitad del ancho de la losa. Las grietas longitudinales son grietas que son predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección en el borde se produce a una distancia mucho mayor que la mitad de la losa. Las grietas transversales son grietas que son predominantemente perpendiculares al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, siempre que la intersección con la junta transversal esté a una distancia del borde mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con el borde se encuentre a una distancia inferior que la mitad del ancho de la losa. Las grietas capilares limitadas sólo a la superficie del pavimento se definen como fisuramiento por retracción.
- La guía SHRP para identificación de deterioros contiene definiciones similares al Manual de Carreteras para el agrietamiento de pavimentos de hormigón. Sin embargo, también se señala que las porciones de grietas transversales y longitudinales que se encuentren a menos de 30 cm de las juntas deben reportarse como desconche de juntas (FHWA, 2014).
- En los estándares para la obtención de la condición de pavimentos mediante el método PCI (Pavement Condition Index), se señala que las grietas lineales (longitudinales, transversales y diagonales) y de esquina dividen las losas en dos o más trozos, al cruzar las juntas transversales y/o longitudinales. Aquellas grietas capilares que no se extienden desde un borde de la losa a otro se reconocen como grietas de retracción, que usualmente tienen menos de dos metros de largo. Estas se generan durante la colocación y curado del hormigón y usualmente no se extienden a través del espesor de la losa (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2007).

- En un modelo preliminar de conservación de patrimonio vial de carreteras concesionadas interurbanas chilenas, se establece que una losa esta agrietada si presenta al menos una grieta longitudinal, transversal o de esquina según la sección Deterioros en Pavimentos Rígidos del Catálogo de Deterioros de Pavimentos anexo al Manual de Carreteras Volumen 7. Se señala que se deberían considerar todo tipo de grietas, independiente de la severidad (baja, media o alta). Sin embargo, se señala también que lo anterior puede ser muy exigente, dando la alternativa de considerar solo grietas de media y alta severidad (Gómez, 2019).

De esta forma, se puede afirmar que los resultados obtenidos en el capítulo 5 pueden sub o sobreestimar la pérdida de valor asociada al agrietamiento, al considerar únicamente como losas agrietadas aquellas con un número de trozos mayor o igual a 2. En efecto, además del número de trozos de cada losa inspeccionada, en las monografías del pavimento se señala el número de grietas de cada tipo encontradas (esquina, transversal, longitudinal y oblicua) y su severidad (baja, media alta). Con el objetivo de conocer de forma aproximada la sub o sobrestimación de la pérdida de valor, en este capítulo se presenta los resultados de valorización para los casos de estudio considerando 2 criterios alternativos al de número de trozos. El primer criterio alternativo corresponde a considerar como losa agrietada aquellas que tengan al menos una grieta de cualquier severidad. El segundo, corresponde a considerar como losa agrietada solo aquellas que tengan al menos una grieta de severidad media o alta. Cabe mencionar, que el presente análisis sólo se realiza para las valorizaciones realizadas para secciones de 50 m en años puntuales con información de inspección visual de agrietamiento en el 100% de las losas. Los resultados para cada ruta analizada en los casos de estudio se presentan a continuación, para las siguientes variables de valorización: costo de rehabilitación asociado a transferencia de carga (CRehabTC), costo de rehabilitación total (CRehab), penalización por desempeño (Pt) y valor del pavimento (Vt).

E.1. Ruta I

En la Figura E.1 se presenta la sensibilización de resultados para el año 2020 a las diferentes consideraciones para el agrietamiento en la Ruta I, ubicada en la zona central del país. Se incluyen también los porcentajes que representan los montos de cada variable de valorización respecto al costo histórico. El procesamiento de datos fue presentado en detalle en el apartado 5.1.2.a.

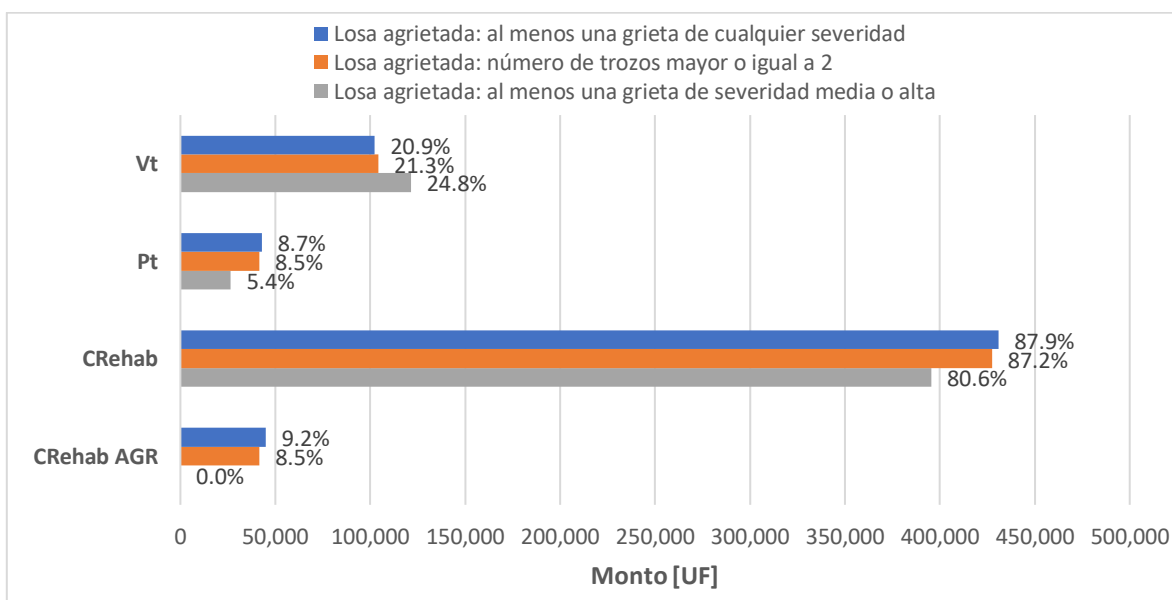


Figura E.1. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2020 a diferentes consideraciones para el agrietamiento (Ruta I).

Como se puede observar, considerar como losa agrietada solo aquellas que tengan grietas de severidad media o alta, implica un costo de rehabilitación asociado al agrietamiento igual a cero. Por lo tanto, este criterio subestima la pérdida de valor, ya que no captura la existencia de grietas de severidad baja. En efecto, en las bases de licitación actuales de nuevas concesiones viales se permite un máximo de 15% de las losas presenten grietas angostas, y no se permiten grietas medias o anchas.

Por otro lado, se aprecia una leve diferencia de los resultados obtenidos con los otros dos criterios para el agrietamiento. Esta puede deberse a la existencia de grietas de retracción que no dividen las losas en trozos, o a los criterios específicos utilizados en la inspección visual automatizada para la definición del número de trozos. En particular, la diferencia expresada como porcentaje respecto al costo histórico corresponde a 0.7%, 0.2% y 0.4% para el costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento, respectivamente.

E.2. Ruta II

En la Figura E.2 se presenta la sensibilización de resultados para el año 2020 a las diferentes consideraciones para el agrietamiento en la Ruta II, ubicada en la zona central del país. Se incluyen también los porcentajes que representan los montos de cada variable de valorización respecto al costo histórico. El procesamiento de datos fue presentado en detalle en el apartado 5.2.2.a.

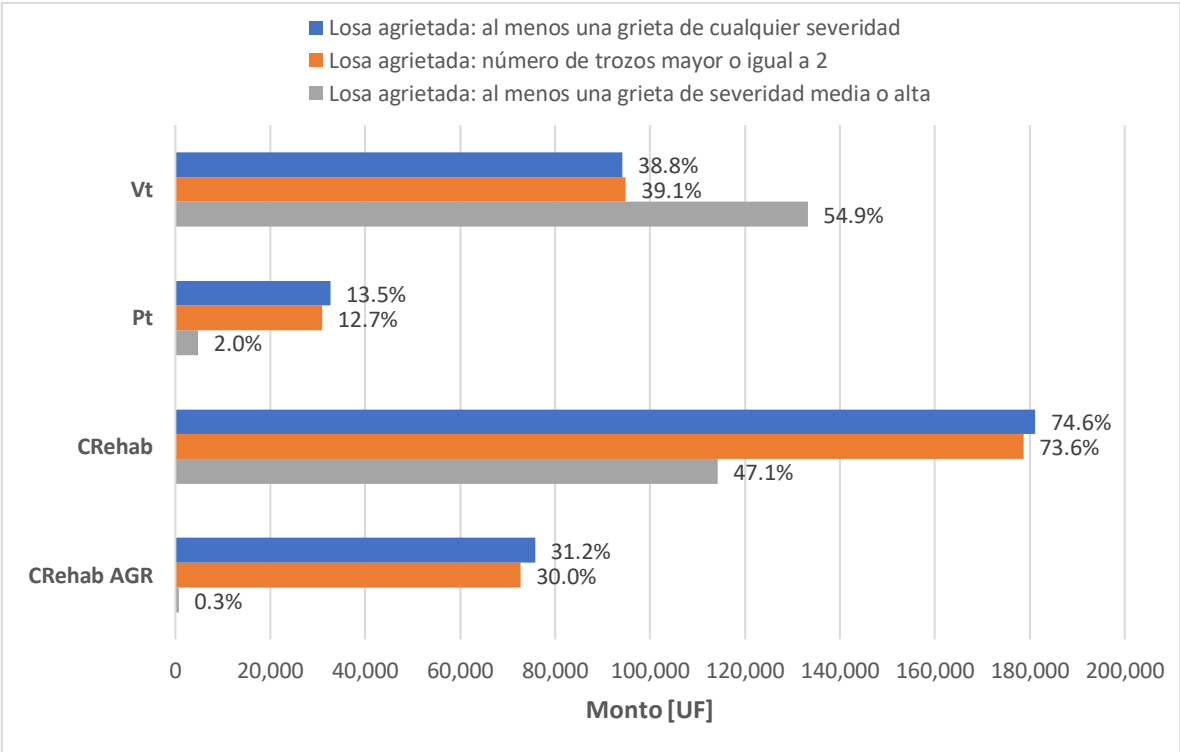


Figura E.2. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2020 a diferentes consideraciones para el agrietamiento (Ruta II).

Como se puede observar, considerar como losa agrietada solo aquellas que tengan grietas de severidad media o alta, implica un costo de rehabilitación asociado al agrietamiento igual a sólo un 0.3% del costo histórico. Por lo tanto, este criterio subestima la pérdida de valor, ya que no captura la existencia de grietas de severidad baja. En efecto, en las bases de licitación actuales de nuevas concesiones viales se permite un máximo de 15% de las losas presenten grietas angostas, y no se permiten grietas medias o anchas.

Por otro lado, se aprecia una leve diferencia de los resultados obtenidos con los otros dos criterios para el agrietamiento. Esta puede deberse a la existencia de grietas de retracción que no dividen las losas en trozos, o a los criterios específicos utilizados en la inspección visual automatizada para la definición del número de trozos. En particular, la diferencia expresada como porcentaje respecto al costo histórico corresponde a 1%, 0.8% y 0.3% para el costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento, respectivamente.

E.3. Ruta III

En la Figura E.3 se presenta la sensibilización de resultados para el año 2018 a las diferentes consideraciones para el agrietamiento en la Ruta III, ubicada en la zona sur del país. Se incluyen también los porcentajes que representan los montos de cada variable de valorización respecto al costo histórico. El procesamiento de datos fue presentado en detalle en el apartado 5.3.2.a.

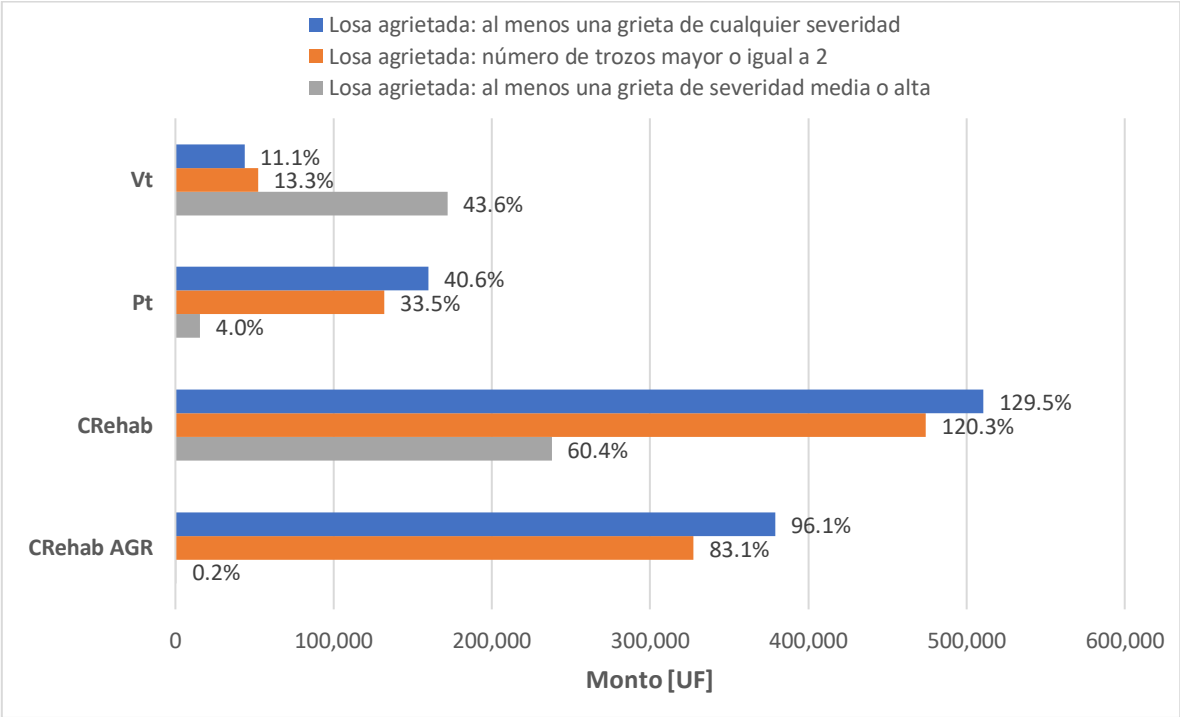


Figura E.3. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 2018 a diferentes consideraciones para el agrietamiento (Ruta III).

Como se puede observar, considerar como losa agrietada solo aquellas que tengan grietas de severidad media o alta, implica un costo de rehabilitación asociado al agrietamiento igual a sólo un 0.2% del costo histórico. Por lo tanto, este criterio subestima la pérdida de valor, ya que no captura la existencia de grietas de severidad baja. En efecto, en las bases de licitación actuales de nuevas concesiones viales se permite un máximo de 15% de las losas presenten grietas angostas, y no se permiten grietas medias o anchas.

Por otro lado, debido al alto nivel de agrietamiento en esta ruta, se aprecia una diferencia considerable de los resultados obtenidos con los otros dos criterios para el agrietamiento. Esta puede deberse a la existencia de grietas de retracción que no dividen las losas en trozos, o a los criterios específicos utilizados en la inspección visual automatizada para la definición del número de trozos. En particular, la diferencia expresada como porcentaje respecto al costo histórico corresponde a 9.2%, 7.1% y 2.2% para el costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento, respectivamente.

E.4. Ruta IV

En la Figura E.4 se presenta la sensibilización de resultados para el año 20 de la concesión tipo basada en los datos de la Ruta IV a las diferentes consideraciones para el agrietamiento. Se incluyen también los porcentajes que representan los montos de cada variable respecto al costo histórico. El procesamiento de datos para la concesión tipo fue presentado en detalle en el apartado 5.4.2.a. En particular, los resultados corresponden a los del escenario pesimista, basado en datos reales de la ruta.

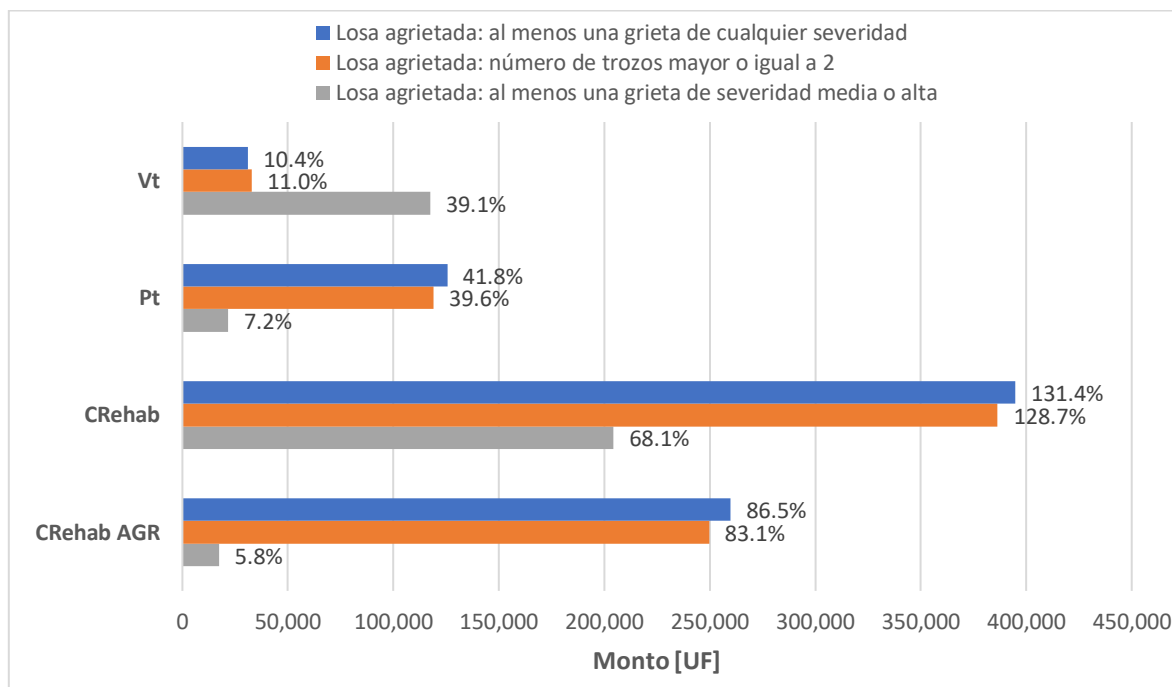


Figura E.4. Sensibilización de resultados de valorización con modelo propuesto para el año 20 de la concesión tipo a diferentes consideraciones para el agrietamiento (Ruta IV).

Como se puede observar, considerar como losa agrietada solo aquellas que tengan grietas de severidad media o alta, implica un costo de rehabilitación asociado al agrietamiento igual a sólo un 5.8% del costo histórico. Por lo tanto, este criterio subestima la pérdida de valor, ya que no captura la existencia de grietas de severidad baja. En efecto, en las bases de licitación actuales de nuevas concesiones viales se permite un máximo de 15% de las losas presenten grietas angostas, y no se permiten grietas medias o anchas.

Por otro lado, debido al alto nivel de agrietamiento en esta ruta, se aprecia una diferencia considerable de los resultados obtenidos con los otros dos criterios para el agrietamiento. Esta puede deberse a la existencia de grietas de retracción que no dividen las losas en trozos, o a los criterios específicos utilizados en la inspección visual automatizada para la definición del número de trozos. En particular, la diferencia expresada como porcentaje respecto al costo histórico corresponde a 2.7%, 2.2% y 0.6% para el costo de rehabilitación, penalización por desempeño y valor del pavimento, respectivamente.

En función de los resultados anteriores, se recalca la importancia de considerar adecuadamente el agrietamiento de las losas para la valorización de pavimentos de hormigón. El criterio correcto corresponde a considerar como losas agrietadas aquellas que posean grietas de cualquier severidad que la dividan en dos o más trozos. De esta forma se puede asegurar la pérdida de valor efectivamente esté asociada a un agrietamiento estructural que abarca todo el espesor de la losa, y no a deterioros superficiales relacionados con fallas constructivas como las grietas de retracción.

F. Comparación entre rutas de resultados de valorización con modelo propuesto

En este capítulo se presenta una comparación gráfica de los resultados de valorización obtenidos con el modelo propuesto, para las 4 rutas analizadas y 3 escenarios de gestión definidos en el capítulo 5.

En la Figura F.1, se presenta la valorización con modelo propuesto en el año 0 y 20 en un escenario pesimista. El valor en el año 0 corresponde al costo histórico del pavimento, mientras que el valor en el año 20 corresponde al valor mínimo obtenido durante el periodo de análisis. Los porcentajes sobre las barras representan el valor respecto al costo histórico. Cabe mencionar que, el escenario pesimista corresponde al escenario basado en los datos reales de cada ruta.

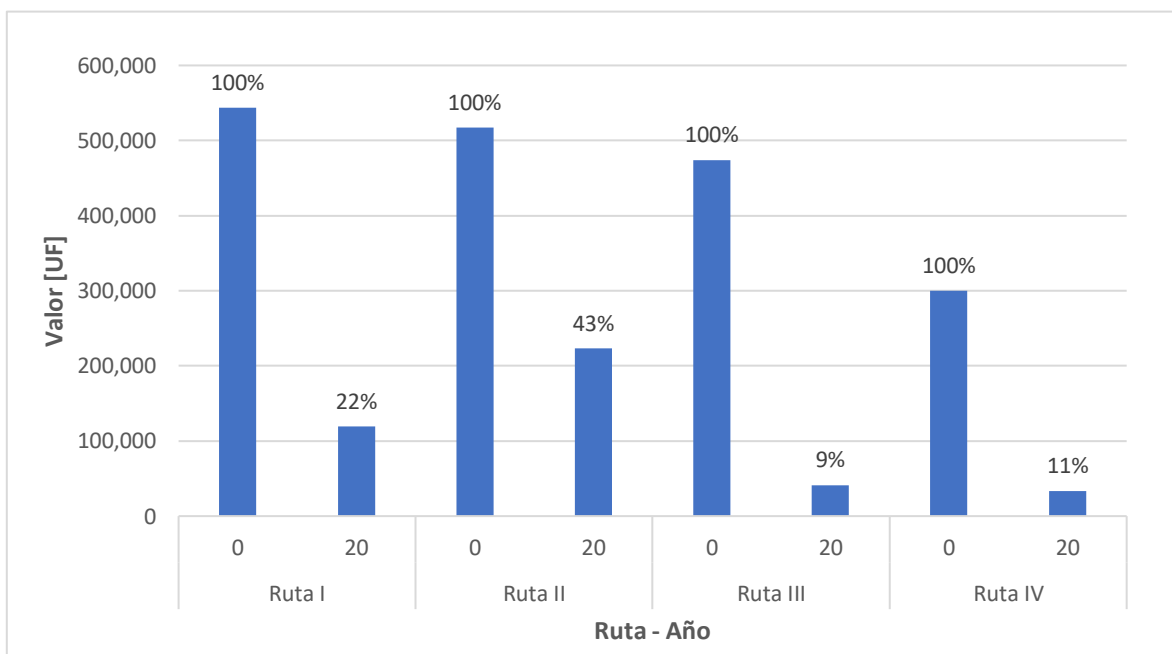


Figura F.1. Valor obtenido en año 0 y 20 con modelo propuesto en las diferentes rutas para un escenario pesimista.

Como se puede apreciar, la ruta en donde el pavimento de hormigón tiene una mayor pérdida de valor corresponde a la Ruta III, seguida de la Ruta IV, Ruta I y Ruta II, en ese orden. Lo anterior es consistente con el alto nivel de agrietamiento existente en la ruta III, que es mayor al de las otras rutas. La pérdida de valor en la Ruta III podría ser aún mayor, si en dicha ruta los precios unitarios fueran los mismos que en las otras rutas. En efecto, para las otras tres rutas se utilizaron los mismos precios unitarios, en donde el costo de reemplazo de una losa agrietada equivale a aproximadamente tres veces el costo de construcción de una losa. En cambio, sólo para la Ruta III el primer costo es aproximadamente el doble del segundo.

La ruta en donde el pavimento de hormigón conserva un mayor valor respecto a su costo histórico corresponde a la Ruta II. Si bien en esta ruta, el nivel de agrietamiento es mayor que en la Ruta I, el desempeño para el indicador de transferencia de carga es considerablemente mejor. Lo anterior, sumado al hecho que el costo de instalar barras de traspaso de carga en una junta es prácticamente igual al costo de construir una losa, implica que, aunque la Ruta I tenga un bajo nivel de agrietamiento, tiene una alta pérdida de valor debido a la pérdida de desempeño en transferencia de carga.

En la Figura F.2 y Figura F.3 se presenta la valorización con modelo propuesto en el año 0 y 20 en un escenario realista y optimista, respectivamente. El valor en el año 0 corresponde al costo histórico del pavimento. El valor en el año 20 no necesariamente corresponde al valor mínimo obtenido durante el periodo de análisis, por lo que se incluye también éste último en los gráficos. Los porcentajes sobre las barras representan el valor respecto al costo histórico. Cabe mencionar que, los escenarios realista y optimista corresponden a escenarios basados en los datos reales de cada ruta, pero en donde el desempeño de indicadores incrementa debido a intervenciones en el pavimento, de forma de cumplir con los estándares de nivel de servicio exigidos al concesionario.

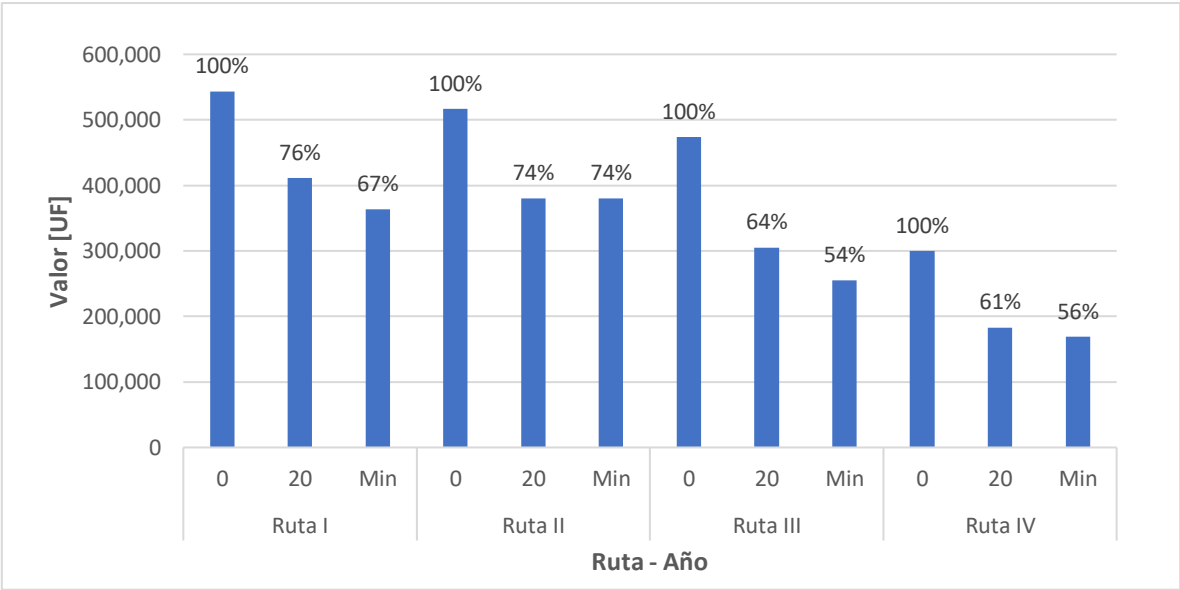


Figura F.2. Valor en año 0 y 20, y valor mínimo obtenido con modelo propuesto en las diferentes rutas para un escenario realista.

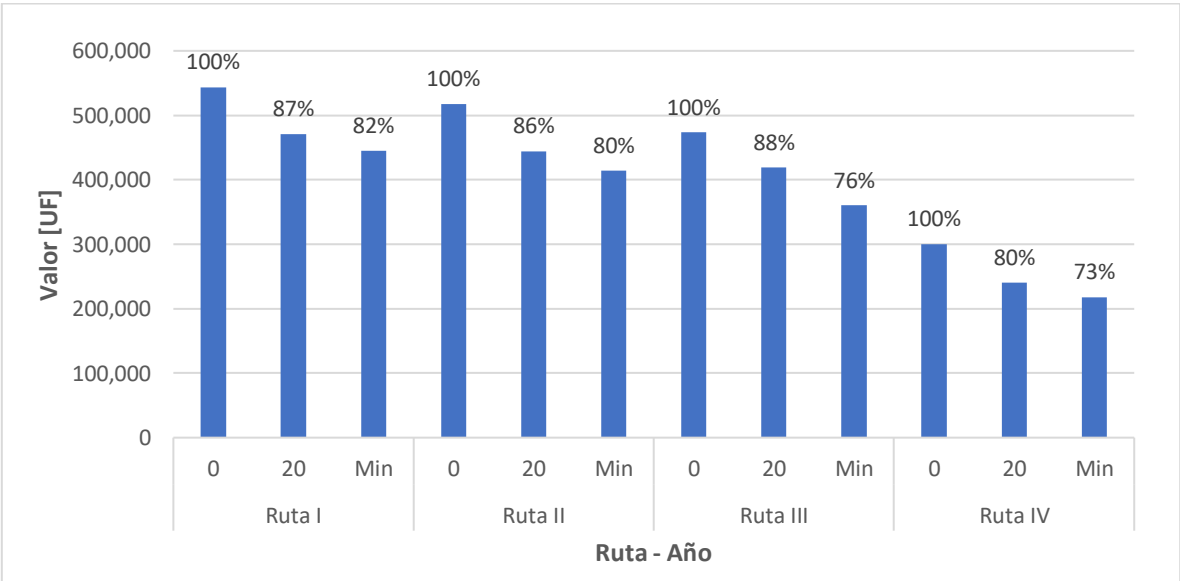


Figura F.3. Valor en año 0 y 20, y valor mínimo obtenido con modelo propuesto en las diferentes rutas para un escenario optimista.

En el escenario realista, los valores mínimos del pavimento de hormigón respecto al costo histórico obtenidos durante todo el periodo de análisis van desde 54% a 74% para las cuatro rutas analizadas, siendo la Ruta III la que tiene una mayor pérdida de valor, seguida de la Ruta IV, Ruta I y Ruta II, en ese orden. Los valores del pavimento de hormigón respecto al costo histórico en el último año del periodo de análisis (año 20) van desde 61% a 76% para las cuatro rutas, siendo la Ruta IV la que tiene una mayor pérdida de valor en dicho año, seguida de la Ruta III, Ruta II y Ruta I, en ese orden.

En el escenario optimista, los valores mínimos del pavimento de hormigón respecto al costo histórico obtenidos durante todo el periodo de análisis van desde 73% a 82% para las cuatro rutas analizadas, siendo la Ruta IV la que tiene una mayor pérdida de valor, seguida de la Ruta III, Ruta II y Ruta I, en ese orden. Los valores del pavimento de hormigón respecto al costo histórico en el último año del periodo de análisis (año 20) van desde 80% a 88% para las cuatro rutas, siendo la Ruta IV la que tiene una mayor pérdida de valor en dicho año, seguida de la Ruta II, Ruta I y Ruta III, en ese orden.