



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería en Vías Terrestres y Movilidad

La metodología Building Information Modeling (BIM) en la gestión de activos viales. Propuesta de aplicación.

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ingeniería de Vías Terrestres y Movilidad

**Presenta:**

Agustín Sánchez Olguín

Dirigido por:

Dr. José Ricardo Solorio Murillo

Dr. José Ricardo Solorio Murillo  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Ricardo Montoya Zamora  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

M. I. Emilio Abarca Pérez  
Vocal

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Eduardo Betanzo Quezada  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dra. María de la Luz Pérez Rea  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.

Fecha (será el mes y año de aprobación del Consejo Universitario)

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

## RESUMEN

La metodología BIM ha transformado la industria de la construcción, aunque su aplicación se ha centrado principalmente en edificaciones, especialmente en las etapas de diseño y construcción. Dado su potencial, resulta relevante evaluar su adaptabilidad en infraestructura de transporte durante la fase de operación. La gestión de activos, por su parte, es un proceso sistemático orientado a maximizar la rentabilidad del activo y mantener niveles adecuados de servicio. Tanto BIM como la gestión de activos comparten una visión centrada en el ciclo de vida. La integración de BIM en activos viales permite centralizar y gestionar la información, asegurando la interoperabilidad entre las partes interesadas. Por ello, esta investigación busca vincular BIM con la gestión de activos viales como una herramienta de gestión de la información. El estudio se compone de dos secciones: una propuesta metodológica para implementar BIM en la gestión de activos, y su aplicación a través de un estudio de caso. Para validar la propuesta, se seleccionará un activo vial, del cual se recopilará información estructurada en una base de datos conforme a estándares BIM. Esta base permitirá desarrollar un modelo digital e incorporar Sistemas de Información Geográfica (SIG) tanto a nivel de proyecto como de red, integrando todo en un Entorno Común de Datos (ECD). Finalmente, se aplicará el proceso de gestión de activos utilizando herramientas especializadas, con el fin de evaluar si la integración de BIM mejora la toma de decisiones y la planificación estratégica en comparación con los métodos tradicionales.

**Palabras clave:** BIM, Entorno Común de Datos (ECD), gestión de activos, modelo digital, nivel de proyecto, nivel de red.

## SUMMARY

The BIM methodology has transformed the construction industry, although its application has mainly focused on buildings, particularly during the design and construction stages. Given its potential, it is relevant to assess its adaptability to transportation infrastructure during the operation phase. Asset management, in turn, is a systematic process aimed at maximizing asset profitability and maintaining adequate service levels. Both BIM and asset management share a life-cycle-centered approach. Integrating BIM into roadway assets allows for centralized information management and ensures interoperability among stakeholders. Therefore, this research aims to link BIM with road asset management as an information management tool. The study consists of two sections: a methodological proposal for implementing BIM in asset management and its application through a case study. To validate the proposal, a roadway asset will be selected, and its data will be collected and structured into a database according to BIM standards. This database will support the development of a digital model and the integration of Geographic Information Systems (GIS) at both project and network levels, consolidating all information in a Common Data Environment (CDE). Finally, the asset management process will be carried out using specialized tools to evaluate whether BIM-enhanced information management improves decision-making and strategic planning compared to traditional methods.

**Key words:** asset management, BIM, Common Data Environment (CDE), digital model, network level, project level.

Para mi madre Araceli Olguín Godínez, a mi tía Angelica Olguín Godínez y mi tía Suraya Olguín Godínez.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al *Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología* (CONHACyT), actualmente *Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación* (SECIHTI) por proporcionar los fondos para los estudios de posgrado en la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). También se agradece a la Facultad de Ingeniería de la UAQ y a su Directora, la Dra. María de la Luz Pérez Rea.

Agradezco al Instituto Mexicano del Transporte, por ser la institución en la que me formé desde que egresé de la licenciatura. También extendo mi agradecimiento al Dr. José Ricardo Solorio Murillo, mi Director de Tesis, de quien aprendí y quien me introdujo al área de gestión de activos en la infraestructura del transporte. De igual manera, agradezco al Dr. Juan Fernando Mendoza Sánchez y al Dr. Horacio Delgado Alamilla por su constante apoyo para hacer posibles mis estudios de posgrado.

Agradezco al Coordinador de la Maestría en Vías Terrestres y Movilidad, Dr. Ricardo Montoya Zamora, por su apoyo durante mi proceso como estudiante de posgrado. También agradezco a mis sinodales, Dr. Eduardo Betanzo Quezada y M.I. Emilio Abarca Pérez.

Durante mi etapa como estudiante de licenciatura en la carrera de Ingeniería Civil, tuve la valiosa oportunidad de recibir consejos y perspectivas de alguien que ya había alcanzado mis aspiraciones profesionales. Reconozco la fortuna de haber tenido esta oportunidad, ya que gracias a ella he podido alcanzar mis metas. Por lo tanto, quiero expresar mi sincero agradecimiento al Dr. Jorge Braulio Cossío Durán, así como a su esposa e hijos, por todos los logros obtenidos desde el 19 de julio de 2021. Asimismo, extendo mi gratitud a *Maricopa County Department of Transportation* (MCDOT) por la oportunidad de conocer sus procesos y por el apoyo brindado durante mi estancia.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer profundamente a mi familia. A mi madre, Araceli Olguín Godínez; a mi abuela, Columba Godínez Ángeles; a mis tías, tíos, primos, primas y a mi hermano, por todo el apoyo que he recibido desde que egresé como ingeniero civil.

A mi abuelo, Agustín Olguín Hernández, de quien estoy seguro estaría muy orgulloso de todos los logros que he alcanzado.

Asimismo, agradezco con todo mi corazón a Sabrina Rivera González por estar siempre a mi lado, por confiar en mí y motivarme constantemente a seguir adelante en todas mis metas.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>18</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	20
1.2 HIPÓTESIS.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	23
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
<b>2. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>24</b>
2.1 LA GESTIÓN DE ACTIVOS VIALES .....	24
2.1.1 MARCO DE GESTIÓN DE ACTIVOS.....	29
2.1.2 NIVEL DE MADUREZ.....	31
2.1.3 PROCESO DE GESTIÓN DE ACTIVOS.....	31
2.1.3.1 NIVEL DE RED .....	33
2.1.3.2 NIVEL DE PROYECTO.....	33
2.1.4 HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES DE GESTIÓN DE ACTIVOS .....	34
2.1.4.1 HDM-4.....	35
2.1.5 INDICADORES ECONÓMICOS.....	36
2.2 LA METODOLOGÍA BIM .....	37
2.2.1 DIMENSIONES DE BIM.....	41
2.2.2 NIVELES DE MADUREZ.....	42
2.2.3 INTEROPERABILIDAD DE LA INFORMACIÓN.....	43
2.2.4 ENTORNO COMÚN DE DATOS (ECD).....	44
2.2.5 MODELOS O GEMELOS DIGITALES.....	44
2.2.6 ROLES BIM .....	45
2.2.7 HERRAMIENTAS BIM .....	46
2.3 LA VINCULACIÓN DE BIM Y LA GESTIÓN DE ACTIVOS VIALES.....	48
2.3.1 REQUERIMIENTOS DE LA INFORMACIÓN.....	48
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>50</b>
3.1 PROPUESTA METODOLÓGICA DE LA APLICACIÓN DE BIM EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS VIALES .....	52
3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA EN LA GESTIÓN VIAL .....	52
3.1.2 FORMULACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN BIM .....	54

3.1.3	<i>MARCO DE GESTIÓN DE ACTIVOS</i> .....	54
3.2	PROPUESTA DE APLICACIÓN. CASO DE ESTUDIO: CARRETERA QUERÉTARO – SAN LUIS POTOSÍ. TRAMO SAN LUIS DE LA PAZ – SAN DIEGO DE LA UNIÓN. CADENAMIENTO: 90+000 – 100+000. ....	57
3.2.1	<i>DESCRIPCIÓN DEL ACTIVO SELECCIONADO</i> .....	58
3.2.2	<i>FORMULACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DE BIM</i> .....	59
3.2.2.1	DISEÑO E INTEGRACIÓN DE LA BASE DE DATOS .....	60
3.2.2.2	ENTORNO COMÚN DE DATOS (ECD) .....	62
3.2.2.3	GEMELO DIGITAL.....	63
3.2.3	<i>NIVEL ESTRATÉGICO</i> .....	66
3.2.3.1	METAS DE DESEMPEÑO .....	67
3.2.3.2	CONTRATOS Y DOCUMENTOS GENERALES .....	71
3.2.4	<i>NIVEL DE RED</i> .....	71
3.2.4.1	INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA .....	72
3.2.4.2	INVENTARIO FÍSICO DEL ACTIVO .....	73
3.2.4.3	DATOS DE TRÁNSITO .....	76
3.2.4.4	ESTADO FÍSICO DEL ACTIVO .....	81
3.2.4.4.1	SENTIDO 1 .....	83
3.2.4.4.2	SENTIDO 2 .....	86
3.2.4.5	HISTORIAL DE INTERVENCIONES .....	89
3.2.4.6	GEMELOS DIGITALES Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) A NIVEL DE RED.....	95
3.2.4.7	INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN A NIVEL DE RED.....	99
3.2.5	<i>NIVEL DE PROYECTO</i> .....	100
3.2.5.1	GENERACIÓN DE SEGMENTOS HOMOGÉNEOS.....	100
3.2.5.2	ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE CONSERVACIÓN Y ASIGNACIÓN PRESUPUESTAL.....	105
3.2.5.2.1	INCORPORACIÓN DEL SOFTWARE HDM-4 .....	106
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>110</b>
4.1	PROPUESTA METODOLÓGICA DE LA APLICACIÓN DE BIM EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS VIALES	110
4.2	PROPUESTA DE APLICACIÓN. CASO DE ESTUDIO: CARRETERA QUERÉTARO – SAN LUIS POTOSÍ. TRAMO SAN LUIS DE LA PAZ – SAN DIEGO DE LA UNIÓN. CADENAMIENTO: 90+000 – 100+000. ....	117
4.2.1	<i>ANÁLISIS MULTICRITERIO EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS</i> .....	121
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>127</b>

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>142</b>
<b>ANEXO A. SOLICITUD DE INFORMACIÓN DEL ACTIVO.....</b>	<b>142</b>
<b>ANEXO B. REDES DE CARRETERAS. ....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO C. DATOS DE DISEÑO, CRITERIOS DE INTERVENCIÓN, COSTOS, EFECTOS Y VALUACIÓN DE LAS ACCIONES DE CONSERVACIÓN. ....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO D. IRREGULARIDAD PROMEDIO POR TRAMO. ....</b>	<b>165</b>
<b>ANEXO E. RESUMEN DE TRABAJOS POR AÑO.....</b>	<b>171</b>
<b>ANEXO F. RESUMEN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>174</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico del Índice de Condición de Pavimento (PCI). .....	26
Figura 2. Etapas de un contrato por desempeño. ....	26
Figura 3. Modelo de deterioro proporcionado por el software HDM-4 a través de la predicción de distintas actividades de intervención. ....	27
Figura 4. Proceso metodológico para la gestión de pavimentos. ....	28
Figura 5. Programa de actividades de intervención en HDM-4. ....	29
Figura 6. Marco de gestión de activos.....	30
Figura 7. Coordinación de la gestión de activos a nivel de red y de proyecto. ....	33
Figura 8. Fases de un proyecto BIM. ....	38
Figura 9. Gestión de la información a lo largo del ciclo de vida del activo. ....	40
Figura 10. Las dimensiones de BIM: 3D, 4D, 5D, 6D y 7D. ....	41
Figura 11. Niveles de madurez de BIM según PAS 1192. ....	43
Figura 12. Gemelo digital de la Autopista México - Querétaro a través del software Autodesk InfraWorks .....	45
Figura 13. Estructuración en la generación y asignación de roles BIM. ....	46
Figura 14. Pérdidas de información durante el ciclo de vida de un activo .....	49
Figura 15. Metodología de la presente investigación. ....	51
Figura 16. Ciclo de vida en la gestión de activos viales. ....	55
Figura 17. Niveles de decisión integradas en un entorno de gestión de activos viales. ....	56

Figura 18. Rutina de conversión para el intercambio de información en un entorno BIM dentro de la gestión de activos viales. ....	57
Figura 19. Red vial seleccionada para el análisis.....	58
Figura 20. Segmento vial seleccionado para el análisis.....	59
Figura 21. Visualización de información en formato de archivo (.xlsx).....	61
Figura 22. Integración de la información en una base de datos.....	61
Figura 23. Interfaz parcial del Entorno Común de Datos implementado en la metodología BIM aplicado a la gestión de activos viales. ....	63
Figura 24. Vista conceptual del Gemelo Digital del activo seleccionado.....	64
Figura 25. Concepción del Gemelo Digital a partir de un Sistema de Información Geográfica (SIG).....	65
Figura 26. Vista del gemelo digital desde el Entorno Común de Datos.....	65
Figura 27. Georeferenciación de las estaciones climatológicas cercanas al activo. ....	73
Figura 28. Espesores del pavimento del activo seleccionado en el Sentido 1, obtenidos mediante Radar de Penetración Terrestre (GPR).....	75
Figura 29. Espesores del pavimento del activo seleccionado en el Sentido 2, obtenidos mediante Radar de Penetración Terrestre (GPR).....	75
Figura 30 . Georreferenciación de estaciones de aforo ubicadas en las proximidades del tramo de estudio.....	78
Figura 31. Regresión lineal en función de TDPA (Sentido 1). ....	79
Figura 32. Regresión lineal en función de TDPA (Sentido 2). ....	80
Figura 33. Larguillo de IRI del año 2023 (sentido 1).....	83

Figura 34. Estado físico por IRI del tramo en el año 2023 (Sentido 1). .....	83
Figura 35. Larguillo de Fricción del año 2023 (sentido 1).....	84
Figura 36. Estado físico por Fricción del tramo en el año 2023 (Sentido 1). .....	84
Figura 37. Larguillo de Macrotextura del año 2023 (sentido 1). .....	85
Figura 38. Estado físico por Macrotextura del tramo en el año 2023 (Sentido 1)..	85
Figura 39. Larguillo de IRI del año 2023 (sentido 2).....	86
Figura 40. Estado físico por IRI del tramo en el año 2023 (Sentido 2). .....	86
Figura 41. Larguillo de Fricción del año 2023 (sentido 2).....	87
Figura 42. Estado físico por fricción del tramo en el año 2023 (Sentido 2). .....	87
Figura 43. Larguillo de Macrotextura del año 2023 (sentido 2). .....	88
Figura 44. Estado físico por macrotextura del tramo en el año 2023 (Sentido 2)..	88
Figura 45. Porcentaje del estado físico del activo en función del IRI por año (Sentido 1). .....	90
Figura 46. Porcentaje del estado físico del activo en función del IRI por año (Sentido 2). .....	90
Figura 47. Gráfica de áreas del estado físico del activo en función del IRI por año (Sentido 1).....	90
Figura 48. Gráfica de áreas del estado físico del activo en función del IRI por año (sentido 2). .....	91
Figura 49. Diagrama de caja y bigote del estado físico del activo por año en función del IRI (Sentido 1). .....	91
Figura 50. Larguillo de IRI por año (2016, 2017, 2018 y 2020). .....	92

Figura 51. Larguillo de IRI por año (2018, 2019 y 2020). .....	93
Figura 52. Larguillo de IRI por año (2021 y 2022). .....	93
Figura 53. Diagrama de caja y bigote del estado físico del activo por año en función del IRI (Sentido 2). .....	94
Figura 54. Larguillo de IRI por año (2017 y 2018). .....	95
Figura 55. Larguillo de IRI por año (2020, 2021 y 2022). .....	95
Figura 56. Tabla de atributos utilizada en el Sistema de Información Geográfica (SIG). .....	97
Figura 57. Visualización de la interfaz del SIG libre (QGIS) mostrando el estado del activo en función del IRI. ....	98
Figura 58. Visualización de la interfaz del SIG libre (QGIS) mostrando el estado del activo en segmentos de veinte metros. ....	98
Figura 59. Visualización de la interfaz del SIG libre (QGIS) mostrando el estado del activo. ....	99
Figura 60. Integración de la información a nivel de proyecto en el Entorno Común de Datos (CDE). .....	100
Figura 61. Diagrama que define los segmentos homogéneos según los criterios establecidos para el sentido 1. ....	102
Figura 62. Diagrama que define los segmentos homogéneos según los criterios establecidos para el sentido 2. ....	104
Figura 63. Integración de los segmentos homogéneos en un SIG. ....	105
Figura 64. Interfaz de <i>Autodesk Construction Cloud</i> . ....	112
Figura 65. Interfaz del software especializado para la gestión de activos Cartergraph .....	114

Figura 66. Interfaz de GeoBIM de Esri .....	114
Figura 67. Relación de herramientas (modelos 3D, GeoBIM y SIG) para la gestión de activos a lo largo del ciclo de vida. ....	116
Figura 68. Resultado del análisis multicriterio de las diferentes alternativas de gestión de proyectos. ....	126
Figura 69. Optimización de BIM en la Gestión de Activos Viales .....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Escala de madurez de PIARC para gestión de activos.</i> .....	32
Tabla 2. Herramientas de gestión en el mundo.....	34
Tabla 3. Sistema de información documental de un ECD .....	44
Tabla 4. Componentes de herramientas BIM.....	47
Tabla 5. Clasificación de la información a nivel de red y de proyecto .....	53
Tabla 6. Resumen general del nivel estratégico de la gestión de activos del proyecto seleccionado. ....	67
Tabla 7. Meta de desempeño del estado físico del pavimento en función del Índice de Regularidad Internacional (IRI).....	69
Tabla 8. Meta de desempeño del estado físico del pavimento en función del coeficiente de fricción.....	69
Tabla 9. Meta de desempeño del estado físico del pavimento para la evaluación estructural en pavimentos mediante deflexiones.....	70
Tabla 10. Meta de desempeño del estado físico del pavimento para la evaluación de roderas.....	70
Tabla 11. Detalles del activo seleccionado .....	74
Tabla 12. Datos de Proyecto: Diseño Estructural.....	74
Tabla 13. Datos viales de la Carretera Querétaro – San Luis Potosí (SICT, 2024). .....	77
Tabla 14. Datos del aforo del 2020 al 2023.....	78
Tabla 15. Proyección del tránsito en un periodo de diez años. ....	80
Tabla 16. Parámetros de mediciones realizadas en el tramo carretero por año. ...	82

Tabla 17. Segmentación del sentido 1 en función del IRI .....	101
Tabla 18. Segmentación del sentido 1 en función del Coeficiente de Fricción (CF) .....	102
Tabla 19. Segmentación del sentido 1 en función de la evaluación estructural del pavimento (Deflexiones).....	102
Tabla 20. Segmentos homogéneos definidos para el sentido 1 .....	103
Tabla 21. Segmentación del sentido 2 en función del IRI .....	103
Tabla 22. Segmentación del sentido 2 en función del Coeficiente de Fricción (CF) .....	103
Tabla 23. Segmentación del sentido 2 en función de la evaluación estructural del pavimento (Deflexiones).....	104
Tabla 24. Segmentos homogéneos definidos para el sentido 2 .....	104
Tabla 25. Flota vehicular empleada en el análisis.....	107
Tabla 26. Criterios para los datos de configuración que integran el HDM-4 .....	108
Tabla 27. Definición de la información para generar el programa de conservación en la herramienta computacional HMD-4 .....	109
Tabla 28. Nivel de madurez para la vinculación de BIM y la gestión de activos viales .....	111
Tabla 29. Comparativa de herramientas BIM y su aplicabilidad en la gestión de activos durante el ciclo de vida.....	113
Tabla 30. Relación entre modelos tridimensionales y SIG en la aplicación de BIM y gestión de activos.....	115
Tabla 31. Análisis comparativo de Herramientas utilizadas en BIM para su aplicación en la gestión de activos.....	117

Tabla 32. Alternativa de proyecto (Sentido 1) .....	118
Tabla 33. Alternativa de Proyecto (Sentido 2).....	118
Tabla 34. Alternativa base (Sentido 1) .....	119
Tabla 35. Alternativa base (Sentido 2) .....	119
Tabla 36. Resumen de costo anual total por alternativa. ....	120
Tabla 37. Definición de alternativas para el análisis multicriterio en la gestión de proyectos.....	122
Tabla 38. Clasificación de los criterios de evaluación. ....	122
Tabla 39. Evaluación de los criterios de evaluación por alternativa. ....	125

## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión de carreteras ha sido una práctica arraigada desde los primeros tiempos de la construcción de caminos. Es evidente que el diseño, la construcción, el mantenimiento y la operación de estas vías siempre han estado guiados por criterios técnicos y económicos, con el propósito de alcanzar objetivos tanto económicos como sociales (Solorio, 2023).

La gestión de activos viales, establecida en los primeros años de este siglo, surge como resultado de colaboraciones entre profesionales de diversas áreas y países. Estos esfuerzos han dado lugar a un marco conceptual y un lenguaje común que capacitan a diversas organizaciones viales para obtener un mayor valor de sus activos (Darwin *et al.*, 2019).

Según Nicolosi *et al.* (2023), asignar presupuestos en infraestructuras de transporte ha sido históricamente desafiante. A lo largo del tiempo, se han desarrollado y empleado diversos métodos para optimizar recursos. A medida que la gestión de activos ha evolucionado, se han implementado herramientas de apoyo en la toma de decisiones. Sin embargo, ninguno ha logrado la optimización de recursos al alinearlos con objetivos específicos mediante indicadores de desempeño vinculados a la red de carreteras.

Además, la gestión de activos en la infraestructura del transporte involucra recopilar, analizar y almacenar periódicamente una gran cantidad de datos. Sin embargo, el acceso a esta información es un desafío debido a la existencia de datos en papel, bases de datos desactualizadas y la necesidad de mantener registros actualizados de la infraestructura; donde herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Modelado de Información de Construcción (BIM) pueden dar solución (Carneiro *et al.*, 2018).

En este contexto, Solorio (2023) resalta la posible sinergia entre la gestión de activos y BIM. Aunque la adopción de BIM ha experimentado un crecimiento notable en los sectores de arquitectura, ingeniería y construcción, consolidándose como una

metodología y conjunto de herramientas eficaces para el intercambio de datos en proyectos y la edificación de activos físicos, su aplicación en la gestión de activos aún se encuentra en proceso de reconocimiento. Los beneficios potenciales de la implementación de BIM incluyen la reducción de pérdida de información a lo largo del ciclo de vida de los activos, un aspecto crucial para optimizar las actividades en la fase de operación, que no solo es la más prolongada sino también la más costosa del ciclo, garantizando mayor eficiencia en su ejecución.

Por un lado, Sampaio (2022) afirma que la metodología BIM es una herramienta que gestiona la información de un activo, proporcionando una interoperabilidad holística de los datos a lo largo del ciclo de vida de un activo; el cual podría tener un impacto significativo en la calidad y el desempeño de la infraestructura vial durante su tiempo de vida útil.

Por otro lado, Arisekola & Madison (2023) sostienen que la implementación de un modelo digital y BIM en la ingeniería civil, facilitan la visualización del estado de un activo a través del tiempo. Así mismo, Consilvio *et al.* (2023) destacan que dentro de un modelo digital permite integrar datos utilizados como parámetros de desempeño en el proceso de gestión de activos como es el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

La vinculación de la metodología BIM en la gestión de activos viales, es viable para mejorar la calidad de la infraestructura y la toma de decisiones a lo largo del ciclo de vida del activo. En un sistema de gestión de activos el flujo continuo de los datos del activo a través del tiempo es indispensable, y el uso de BIM como herramienta de gestión de la información constituye una solución viable (Fang et al., 2022). Al lograr una concentración e interoperabilidad de la información a nivel de red de la infraestructura, se optimiza el sistema de gestión de activos para obtener mayor beneficio económico de los activos carreteros y prolongar la vida útil de la infraestructura.

## 1.1 Antecedentes

La gestión de carreteras ha sido una práctica arraigada desde los primeros tiempos de la construcción de carreteras. Es claro que el diseño, la construcción, el mantenimiento y la operación de estas vías siempre han estado regidos por criterios técnicos y económicos con el propósito de alcanzar objetivos económicos y sociales (Solorio, 2023).

Así mismo, la industrialización y el uso masivo de vehículos aceleraron la expansión de las carreteras, generando complejidades en su gestión y dificultades para satisfacer las expectativas de los usuarios debido a la limitación de recursos para el mantenimiento (Solorio,2023).

La gestión de activos viales, establecida en los primeros años de este siglo, surge como resultado de colaboraciones entre profesionales de diversas áreas y países. Estos esfuerzos han dado lugar a un marco conceptual y un lenguaje común que capacitan a diversas organizaciones viales para obtener un mayor valor de sus activos, como se evidencia en el estudio de Darwin et al. (2019).

Según Nicolosi et al. (2023), asignar presupuesto en infraestructuras de transporte ha sido históricamente desafiante. A lo largo del tiempo, se han desarrollado y empleado diversos métodos para optimizar recursos. A medida que la gestión de activos ha evolucionado, se han implementado herramientas de apoyo en la toma de decisiones.

En relación con los pavimentos, debido a que es el activo principal en la gestión de activos viales. Autores como Haas et al. (2015) destacan que estos activos presentan una variabilidad significativa en elementos de diseño como son los espesores de cada capa del pavimento y sus propiedades de materiales de cada una. Por lo que recomiendan construir pavimentos de manera óptima y posteriormente gestionarlos a lo largo de su vida útil. Debido a la complejidad técnica que limita la aplicación de herramientas como la guía Diseño Empírico-Mecanicista de pavimentos (MEPDG) de la AASHTO, no pueden aplicarse a la

gestión de pavimentos a niveles de proyecto o red; en donde estos autores concluyen que la gestión podrá realizarse eficientemente cuando se implemente y mejoren sistemas de cómputo de mayor capacidad y procedimientos de medición más prácticos.

En la búsqueda de mejorar la eficiencia en la gestión de activos viales, Consilvio *et al.* (2023) proponen una innovadora herramienta respaldada en gemelos digitales para facilitar la toma de decisiones, especialmente enfocada en la conservación del pavimento. La arquitectura de esta herramienta se destaca por su capacidad para integrar datos provenientes de diversas fuentes en un gemelo digital único, posibilitando un análisis detallado en la formulación de planes de intervención optimizados. En este contexto, se incorporaron parámetros de desempeño, como el Índice de Regularidad Internacional (IRI), aplicado a una autopista italiana A24. Este sistema representó una mejora significativa en los procesos de mantenimiento vial al fusionar tecnologías de gemelos digitales con herramientas de apoyo a la toma de decisiones. En este enfoque, el gemelo digital se atribuye a la metodología BIM, contribuyendo de manera integral a la gestión eficiente de activos viales.

En este contexto, Solorio (2023) resalta la posible sinergia entre la gestión de activos y BIM. Aunque la adopción de BIM ha experimentado un crecimiento notable en los sectores de arquitectura, ingeniería y construcción, consolidándose como una metodología y conjunto de herramientas eficaces para el intercambio de datos en proyectos y la edificación de activos físicos, su aplicación en la gestión de activos aún se encuentra en proceso de reconocimiento. Los beneficios potenciales de la implementación de BIM incluyen la reducción de pérdida de información a lo largo del ciclo de vida de los activos, un aspecto crucial para optimizar las actividades en la fase de operación, que no solo es la más prolongada sino también la más costosa del ciclo, garantizando eficiencia en su ejecución.

De acuerdo con Chong *et al.* (2016), Costin *et al.* (2018) y Tang *et al.* (2020) concuerdan en que la metodología BIM es un enfoque innovador que ha

revolucionado la industria de la construcción, demostrando su eficacia en este sector y específicamente en lo que respecta a edificaciones y proyectos arquitectónicos. Por lo que es de interés una mayor exploración para lograr una adaptabilidad precisa en la aplicación de BIM en infraestructura del transporte.

Diversos estudios se han centrado en adaptar la metodología BIM a la infraestructura del transporte. Por un lado, Castañeda et al. (2021) presenta un marco BIM con pasos como recolección de datos, simulación y comparación de alternativas e ilustra los beneficios de BIM, como una mayor comprensión del diseño, mediante un estudio de caso en el mejoramiento y diseño de intersecciones viales.

Por otro lado, D'Amico et al. (2023) abordan la adopción de BIM en infraestructuras de transporte en Italia, donde se propuso un procedimiento que integra datos de estudios no destructivos efectuados con equipos como radar de penetración (GPR) y un escáner láser móvil (MLS), en modelos BIM de carreteras. Este enfoque mejora la eficiencia de la gestión de activos, demostrando su viabilidad en la supervisión de infraestructuras vial.

Finalmente, a nivel internacional, se han establecido hojas de ruta para desarrollar un marco político uniforme en relación con BIM para la realización y gestión de proyectos de infraestructura del transporte, a través de normas abiertas de intercambio de datos, herramientas BIM y un sólido programa de formación y perfeccionamiento del personal con la respectiva metodología (FHWA, 2021).

En Estados Unidos, de acuerdo con la Federal Highway Administration (FHWA, 2021), se ha establecido un plan para solicitar a los departamentos estatales de transporte (DOT) la adopción de BIM en la ejecución de proyectos y prestación de servicios de transporte a nivel estatal. En México, la Secretaría de Hacienda (SHCP, 2019) ha realizado una hoja de ruta para la incorporación de BIM en la construcción y gestión proyectos de infraestructura pública en su totalidad después del 2026.

## 1.2 Hipótesis

La utilización de la metodología BIM como herramienta para la concentración y gestión de la información de un activo vial durante su ciclo de vida y como plataforma para asegurar interoperabilidad de los datos nivel de red, optimiza el proceso de la gestión de activos respecto a los sistemas empleados tradicionalmente en la gestión de la información de las redes de carreteras.

## 1.3 Objetivos

Integrar y ejemplificar la aplicación de un procedimiento para la aplicación de la metodología BIM en la creación, uso compartido y actualización permanente de la información necesaria en los diversos procesos de gestión de activos de infraestructura vial durante su ciclo de vida.

## 1.4 Objetivos específicos

- Definir los principales conceptos y procesos relacionados con la utilización de la metodología BIM en la gestión de la información que utilizan los procesos de gestión de activos viales.
- Identificar las categorías de información relevantes en los procesos de cada etapa del ciclo de vida y los mecanismos de interoperabilidad de los datos necesarios para el flujo de información entre las diferentes etapas.
- Proponer un esquema general para la estructura de datos de un sistema de gestión de activos viales basado en BIM.
- Desarrollar prototipos de modelos para la representación de activos viales durante las fases de suministro y operación.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

En este apartado se expone el marco teórico y referencial de la tesis, desarrollado a través de los siguientes puntos:

- La gestión de activos viales
- La metodología *Building Information Modeling (BIM)* o *Modelado de la Información para la Construcción (MIC)*
- La vinculación de BIM y la gestión de activos viales

### 2.1 La gestión de activos viales

Un activo se define como cualquier elemento que tiene un valor potencial o real para una organización. Este valor puede variar según las características de la organización y sus partes interesadas, y puede ser tangible, financiero o no financiero, conforme a la definición establecida por la norma internacional ISO 55000.

Así mismo, la ISO 55000 caracteriza la gestión de activos como la acción coordinada de una organización para extraer valor de sus activos, abordando aspectos como costos, riesgos, oportunidades y rendimiento. El valor al que se refiere la normativa puede abarcar aspectos de índole económica, social, ambiental u otro, según la evaluación del desempeño de las carreteras (ISO, 2014).

Según Solorio (2023), la gestión de activos viales no se limita a la utilización de herramientas computacionales para identificar y planificar las necesidades futuras en cuanto a la gestión y conservación de pavimentos, puentes u otros elementos viales. Más bien, implica una administración integral tanto técnica como económica, con el objetivo de facilitar la circulación de los usuarios de la infraestructura en condiciones predefinidas de comodidad, confiabilidad y seguridad durante un período determinado. Además, debe cumplir con especificaciones previamente establecidas en términos de transitabilidad y durabilidad.

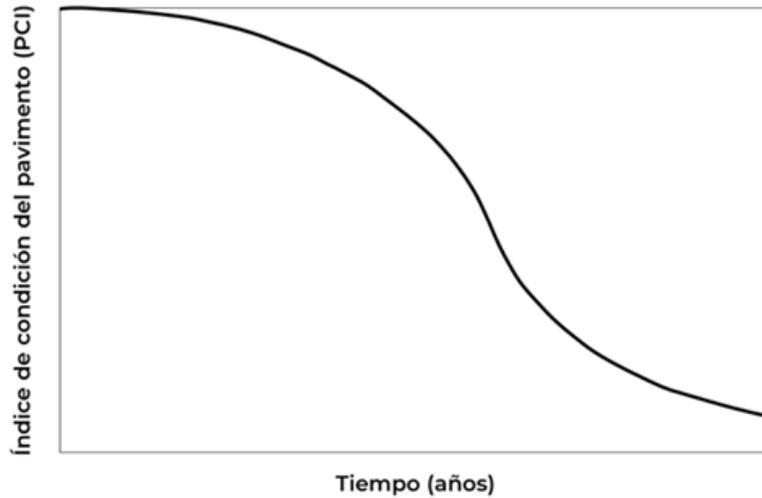
Según BSI Smart Building (2020), los beneficios que proporciona un sistema de gestión de activos son:

- Mejora del desempeño financiero
- Decisiones de inversiones en activos basadas en información
- Riesgo gestionado
- Mejora en resultados y servicios
- Responsabilidad social demostrada
- Demostración de cumplimiento
- Mejora de la sostenibilidad organizacional
- Mejora de la eficiencia y eficacia del activo

Un sistema de gestión de activos viales está compuesto por diversos elementos, como cortes, túneles, puentes, obras de drenaje, señalización horizontal y vertical, terraplenes, dispositivos de protección, pavimentos, entre otros. El presente estudio se enfocará principalmente en la gestión de pavimentos, considerando que este componente representa la mayor parte de los elementos que integran un sistema de gestión de activos viales.

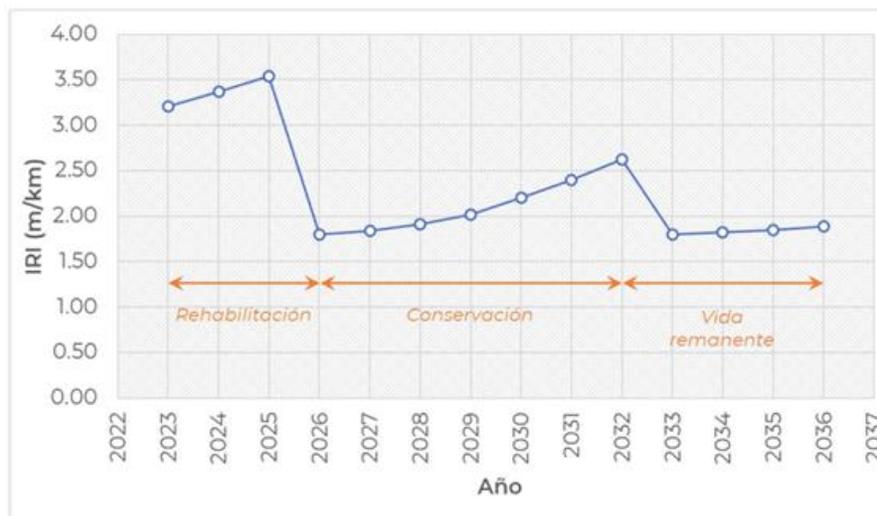
Los pavimentos, como cualquier obra de ingeniería, se deterioran con el tiempo (Figura 1). A diferencia de otras estructuras, su degradación puede manifestarse rápidamente, generando defectos que, aunque generalmente no comprometen la seguridad de los usuarios, son frecuentes y varían en tipo y gravedad (Solorio et al., 2023-1).

En la gestión de pavimentos, los modelos de deterioro son esenciales para prever y programar de manera adecuada los trabajos futuros de conservación o rehabilitación (Figura 2). Asimismo, facilitan la optimización del estado de los pavimentos a nivel de red, la evaluación de la eficiencia de los métodos de diseño empleados y el análisis de costos durante su ciclo de vida (Pantuso *et al.*, 2019).



**Figura 1. Gráfico del Índice de Condición de Pavimento (PCI).**

**Fuente: Solorio et al. (2023).**

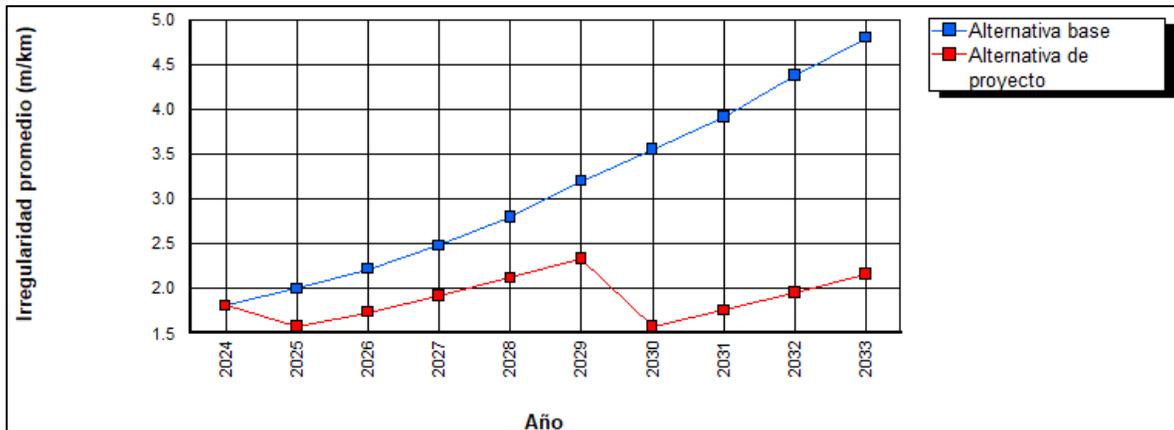


**Figura 2. Etapas de un contrato por desempeño.**

**Fuente: Solorio et al., (2023).**

En este sentido, los modelos de deterioro en pavimentos juegan un papel crucial para la planificación eficiente de su conservación. Al considerar variables como las respuestas primarias del pavimento, el estado físico actual y las características de diseño, permiten predecir el comportamiento futuro de estas estructuras (Figura 3). Esto es fundamental para tomar decisiones informadas sobre

intervenciones oportunas, evitando mayores costos y garantizando la seguridad y funcionalidad de la red vial (Solorio et al., 2023).



**Figura 3. Modelo de deterioro proporcionado por el software HDM-4 a través de la predicción de distintas actividades de intervención.**

**Fuente: Elaboración propia.**

La propuesta metodológica para este estudio de aplicación de gestión de activos viales dentro de un entorno BIM; respecto a la gestión de pavimentos se fundamenta en una serie de etapas clave que permiten una evaluación integral de las condiciones estructurales y funcionales de la red carretera (Figura 4). Este esquema inicia con el inventario de la red, seguido por la recopilación de datos de tránsito, la integración de una base de datos y la utilización de software especializado para la gestión de pavimentos. La ingeniería de pavimentos, junto con herramientas avanzadas de análisis, facilita la formulación de programas de conservación eficientes.

En la evaluación del estado funcional del pavimento, se consideran indicadores clave como el Índice de Regularidad Internacional (IRI), la profundidad de la macrotextura, la fricción, la profundidad de roderas y la evaluación de deterioros en el pavimento. Estos parámetros son los que el usuario percibe al transitar por el activo y se verán reflejados en el confort o comodidad del usuario, la seguridad vial o costos de operación vehicular.



**Figura 4. Proceso metodológico para la gestión de pavimentos.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Por su parte, el estado estructural se analiza mediante la obtención de deflexiones mediante deflectómetros de impacto, el uso de radares de penetración terrestre (*GPR, Ground Penetrating Radar*) o la implementación de sistemas de pesaje dinámico (*WIM, Weigh-in-Motion System*). La integración de estos datos permite una mejor comprensión de las condiciones internas del pavimento, la capacidad de estructural del pavimento, retrocálculo de los materiales que conforman las capas de los pavimentos y la determinación de la vida remanente del pavimento.

Los parámetros previamente establecidos del activo deberán monitorearse a lo largo de su ciclo de vida de manera sistemática y periódica, asegurando estándares de calidad para la obtención de datos confiables y útiles en la toma de decisiones del activo. Es fundamental considerar parámetros de desempeño anteriormente mencionados (funcionales y estructurales) para la gestión de pavimentos.

Conforme se establece en el Manual de Gestión de Activos de PIARC, el propietario del activo vial debe fijar metas de desempeño alineadas a sus objetivos organizacionales, verificando que la información obtenida permita evaluar el cumplimiento de dichos parámetros. Este monitoreo constante garantiza la toma de

decisiones acertadas en estrategias y programas de conservación del activo y asegurar el cumplimiento de las metas de servicio establecidas durante su operación (PIARC, 2023).

Finalmente, la programación de actividades de intervención y evaluación económica son esenciales para programas y estrategias de conservación a lo largo su vida útil, como se observa en la Figura 5, donde se detallan los segmentos programados para distintas intervenciones anuales. En dicha Figura, se presentan diferentes propuestas de intervención realizadas en la herramienta computacional HDM-4 en distintos años, lo que permite realizar un análisis bajo escenarios con o sin restricciones financieras, y evaluar la factibilidad económica de cada una de ellas mediante indicadores de rentabilidad económica, como el VPN (Valor Presente Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno).

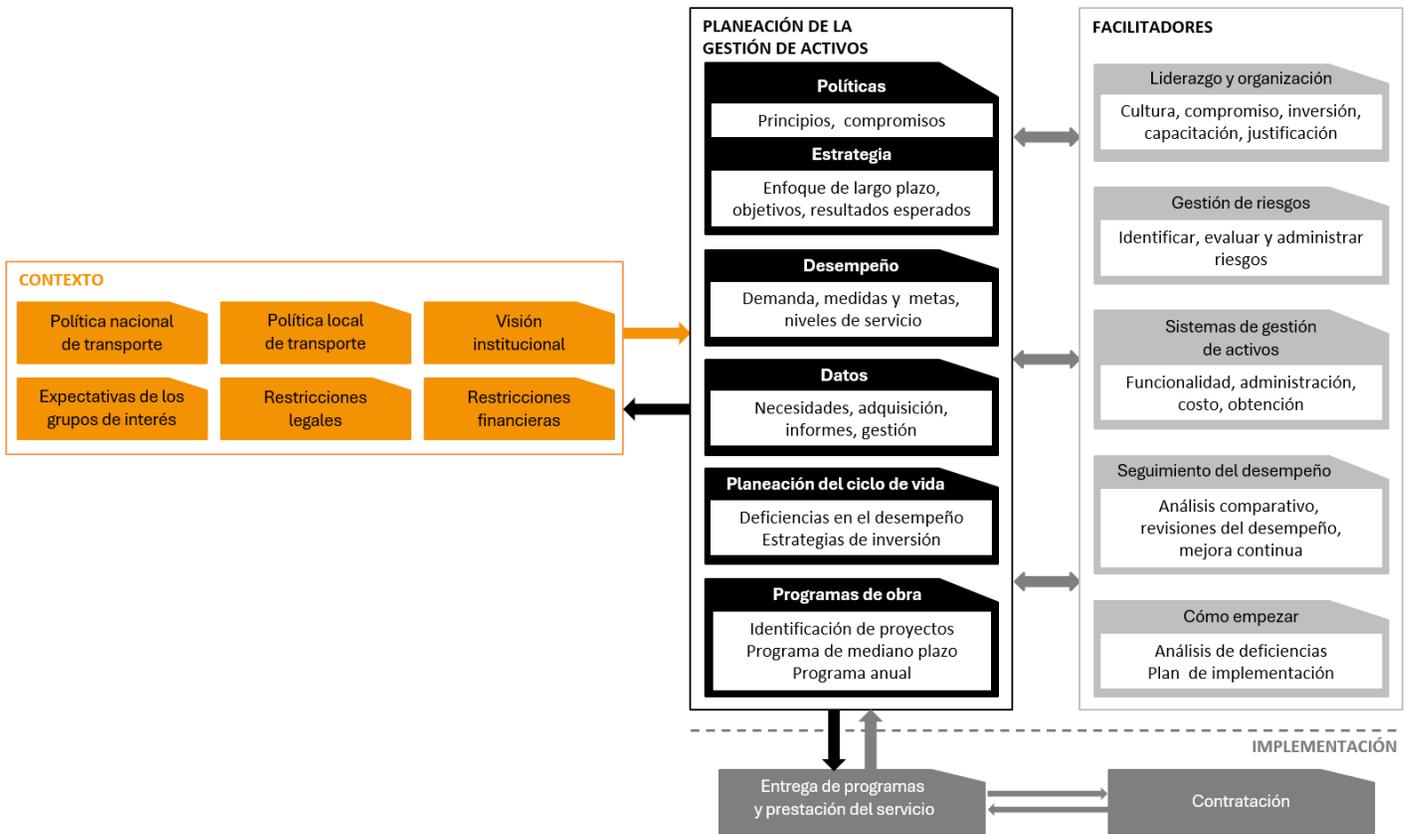
Segmento	Obras por año									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1-A-001	FR5								MIC	
1-B-001	REC									FR5
1-A-002		FR5								MIC
1-B-002		FR5							MIC	
1-A-003	REC									
1-B-003		FR5							MIC	
1-A-004					FR5					
1-B-004						FR5				

Figura 5. Programa de actividades de intervención en HDM-4.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.1 Marco de gestión de activos

La comprensión del enfoque de gestión de activos se evidencia en un marco con tres bloques fundamentales: contexto, planificación de la gestión de activos y facilitadores, tal como se muestra en la Figura 6 y se describe a continuación (UKRLG y HMEP, 2013):



**Figura 6. Marco de gestión de activos**

**Fuente: UKRLG & HMEP (2013).**

El primer bloque aborda restricciones legales, institucionales y de grupos de interés en el transporte vial, incluyendo directrices de los instrumentos de planeación nacional, legislación, restricciones financieras y requerimientos de los distintos grupos de usuarios.

El segundo bloque se enfoca en elementos clave del marco, detallando un proceso integral que comprende la definición de políticas y de una estrategia de largo plazo (10 o más años), incluyendo la definición de políticas, programas plurianuales y anuales, y mecanismos para desarrollar y ejecutar proyectos. Implica análisis de ciclo de vida con datos de calidad que reflejen atributos físicos y operacionales de activos, junto con la creación de un marco para evaluar el desempeño organizacional.

El tercer bloque engloba un conjunto de previsiones institucionales, procedimientos y herramientas esenciales para la aplicación eficiente del marco. Incluye compromisos de alto nivel de la organización para la adopción efectiva del enfoque de gestión de activos, sistemas informáticos y procesos de seguimiento del desempeño. Estos elementos, junto con el análisis inicial de deficiencias y el plan de implementación de la gestión de activos, facilitan la autoevaluación continua de la organización, buscando mejorar la madurez de sus procesos de gestión.

### 2.1.2 Nivel de madurez

La capacidad de una organización en la gestión de activos, así como en áreas como BIM u otros procesos y tecnologías organizacionales, se puede evaluar mediante una escala de niveles de madurez. En este contexto, el manual de gestión de activos de PIARC presenta una escala de tres niveles, como se detalla en la Tabla 1 (PIARC, 2017).

### 2.1.3 Proceso de gestión de activos

Según BSI Smart Building (2020), se identifican seis procesos clave para definir y comprender la gestión de activos:

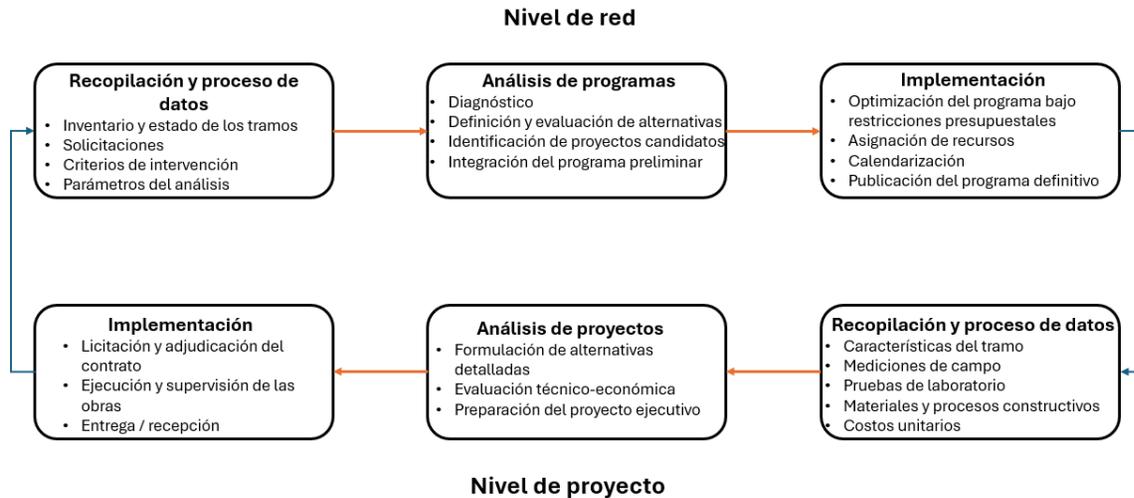
- Estrategia y planificación de la gestión de activos
- Planificación específica de la gestión de activos
- Actividades relacionadas con el ciclo de vida de los activos
- Gestión del conocimiento sobre los activos
- Organización y gestión de recursos humanos
- Revisión y evaluación de riesgos

El proceso de gestión de activos busca, entre sus objetivos principales, identificar y abordar las necesidades de conservación, mejora y permite la expansión de conjunto de tramos viales gestionados por una organización en un periodo determinado. Este proceso opera en dos niveles: a nivel de red y a nivel de

proyecto (Solorio, 2023). En ambos niveles se realiza un análisis del ciclo de vida, y la Figura 7 muestra la información necesaria para ambos procesos.

**Tabla 1. Escala de madurez de PIARC para gestión de activos.**

Nivel propuesto	Descripción
<b>Básico</b>	La organización tiene una experiencia limitada, se encuentra en una etapa de desarrollo y percibe en gran medida la gestión de activos como un problema de costos. No existe apoyo efectivo proveniente de una estrategia, de procesos institucionales o de herramientas. Puede existir una falta de motivación para la mejora.
<b>Competente</b>	La organización puede explicar cómo gestiona sus activos y determinar su propio nivel de desempeño. Se ha definido claramente una estrategia y se han implementado procesos y herramientas. Se presta mayor atención al valor y a la contribución de los activos en términos de confiabilidad y desempeño.
<b>Avanzado</b>	La organización controla su actividad mediante procesos institucionales. Define requisitos y mantiene una retroalimentación permanente para asegurar que se cumplan. Es capaz de aprender y de adaptarse a nuevas condiciones y no solo utiliza la experiencia para abordar los problemas, sino que modifica su manera de proceder. La estrategia, procesos y herramientas de gestión de activos se evalúan y se mejoran rutinariamente.



**Figura 7. Coordinación de la gestión de activos a nivel de red y de proyecto.**

**Fuente: Haas *et al.* (1994).**

### 2.1.3.1 Nivel de red

A nivel de red, implica un análisis integral de las deficiencias de desempeño en los tramos de interés y la asignación eficiente de recursos para corregirlas. Se emplean procedimientos de optimización que consideran la contribución de cada tramo a los objetivos organizativos. Este análisis genera una lista de proyectos candidatos con sus respectivos montos de inversión y un cronograma de intervención (un programa de obra) (Solorio, 2023). Algunas características en el análisis a nivel de red son las siguientes:

- Se estima el estado presente y futuro de la red
- Incluye pronósticos de las necesidades presupuestales de corto y largo plazo
- Integra y jerarquiza una lista de proyectos candidatos
- Utiliza información de menos detalle

### 2.1.3.2 Nivel de proyecto

A nivel de proyecto, se centra en tramos específicos con un diagnóstico detallado de la situación actual, la elaboración de un proyecto ejecutivo acorde al

programa de obra, la ejecución de las obras y el seguimiento según el mismo programa (Solorio, 2023). Algunas características en el análisis a nivel de red son las siguientes:

- Cada proyecto se analiza en detalle
- Se elige individualmente la alternativa de intervención más factible
- No se toman en cuenta las necesidades de otros proyectos
- Los ingenieros han sido principalmente formados a trabajar en el nivel de proyecto

#### 2.1.4 Herramientas computacionales de gestión de activos

El Manual de Gestión de Activos de PIARC, menciona que una herramienta de gestión de activos es un software profesional utilizado por una organización vial para aplicar un enfoque lógico a la gestión de activos. No se refiere a una organización ni a una serie de prácticas. Este software ayuda a la organización a desarrollar estrategias o escenarios de mantenimiento e inversión, así como a procesar y almacenar datos y crear visualizaciones gráficas (PIARC, 2023). En la Tabla 2 se muestran distintas herramientas de gestión desarrolladas en el mundo.

**Tabla 2. Herramientas de gestión en el mundo**

<b>SISTER</b>	Herramienta de gestión desarrollada en Francia
<b>HDM-4</b>	Herramienta de gestión desarrollada por la Universidad de Brimingham (Reino Unido) y patrocinada por distintos gobiernos e organismos internacionales
<b>SIMAP</b>	Herramienta de gestión desarrollada en México por el Instituto Mexicano del Transporte
<b>ORAGE</b>	Herramienta de gestión desarrollada en Francia
<b>MAGICA</b>	Herramienta de gestión desarrollada en España
<b>ICARO</b>	Herramienta de gestión desarrollada por Grupo Rauros

Así mismo, tal como se ha comentado previamente, la gestión y conservación de infraestructuras viales requiere datos detallados sobre intervenciones y el estado actual de los activos. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (GIS) son cruciales para el manejo eficiente de esta información. Es relevante destacar la sinergia entre la metodología BIM y los SIG (*GeoBIM*), que fortalece la integración de datos tridimensionales y geoespaciales, mejora la toma de decisiones en la gestión de infraestructuras viales (Carneiro et al., 2018).

#### 2.1.4.1 HDM-4

La herramienta computacional HDM-4, por sus siglas en inglés *Highway Development and Management Model*, es una herramienta utilizada para analizar, gestionar y evaluar las acciones de conservación y las decisiones de inversión del activo vial. Esta herramienta se centra en el análisis del ciclo de vida del pavimento, permitiendo generar predicciones durante el periodo de planificación al respecto (PIAR, 2023):

- El deterioro del pavimento
- Los impactos de actividades de conservación y mejora
- Los efectos para los usuarios de las carreteras
- Las consecuencias socioeconómicas y medioambientales

En la fase de operación, la herramienta computacional HDM-4 de la PIARC se ha destacado por su utilidad en la gestión de pavimentos. No obstante, su falta de actualización reciente limita a las organizaciones viales a lograr la interoperabilidad de la información. En consecuencia, se pueden proponer diversos casos de estudio que exploren la integración de varias herramientas de gestión de activos, con el objetivo de facilitar la interoperabilidad de la información, tal como se pretende abordar en la presente propuesta de investigación en relación con BIM.

En este sentido, el presente estudio emplea el marco de gestión de activos para definir estrategias de conservación vial, utilizando HDM-4 como software de ejemplo en un caso práctico. Sin embargo, la propuesta y metodologías planteadas no se limita al uso de un software específico, sino que busca la vinculación de BIM como un sistema de gestión de información a lo largo del ciclo de vida del activo y un sistema de gestión de activos para definir los procesos como un sistema integral para la conservación estratégica y financiera del activo vial.

#### 2.1.5 Indicadores económicos

En esta sección se presenta la determinación de los indicadores de rentabilidad necesarios para evaluar la factibilidad económica de implementar el programa de conservación multianual en este estudio, como son el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación beneficio/costo (Morín et al., 2017), las cuales se describen a continuación:

- Valor Presente Neto (VPN)

Suma de los beneficios netos actualizados de la inversión. Una inversión que es rentable siempre que:  $VPN > 0$ . A mayor VPN, mayor rentabilidad.

$$VPN_j = \sum_{n=1}^N \frac{B_{jn} - C_{jn}}{(1 + r)^n}$$

VPN<sub>j</sub>: Valor presente neto de la alternativa j.

N: Año de análisis (n = 1, 2, ... , N).

B<sub>jn</sub>: Beneficio de la alternativa j en el año n en relación con la alternativa base.

C<sub>jn</sub>: Costo de la alternativa j en el año n en relación con la alternativa base

r: Tasa de actualización o descuento.

- Relación beneficio / costo

Elimina el sesgo del VPN hacia los proyectos de mayor tamaño. No proporciona información sobre la magnitud de los costos o beneficios.

$$RBC_j = \frac{VPN_j}{C_j}$$

RBC<sub>j</sub>: Relación beneficio / costo de la alternativa j.

VPN<sub>j</sub>: Valor presente neto de la alternativa j.

C<sub>j</sub>: Costo total actualizado de la alternativa j.

- Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de actualización con la que VPN = 0. Una inversión rentable siempre que: TIR > r. Como RBC, no proporciona información sobre la magnitud de los flujos. No tiene solución única y puede reflejar distorsiones en la estimación de los costos.

$$\sum_{n=1}^N \frac{B_{jn} - C_{jn}}{(1 + TIR_j)^n} = 0$$

TIR<sub>j</sub>: Tasa interna de retorno de la alternativa j.

## 2.2 La metodología BIM

La metodología BIM (siglas en inglés de *Modelización de la Información para la Construcción ó Building Information Modeling*) tal y como la define la Norma Nacional de Modelización de Información para la Construcción de los EUA (NIBS, 2013), es una representación de las características físicas y funcionales de la infraestructura, en la que BIM es un recurso de conocimiento compartido sobre la información de la infraestructura que constituye una base fiable para la toma de decisiones durante su ciclo de vida desde el diseño, construcción, mantenimiento y operación hasta su demolición.

Por otro lado, la ISO 19650 define BIM como una metodología de gestión de la información en proyectos de construcción y operación de los activos a lo largo de su ciclo de vida. Destacando la implementación de modelos digitales, la interoperabilidad de la información de todos los agentes involucrados en un proyecto y optimizando la eficiencia del manejo de la información del activo.

Así mismo, la ISO 19650 establece un marco estructurado para organizar la información del activo a través de un Entorno Común de Datos (CDE, *Common Data Environment*), permitiendo que todas las partes interesadas colaboren con datos precisos, coordinados y accesibles. Esto a su vez, facilita una toma de decisiones del activo durante todas las fases del ciclo de vida del activo: diseño, planeación, construcción, operación y mantenimiento hasta su demolición (Figura 8).



**Figura 8. Fases de un proyecto BIM.**

**Fuente: BSI. SmartBuilding (2020).**

A diferencia de la percepción común que asocia BIM exclusivamente con software de diseño o modelos tridimensionales, BIM es en realidad una metodología integral de gestión de la información. Esta metodología se sustenta en políticas, procedimientos y procesos definidos. Los softwares de modelado y gestión de información son herramientas que facilitan su implementación, pero no determinan los procesos propios de BIM (BSI Smart Building, 2020).

De acuerdo con Costin *et al.* (2018), en el desarrollo y la utilización de tecnologías innovadoras en el sector del transporte, se han adoptado muchas de las tecnologías y métodos probados del sector de la construcción como BIM, sin embargo, existe una confusión cuando se implementa BIM, ya que se percibe únicamente como un modelo 3D de una instalación con características y funciones añadidas.

Como respuesta, NIBS (2013) menciona que BIM es la colaboración de distintas partes interesadas en diferentes fases del ciclo de vida de una instalación para insertar, extraer o actualizar la información con el fin apoyar y reflejar las funciones de cada parte interesada. En este contexto, BIM es una representación digital compartida basada en estándares abiertos para la interoperabilidad.

Por otro lado, BSI (2020) señala que BIM nace de una estrategia corporativa para reducir los riesgos de incumplimiento de los objetivos estratégicos fijados para una inversión en un activo. En la estrategia, BIM no se refiere a la entrega de un proyecto (ya sea en CAD o como un modelo tridimensional), sino a una nueva forma de diseñar, construir y gestionar los activos en la que BIM proporciona garantías a los propietarios.

La metodología BIM ha sido ampliamente aplicada en la industria de la construcción desde hace tiempo, sin embargo, su adopción y aplicación en el ámbito de la infraestructura del transporte han sido lentas en relación las correspondientes a edificaciones o proyectos arquitectónicos. Es importante destacar que aún se requiere mayor adaptabilidad de BIM para este tipo de infraestructura (Costin et al., 2028).

De acuerdo con la norma ISO 19650, *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM)*, la aplicación de BIM es el uso de un modelo de información de un activo construido para facilitar procesos de diseño, construcción y operación, y proporcionar una base confiable para la toma de decisiones (BSI, 2021).

Building Smart (BSI, 2021) define mediante la norma internacional previamente referida los siguientes resultados de una óptima aplicación de BIM:

- Definición clara y precisa de la información necesaria para el propietario del activo, así como de los métodos, procesos, plazos y protocolos de desarrollo y verificación de esta información.

- Que la cantidad y calidad de la información desarrollada sea la suficiente para satisfacer las necesidades definidas.
- Transferencia eficiente y efectiva de la información entre los distintos agentes que participan en cada parte del ciclo de vida del activo, especialmente entre la fase de desarrollo y la de operación.

La norma ISO 19650 es aplicable para todos los que intervienen en los diferentes procesos de gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de un activo, como se muestra en la Figura 9. La gestión de la información abarca dos fases: la fase de suministro y la fase de operación (BIS, 2021). En lo que concierne a este proyecto, se abordará el proceso de gestión de la información que correspondiente a la fase de operación del activo.



**Figura 9. Gestión de la información a lo largo del ciclo de vida del activo.**

**Fuente: Elaboración propia.**

De acuerdo con el Departamento de Transporte y Carreteras Principales de Queensland, Australia (TMR, 2017), los beneficios que conlleva BIM en su incorporación según la normativa internacional ISO 19650 son las siguientes:

- Mejora de la eficacia y la calidad en la obtención y gestión de la información con un proceso coherente que facilita a los consultores y contratistas responder a los requisitos BIM del departamento y mejorar la evaluación.
- Alineación de los enfoques de modelización con las expectativas de los proveedores en la que se impulsa la coherencia, se incrementa la velocidad de entrega y se mejora la calidad de los resultados del proyecto.

- Se evitan la espera y búsqueda de la información, la producción excesiva de información sin un uso definido y las dificultades relacionadas con la validación y actualización de la información.
- Se evitan también defectos causados por una mala correspondencia entre conjuntos de datos gráficos y no gráficos, lo que resulta en retrabajos.

### 2.2.1 Dimensiones de BIM

A medida que la tecnología BIM ha evolucionado a través del tiempo, se han implementado dimensiones de BIM, desde el 2D hasta el 7D que ofrecen una perspectiva completa del ciclo de vida de un proyecto de construcción como se muestra en la Figura 10. Estas dimensiones mejoran la eficiencia y precisión en el ciclo de vida de la infraestructura que va desde la planeación, diseño, construcción, operación/conservación y finalmente el desmantelamiento de la infraestructura si esta se requiere. Las dimensiones de BIM son las siguientes (BibLus, 2023):



Figura 10. Las dimensiones de BIM: 3D, 4D, 5D, 6D y 7D.

Fuente: Elaboración propia.

La dimensión 2D, se utiliza BIM principalmente como una herramienta de representación gráfica en dos dimensiones como los dibujos CAD. Consiste en dibujos técnicos y planos generados a partir de modelos 3D.

La dimensión 3D se centra en el desarrollo de modelos digitales tridimensionales que contienen información sobre la geometría y la ubicación de los elementos de construcción.

La dimensión 4D contempla la programación de obra en el tiempo del modelo 3D, lo que ayuda en la planificación y gestión de proyectos. A su vez, se permite identificar posibles conflictos y retrasos en el cronograma antes de que ocurran.

La dimensión 5D permite la generación de presupuestos y la gestión de los costos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, teniendo como resultado la mejora en la toma de decisiones y la gestión financiera.

La dimensión 6D se enfoca en la sostenibilidad y el rendimiento energético del proyecto, permitiendo tomar decisiones informadas para reducir el impacto ambiental y los costos operativos a lo largo del tiempo. La dimensión 7D se centra en la gestión de activos y la operación de la infraestructura. Incluye datos relacionados con el mantenimiento, el ciclo de vida de los activos y la gestión de instalaciones. Si bien este proceso ha sido más enfocado en edificaciones y proyectos arquitectónicos, el desarrollo del proyecto se centrará en la 7D aplicado a la gestión de activos viales.

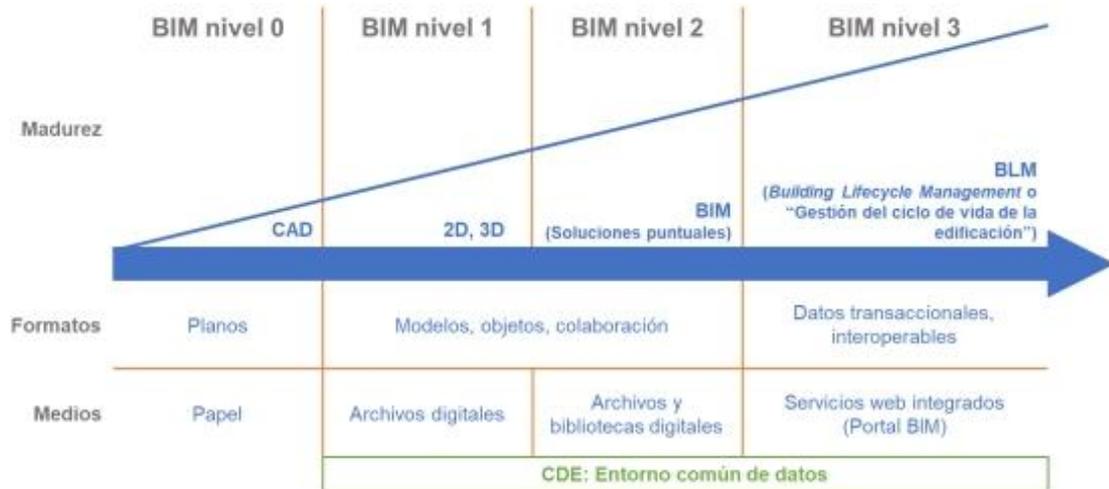
En el presente estudio, se aborda la dimensión 7D de BIM, enfocándose en la vinculación y adaptación de la gestión de activos tradicional a un entorno BIM para la infraestructura vial, específicamente para un activo post-construcción y centrado en la fase de operación.

A diferencia de la construcción de edificaciones u otros proyectos arquitectónicos, donde la gestión de activos se gestiona en su mayoría mediante modelos digitales, la infraestructura vial requiere un enfoque diferente. Esto se debe a la mayor complejidad inherente, ya que los modelos digitales deben adaptarse a la variabilidad de los factores que afectan y deterioran la infraestructura del transporte, exigiendo un enfoque más dinámico.

### 2.2.2 Niveles de madurez

De acuerdo con Eastman *et al.* (2011), define el nivel de madurez como la capacidad de una organización o proyecto para utilizar efectivamente la metodología de BIM. El nivel de madurez se clasifica como se muestra en la Figura

11, que indican el grado de adopción y eficiencia en la implementación de BIM. El sistema de niveles de madurez más conocido es el desarrollado por *Building Research Establishment* (BRE) en el Reino Unido, que va desde el Nivel 0 hasta el Nivel 3.



**Figura 11. Niveles de madurez de BIM según PAS 1192.**

**Fuente: Adaptada de ACCA Software (2019).**

### 2.2.3 Interoperabilidad de la información

En el marco de la metodología BIM, Eastman *et al.* (2011) menciona que la interoperabilidad de la información se refiere a la posibilidad de pasar datos entre aplicaciones, permitiendo que distintas partes técnicas y aplicaciones contribuyan en conjunto al trabajo en cuestión; donde este proceso elimina la repetición de datos generados y facilita la automatización y fluidez del trabajo. Uno de los principales modelos de datos de productos de construcción son los *Industry Foundation Classes (IFC)*, para la planificación, el diseño, la construcción y la gestión de activos.

De acuerdo con Eastman *et al.* (2011) los intercambios de datos entre aplicaciones se pueden realizar mediante cuatro formas distintas:

- Enlaces directos y propietarios entre herramientas específicas de BIM
- Formatos de intercambio de archivos propietarios
- Formatos públicos de intercambio de modelos de datos

- Formatos de intercambio basados en XML

#### 2.2.4 Entorno común de datos (ECD)

El *Entorno Común de Datos* (ECD) como lo define la norma ISO 19650, es un espacio compartido donde se almacenan, gestionan y comparten los datos relacionados con un proyecto de construcción utilizando la metodología BIM. Este espacio de trabajo permite que los distintos actores involucrados en el proyecto accedan y colaboren en tiempo real, asegurando la coherencia y la integridad de la información (ISO, 2018).

Por otro lado, la norma PAS 1192-2:2013 define el Entorno Común de Datos (ECD) como una fuente única de información para cualquier proyecto dado, que se utiliza para recopilar, administrar y distribuir todos los documentos de proyectos relevantes aprobados por equipos multidisciplinarios bajo un proceso gestionado (Tabla 3).

Un ECD se basa en sistema de información documental que facilita el intercambio de datos e información entre los participantes del proyecto.

**Tabla 3. Sistema de información documental de un ECD**

<b>Tipo de Información</b>	<b>Requisito de Implementación</b>
<i>Información gráfica</i>	<b>Repositorio de datos.</b> Visualización de la información desde cualquier lugar para todos los participantes.
<i>Información no gráfica</i>	<b>Administración de los Derechos de Acceso.</b> Configuración de los permisos de administración y visualización.
<i>Documentos asociados</i>	<b>Administración de versiones.</b> Cada vez que se realiza un cambio en una actividad de datos en el CDE se crea un nuevo recurso de datos como una nueva versión.
<i>Información general</i>	<b>Administración de estados.</b> Para coordinar la cooperación en un proyecto BIM, el estado de un componente o modelo de datos registrado se puede determinar con la ayuda de su sección funcional o estado de planificación. Estos indican si el conjunto de datos correspondiente se puede usar para lo descrito.

#### 2.2.5 Modelos o gemelos digitales

En la metodología BIM, un gemelo digital se refiere a la representación virtual precisa de los activos, procesos o sistemas para el control y la toma de decisiones. La creación de este modelo digital implica la integración continua de datos en tiempo real provenientes del activo físico con su representación digital en BIM.

En la infraestructura del transporte, se han adoptado gemelos digitales para gestionar la operación y conservación de elementos como túneles, puentes y pavimentos (Figura 12). Estos modelos incorporan la geometría tridimensional de los componentes y una información semántica detallada sobre materiales, funciones y relaciones (Consilvio *et al.*, 2023).

El propósito fundamental de este proceso es mantener una correspondencia exacta entre el activo construido físicamente y su modelo digital, permitiendo así el monitoreo y análisis del desempeño del activo a lo largo de su ciclo de vida (Eastman *et al.*, 2011).



**Figura 12. Gemelo digital de la Autopista México - Querétaro a través del software Autodesk InfraWorks**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.2.6 Roles BIM

En los proyectos BIM, es fundamental establecer equipos de trabajo y definir claramente los roles de todos los involucrados del proyecto a lo largo del ciclo de

vida del activo. Por ello, es necesario analizar cada etapa del ciclo de vida del proyecto BIM y, en cada fase, evaluar la composición y colaboración de los equipos responsables de su desarrollo (es.BIM, 2017).

Tal como establece Smart Building en concordancia con la norma ISO 19650, la implementación de BIM en una organización o proyecto implica asumir nuevas responsabilidades y competencias en la gestión de la información. Dentro de esta metodología, un rol se define como un conjunto de funciones específicas dentro de una organización o proyecto, lo que conlleva tanto la evolución de roles existentes como la creación de nuevos roles especializados en la gestión de la información. En la Figura 13 se presenta la estructura propuesta por Smart Building, basada en la norma ISO 19650, para la asignación de roles a nivel estratégico, táctico y operativo (BSI. Building Smart, 2023).

Nivel		Roles que incorporan BIM	Roles especializados en BIM	Roles que incorporan o especializados en BIM
<b>Estratégico</b> (ámbito organización)		Responsable de la organización	Responsable BIM de la organización	
<b>Táctico</b> (ámbito organización)		Responsable de área	Responsable BIM de área	
<b>Operativo</b> (ámbito proyecto)	<b>Adjudicador</b>	Responsable del activo	Responsable BIM del activo	Técnicos
	<b>Adjudicatario Principal</b>	Responsable del encargo	Responsable BIM del encargo	
	<b>Adjudicatario</b>	Responsable del equipo	Responsable BIM del equipo	

**Figura 13. Estructuración en la generación y asignación de roles BIM.**

**Fuente: BSI. Building Smart (2023).**

### 2.2.7 Herramientas BIM

En la Tabla 4 se presenta una lista de los principales componentes de la metodología BIM, junto con los principales productos disponibles en el mercado para cada uno de ellos.

**Tabla 4. Componentes de herramientas BIM**

<p><b>Entorno Común de Datos (EDC)</b></p>	<p><i>Un Entorno Común de Datos es un entorno digital centralizado donde se concentra, gestiona y comparte todos los datos del proyecto. Permite la colaboración y asegura la interoperabilidad de todas las partes interesadas del proyecto.</i></p> <p><u>Herramientas:</u> Autodesk BIM 360, Trimble Connect, Bentley ProjectWise.</p>
<p><b>Modelo de Información de Construcción (BIM Model)</b></p>	<p><i>Este es el modelo tridimensional que contiene la geometría y la información relacionada del activo, como materiales, costos, cronogramas y otros datos específicos de construcción.</i></p> <p><u>Herramientas:</u> Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, Bentley MicroStation.</p>
<p><b>Formato de Colaboración de la Industria de la Construcción (IFC)</b></p>	<p><i>IFC es un estándar abierto de datos desarrollados por buildingSMART para permitir la interoperabilidad entre distintos softwares de BIM. Este formato permite que los datos de modelos de BIM sean compartidos y utilizados entre diferentes plataformas y herramientas sin pérdida de información.</i></p> <p><u>Otros formatos relacionados</u> son COBie (Construction Operations Building Information Exchange), BCF (BIM Collaboration Format).</p>
<p><b>Análisis y Simulación</b></p>	<p>Son herramientas para la revisión de modelos, detección de conflictos y coordinación de proyectos.</p> <p><u>Herramientas:</u> Autodesk Navisworks, Solibri Model Checker</p>
<p><b>GeoBIM</b></p>	<p>GeoBIM es una integración de BIM con SIG (Sistemas de información geográfica), permitiendo integrar dentro de un entorno geográfico, factores como la topografía, el clima, condiciones del suelo, infraestructuras existentes y riegos naturales.</p> <p><u>Herramientas:</u> Esri ArcGis, Autodesk Infracore.</p>

## 2.3 La vinculación de BIM y la gestión de activos viales

La metodología BIM en la gestión de activos, es viable para mejorar la calidad de la infraestructura y la toma de decisiones a lo largo del ciclo de vida de un activo. En un sistema de gestión de activos el flujo continuo de los datos del activo a través del tiempo es indispensable, y el uso de BIM como una herramienta de gestión de la información constituye una solución viable (Fang *et al.*, 2022). Al lograr una concentración e interoperabilidad de la información a nivel de red de la infraestructura, se optimiza el sistema de gestión de activos para obtener un mayor beneficio económico de los activos carreteros y prolongar la vida útil de la infraestructura.

Por un lado, la FHWA establece la importancia de la centralización de la información en los procesos de gestión de activos, para poder identificar una secuencia estructurada de acciones que permitan alcanzar los objetivos y mantener el estado de conservación deseado durante el ciclo de vida de los activos con el menor costo posible. Mientras que BIM se centra en la concentración e interoperabilidad de la información de todas las partes técnicas del proyecto a lo largo de su ciclo de vida del activo (*Federal Highway Administration*, 2021).

### 2.3.1 Requerimientos de la información

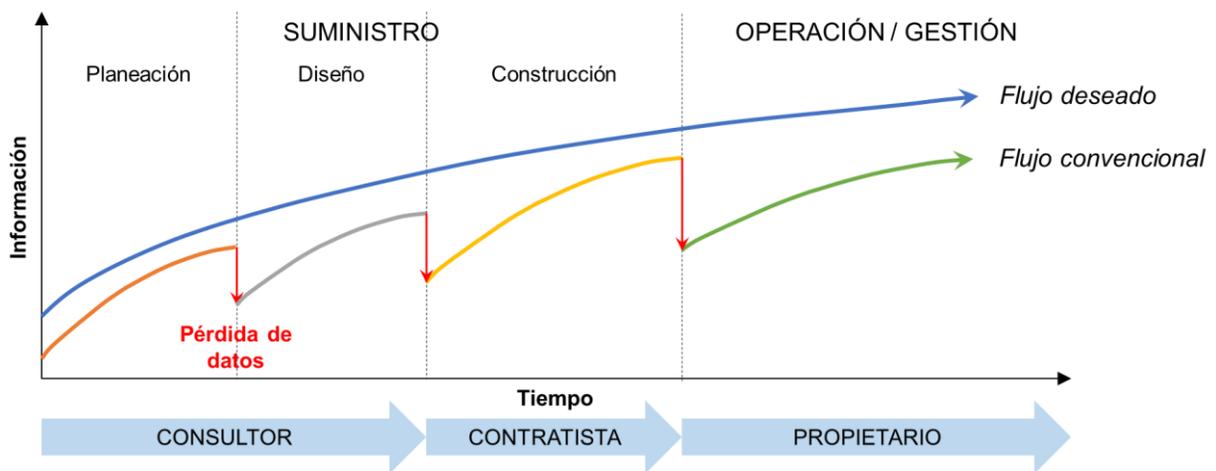
Es importante destacar que la conexión entre los procesos de BIM y la gestión de activos requiere asegurar la interoperabilidad de los datos entre las aplicaciones de BIM y las específicas de las fases de operación y mantenimiento de la infraestructura, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las herramientas de gestión de activos viales.

Al vincular la gestión de activos con BIM, es importante distinguir entre el nivel de red y el nivel de proyecto. Por un lado, BIM se relaciona principalmente a nivel de proyecto, como es el caso de la implementación de la metodología en proyectos de infraestructura vertical, especialmente en la fase de suministro del ciclo de vida de los activos. Por otro lado, a nivel de red, su análisis se enfoca en una

gran cantidad de activos y su enfoque principal es la fase de operación (Solorio, 2023).

Así mismo, se establece la importancia del flujo de información (Figura 14) y la disminución de la pérdida de información durante el ciclo de vida del proyecto por las distintas partes interesadas del mismo. En la que Solorio *et al.* (2023) destaca que la mayor pérdida de información se presenta entre las fases de suministro y la fase de operación del proyecto.

En este contexto, la conversión y transferencia de datos a nivel de proyecto para su uso y análisis es parte de la conexión entre BIM y gestión de activos a nivel de red. Esto requiere la aplicación de estándares de interoperabilidad entre las aplicaciones de BIM y gestión de activos, como se menciona en el apartado 2.2.3.



**Figura 14. Pérdidas de información durante el ciclo de vida de un activo**

**Fuente: Solorio *et al.* (2023).**

### **3. METODOLOGÍA**

En esta sección se expone la parte metodológica que sustenta el estudio, el cual se divide en dos apartados. El primero presenta un esquema general propuesto, en el que se aborda de forma sistemática la vinculación entre la metodología BIM y la gestión de activos. Se destaca que ambos constituyen sistemas de gestión, y que su adopción puede ser integrada por el propietario o responsable del activo, conforme a los procesos previamente definidos en las normas ISO 19650 e ISO 55000.

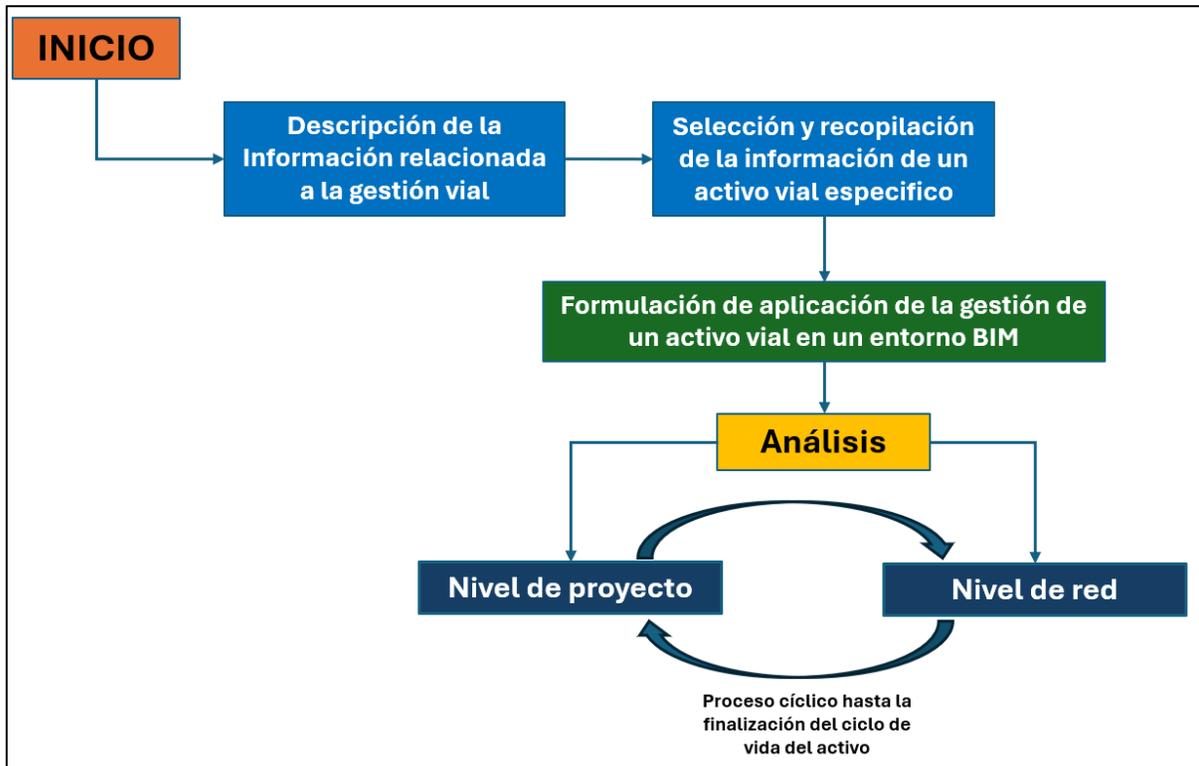
Asimismo, se enfatiza que tanto BIM como la gestión de activos no deben entenderse únicamente como herramientas o softwares, sino como sistemas de gestión orientados a optimizar el uso de la información (en el caso de BIM) y a conservar los activos estratégica y financieramente mediante un desempeño adecuado a lo largo de su ciclo de vida (en el caso de la gestión de activos).

Es importante resaltar que, como se detalló en los antecedentes del presente estudio, la investigación se basa en una propuesta metodológica que integra y compara la metodología BIM con la gestión de activos viales, considerando sus procesos y requisitos. Finalmente, se aplicará dicha metodología y se evaluará la viabilidad de ambos sistemas de gestión mediante un caso de estudio.

Con el objetivo de presentar un esquema general sobre la adopción de ambos procesos, la segunda sección de este apartado ejemplifica la integración de BIM y la gestión de activos viales mediante una propuesta de aplicación. Esta se desarrolla a partir de la selección de un activo. La metodología correspondiente se describe en la Figura 15.

En primer lugar, se llevará a cabo la descripción de la información y selección de un activo vial. Para ello, se utilizará información proporcionada por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones

y Transportes (SICT). La selección del activo vial se centrará en una infraestructura en fase de operación, es decir, un activo en etapa de post-construcción.



**Figura 15. Metodología de la presente investigación.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Posteriormente, se desarrollará la aplicación de BIM en el activo específico. Esta etapa abordará aspectos fundamentales como la integración de la información en un Entorno Común de Datos (ECD), desarrollo de modelos tridimensionales y la interoperabilidad de la información.

Una vez que la información del activo seleccionado se encuentre estructurada dentro de un entorno BIM, se procederá a realizar un análisis de gestión de activos viales a nivel de proyecto y de red. Para ello, se empleará el entorno compartido de información, modelos digitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo una gestión eficiente y coordinada de los activos viales.

### 3.1 Propuesta metodológica de la aplicación de BIM en la gestión de activos viales

La presente sección describe los procesos metodológicos desarrollados para integrar la metodología BIM en la gestión de activos viales. Esta propuesta se estructura en tres etapas clave. La primera consiste en la descripción y recopilación de la información del activo vial seleccionado, lo cual permite establecer una base sólida de datos para su análisis. Posteriormente, se formula el procedimiento de aplicación BIM, que incluye el desarrollo de una base de datos estructurada, su integración en un Entorno Común de Datos (ECD) y la generación de modelos tridimensionales. Finalmente, se plantea un marco de gestión de activos, a través del cual se analiza el activo a nivel estratégico, de red y de proyecto, con el objetivo de evaluar su desempeño y apoyar la toma de decisiones informada y sustentada en datos establecidos previamente en un entorno BIM. Esta propuesta metodológica tiene como objetivo ofrecer al propietario del activo un marco general que le permita evaluar la viabilidad de implementar BIM como sistema integral en la gestión de activos viales.

#### 3.1.1 Descripción de la información utilizada en la gestión vial

En este primer apartado se debe identificar el activo y describir brevemente las diferentes categorías de información involucradas en las etapas de planeación, programación, proyecto, construcción, operación y conservación. Asimismo, debe recopilarse la información correspondiente al activo seleccionado en este estudio, organizándola tanto a nivel de proyecto como de red, tal como se muestra en la Tabla 5.

La recopilación de información sobre los activos es fundamental para su análisis y gestión. Si bien las tecnologías han optimizado estos procesos, la generación de bases de datos extensas no siempre resulta útil para la toma de decisiones (PIARC, 2023).

Por ello, la recolección debe centrarse en la información realmente necesaria, considerando las necesidades específicas de la gestión de activos. Además, es esencial establecer un plan que defina los requerimientos, el tipo de información y la frecuencia de su recopilación, alineado con las políticas y objetivos estratégicos de la organización propietaria del activo o la encargada de su gestión.

**Tabla 5. Clasificación de la información a nivel de red y de proyecto**

<b>Nivel de Red</b>	<b>Nivel de Proyecto</b>
<i>Localización</i>	<i>Metas de desempeño</i>
<i>Estado del Activo</i>	<i>Inventario</i>
<i>Tránsito</i>	<i>Mediciones del estado físico</i>
<i>Parámetros climáticos</i>	<i>Tránsito</i>
<i>Historial de intervenciones</i>	<i>Información climatológica</i>
<i>Empresas consultoras</i>	<i>Historial de intervenciones</i>
<i>Alternativas de proyecto</i>	<i>Indicadores de desempeño</i>
<i>Empresas proyectistas</i>	<i>Resultados de análisis de ciclo de vida</i>
<i>Datos de proyecto: Diseño Geométrico</i>	<i>Presupuestos</i>
<i>Datos de proyecto: Diseño Estructural</i>	<i>Proyectos candidatos</i>
<i>Indicadores de rentabilidad</i>	<i>Programa de obra plurianuales</i>
<i>Empresas constructoras y supervisoras</i>	<i>Contratos</i>
<i>Contratos</i>	<i>Ejecución del programa de conservación</i>

### 3.1.2 Formulación del procedimiento de aplicación BIM

En este segmento se enfoca específicamente en la incorporación del procedimiento de aplicación de BIM en relación con el objetivo general de la presente investigación. Con esta sección, se busca proporcionar lo siguiente:

- Implementar la metodología BIM a mediano plazo como parte de las herramientas disponibles para la gestión de activos.
- Identificar las partes interesadas involucradas de una u otra manera en actividades relacionadas con la gestión de activos a cargo de una organización.
- Descripción de los actuales procesos institucionales y migrarlos gradualmente al entorno de BIM.
- Resaltar la importancia de la interoperabilidad de la información en la aplicación de BIM, en lo referente a aspectos normativos y la implementación de un CDE.
- Configurar e implementar una plataforma sostenible de tecnologías de la información como apoyo al proceso de implementación de BIM, de acuerdo con la naturaleza, objetivos y capacidad financiera de cada organización.
- Desarrollo del gemelo digital del activo a partir de un IFC.
- Definir las características de los gemelos digitales apropiados para la gestión de activos en los niveles de proyecto y de red.

### 3.1.3 Marco de gestión de activos

La organización carretera, ya sea propietaria del activo o encargada de su gestión, al implementar un sistema de gestión de activos viales, debe garantizar una

conexión clara entre los procesos estratégicos identificados durante la planificación a corto y largo plazo y los programas de construcción y conservación del activo a lo largo de su ciclo de vida (Figura 16) (AASHTO, 2012).



**Figura 16. Ciclo de vida en la gestión de activos viales.**

**Fuente: Elaboración propia.**

De acuerdo con AASHTO (2012), a nivel de estratégico, de proyecto y de red son elementales en la toma de decisiones para asegurar la eficiencia del proceso de gestión de activos viales. En la Figura 17 se muestra la integración de los niveles de decisión de la organización y el proceso de gestión de activos viales.

A nivel estratégico, se definen políticas, metas y objetivos organizacionales y de desempeño de los activos para garantizar una asignación precisa de recursos a nivel de red.

A nivel de red, se toman decisiones clave sobre la asignación de recursos y el establecimiento de programas conservación, rehabilitación o modernización del activo, considerando los impactos de cada inversión mediante el análisis detallado de los activos y garantizar la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

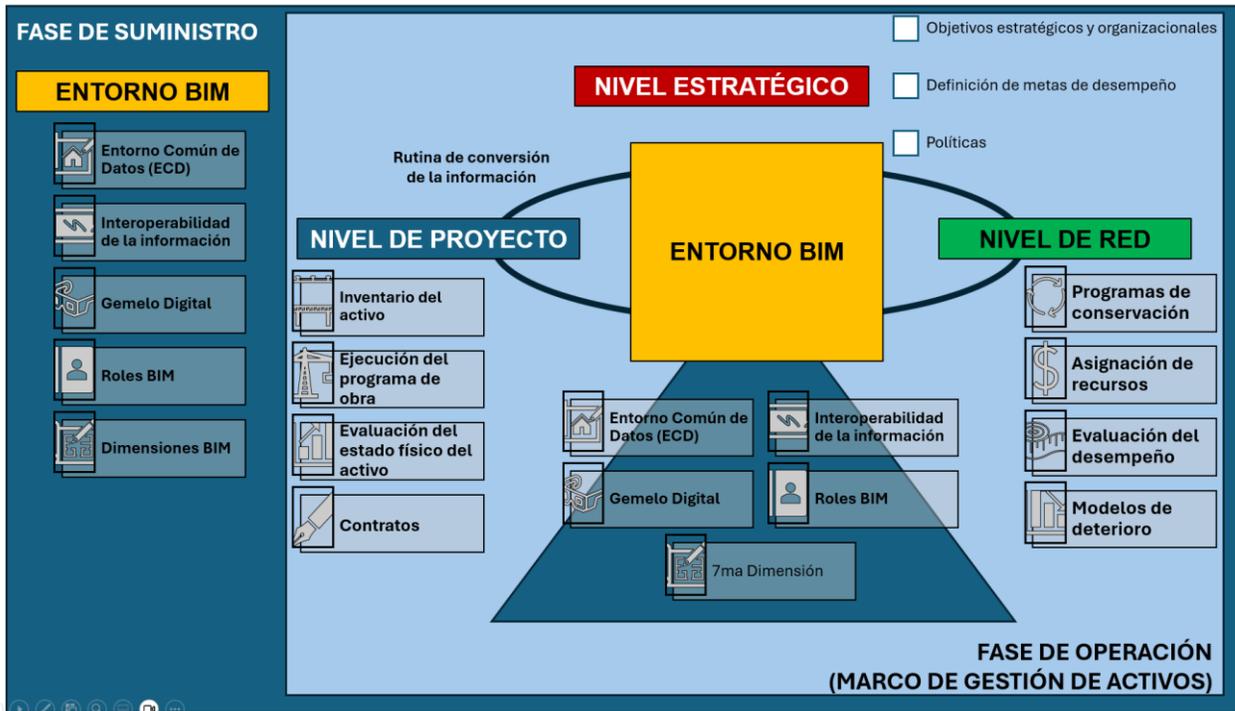
A nivel de proyecto se implementan los programas seleccionados en el campo, asegurando que las acciones concretas estén alineadas con los objetivos estratégicos establecidos, de modo que se logren los resultados deseados en términos de desempeño y calidad del servicio. La integración de decisiones entre estos dos niveles es esencial para coordinar las actividades de conservación y mejora, logrando una gestión más eficiente y efectiva de los activos viales.



Figura 17. Niveles de decisión integradas en un entorno de gestión de activos viales.

Fuente: AASHTO (2012).

En la integración de los niveles de decisión en la gestión de activos viales dentro de un entorno BIM, es fundamental establecer rutinas de conversión para los intercambios de información en BIM, como se indica en la Figura 18. Este proceso es cíclico, tal como se muestra en la *Figura 15. Metodología de la presente investigación*. Se enfatiza en este estudio que la metodología BIM proporciona un entorno para la gestión de la información del activo, mientras que la gestión de activos viales define los procesos a través de sus niveles de decisión.



**Figura 18. Rutina de conversión para el intercambio de información en un entorno BIM dentro de la gestión de activos viales.**

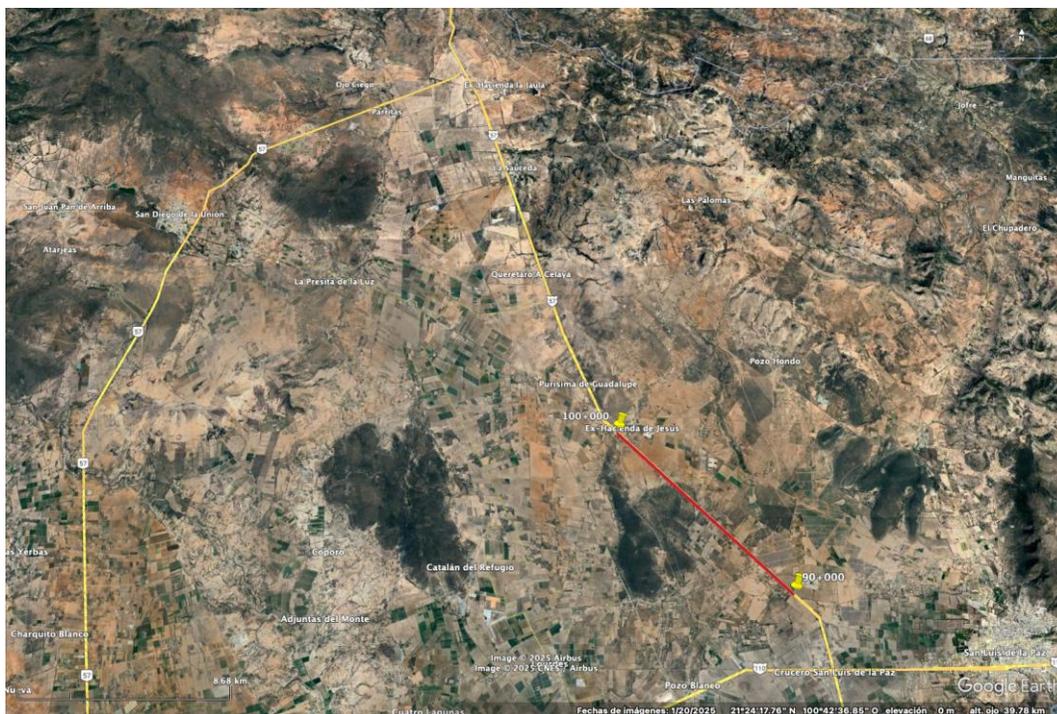
**Fuente: Elaboración propia.**

3.2 Propuesta de aplicación. Caso de estudio: Carretera Querétaro – San Luis Potosí. Tramo San Luis de la Paz – San Diego de la Unión. Cadenamiento: 90+000 – 100+000.

En este apartado se presenta la propuesta de aplicación, previamente ejemplificada, mediante la vinculación entre la metodología BIM y la gestión de activos viales. Los procesos asociados a lo descrito en esta sección son los siguientes:

- Descripción del activo seleccionado
- Formulación del procedimiento de aplicación de BIM del activo seleccionado
- Integración del proceso de gestión de activos viales con la metodología BIM





**Figura 20. Segmento vial seleccionado para el análisis.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Este tramo es de particular interés por su importancia estratégica en la conectividad del país, ya que forma parte del corredor México – Nuevo Laredo, además de sus características específicas de infraestructura vial (Solorio *et al.*, 2024). La selección del subtramo se realizó de manera estratégica con base en los datos proporcionados por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), obtenidos a través de una solicitud formal al Instituto Mexicano del Transporte. Cabe destacar que se mantendrá la confidencialidad de la información proporcionada, conforme a los acuerdos establecidos y serán utilizados únicamente para fines de la presente investigación. La carta de solicitud de la información se incluye en el **Anexo A**.

### 3.2.2 Formulación del procedimiento de aplicación de BIM

En esta sección se aborda la integración y aplicación de la metodología BIM en el activo previamente seleccionado. Es importante destacar que, al tratarse de

un activo ya construido y actualmente en operación, la fase correspondiente es la post-construcción. Generalmente, un proyecto en un entorno BIM inicia desde la fase de suministro (diseño, planeación y construcción), y posteriormente se analiza la gestión del activo de manera aislada durante la fase de operación. En este caso, el procedimiento integra ambos enfoques de la siguiente manera:

- Diseño e integración de la base de datos
- Entorno Común de Datos (ECD)
- Gemelos Digitales o Modelos Tridimensionales

#### *3.2.2.1 Diseño e integración de la base de datos*

Este estudio parte de la recopilación de información del activo, acotada al año base 2023, la cual ha sido estructurada dentro de un entorno BIM, conforme a los pasos establecidos en el apartado 3.1.

Por otro lado, este inciso se enfoca en el diseño simplificado de un modelo relacional de bases de datos para almacenar la información de la red carretera seleccionada, utilizando los estándares de interoperabilidad previamente mencionados. En dicho diseño deberán contemplarse los siguientes objetos:

- Base de datos necesarias para identificar de manera única los tramos de la red.
- Base de datos que almacene la información en distintas categorías relacionadas a los niveles de gestión (proyecto y red).
- La interoperabilidad entre ellas.

Dado que la mayor parte de la información recopilada en el inciso 3.1.1 *Descripción de la información utilizada en la gestión vial* se encuentra en archivos con extensiones (.docx, .xlsx o .pdf), como se muestra en la Figura 21, esta solo

permite la visualización de la información útil para los procesos de este estudio. Esto limita el análisis, la incorporación y la interoperabilidad de los datos en otras herramientas computacionales para la gestión de activos viales o en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Como se ilustra en la Figura 22, la información descrita por año se incorpora en una base de datos con extensión (.mdb o .accdb), lo que facilita su integración y uso en diversos sistemas de análisis.

CLAVE	SENTIDO	CARRIL	De Cad. Carr.	A Cad. Carr.	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION	IRI IZQ.	IRI DER.	IRI PROM.
BC-302-01	1	2	90+000.00	90+020.00	21.312489	-100.604405	1992.815	1.16	1.48	1.32
BC-302-01	1	2	90+020.00	90+040.00	21.312611	-100.604546	1992.950	0.78	1.11	0.95
BC-302-01	1	2	90+040.00	90+060.00	21.312735	-100.604686	1992.950	0.91	1.25	1.08
BC-302-01	1	2	90+060.00	90+080.00	21.312858	-100.604827	1992.639	0.83	0.84	0.84
BC-302-01	1	2	90+080.00	90+100.00	21.312983	-100.604967	1992.713	0.64	1.04	0.84
BC-302-01	1	2	90+100.00	90+120.00	21.313108	-100.605106	1992.726	0.98	0.90	0.94
BC-302-01	1	2	90+120.00	90+140.00	21.313235	-100.605243	1992.681	1.10	1.11	1.11
BC-302-01	1	2	90+140.00	90+160.00	21.313364	-100.605378	1992.950	0.93	0.94	0.94
BC-302-01	1	2	90+160.00	90+180.00	21.313488	-100.605518	1993.155	1.20	1.48	1.34
BC-302-01	1	2	90+180.00	90+200.00	21.313612	-100.605658	1993.194	0.69	0.81	0.75
BC-302-01	1	2	90+200.00	90+220.00	21.313735	-100.605799	1992.950	1.11	0.83	0.97
BC-302-01	1	2	90+220.00	90+240.00	21.313862	-100.605937	1993.240	0.76	1.03	0.90
BC-302-01	1	2	90+240.00	90+260.00	21.313988	-100.606075	1993.715	1.32	1.07	1.20
BC-302-01	1	2	90+260.00	90+280.00	21.314112	-100.606215	1993.910	1.49	1.56	1.53

Figura 21. Visualización de información en formato de archivo (.xlsx).

Fuente: Elaboración propia.

Id	ClaveCarr	Año	Sentido	Carril	CadIni	CadFin	IRI IZQ.	IRI DER.	IRI PROM.	Latitud	Longitud
9739	00165	2023	1	2	90+000.00	90+020.00	1.16	1.48	1.32	21.312489	-100.604405
9740	00165	2023	1	2	90+020.00	90+040.00	0.78	1.11	0.95	21.312611	-100.604546
9741	00165	2023	1	2	90+040.00	90+060.00	0.91	1.25	1.08	21.312735	-100.604686
9742	00165	2023	1	2	90+060.00	90+080.00	0.83	0.84	0.84	21.312858	-100.604827
9743	00165	2023	1	2	90+080.00	90+100.00	0.64	1.04	0.84	21.312983	-100.604967
9744	00165	2023	1	2	90+100.00	90+120.00	0.98	0.90	0.94	21.313108	-100.605106
9745	00165	2023	1	2	90+120.00	90+140.00	1.10	1.11	1.11	21.313235	-100.605243
9746	00165	2023	1	2	90+140.00	90+160.00	0.93	0.94	0.94	21.313364	-100.605378
9747	00165	2023	1	2	90+160.00	90+180.00	1.20	1.48	1.34	21.313488	-100.605518
9748	00165	2023	1	2	90+180.00	90+200.00	0.69	0.81	0.75	21.313612	-100.605658
9749	00165	2023	1	2	90+200.00	90+220.00	1.11	0.83	0.97	21.313735	-100.605799
9750	00165	2023	1	2	90+220.00	90+240.00	0.76	1.03	0.90	21.313862	-100.605937
9751	00165	2023	1	2	90+240.00	90+260.00	1.32	1.07	1.20	21.313988	-100.606075
9752	00165	2023	1	2	90+260.00	90+280.00	1.49	1.56	1.53	21.314112	-100.606215
9753	00165	2023	1	2	90+280.00	90+300.00	1.67	2.28	1.98	21.314237	-100.606353
9754	00165	2023	1	2	90+300.00	90+320.00	0.97	1.55	1.26	21.314365	-100.606489
9755	00165	2023	1	2	90+320.00	90+340.00	1.64	1.34	1.49	21.314492	-100.606627
9756	00165	2023	1	2	90+340.00	90+360.00	1.14	1.19	1.17	21.314615	-100.606769
9757	00165	2023	1	2	90+360.00	90+380.00	1.58	1.22	1.4	21.314737	-100.60691
9758	00165	2023	1	2	90+380.00	90+400.00	1.4	0.9	1.15	21.31486	-100.607051
9759	00165	2023	1	2	90+400.00	90+420.00	1.42	1.35	1.39	21.314984	-100.607192
9760	00165	2023	1	2	90+420.00	90+440.00	1.28	0.83	1.06	21.315113	-100.607326
9761	00165	2023	1	2	90+440.00	90+460.00	1.26	1.64	1.45	21.31523	-100.607473

Figura 22. Integración de la información en una base de datos.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.2 Entorno Común de Datos (ECD)

El *Entorno Común de Datos (ECD)* seleccionado para la implementación del procedimiento de aplicación de BIM en la gestión de activos viales es la plataforma *Trimble Connect*. Esta herramienta proporciona un espacio centralizado y colaborativo que cumple con los estándares establecidos por la norma ISO 19650, promoviendo la interoperabilidad de la información de los proyectos.

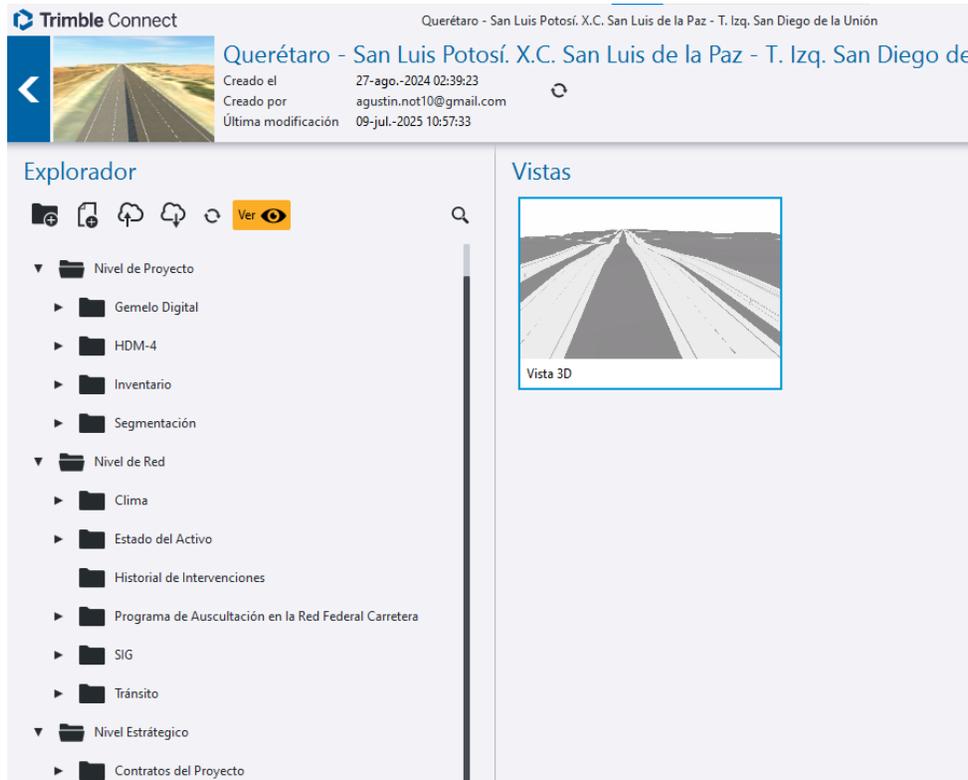
El *Entorno Común de Datos* seleccionado se distingue de otras plataformas similares al ofrecer funcionalidades que no solo facilitan el análisis de nivel de proyecto, sino que también permiten una gestión integral del activo a nivel de red. Este enfoque es crucial para la gestión de activos viales, ya que requiere la concentración de información a gran escala, abarcando múltiples proyectos y redes viales, optimizando así la toma de decisiones a largo plazo.

Entre las principales características de Trimble Connect se encuentran:

- Centralización de la información
- Interoperabilidad de la información
- Colaboración en tiempo real
- Gestión avanzada del ciclo de vida del activo

En la Figura 23 se presenta la interfaz del Entorno Común de Datos utilizado en este proyecto, donde se puede visualizar la estructura y organización de la información concentrada. Esta interfaz incluye los datos descritos en la *Tabla 5. Clasificación de la información a nivel de red y de proyecto*, así como la información mencionada en los apartados *3.1.1 Descripción de la información utilizada en la gestión vial* y *3.2.1 Diseño e integración de la base de datos*.

La selección de Trimble Connect no solo responde a la necesidad de cumplir con los estándares internacionales, sino que también ofrece una solución sostenible y escalable acorde con los objetivos planteados en esta investigación.



**Figura 23. Interfaz parcial del Entorno Común de Datos implementado en la metodología BIM aplicado a la gestión de activos viales.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.2.3 *Gemelo Digital*

Durante esta fase, se realiza la integración del gemelo digital del activo seleccionado para representar y procesar información del activo a nivel de proyecto. El objetivo es respaldar diversas actividades relacionadas con el suministro del activo, abarcando desde el anteproyecto hasta la construcción del activo y posteriormente vincularlo a la fase de operación.

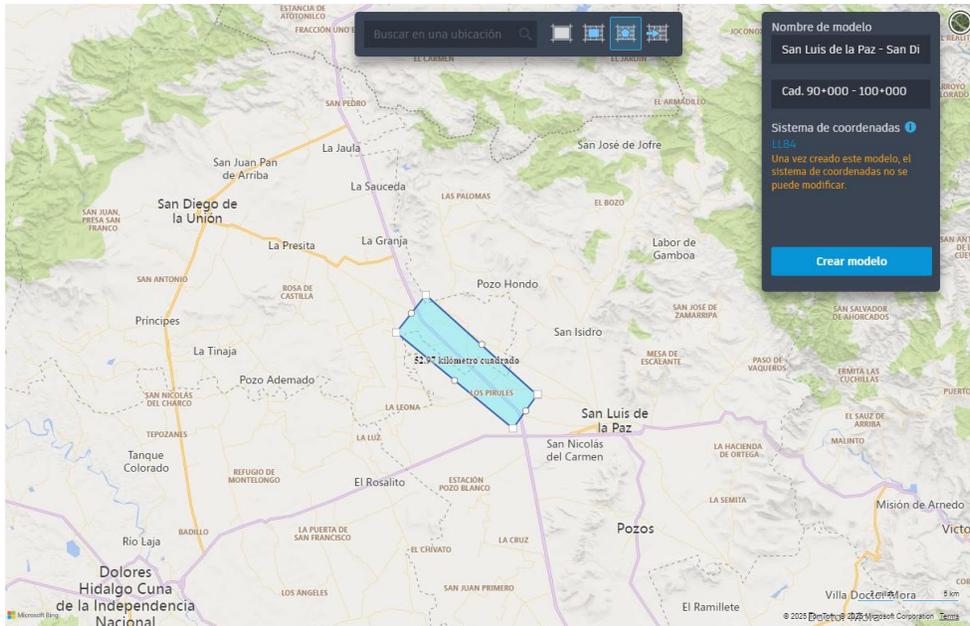
En este contexto, y dado que el activo seleccionado se encuentra en su etapa post-construcción o posterior a su fase de suministro, se utilizó la herramienta computacional Infracore, desarrollada por Autodesk, para recrear el gemelo digital del activo (Figura 24). La integración de Infracore con los Sistemas de Información Geográfica (Figura 25) permite realizar un análisis óptimo de la infraestructura vial, abarcando aspectos como la topografía, terraplenes, cortes, túneles, puentes, proyecto geométrico, obras de drenaje, hidrología del sitio, entre otros (Frito, O. B., 2024).

Finalmente, se llevó a cabo la conversión del Gemelo Digital a un estándar de interoperabilidad, como el IFC, lo que permitió su integración dentro del Entorno Común de Datos (Figura 26). Esto estableció un estándar de interoperabilidad para el modelo tridimensional, facilitando su colaboración entre las distintas partes interesadas del proyecto y el uso de diversas herramientas computacionales para el análisis e incorporación de elementos adicionales al modelo.



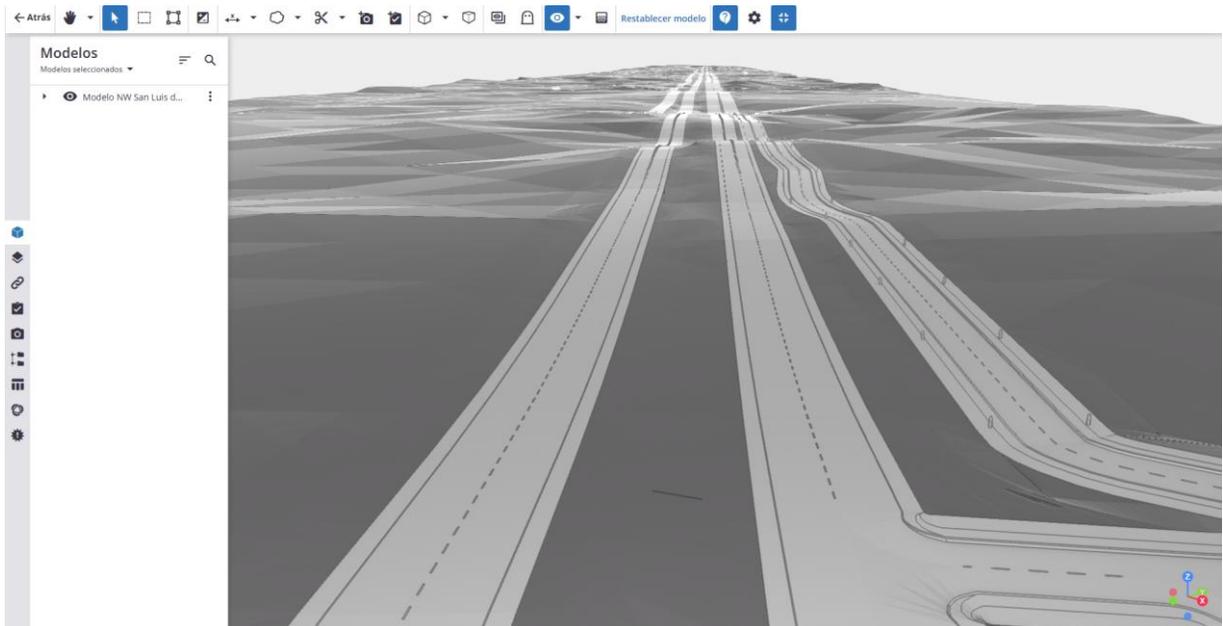
**Figura 24. Vista conceptual del Gemelo Digital del activo seleccionado.**

**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 25. Concepción del Gemelo Digital a partir de un Sistema de Información Geográfica (SIG).**

**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 26. Vista del gemelo digital desde el Entorno Común de Datos.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.3 Nivel Estratégico

En esta sección se presenta la información recopilada del activo seleccionado, correspondiente al análisis del nivel estratégico para su gestión. Conforme a lo previamente descrito, se establecen las metas, objetivos y políticas organizacionales del propietario del activo o del responsable de su administración.

En cuanto al activo en cuestión, este se encuentra bajo la responsabilidad de un concesionario privado, en el marco del Programa de Asociación Público-Privada (APP) de Conservación Plurianual de la Red Federal de Carreteras, específicamente en el proyecto Querétaro–San Luis Potosí (APP Querétaro–San Luis Potosí). Este modelo representa una colaboración entre el sector público y uno o varios inversionistas privados para diseñar, financiar, construir, operar y mantener 324 km de autopista, bajo un esquema de concesión con una vigencia de diez años (2016–2026). Durante este periodo, el concesionario asume la responsabilidad integral de las actividades de conservación y gestión de todos los activos involucrados.

En lo que respecta al pavimento, el esquema de conservación establece como meta mantener al menos el 90% de la red en un estado físico considerado como “bueno”, conforme a los indicadores de desempeño definidos. Esta meta busca garantizar un nivel de servicio adecuado, priorizando la seguridad y comodidad de los usuarios. La condición de la vía es evaluada anualmente mediante el Programa de Auscultación de la Red Carretera Federal, coordinado por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) en México. Este programa contempla la evaluación de parámetros tanto funcionales como estructurales.

Finalmente, en la Tabla 6 se presenta un resumen general del nivel estratégico del activo, como referencia para los procedimientos a implementar dentro del marco de gestión de activos.

### 3.2.3.1 Metas de desempeño

En el Manual de Gestión de Activos de PIARC (2023), se refiere al desempeño de un activo como un proceso sistemático que permite evaluar la capacidad del nivel de servicio que un activo puede ofrecer.

**Tabla 6. Resumen general del nivel estratégico de la gestión de activos del proyecto seleccionado.**

<b>Aspecto</b>	<b>Detalle</b>
<b>Longitud total</b>	324 km
<b>Delimitación del estudio</b>	Cadenamiento 90+000 al 100+000 (Longitud de 10 km)
<b>Horizonte de concesión</b>	2016 - 2026 (10 años) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2015: Pre-inversión</li> <li>• 2016: Licitación Pública Internacional</li> <li>• 2016 – 2026: Operación del activo por la APP</li> </ul>
<b>Administración de la APP</b>	Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) a través de la Unidad de APP, con un concesionario privado responsable de diseño, financiamiento, operación y mantenimiento de los activos.
<b>Políticas organizacionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cláusulas de desempeño basadas en indicadores medidos</li> <li>• Reservas contractuales para contingencias climáticas y sociales</li> <li>• Revisiones y ajustes periódicos de estándares y esquemas de pago</li> </ul>
<b>Objetivos estratégicos</b>	Maximizar el Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI).
<b>Metas organizacionales</b>	Mantener al menos el 90% del estado físico de la red en condición buena en función de las metas de desempeño.

Aspecto	Detalle
<b>Tipos de obra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservación Rutinaria de Tramos: drenaje, pavimentos, señalamiento y dispositivos de seguridad.</li> <li>• Conservación Rutinarias de Puentes y Pasos.</li> <li>• Conservación Periódica de Obras de Drenaje.</li> <li>• Conservación Periódica de Puentes y Pasos.</li> <li>• Conservación Periódica de Puentes y Pasos.</li> <li>• Conservación Periódica de Terracería.</li> <li>• Conservación Periódica del Pavimento: recortes, fresados, riegos de sello, tratamientos superficiales (Open Graded, SMA, CASAA), carpetas delgadas y sobrecarpetas.</li> <li>• Conservación Periódica del Señalamiento y Dispositivos de Seguridad.</li> <li>• Rehabilitación de Puentes y Pasos.</li> <li>• Reconstrucción de Obras de Drenaje.</li> <li>• Reconstrucción del Pavimento.</li> <li>• Reconstrucción del Señalamiento y Dispositivos de Seguridad.</li> <li>• Servicios de vialidad,</li> </ul>
<b>Evaluación del estado del activo</b>	De manera anual a través del Programa de Auscultación en la Red Federal Carretera de la DGST de la SICT.
<b>Costos principales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento rutinario y periódico</li> <li>• Rehabilitación y reconstrucción de carpeta</li> <li>• Obras de drenaje, puentes y señalamiento</li> <li>• Servicios de vialidad</li> <li>• Provisiones para riesgos</li> </ul>
<b>Análisis financieros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supuestos basados en presupuestos históricos y costos promedio fiables</li> <li>• Plazos contractuales optimizados (5 - 9 años)</li> <li>• Indicadores VPN, TIR y TRI</li> </ul>
<b>Gestión de riesgos</b>	Identificación y valoración de riesgos financieros, sociales y climáticos, con planes de contingencia y cláusulas de protección ante eventos extremos

Como parte fundamental de la propuesta de aplicación de BIM en la gestión de activos viales, se establecen metas y objetivos de desempeño para el estado físico del pavimento. Estas metas permiten una evaluación objetiva de su condición

y facilitan un proceso adecuado de toma de decisiones para las estrategias de conservación. Los parámetros se definen a continuación:

### 1. Irregularidad superficial

Se establece que el **Índice de Regularidad Internacional (IRI)** óptimo debe estar por debajo de **1.8 m/km** (Tabla 7).

**Tabla 7. Meta de desempeño del estado físico del pavimento en función del Índice de Regularidad Internacional (IRI)**

Estado físico del pavimento	Índice de Regularidad Internacional (m/km)
<i>Bueno</i>	< 1.8
<i>Aceptable</i>	1.8 a 2.5
<i>No satisfactorio</i>	> 2.5

### 2. Fricción de la superficie de rodadura

Se establece que el **Coefficiente de Fricción (CF)** óptimo debe estar entre **0.61 a 0.90** (Tabla 8). Este parámetro se considera a partir de la medición con un equipo *Mu-Meter*.

**Tabla 8. Meta de desempeño del estado físico del pavimento en función del coeficiente de fricción**

Condición de la superficie de rodadura del pavimento	Coefficiente de fricción
<i>No satisfactorio</i>	0 a 0.40
<i>Aceptable</i>	0.41 a 0.60
<i>Bueno</i>	0.61 a 0.90
<i>No satisfactorio</i>	> 0.90

### 3. Condición estructural

La condición estructural del pavimento se evalúa mediante **deflexiones** obtenidas mediante un deflectómetro de impacto (FWD). El valor adecuado de deflexión debe encontrarse entre **0 y 0.4 mm** (Tabla 9).

**Tabla 9. Meta de desempeño del estado físico del pavimento para la evaluación estructural en pavimentos mediante deflexiones**

<b>Condición estructural</b>	<b>Rango de valores representativos de deflexiones (mm)</b>
<i>Buena</i>	<i>0 a 0.4</i>
<i>Regular</i>	-
<i>Mala</i>	<i>&gt; 0.4</i>

*Nota: La determinación de la deflexión máxima deberá ser normalizada a 700 kPa y a 20° C.*

#### 4. Roderas

Se establece que la **Profundidad de Roderas (PR)** óptima debe ser inferior a **5 mm** (Tabla 10).

**Tabla 10. Meta de desempeño del estado físico del pavimento para la evaluación de roderas**

<b>Condición del estado de las roderas estructural</b>	<b>Profundidad de Roderas (mm)</b>
Bueno	< 5
Regular	5.1 a 8
Malo	> 8

#### 5. Deterioros superficiales

- El **agrietamiento** y el **desprendimiento de agregados** no deberán superar el **5% del área evaluada**.
- La **presencia de baches** deberá ser **nula (Baches = 0)**.

### 3.2.3.2 *Contratos y documentos generales*

En esta sección se abordan los documentos y contratos que respaldan el proceso de gestión de activos viales. Se incluyen tanto los documentos organizacionales del organismo encargado de la administración del activo seleccionado como los documentos públicos y licitaciones relacionadas con la conservación o modernización del mismo. Estos documentos fueron obtenidos de plataformas de licitación pública. A continuación, se detallan los principales elementos que conforman esta categoría:

- Documentos organizacionales y generales de la organización que gestiona el activo seleccionado.
- Contratos y licitaciones asociadas a la conservación y modernización del activo.
- Documentación general referente a la fase de suministro del activo.

### 3.2.4 Nivel de red

En este nivel, se recopilaron y analizaron diversos documentos esenciales para la gestión del activo. Entre la información recopilada en este proceso se encuentra:

- Información climatológica
- Inventario físico del activo
- Datos de tránsito
- Estado físico del activo
- Historial de intervenciones

### 3.2.4.1 Información climatológica

En esta sección se abordó el análisis y la recopilación de la información climatológica cercana al activo, a través de la información brindada por la herramienta *Sistema de Información Climática para el Diseño de Carreteras* (SICliC), la cual es una plataforma web orientada a parámetros de diseño de carreteras que brinda acceso a información meteorológica y climática útil para el diseño de elementos como pavimentos, obras de drenaje, mezclas asfálticas, etc. La herramienta permite ubicar estaciones meteorológicas cercanas, visualizar y descargar datos relevantes, así como consultar mapas y escenarios climáticos que ayudan a adaptar la infraestructura a posibles cambios futuros del clima (Mendoza et al., 2021).

En la Figura 27 se presenta la georreferenciación de las estaciones climatológicas que cubren el área del activo bajo estudio, junto con sus coordenadas geográficas. A partir de estas estaciones, se recopiló información mediante la herramienta previamente mencionada sobre las siguientes variables meteorológicas de distintos años:

- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Precipitación promedio
- Precipitación máxima
- Velocidad de viento promedio
- Velocidad de viento máximo
- Presión atmosférica
- Humedad relativa



**Figura 27. Georeferenciación de las estaciones climatológicas cercanas al activo.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.4.2 Inventario físico del activo

En el contexto de este estudio sobre la gestión de pavimentos, los datos de inventario son esenciales, ya que permiten identificar, clasificar y cuantificar los aspectos de la red. Estos datos deben ser relevantes y mantenerse actualizados en función de las intervenciones de conservación y mantenimiento realizadas a lo largo del tiempo (AASHTO, 2012). En la Tabla 11 se muestran las características del camino, mientras que en la Tabla 12 se detallan los espesores de las capas del pavimento que componen el activo seleccionado. Además, en las Figuras 28 y 29 se ilustran gráficamente los espesores del activo por sentido, obtenidos mediante un Radar de Penetración Terrestre (GPR).

**Tabla 11. Detalles del activo seleccionado**

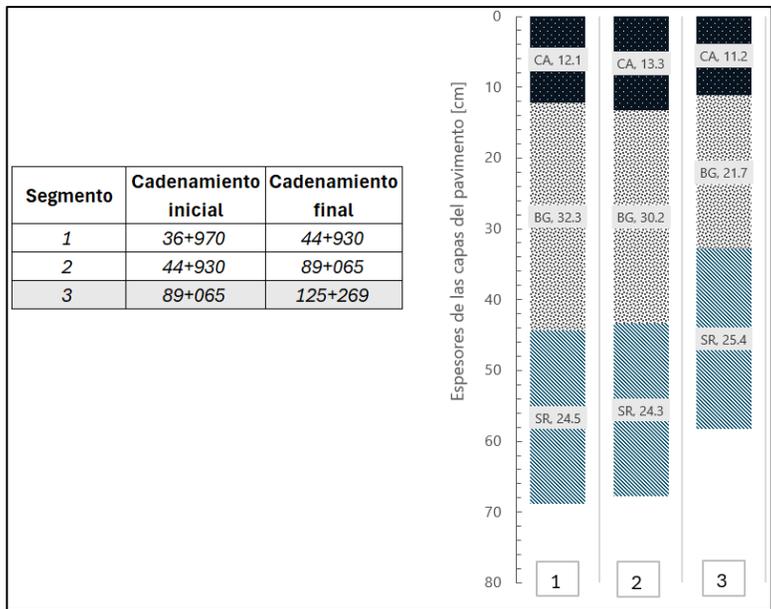
<b>Red vial</b>	<i>Querétaro – San Luis Potosí</i>
<b>No. De Carretera</b>	57
<b>Superficie de rodadura</b>	<i>Asfalto</i>
<b>Cuerpos</b>	2
<b>Carriles por sentido</b>	2
<b>Administración/Jurisdicción</b>	<i>Federal</i>
<b>Velocidad máxima (Km/h)</b>	100
<b>Ancho de calzada (m)</b>	7

**Tabla 12. Datos de Proyecto: Diseño Estructural.**

<b>Sentido</b>	<b>Tipo de Superficie</b>	<b>Espesores de cada capa del pavimento (cm)</b>		
		<b>Carpeta asfáltica</b>	<b>Base granular</b>	<b>Subrasante</b>
S1	Flexible	11.2	21.7	25.4
S2	Flexible	10.7	19.5	25.4

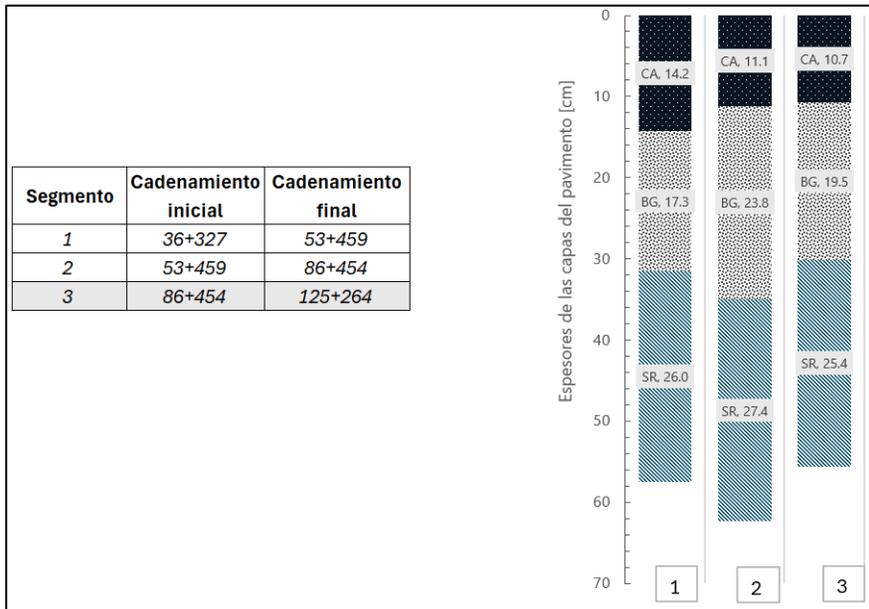
Cabe destacar que, para los fines de este estudio, la clasificación de los sentidos de circulación se establece de la siguiente manera:

- Sentido 1 (S1), correspondiente al cadenamiento ascendente
- Sentido 2 (S2), correspondiente al cadenamiento descendente



**Figura 28. Espesores del pavimento del activo seleccionado en el Sentido 1, obtenidos mediante Radar de Penetración Terrestre (GPR).**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 29. Espesores del pavimento del activo seleccionado en el Sentido 2, obtenidos mediante Radar de Penetración Terrestre (GPR).**

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de un sistema de gestión de activos, una de las responsabilidades de la organización propietaria del activo o la encargada de su gestión es llevar a cabo su inventario. Los datos recopilados en este proceso son esenciales para los siguientes propósitos (PIARC, 2023):

- Descripción del activo y su desempeño
- Proporcionar una base para la toma de decisiones informadas
- Facilitar y permitir la interoperabilidad de la información en las distintas partes interesadas del activo
- Permitir la evaluación en la gestión de riesgos del activo
- Brindar información necesaria para respaldar el enfoque de la organización en la gestión de activos

#### *3.2.4.3 Datos de Tránsito*

De acuerdo con la recopilación y el análisis de los datos de tránsito correspondientes al activo en estudio, la información fue obtenida a través de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), la cual recopila y publica anualmente datos sobre el tránsito en la Red Nacional de Carreteras mediante el Libro de Datos Viales. Este informe permite analizar tanto los volúmenes como los tipos de vehículos que circulan, e incluye información proveniente de estaciones permanentes y de muestreos temporales, con datos de clasificación vehicular y coordenadas geográficas. Los registros se agrupan por entidad federativa, lo que facilita la comprensión del comportamiento del tránsito y su evolución anual (SICT, 2024).

Con base en lo descrito previamente, se recopilaron los registros correspondientes al periodo comprendido entre los años 2012 y 2023. A partir de

estos datos, se identificaron los aforos vehiculares más cercanos al tramo de estudio, los cuales se presentan en la Tabla 13. Para el análisis, se seleccionó la estación denominada **T. Izq. San Diego de la Unión**, al ser la más representativa en cuanto a cercanía y condiciones similares al tramo evaluado. La ubicación georreferenciada de esta estación, junto con los aforos circundantes, se muestra en la Figura 30.

**Tabla 13. Datos viales de la Carretera Querétaro – San Luis Potosí (SICT, 2024).**

Fuente: SICT (2024).

Lugar		X.C. San Luis de la Paz - Guanajuato		T. Izq. San Diego de La Unión			
Coordenadas Geográficas	Latitud	21.256273	21.25635	21.528152	21.528117	21.541316	21.540742
	Longitud	-100.586609	-100.586805	-100.740115	-100.7403	-100.74744	-100.74732
Estación	km	86.68	86.68	119.07	119.07	119.07	119.07
	TE	1	1	1	1	3	3
	Sentido	1	2	1	2	1	2
	TDPA	15309	17530	12621	12242	12208	11389
Clasificación vehicular (%)	M	1.9	2.0	5.6	5.7	3.0	3.0
	A	47.7	47.6	32.1	31.5	43.7	43.4
	B	5.1	5.1	7.9	7.9	7.9	6.3
	C2	5.5	5.5	7.9	7.9	5.9	6.0
	C3	2.9	2.9	3.9	4.0	3.3	3.4
	T3S2	29.6	29.6	34.4	34.5	30.4	30.5
	T3S3	4.0	4.0	3.5	3.6	3.4	3.4
	T3S2R4	2.5	2.5	3.9	4.0	3.2	3.2
	Otros	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8
	A	49.6	49.6	37.7	37.2	46.7	46.4
	B	5.1	5.1	7.9	7.9	6.3	6.3
	C	45.3	45.3	54.4	54.9	47.0	47.3
	K'	0.07	0.078	0.096	0.087	0.074	0.083
	D	0.534	0.534	0.508	0.508	0.517	0.517

Observación.

TE 1: Aforo efectuado antes del punto generador.

TE 2: Aforo efectuado en el punto generador.

TE 3: Aforo efectuado después del punto generador.



**Figura 30 . Georreferenciación de estaciones de aforo ubicadas en las proximidades del tramo de estudio.**

**Fuente: Elaboración propia.**

En relación con la estación seleccionada, esta únicamente proporciona datos a partir del año 2020, a diferencia del resto de las estaciones (Tabla 14). Cabe destacar que, en el análisis de las demás estaciones, el TDPA del año 2020 fue considerado como un evento atípico dentro del modelo.

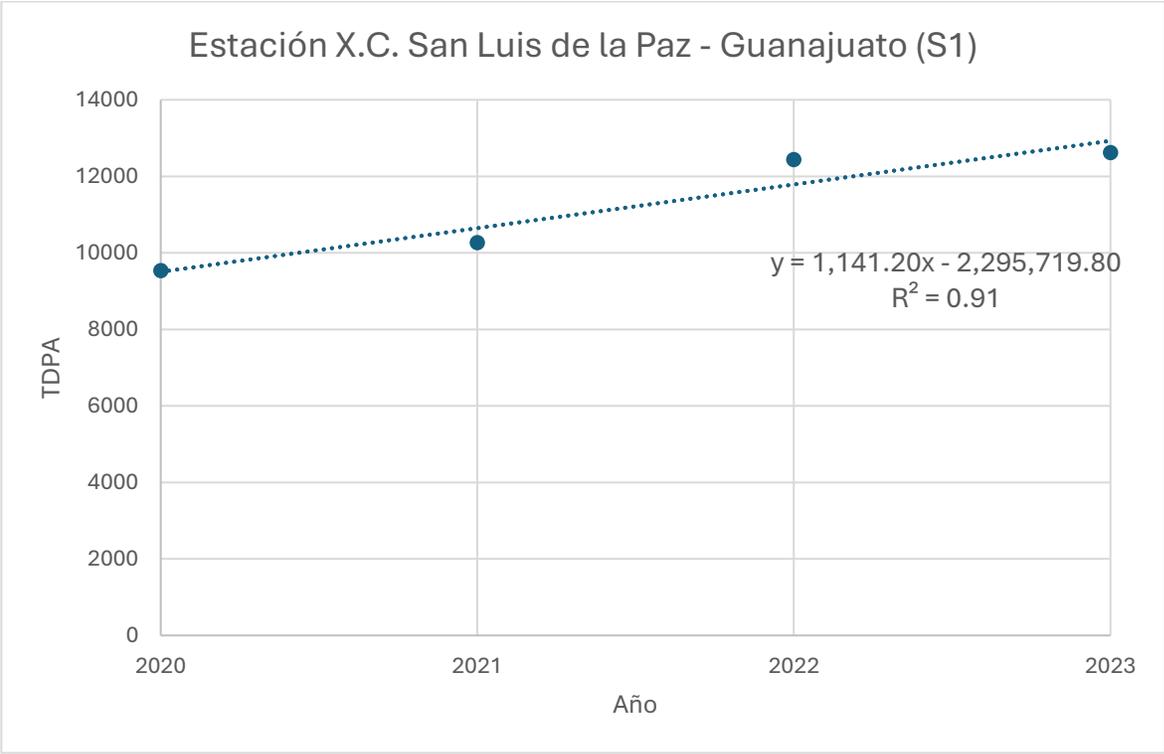
**Tabla 14. Datos del aforo del 2020 al 2023.**

<b>Año</b>	<b>km</b>	<b>TE</b>	<b>SC</b>	<b>TDPA</b>
2020	119.07	1	1	9539
2021	119.07	1	1	10269
2022	119.07	1	1	12435
2023	119.07	1	1	12621
2020	119.07	1	2	8603
2021	119.07	1	2	11121
2022	119.07	1	2	12090
2023	119.07	1	2	12242

Por otra parte, en las Figuras 31 y 32 se presenta una regresión lineal del TDPA en función del año por sentido, a partir de la cual se estimó un modelo matemático que permite proyectar el tránsito a diez años (Tabla 15). Es importante señalar que, al momento de realizar dicho cálculo, únicamente se encontraban publicados los datos del año 2023.

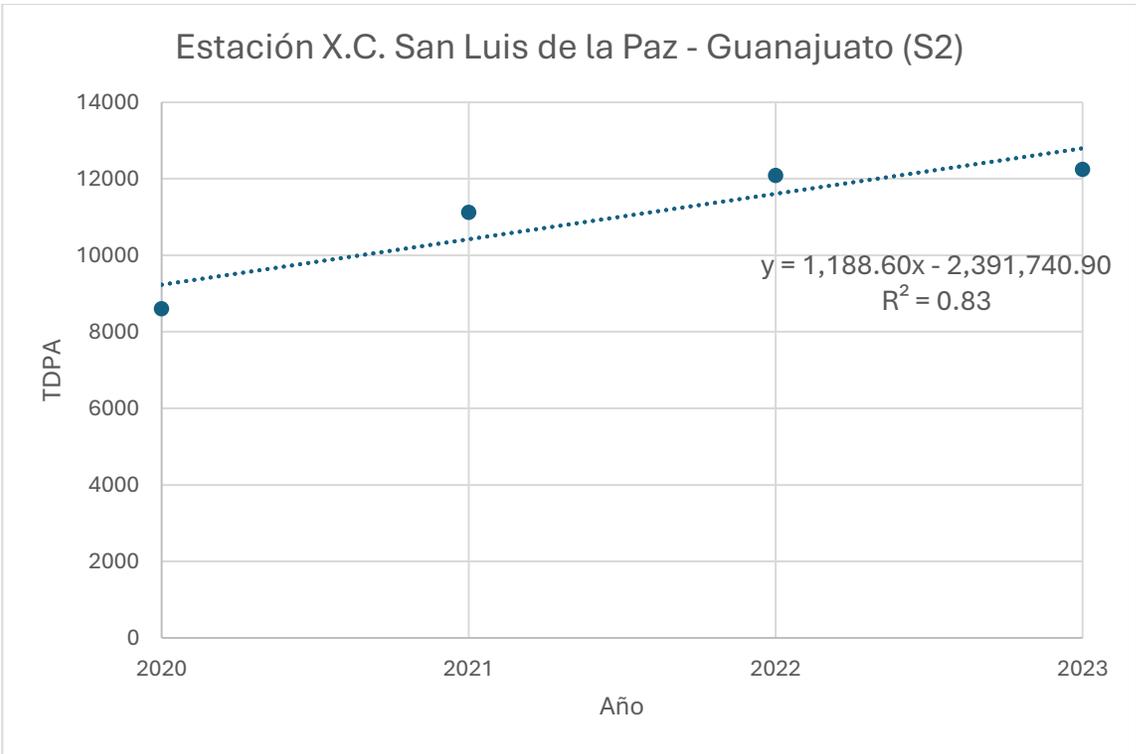
Por otro lado, la tasa de crecimiento obtenida fue superior al 9.5%, valor que se considera elevado y poco representativo del crecimiento real del tránsito. En consecuencia, para este estudio se adoptará una tasa de crecimiento del 3.5%.

Finalmente, se recomienda actualizar el modelo conforme se disponga de nuevos datos, ya que un mayor número de registros permitirá obtener una regresión lineal más representativa y adecuada.



**Figura 31. Regresión lineal en función de TDPA (Sentido 1).**

**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 32. Regresión lineal en función de TDPA (Sentido 2).**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 15. Proyección del tránsito en un periodo de diez años.**

<b>Año</b>	<b>Sentido 1</b>	<b>Sentido 2</b>
2024	14069	13986
2025	15210	15174
2026	16351	16363
2027	17493	17551
2028	18634	18740
2029	19775	19929
2030	20916	21117
2031	22057	22306
2032	23199	23494
2033	24340	24683

#### 3.2.4.4 Estado físico del activo

La recolección regular de información sobre el estado físico de la red a través del tiempo permite generar un registro histórico que permite observar la evolución de su estado y poder modelar o predecir condiciones futuras del pavimento (AASHTO, 2012).

La información utilizada en la evaluación y medición del estado físico del activo seleccionado en el presente trabajo parten del Programa de Auscultación de la Red Carretera Federal a cargo de la *Dirección General de Servicios Técnicos* (DGST) correspondiente a la *Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes* (SICT) en México; la cual lleva a cabo de manera anual desde el 2012 (Solorio *et al.*, 2024).

El programa anual comprende la medición de diversos parámetros en la red de carreteras del país, incluyendo el Índice de Regularidad Internacional (IRI), profundidad de roderas, deterioros, deflexiones, coeficiente de fricción y macrotextura, entre otros.

Asimismo, en la Tabla 16 se presentan los parámetros de medición realizados para el tramo del activo seleccionado en el presente estudio, correspondientes al periodo de 2012 a 2023. Cabe señalar que, en el año 2013, no se efectuó ninguna medición relacionada con el programa previamente mencionado.

Finalmente, en este apartado se describe el estado de desempeño del activo correspondiente al año 2023. Las condiciones evaluadas del pavimento incluyen aspectos funcionales (IRI, macrotextura y fricción) y estructurales (deflexiones), y los niveles de desempeño (bueno, aceptable y no satisfactorio) que se definen en el apartado 3.4.1 *Metas de desempeño*.

**Tabla 16. Parámetros de mediciones realizadas en el tramo carretero por año.**

<b>Año</b>	<b>Parámetro de medición</b>
2012	<i>IRI, PR, CF, COORD, DEF, GPR, GEOM</i>
2013	<i>No se realizaron mediciones.</i>
2014	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, DEF</i>
2015	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, GEOM</i>
2016	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, DEF, GEOM</i>
2017	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, GEOM</i>
2018	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, DEF, GEOM</i>
2019	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, GEOM</i>
2020	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, DEF, GEOM</i>
2021	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, GEOM</i>
2022	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, GEOM</i>
2023	<i>IRI, PR, MTX, DET, CF, COORD, GEOM</i>

*Nota: Abreviatura de los parámetros de medición.*

- *IRI: Índice de Regularidad Internacional*
- *PR: Profundidad de Rodera*
- *MTX: Macrotextura*
- *DET: Deterioros*
- *CF: Coeficiente de Fricción*
- *COORD: Coordenadas Geográficas*
- *DEF: Deflexiones del pavimento*
- *GPR: Espesores de las capas del pavimento*
- *GEOM: Parámetros Geométricos*

### 3.2.4.4.1 Sentido 1

Se presenta el estado del activo correspondiente al sentido 1 del tramo seleccionado, detallando las condiciones evaluadas en términos de IRI, fricción y macrotextura, como se ilustra en las Figuras 33 a 38.

- **Índice de Regularidad Internacional (IRI)**

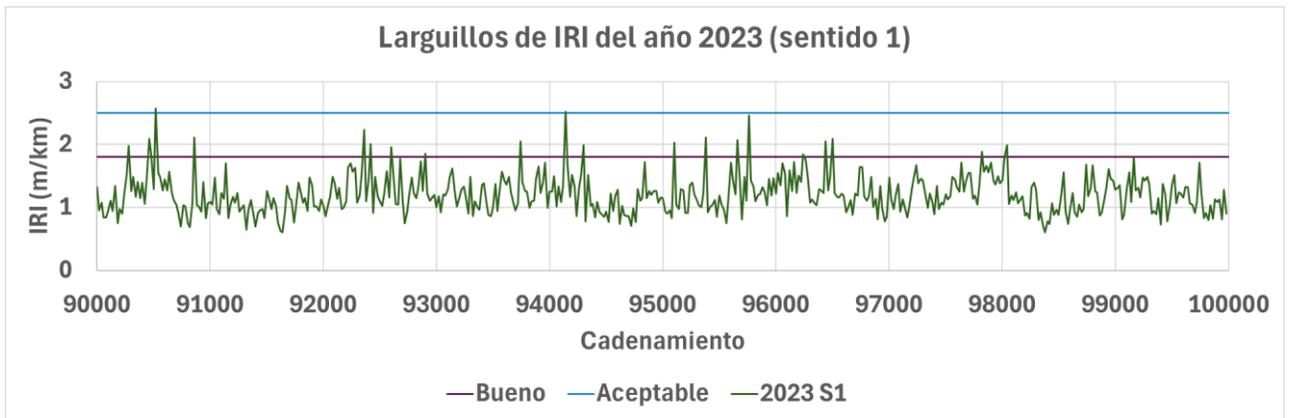


Figura 33. Larguillo de IRI del año 2023 (sentido 1).

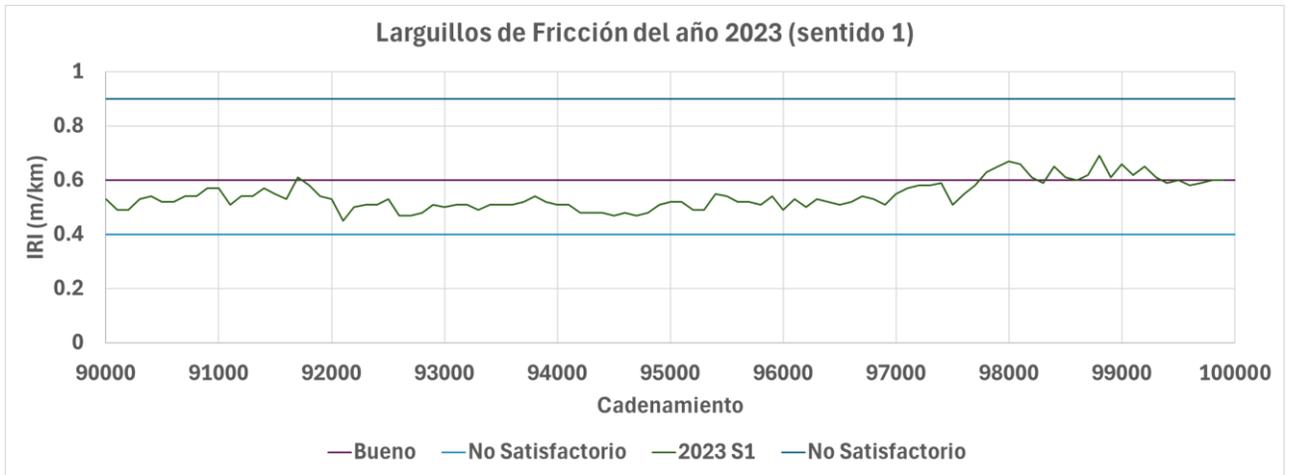
Fuente: Elaboración propia.



Figura 34. Estado físico por IRI del tramo en el año 2023 (Sentido 1).

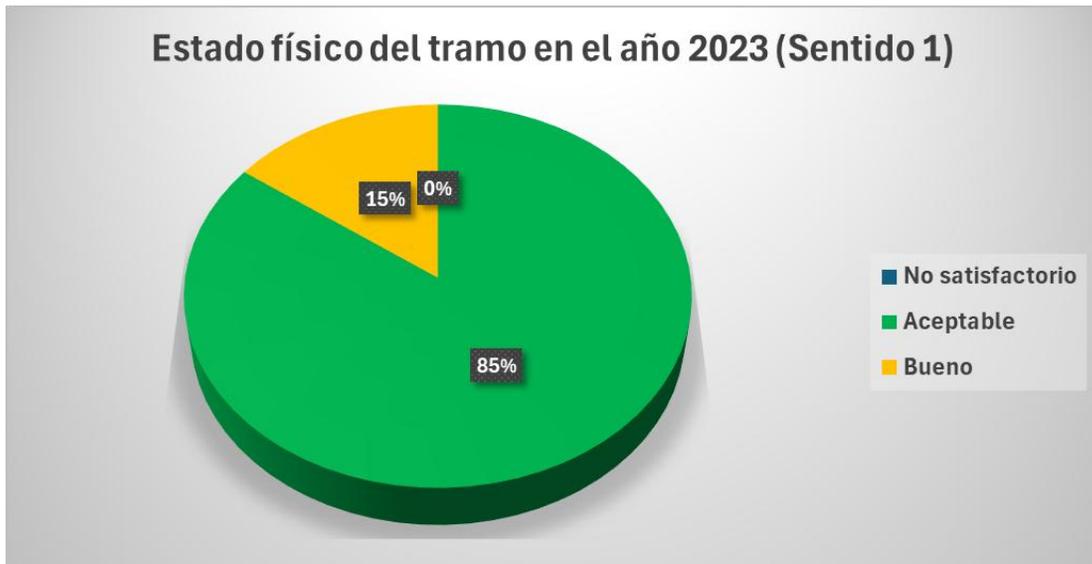
Fuente: Elaboración propia.

- **Coefficiente de Fricción (CF)**



**Figura 35. Larguillo de Fricción del año 2023 (sentido 1).**

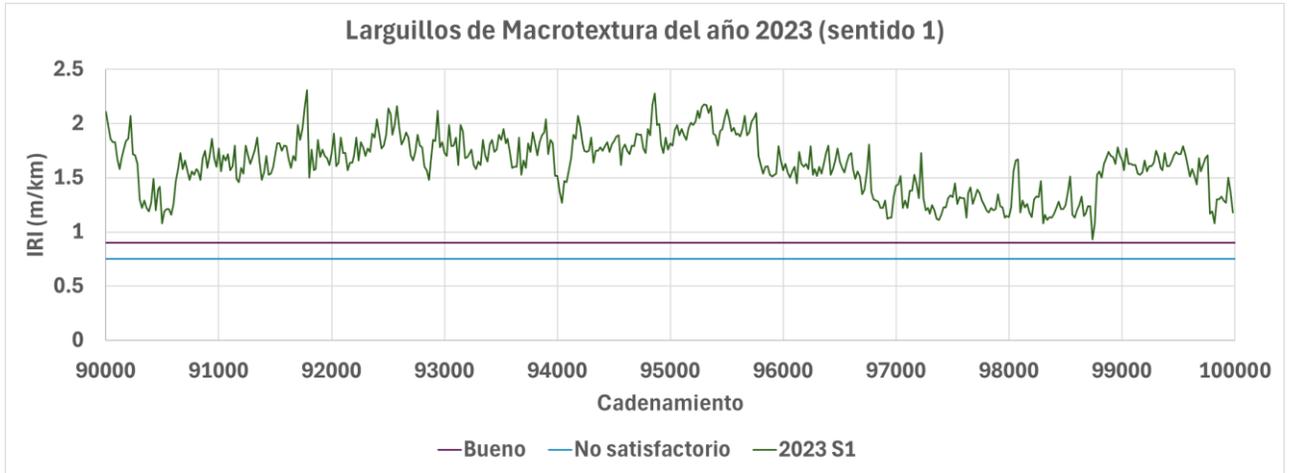
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 36. Estado físico por Fricción del tramo en el año 2023 (Sentido 1).**

Fuente: Elaboración propia.

- **Profundidad Media de la Textura Estimada (PMTE)**



**Figura 37. Larguillo de Macrotextura del año 2023 (sentido 1).**

**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 38. Estado físico por Macrotextura del tramo en el año 2023 (Sentido 1).**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.4.4.2 Sentido 2

Se presenta el estado del activo correspondiente al sentido 2 del tramo seleccionado, detallando las condiciones evaluadas en términos de IRI, fricción y macrotextura, como se ilustra en las Figuras 39 a 44.

- **Índice de Regularidad Internacional (IRI)**

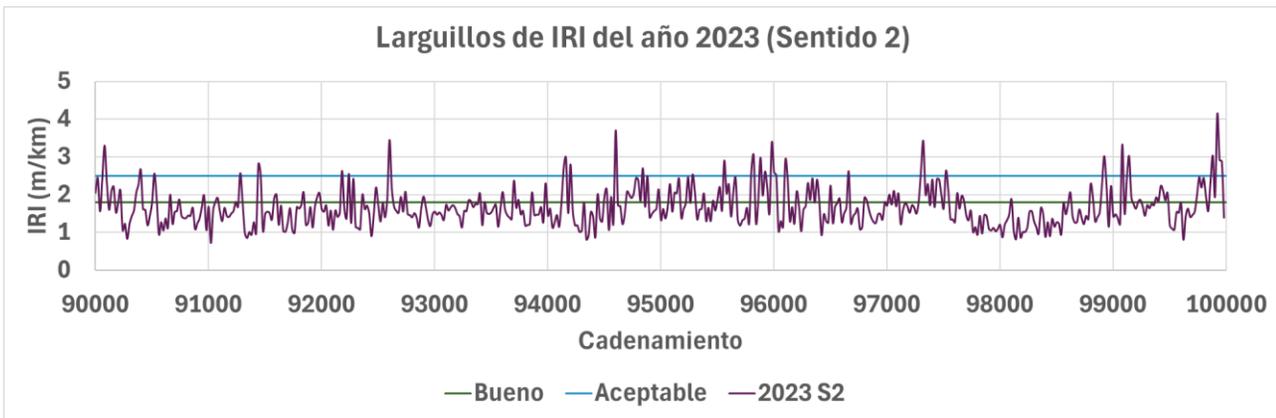


Figura 39. Larguillo de IRI del año 2023 (sentido 2).

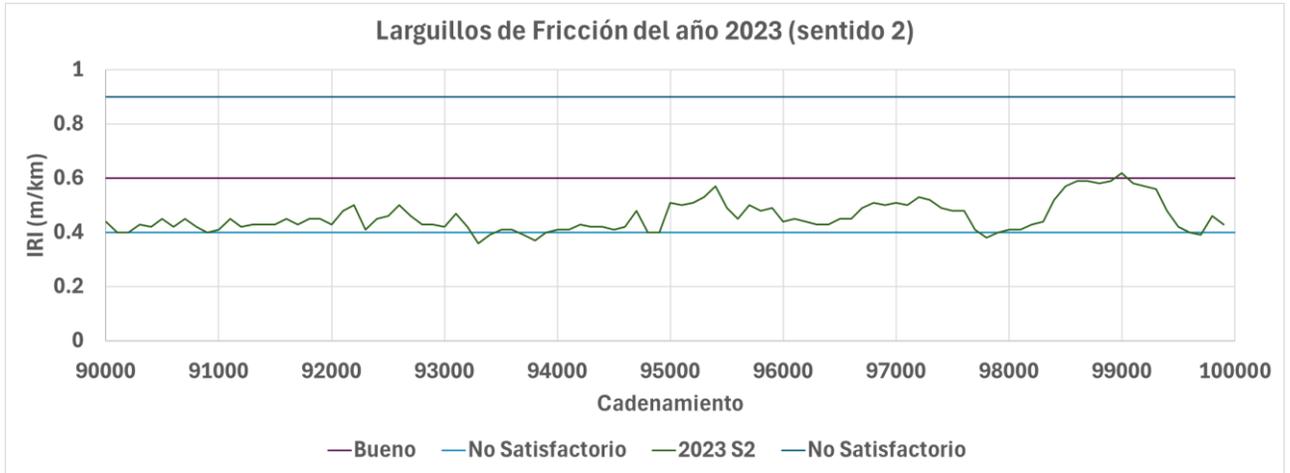
Fuente: Elaboración propia.



Figura 40. Estado físico por IRI del tramo en el año 2023 (Sentido 2).

Fuente: Elaboración propia.

- **Coefficiente de Fricción (CF)**



**Figura 41. Larguillo de Fricción del año 2023 (sentido 2).**

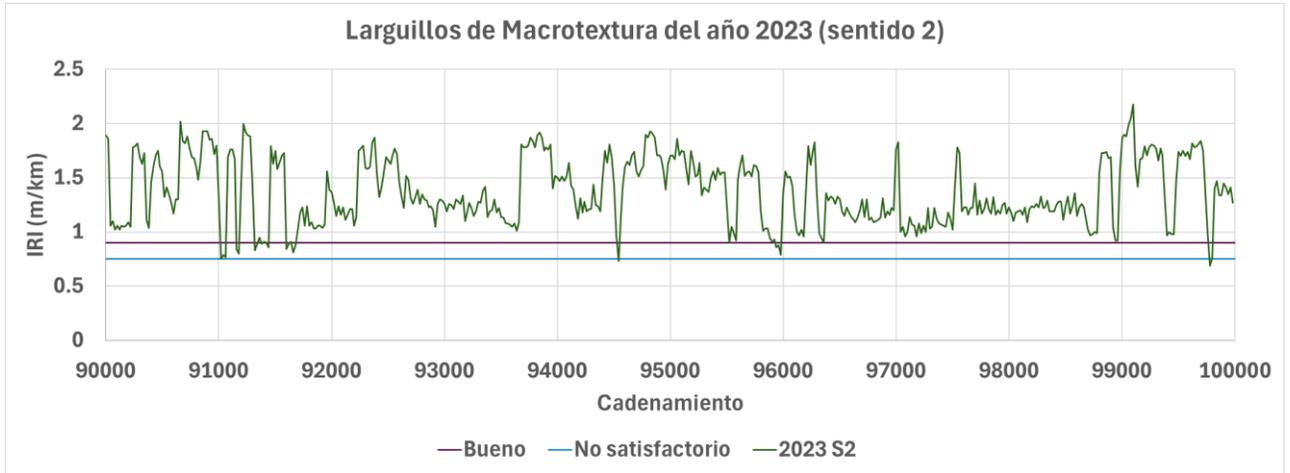
**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 42. Estado físico por fricción del tramo en el año 2023 (Sentido 2).**

**Fuente: Elaboración propia.**

- **Profundidad Media de la Textura Estimada (PMTE)**



**Figura 43. Larguillo de Macrotextura del año 2023 (sentido 2).**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 44. Estado físico por macrotextura del tramo en el año 2023 (Sentido 2).**

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4.5 Historial de intervenciones

En este apartado se busca tanto analizar como establecer un registro de las intervenciones o actividades de conservación realizadas en el activo a lo largo del tiempo, desde su construcción. Sin embargo, al no contar con registros específicos sobre estas intervenciones en el proceso de recopilación de la información disponible del activo, se procede a realizar el análisis con los datos históricos del Índice de Regularidad Internacional (IRI), obtenidos según el proceso descrito en el apartado 3.4.2 *Mediciones del estado físico*. A partir de estos datos, se podrá identificar el deterioro del activo y, en función de ello, determinar las posibles intervenciones previas basadas en los registros de auscultación.

Según lo señalado por Solorio *et al.* (2024), la disponibilidad histórica de información sobre el estado del pavimento podría facilitar el reconocimiento de posibles patrones de variación espacial y temporal del IRI. En las Figuras 45 y 46 se presenta el porcentaje del estado físico del activo en función del IRI, utilizando una escala de colores gradual: verde para un estado bueno ( $IRI < 1.8 \text{ m/km}$ ), amarillo para un estado aceptable ( $1.8 \text{ m/km} < IRI < 2.5 \text{ m/km}$ ) y rojo para un estado no satisfactorio ( $IRI > 2.5 \text{ m/km}$ ).

Asimismo, en las Figuras 47 y 48 se muestran una gráfica de áreas por cada sentido que reflejan el estado físico del activo, aplicando los mismos criterios. Estas Figuras permiten visualizar la magnitud del estado del activo mediante escalas de colores y realizar un seguimiento de su evolución a lo largo del tiempo.

Finalmente, se destaca que en el año 2013 no se realizaron mediciones en el activo, por lo que provoca la pérdida de información interrumpiendo el patrón de deterioro ocurrido en el periodo 2012-2014.

	2012	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Números	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Bueno	16	1.6	0	0.4	1.8	44.1	88.7	90.6	98	98.6	95.8
Aceptable	6	14	8.2	8.4	5	9.76	9.23	8.6	2	1.4	3.8
No Satisfactorio	78	84.4	91.8	91.2	93.2	46.2	2.11	0.8	0	0	0.4

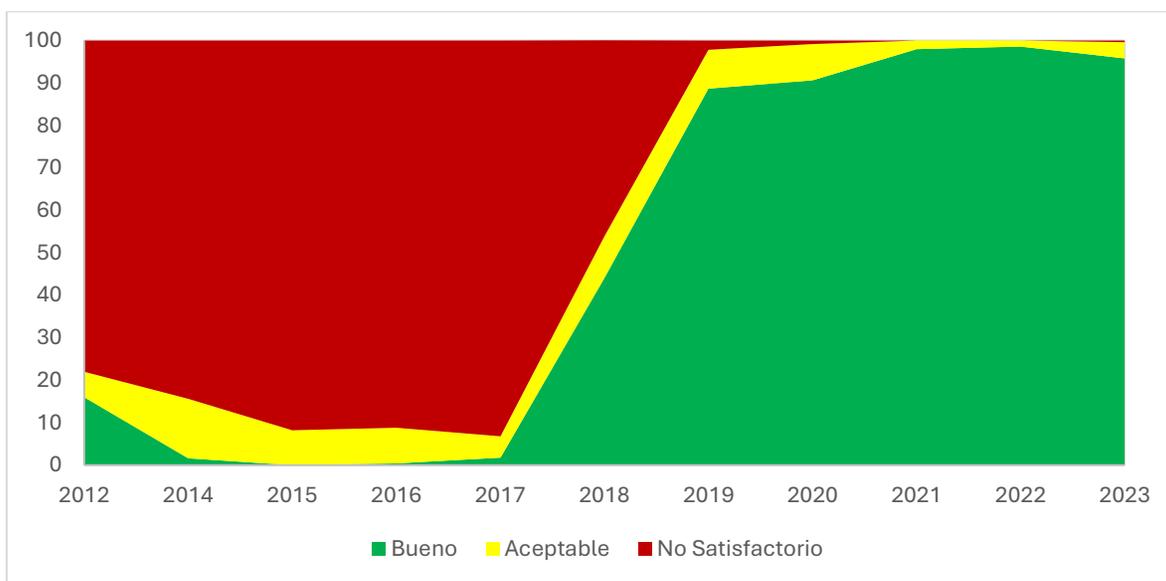
**Figura 45. Porcentaje del estado físico del activo en función del IRI por año (Sentido 1).**

**Fuente: Elaboración propia.**

	2012	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Números	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Bueno	34.2	52.6	47.6	45.8	37.6	66.5	49.1	54.2	64.6	72.8	69
Aceptable	29.8	26.4	27	28	29	17.9	28.8	33.6	25.4	20.8	24
No Satisfactorio	36	21	25.4	26.2	33.4	15.6	22.2	12.2	10	6.4	7

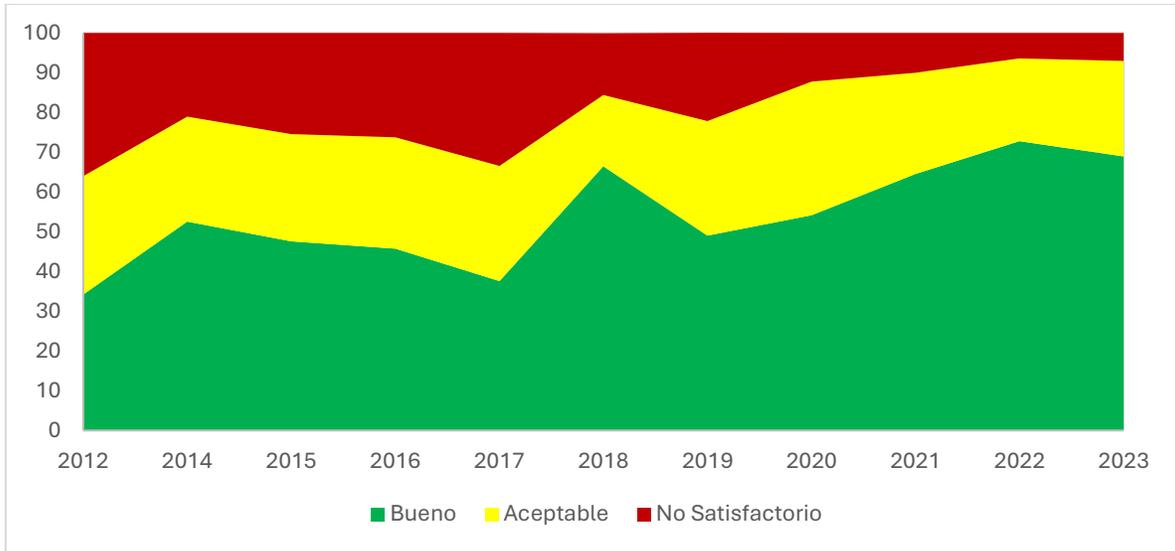
**Figura 46. Porcentaje del estado físico del activo en función del IRI por año (Sentido 2).**

**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 47. Gráfica de áreas del estado físico del activo en función del IRI por año (Sentido 1).**

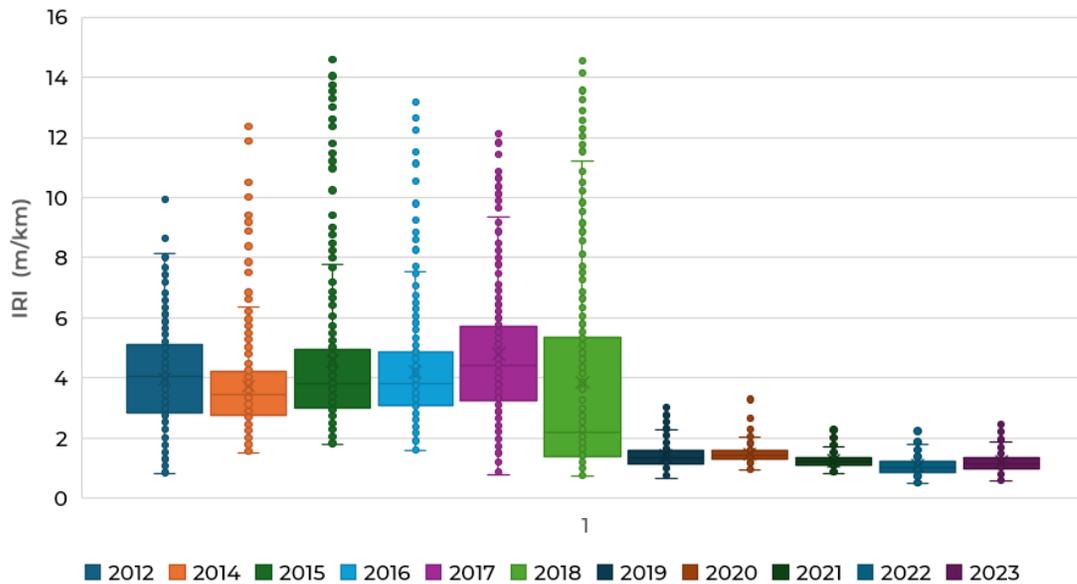
**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 48. Gráfica de áreas del estado físico del activo en función del IRI por año (sentido 2).**

**Fuente: Elaboración propia.**

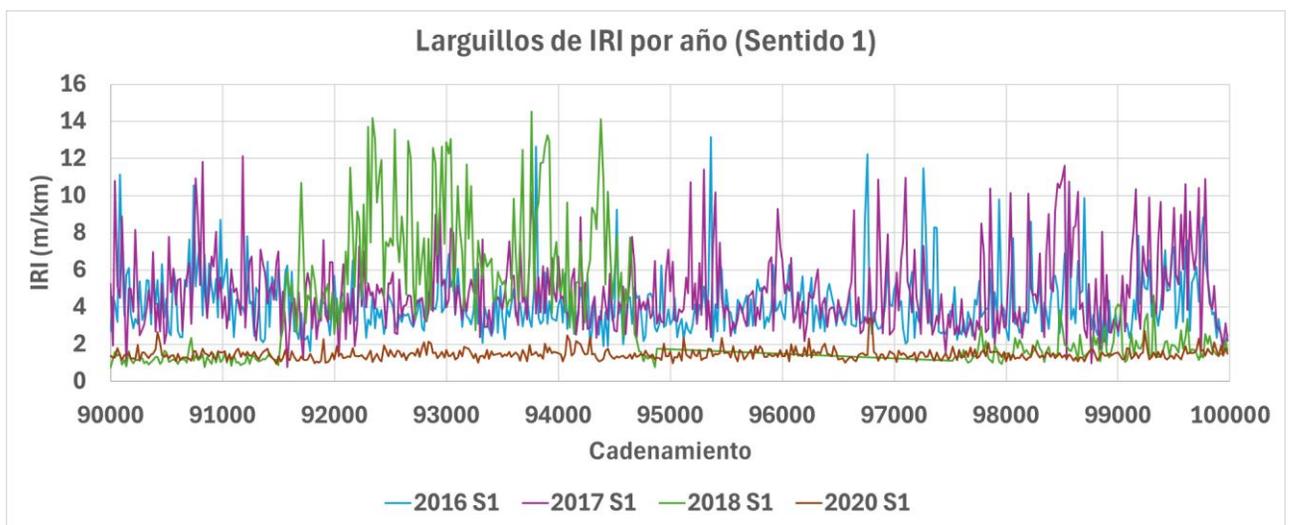
En la Figura 49 se presentan los diagramas de cajas y bigotes, los cuales permiten visualizar gráficamente la distribución, dispersión y presencia de valores atípicos de los valores de IRI correspondientes a cada año.



**Figura 49. Diagrama de caja y bigote del estado físico del activo por año en función del IRI (Sentido 1).**

**Fuente: Elaboración propia.**

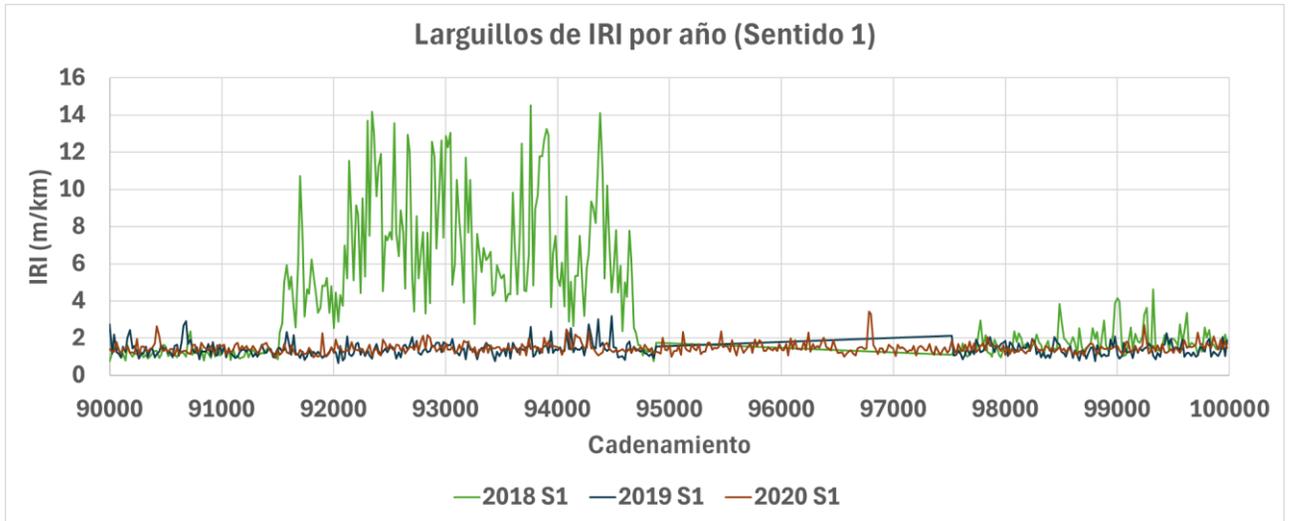
Como se observa en el sentido 1, y con el apoyo de las gráficas de áreas, se identifica un cambio en el ciclo de deterioro entre los periodos 2012-2018 y 2019-2023. A partir del análisis de los larguillos de IRI y la revisión documental, se infiere que se llevó a cabo una reconstrucción de la red entre los años 2017 y 2020, como se muestra en la Figura 50. Esta intervención se refleja en la disminución de los valores de IRI a partir de 2018.



**Figura 50. Larguillo de IRI por año (2016, 2017, 2018 y 2020).**

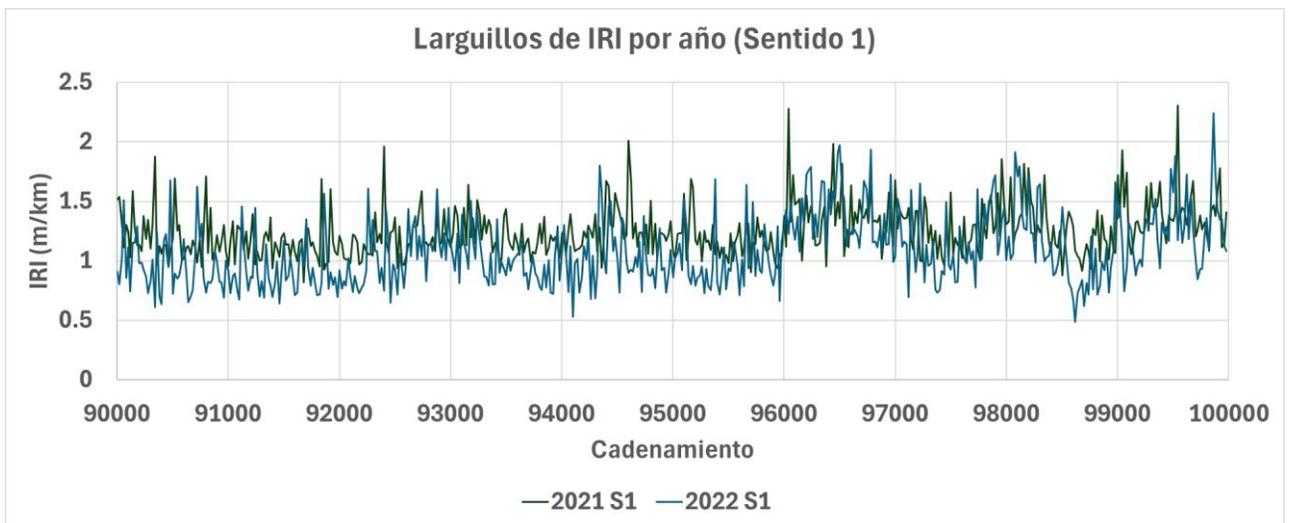
**Fuente: Elaboración propia.**

Por otro lado, la Figura 51, correspondiente a los años 2018 a 2020, muestra la ausencia de datos de IRI en 2018 y 2019. Según los informes de evaluación, esto se debió a la suspensión de mediciones por trabajos de intervención en la red. Finalmente, en la Figura 52, correspondiente a los años 2022 y 2023, se observa que los valores de IRI indican un estado adecuado de la red, con registros similares entre ambos años y un leve descenso en 2023, posiblemente atribuible a labores de conservación periódica o a diferencias en los equipos de medición utilizados.



**Figura 51. Larguillo de IRI por año (2018, 2019 y 2020).**

**Fuente: Elaboración propia.**

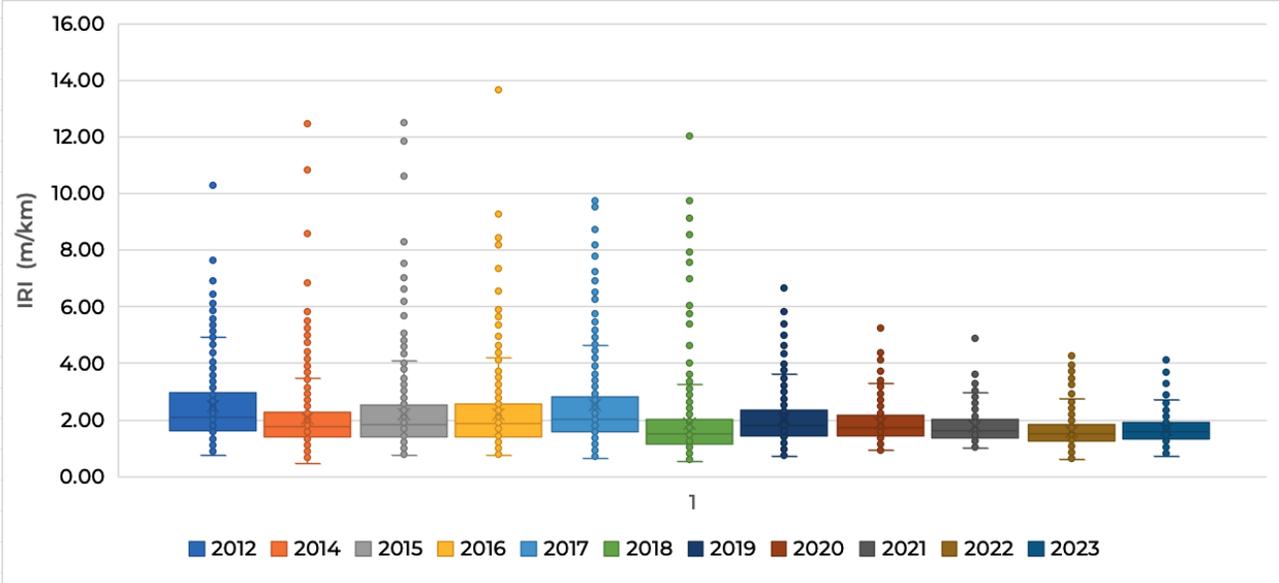


**Figura 52. Larguillo de IRI por año (2021 y 2022).**

**Fuente: Elaboración propia.**

En cuanto al sentido 2, tal como se muestra en la Figura 53, se observa un ciclo de deterioro más homogéneo, con la particularidad de que no se cuenta con información correspondiente al año 2013. No obstante, se aprecia una disminución

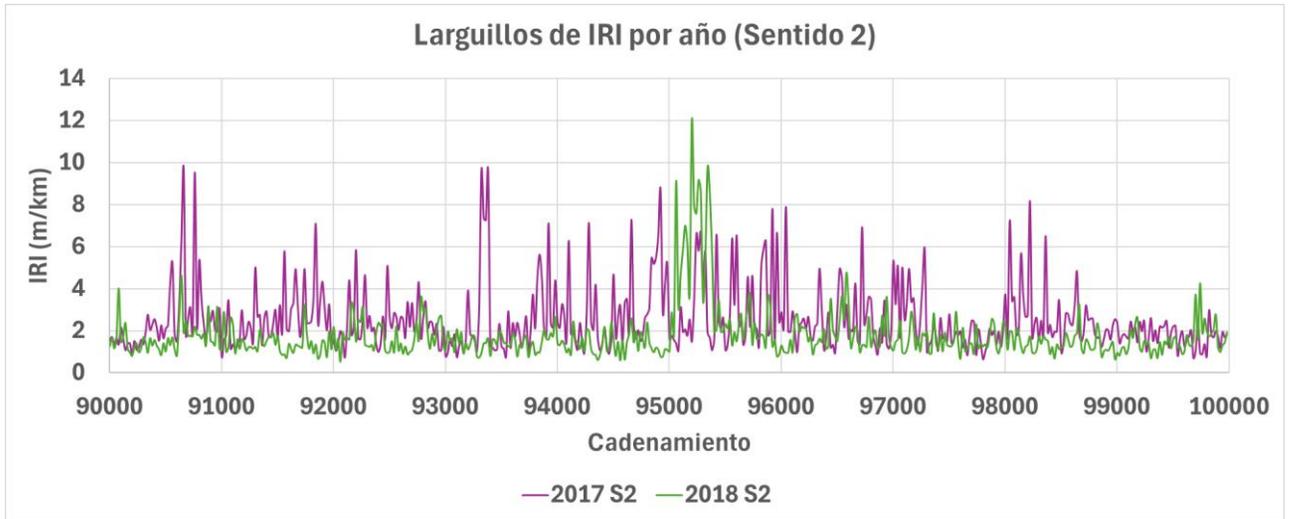
en el promedio de los valores de IRI desde el año 2012 hasta 2014. A partir de ese punto, los valores promedio del IRI tienden a incrementarse, siguiendo el ciclo de deterioro del pavimento hasta el año 2018. Tal como se mencionó previamente en el análisis del sentido 1, es probable que durante los años 2018 y 2019 se haya llevado a cabo una reconstrucción de la red vial. A partir de este periodo, se evidencia una mejora en el estado de la red, reflejada en la disminución de los valores registrados del IRI, así como en una menor presencia de valores atípicos en la figura presentada.



**Figura 53. Diagrama de caja y bigote del estado físico del activo por año en función del IRI (Sentido 2).**

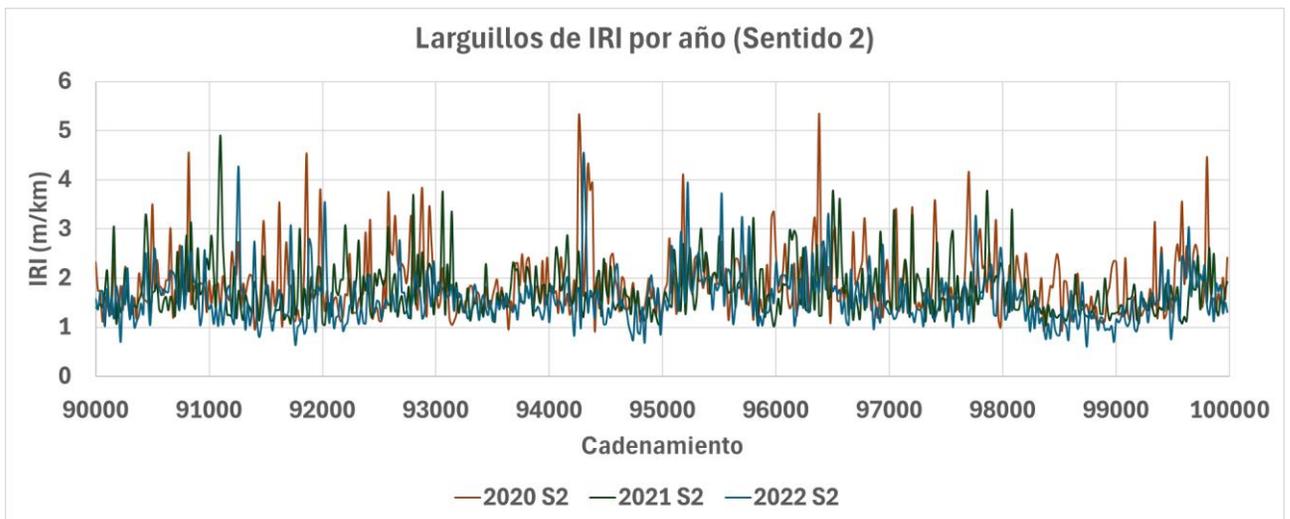
**Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 54 se muestra la disminución en el registro de los larguillos en función del IRI, destacando una reducción de estos valores entre los años 2017 y 2018. Por otro lado, la Figura 55 presenta los valores correspondientes al periodo de 2020 a 2022, donde se observa una variación en el registro de las firmas de los larguillos a lo largo de los distintos años. Esto sugiere que probablemente se realizaron intervenciones de conservación en la red durante ese periodo.



**Figura 54. Larguillo de IRI por año (2017 y 2018).**

**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 55. Larguillo de IRI por año (2020, 2021 y 2022).**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.4.6 Gemelos Digitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG) a nivel de red

La recopilación y análisis de datos son aspectos fundamentales en la gestión de activos. Debido a los avances tecnológicos, las organizaciones viales han

mejorado sus métodos de recolección, almacenamiento y análisis de datos, implementando procesos más sofisticados que involucran análisis computacionales avanzados. Sin embargo, las herramientas de gestión de activos no solo deben ser capaces de manejar grandes volúmenes de datos y escenarios analíticos, sino también presentar los resultados en formatos visuales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (PIARC, 2023).

AASHTO (2012) define un SIG como una herramienta informática que gestiona bases de datos diseñadas para almacenar, manejar, recuperar, consultar, analizar y presentar datos espaciales. Estos datos se clasifican en dos tipos: datos espaciales y datos de atributos (AASHTO, 2012).

La integración de la metodología BIM y SIG está adquiriendo mayor relevancia en la gestión de activos, optimizando las operaciones de información y el control de procesos a lo largo del ciclo de vida de un activo (Garramone *et al.*, 2020).

De igual manera, Garramone *et al.* (2020) han analizado la relación entre BIM, SIG y la Gestión de Activos, destacando el considerable potencial económico de esta integración. Mientras que BIM puede ser suficiente para edificaciones o proyectos arquitectónicos, para infraestructuras civiles se requiere una combinación de SIG y BIM debido a la naturaleza del proyecto. Este análisis identificó tres categorías principales a resolver en su integración:

- Gestión de la información
- Interoperabilidad e integración de la información
- Gestión de procesos de gestión de activos

En este estudio, como se describió en el apartado 3.2.3 sobre Gemelos Digitales, se detalla el proceso de creación de un gemelo digital en un entorno BIM utilizando la herramienta *Autodesk InfraWorks*. Esta herramienta permite modelar, analizar y visualizar conceptos de diseño de infraestructuras en el contexto del entorno construido y natural (Formazione, 2024).

A partir de la información recopilada en los apartados 3.3.3 *Inventario físico del activo* y 3.3.2 *Estado físico del activo*, se procedió a complementar el gemelo digital con la información presentada en la Figura 56. Para ello, se incorporaron dentro de un SIG los distintos parámetros de medición descritos en el apartado 3.3.2, con el objetivo de mostrar visualmente el estado del activo.

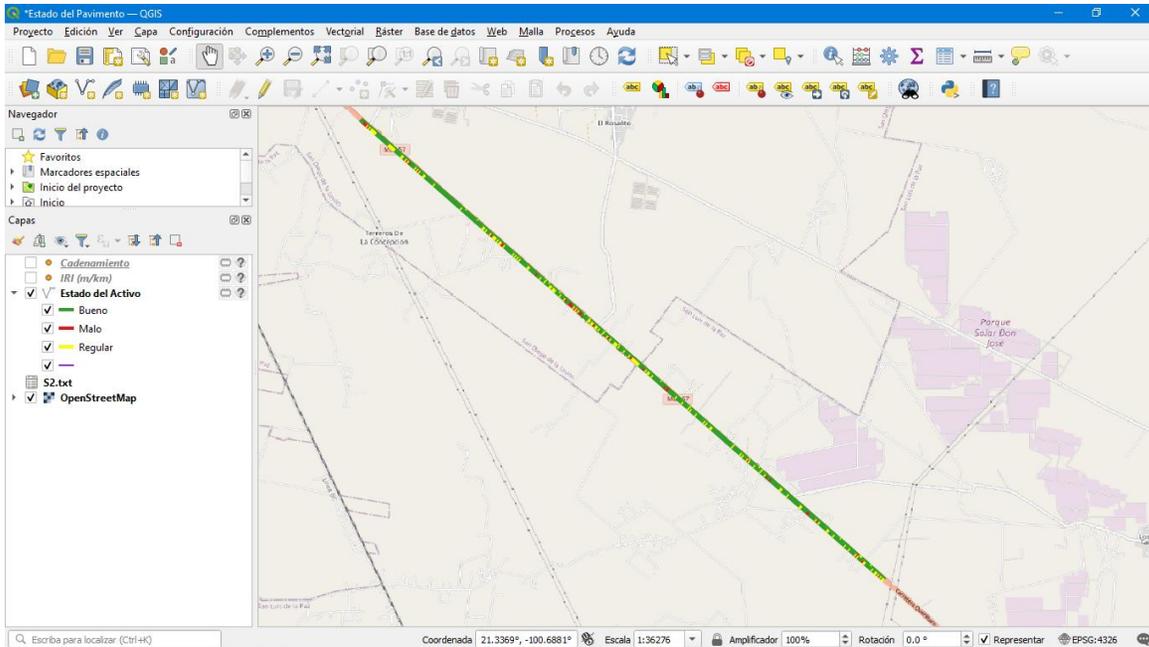
Expresión		Tabla de atributos	
<input checked="" type="checkbox"/>	90+000.00	Id	9739
<input type="checkbox"/>	90+020.00	ClaveCarr	165
<input type="checkbox"/>	90+040.00	Año	2023
<input type="checkbox"/>	90+060.00	Sentido	1
<input type="checkbox"/>	90+080.00	Carril	2
<input type="checkbox"/>	90+100.00	CadIni	90+000.00
<input type="checkbox"/>	90+120.00	CadFin	90+020.00
<input type="checkbox"/>	90+140.00	IRI (mm/km)	1.32
<input type="checkbox"/>	90+160.00	PMTE (mm)	2.11
<input type="checkbox"/>	90+180.00	PR (mm)	6.8
<input type="checkbox"/>	90+200.00	Latitud Inicio	21.312489
<input type="checkbox"/>	90+220.00	Longitud Inicio	-100.604405
<input type="checkbox"/>	90+240.00	Latitud Fin	21.312611
<input type="checkbox"/>	90+260.00	Longitud Fin	-100.604546
<input type="checkbox"/>	90+280.00	Estado del Pavimento	Bueno
<input type="checkbox"/>	90+300.00	Historial de Intervenciones	-

**Figura 56. Tabla de atributos utilizada en el Sistema de Información Geográfica (SIG).**

**Fuente: Elaboración propia.**

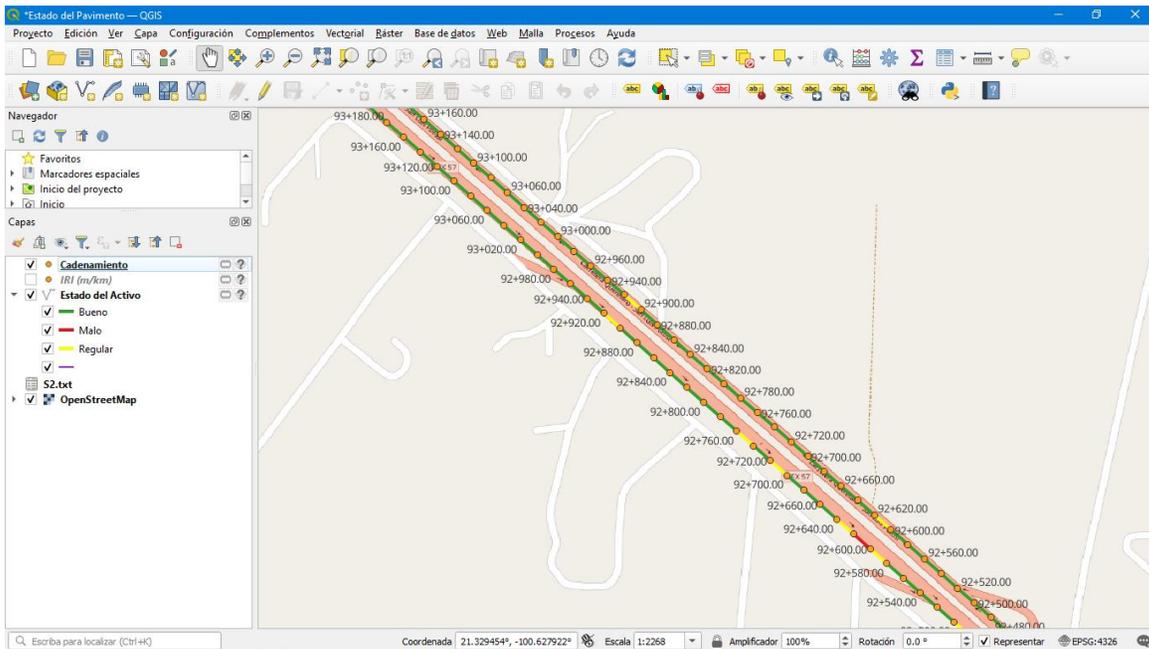
La herramienta seleccionada para esta integración fue QGIS, un software de código abierto que se utilizó para georreferenciar y visualizar la información correspondiente al estado físico del pavimento, específicamente el Índice de Regularidad Internacional (IRI), segmentado cada 20 metros. Esta segmentación fija se realizó conforme a los reportes anuales disponibles, facilitando así una representación temporal y espacial detallada del comportamiento del activo. En la Figura 57 y 58 se presentan los distintos tramos clasificados por rangos de IRI, lo cual permite evaluar visualmente las condiciones del pavimento a lo largo del tiempo.

Finalmente, para asegurar la interoperabilidad de la información dentro del Entorno Común de Datos (ECD), se exportó el archivo geoespacial a formato .kml, que es compatible con plataformas como *Google Earth* (Figura 59). Este archivo se integró al ECD como complemento al modelo generado en Autodesk InfraWorks.



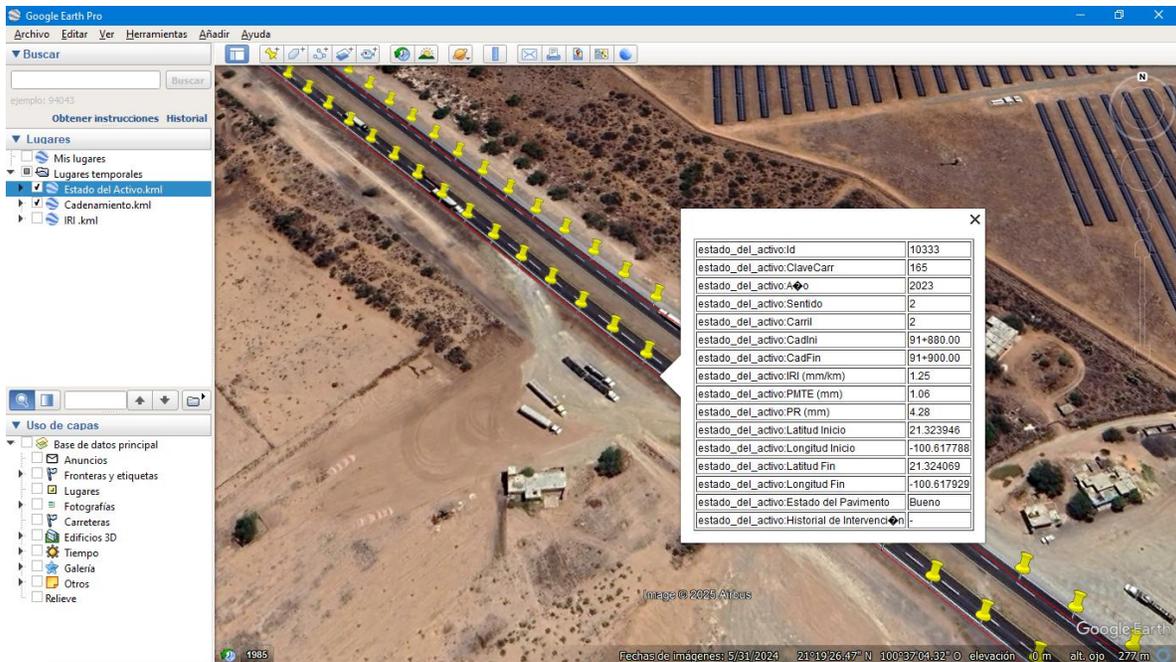
**Figura 57. Visualización de la interfaz del SIG libre (QGIS) mostrando el estado del activo en función del IRI.**

**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 58. Visualización de la interfaz del SIG libre (QGIS) mostrando el estado del activo en segmentos de veinte metros.**

**Fuente: Elaboración propia.**



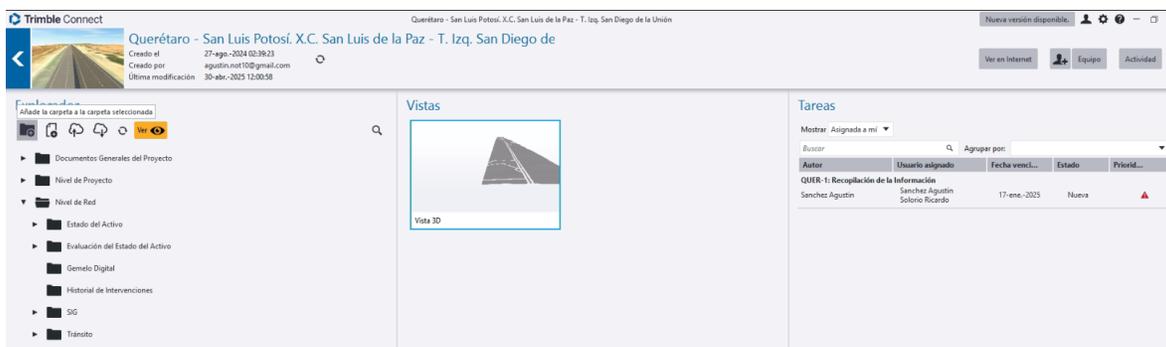
**Figura 59. Visualización de la interfaz del SIG libre (QGIS) mostrando el estado del activo.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.4.7 Integración de la información a nivel de red

En el proceso de evaluación de la gestión de la información a nivel de red, se debe asegurar la interoperabilidad y la integración con el entorno común de datos. La implementación de estos procesos facilita un flujo estructurado de información entre los diferentes niveles de toma de decisiones, lo cual permite la eficiencia y sostenibilidad de la información en el proceso de gestión de activos viales.

De acuerdo con los parámetros del proyecto, se gestionó la información integrando los procesos descritos en la *Figura 18. Rutina de conversión para el intercambio de información en un entorno BIM dentro de la gestión de activos viales.* La información del activo correspondiente a nivel de red se incorporó en el *Entorno Común de Datos* establecido en este proyecto, como se muestra en la *Figura 60.*



**Figura 60. Integración de la información a nivel de proyecto en el Entorno Común de Datos (CDE).**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.5 Nivel de proyecto

En esta sección se presentan los análisis correspondientes al nivel de proyecto, según lo establecido en el proceso de gestión de activos viales. El objetivo es generar un programa de conservación plurianual y dar seguimiento a su ejecución. Los apartados que integran este proceso son los siguientes:

- Generación de segmentos homogéneos
- Elaboración del programa de conservación y asignación presupuestal

#### 3.2.5.1 Generación de Segmentos Homogéneos

Solorio *et al.* (2013) define un segmento homogéneo como la segmentación representativa de la red basada en la misma información en el proceso de gestión (capacidad estructural, estado del pavimento, tránsito, etc.).

En esta sección se describe el proceso realizado para generar segmentos homogéneos adecuados para el proceso de gestión con valores representativos y definiendo una longitud de cada una de ellas.

El punto de partida para la generación de segmentos homogéneos se estableció a partir de los registros de los parámetros representativos utilizados como criterio (IRI, CF y deflexiones). Para ello, se empleó un algoritmo de medias móviles. Los datos de IRI se analizan a cada veinte metros, los de CF a cada 100 metros y para las deflexiones se utilizó un valor representativo correspondiente a la deflexión más alta, normalizada a 700 kPa y a 20 °C por cada kilómetro.

En lo que respecta a la definición de los segmentos homogéneos para el sentido 1, en las Tablas 17 a 19 se presentan los valores de las medias móviles del parámetro analizado, así como la longitud de cada segmento correspondiente. Finalmente, en la Figura 61 se muestra gráficamente este proceso y en la Tabla 20 se detallan los segmentos homogéneos definidos con este criterio.

**Tabla 17. Segmentación del sentido 1 en función del IRI**

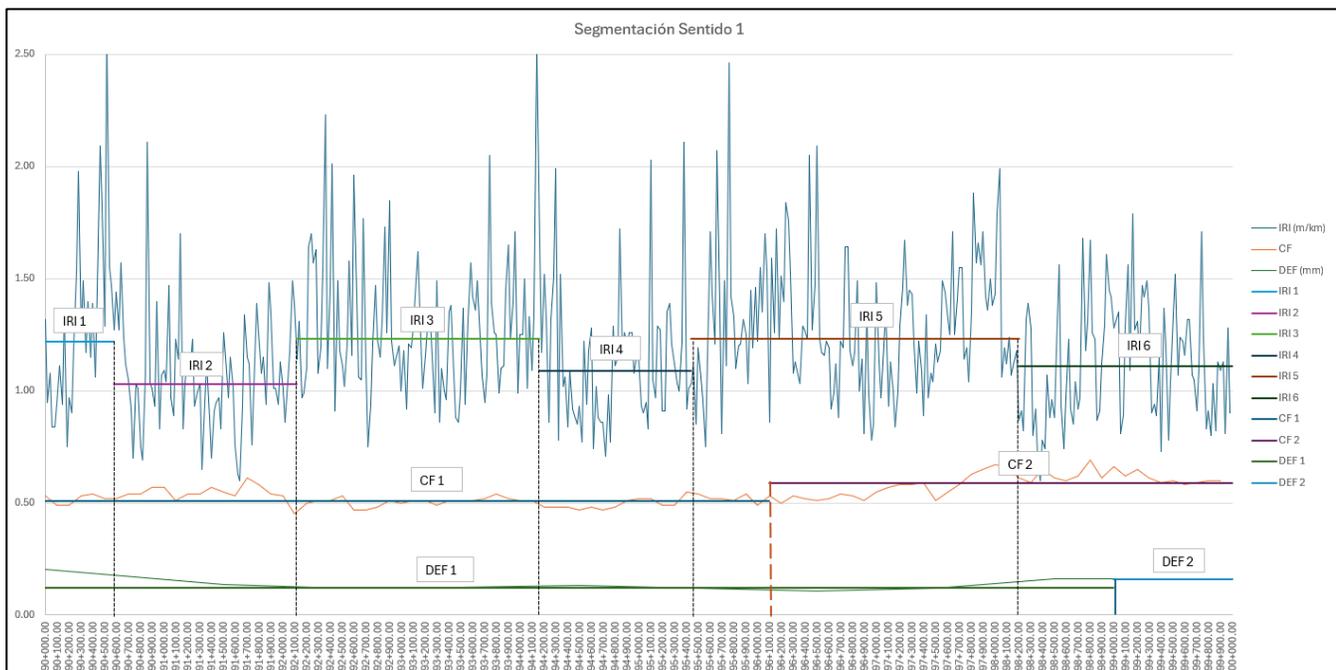
<b>Segmento</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>	<b>Media (IRI)</b>
1	90000.00	90580.00	1.22
2	90580.00	92120.00	1.03
3	92120.00	94160.00	1.23
4	94160.00	95440.00	1.09
5	95440.00	98200.00	1.23
6	98200.00	100000.00	1.11

**Tabla 18. Segmentación del sentido 1 en función del Coeficiente de Fricción (CF)**

Segmento	Inicio	Fin	Media (CF)
1	90000	96100	0.51
2	96100	100000	0.59

**Tabla 19. Segmentación del sentido 1 en función de la evaluación estructural del pavimento (Deflexiones)**

Segmento	Inicio	Fin	Media (DEF)
1	90000	99000	0.12
2	99000	100000	0.16



**Figura 61. Diagrama que define los segmentos homogéneos según los criterios establecidos para el sentido 1.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 20. Segmentos homogéneos definidos para el sentido 1**

<b>Segmento</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>	<b>Media (IRI)</b>	<b>Media (CF)</b>	<b>Media (DEF)</b>
IRI <sub>1</sub> CF <sub>1</sub> DEF <sub>1</sub>	90000	90580	1.22	0.51	0.12
IRI <sub>2</sub> CF <sub>1</sub> DEF <sub>1</sub>	90580	92120	1.06	0.51	0.12
IRI <sub>3</sub> CF <sub>1</sub> DEF <sub>1</sub>	92120	94160	1.23	0.51	0.12
IRI <sub>4</sub> CF <sub>1</sub> DEF <sub>1</sub>	94160	95440	1.09	0.51	0.12
IRI <sub>5</sub> CF <sub>1</sub> DEF <sub>1</sub>	95440	96100	1.23	0.51	0.12
IRI <sub>5</sub> CF <sub>2</sub> DEF <sub>1</sub>	96100	98200	1.23	0.59	0.12
IRI <sub>6</sub> CF <sub>2</sub> DEF <sub>2</sub>	98200	99000	1.11	0.59	0.16
IRI <sub>6</sub> CF <sub>2</sub> DEF <sub>2</sub>	99000	100000	1.11	0.59	0.16

Por otro lado, en el sentido 2 se realizó el mismo procedimiento descrito para el sentido 1. En las Tablas 21 a 23 se presentan los valores de las medias móviles correspondientes a cada parámetro analizado y la longitud de los segmentos resultantes. La Figura 62 ilustra gráficamente este proceso, mientras que en la Tabla 24 se detallan los segmentos homogéneos definidos para este sentido.

**Tabla 21. Segmentación del sentido 2 en función del IRI**

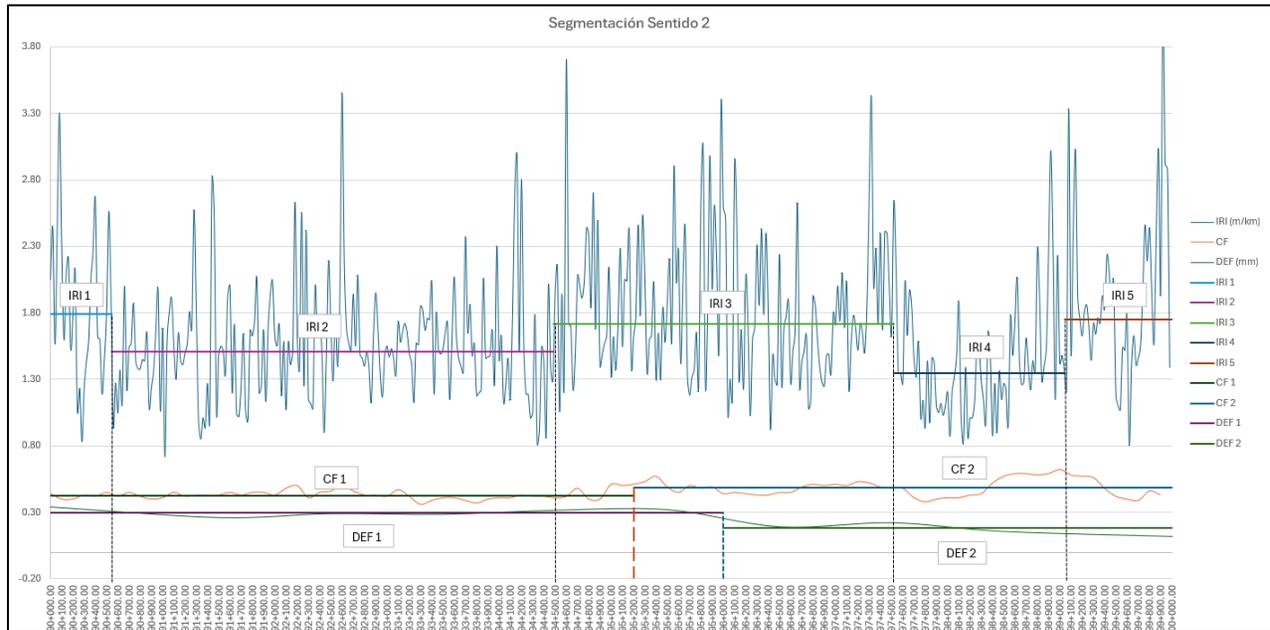
<b>Segmento</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>	<b>Media (IRI)</b>
1	90000.00	90540.00	1.79
2	90540.00	94480.00	1.51
3	94480.00	97520.00	1.72
4	97520.00	99040.00	1.35
5	99040.00	100000.00	1.75

**Tabla 22. Segmentación del sentido 2 en función del Coeficiente de Fricción (CF)**

<b>Segmento</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>	<b>Media (CF)</b>
1	90000	95200	0.43
2	95200	100000	0.49

**Tabla 23. Segmentación del sentido 2 en función de la evaluación estructural del pavimento (Deflexiones)**

Segmento	Inicio	Fin	Media (DEF)
1	90000	96000	0.300
2	96000	100000	0.180



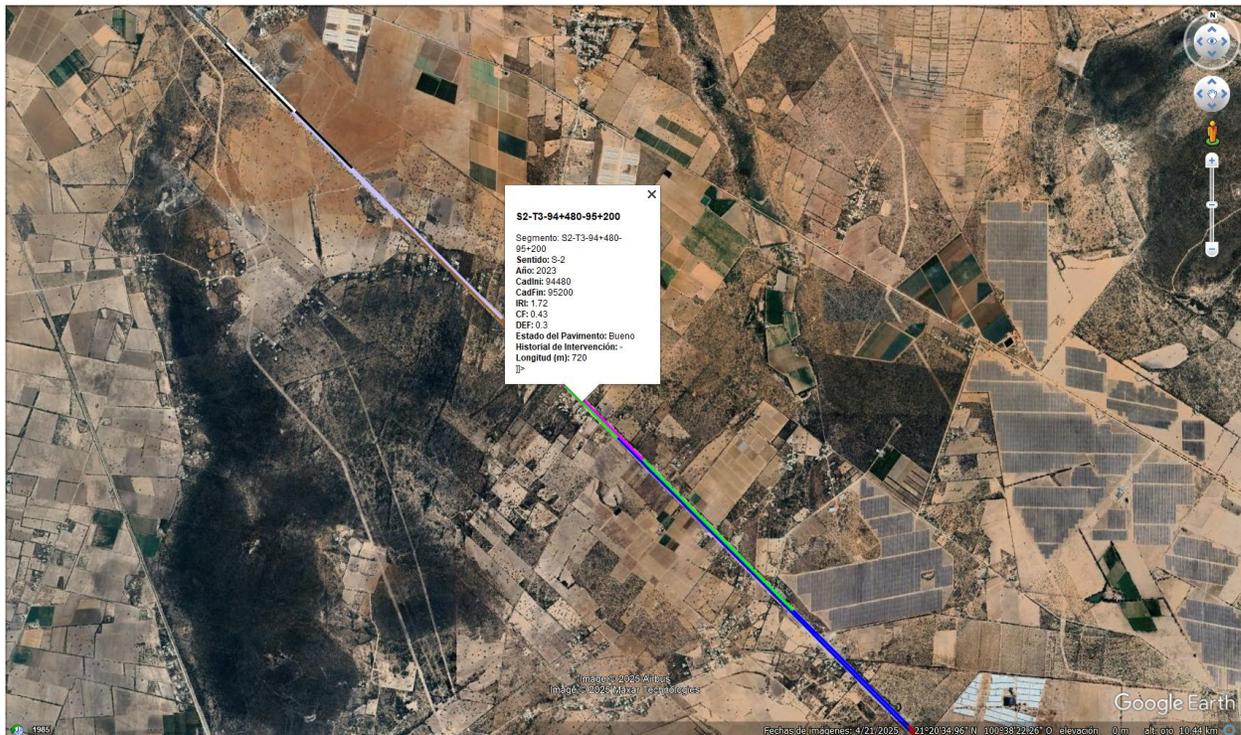
**Figura 62. Diagrama que define los segmentos homogéneos según los criterios establecidos para el sentido 2.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 24. Segmentos homogéneos definidos para el sentido 2**

Segmento	Inicio	Fin	Media (IRI)	Media (CF)	Media (DEF)
IRI <sub>1</sub> CF <sub>1</sub> DEF <sub>1</sub>	90000	90540	1.79	0.43	0.30
IRI <sub>2</sub> CF <sub>1</sub> DEF <sub>1</sub>	90540	94480	1.51	0.43	0.30
IRI <sub>3</sub> CF <sub>1</sub> DEF <sub>1</sub>	94480	95200	1.72	0.43	0.30
IRI <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> DEF <sub>1</sub>	95200	96000	1.72	0.49	0.30
IRI <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> DEF <sub>2</sub>	96000	97520	1.72	0.49	0.18
IRI <sub>4</sub> CF <sub>2</sub> DEF <sub>2</sub>	97520	99040	1.35	0.49	0.18
IRI <sub>5</sub> CF <sub>2</sub> DEF <sub>2</sub>	99040	100000	1.75	0.49	0.18

Una vez definidos los segmentos homogéneos en ambos sentidos de circulación, se procedió a su incorporación en un Sistema de Información Geográfica (SIG), como se muestra en la Figura 63. Esta integración permitió georreferenciar cada tramo con base en los parámetros evaluados (IRI, coeficiente de fricción y deflexiones), lo que facilita la visualización espacial del estado funcional y estructural de la carretera. El SIG resultante fue integrado en el Entorno Común de Datos (ECD), quedando disponible para su consulta y análisis posterior.



**Figura 63. Integración de los segmentos homogéneos en un SIG.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.5.2 *Elaboración del programa de conservación y asignación presupuestal*

El objetivo de este apartado se establecer un programa multianual de conservación del activo donde exista un balance adecuado entre un nivel de servicio adecuado en el activo y obtener mayor rentabilidad en el aspecto económico. Es decir, garantizar que las inversiones del proyecto de conservación produzcan

mayores beneficios con los recursos disponibles (Solorio et al., 2016). Los objetivos específicos al asignar actividades en esta sección son:

- Mantener un nivel de servicio adecuado establecido en el apartado 3.2.3.1 *Metas de desempeño*
- Obtener un plan de conservación multianual sin restricciones económicas
- Encontrar una combinación adecuada entre un nivel de desempeño óptimo del activo adecuándolo un escenario presupuestal sin restricciones

#### 3.2.5.2.1 Incorporación del software HDM-4

Para definir y analizar las estrategias de conservación, se utilizará la herramienta computacional HDM-4, en donde la información requerida para este proceso será a partir de las siguientes categorías:

- **Flotas vehiculares**

La flota vehicular se definió con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, tal como se muestra en la Tabla 25. Esta información se complementó con los datos de costos de operación vehicular publicados anualmente por el Instituto Mexicano del Transporte (Arroyo et al., 2025), para su integración en el modelo HDM-4. Además, esta información se complementa con la sección 3.3.1 Datos de tránsito; sin embargo, para el análisis en el HDM-4 se empleará una tasa de crecimiento del 3.5%.

- **Redes de carreteras**

En esta sección parte de los segmentos homogéneos generados en la *sección 3.4.2* de este documento, donde en el **ANEXO B** se muestra la asignación de la información de las siguientes categorías:

- Información general
- Geometría
- Datos del pavimento
- Condición del pavimento
- Otros

**Tabla 25. Flota vehicular empleada en el análisis**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Descripción</b>
A	Vehículo ligero
B3	Autobús de tres ejes
C2	Camión de dos ejes
C3	Camión de tres ejes
T3-S2	Camión articulado con un remolque y cinco ejes
T3-S3	Camión articulado con un remolque y seis ejes
T3-S2-R4	Camión articulado con doble remolque y nueve ejes

- **Estándares de conservación**

En esta sección se establecen los criterios para la formulación del programa de conservación. El HMD-4 permite establecer los siguientes estándares: conservación, mejora y construcción de tramos nuevos. Para este análisis se hará enfatizado a la conservación del pavimento (Solorio *et al.*, 2013).

Los datos de diseño de las acciones, criterios de intervención, costos, efectos y valuación de activos se muestran en el **ANEXO C**. Los criterios de conservación establecidos para la formulación del programa correspondiente son los siguientes:

- Reconstrucción (REC)
- Fresado y reemplazo de 5 cm (FR5)
- Microcarpeta (MIC)
- Reparación de grietas anchas (RGA)
- Reparación de desprendimientos (RDE)
- Bacheo (BCH)
- **Datos de configuración**

Este apartado presenta, en el espacio de trabajo del HDM-4, las categorías añadidas según la revisión de nivel de red de este proyecto (Tabla 26).

**Tabla 26. Criterios para los datos de configuración que integran el HDM-4**

<b>Datos de Configuración</b>	<b>Observación</b>
Modelos de tránsito	<i>Flujo libre</i>
Tipo de velocidad / capacidad	<i>Capacidad a flujo libre, dos carriles estándar.</i>
Tipo de accidentes	<i>Accidentes no considerados</i>
Clima	<i>Semiárido – Subtropical - cálido</i>
Unidad monetaria	<i>Pesos mexicanos</i>
Parámetros y series de calibración	<i>Deterioro del pavimento y efecto de los trabajos (AMGB y AMSB)</i>

**Nota:**

- **AMGB, Mezcla asfáltica sobre base granular**
- **AMSB, Mezcla asfáltica sobre base estabilizada**

Para abordar el componente económico, se aplican los criterios definidos en la Tabla 27, con el objetivo de generar escenarios de conservación que logren un equilibrio adecuado entre los aspectos técnicos y económicos.

**Tabla 27. Definición de la información para generar el programa de conservación en la herramienta computacional HMD-4**

<b>Parámetros para el análisis económico</b>	<i>Año de inicio: 2023</i>
	<i>Periodo de Análisis: 10 años</i>
	<i>Tasa de actualización: 10%</i>
	<i>Maximizar el Valor Presente Neto (VPN)</i>
<b>Tramos de análisis</b>	<i>Correspondiente a la sección 3.2.5.1 Definición de Segmentos Homogéneos</i>

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos y el análisis tanto de la propuesta metodológica para la vinculación de la metodología BIM con la gestión de activos viales, como de su aplicación en un activo específico. El objetivo es profundizar en la información recopilada y discutir las implicaciones derivadas de la implementación de la metodología BIM en la gestión de activos viales.

### 4.1 Propuesta metodológica de la aplicación de BIM en la gestión de activos viales

Según lo descrito en el Manual de Gestión de Activos de PIARC, el nivel de madurez de una organización encargada de gestionar la infraestructura vial es crucial para la viabilidad de integrar BIM en los procesos de gestión de activos viales. En este contexto, es necesario definir adecuadamente los siguientes elementos (PIARC, 2023):

- Metas, políticas y objetivos de la organización
- Inventario físico de los activos (pavimentos, puentes, dispositivos de seguridad, etc.)
- Estado y deterioro de los activos a través del tiempo
- Disponibilidad de la información para realizar:
  - Análisis del costo del ciclo de vida del activo
  - Gestión de riesgos
  - Plan financiero
  - Desarrollo de estrategias de inversión para la gestión de la red vial durante su vida útil

Sin embargo, para las organizaciones que carecen de información sobre sus activos o tienen poca o nula experiencia en el análisis de estos, la incorporación de

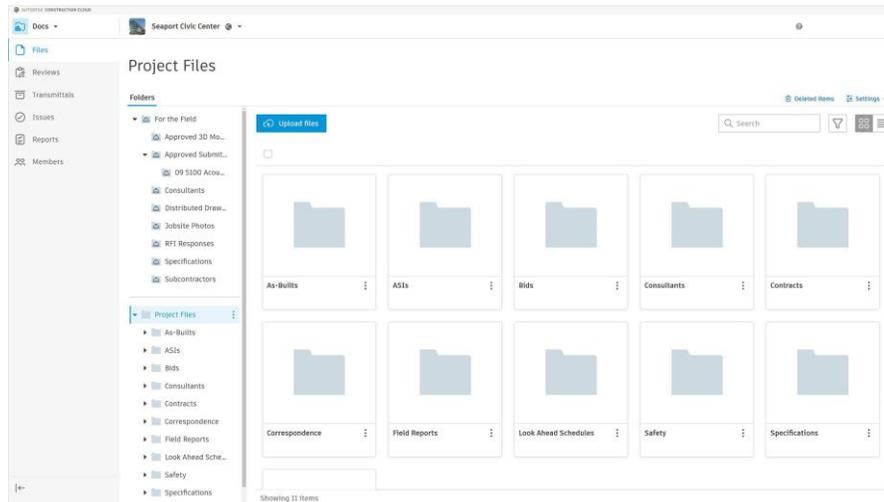
BIM en sus procesos no resulta viable. Es importante destacar que la integración de BIM en la gestión de activos viales depende del nivel de madurez del activo vial, tal como se describe en el Manual de Gestión de Activos de PIARC en la Tabla 1, y del nivel de madurez según la norma PAS 1192, mostrado en la Figura 11 de este documento. Según el grado de madurez de ambos, como se discute en la Tabla 28, se determinará la viabilidad de vincular ambas metodologías.

Así mismo, se debe enfatizar que la gestión de activos es responsable de establecer los procesos para conservar el activo dentro de un nivel de desempeño que cumpla con los objetivos organizacionales y financieros del activo, mientras que BIM se encarga de la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de este, desde la fase de suministro hasta la de operación.

**Tabla 28. Nivel de madurez para la vinculación de BIM y la gestión de activos viales**

Nivel de Madurez		
BIM	Gestión de Activos	Descripción
Nivel 0	Básico	No es posible vincular BIM con la gestión de activos, ya que la organización propietaria del activo no muestra interés en implementar un sistema de gestión de activos.
	Competente	No es posible vincular BIM con la gestión de activos, y la organización apenas cuenta con la capacidad o la intención de establecer una estrategia al respecto.
	Avanzado	La organización gestiona sus activos de manera óptima, pero no requiere ni tiene interés en aplicar BIM para la gestión de la información.
Nivel 1	Básico	La organización no ha implementado un sistema de gestión de activos ni aprovecha BIM más allá del modelo tridimensional.
	Competente	Se han definido estrategias iniciales de gestión de activos, pero su aplicación sigue siendo limitándose a modelos tridimensionales en BIM
	Avanzado	La organización comienza a integrar BIM en la gestión de activos, pero con colaboración básica y archivos digitales, sin lograr interoperabilidad entre las partes interesadas.
Nivel 2	Básico	La organización solo integra un proyecto BIM en la fase de suministro del activo sin implementar ninguna acción de gestión de activos.
	Competente	Se han implementado soluciones BIM con procesos definidos para la gestión de activos, aunque aún carecen de un enfoque integral.
	Avanzado	Se utiliza un Entorno Común de Datos para la gestión de activos con procesos definidos, aunque existen oportunidades de mejora.
Nivel 3	Básico	La organización solo integra un proyecto BIM en la fase de suministro del activo, sin implementar la gestión de activos. No obstante, esto facilitaría su adopción futura.
	Competente	La organización ha integrado eficientemente BIM en la fase de suministro y busca implementar la gestión de activos.
	Avanzado	Es el estado óptimo en el que una organización aplica eficientemente BIM en la gestión de activos, integrando herramientas y procesos de gestión de información a nivel de proyecto y red.

Un ejemplo de ello es la herramienta *Autodesk Construction Cloud* (Figura 64), la cual está limitada únicamente a la fase de suministro y carece de adaptabilidad para proyectos de infraestructura lineal, dado que su principal potencial radica en edificaciones y proyectos arquitectónicos.



**Figura 64. Interfaz de Autodesk Construction Cloud.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Por otro lado, la recreación de un modelo tridimensional de un activo ya concebido, como es el caso de este estudio, se presentan una gran serie de limitaciones, ya que no es comparable con la creación de un modelo de un activo desde la fase de diseño y planeación. Esta diferencia se debe, principalmente, a la existencia de vacíos de información y a la dificultad de integrar datos específicos al modelo tridimensional, lo cual restringe su precisión y utilidad durante el ciclo de vida del activo. Además, esta situación se ve agravada por la falta o pérdida de información durante el intercambio de datos entre las partes interesadas del proyecto y en cada cambio de las fases del ciclo de vida. En el caso particular de los activos viales, la ausencia de herramientas computacionales adecuadas para concebir estos modelos tridimensionales constituye una limitación adicional, dado que estas herramientas suelen carecer de adaptabilidad para proyectos de infraestructura lineal.

En la Tabla 29, se presenta una tabla comparativa que resume las principales características de las herramientas BIM aplicadas a la gestión de activos viales.

**Tabla 29. Comparativa de herramientas BIM y su aplicabilidad en la gestión de activos durante el ciclo de vida**

	<b>Entorno Común de Datos</b>	<b>Modelado 3D desde la fase de suministro</b>	<b>Modelado 3D en la fase de operación</b>
<b>Fase de aplicación</b>	Todo el ciclo de vida del activo	Diseño, planeación y construcción	Post-construcción (operación)
<b>Grado de funcionalidad</b>	Alta	Alta (datos reales disponibles)	Limitado (Por falta de datos)
<b>Disponibilidad de información</b>	Generalmente completa	Basada en datos reales	Posibilidad de vacíos o pérdida de información
<b>Facilidad de modelado e integración de datos</b>	Alta (si está bien implementado)	Alta - se incorporan datos existentes	Baja - difícil incluir datos específicos
<b>Integración en gestión de activos viales</b>	Algunos están limitados solamente en la fase de suministro	Complementa el análisis a nivel de proyecto, pero no es esencial	Dificulta la visualización e integración de datos a nivel de red

En la fase de suministro, los modelos tridimensionales han demostrado ser útiles y generar beneficios; sin embargo, en el ámbito de la infraestructura vial, su aplicación se ha limitado principalmente a elementos específicos como puentes o túneles. No obstante, los estudios revisados en la sección de antecedentes muestran que se han realizado esfuerzos por incorporarlos en aspectos puntuales de la gestión de activos, como es el caso de integrar parámetros de desempeño, por ejemplo, el IRI, dentro del modelo tridimensional.

Por su parte, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas clave en la gestión de activos, ya que permiten definir segmentos y visualizar espacialmente información relacionada a nivel de red. Su utilidad ha sido tal que muchas herramientas computacionales orientadas a la gestión de activos ya integran componentes SIG (Figura 65). Asimismo, para la presentación y análisis

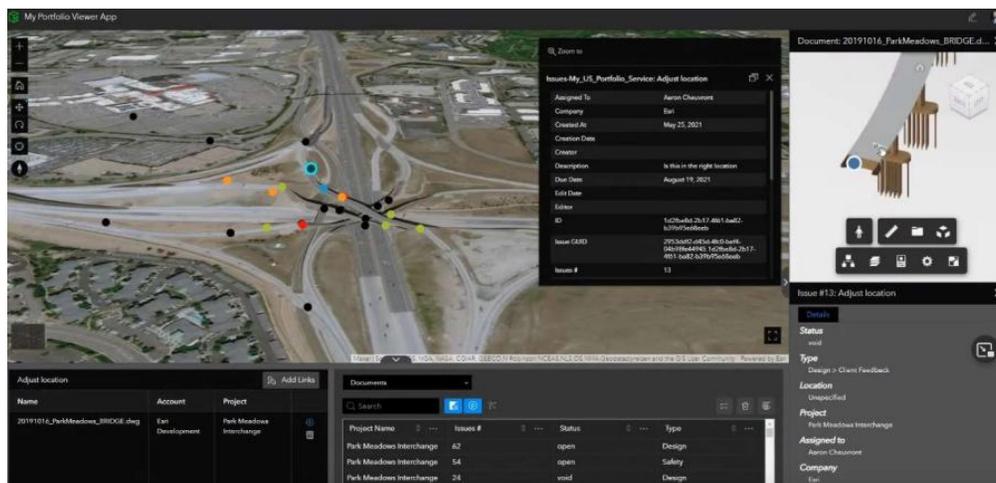
de información o generación de informes, como el estado del activo a nivel de red, un SIG resulta ser más preciso y funcional que un modelo tridimensional.



**Figura 65. Interfaz del software especializado para la gestión de activos Cartergraph**

**Fuente: Morris et al. (2020).**

Aunque se ha explorado la integración de SIG en entornos BIM, dando origen a conceptos como GeoBIM (Figura 66), estos aún están mayormente orientados a la fase de suministro del activo. Esto representa un área de oportunidad para ampliar su vinculación a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura; sin embargo, actualmente su aplicación en la gestión de activos no es viable.



**Figura 66. Interfaz de GeoBIM de Esri**

**Fuente: Renteria et al. (2024).**

Por último, puede afirmarse que el uso de modelos tridimensionales se ha centrado, hasta ahora, en proyectos específicos como la construcción de puentes o túneles. Aunque han sido útiles en estos casos, no se considera viable su aplicación para el análisis integral en la red vial.

La Figura 67 y la Tabla 30 muestra la relación entre los modelos tridimensionales, el GeoBIM y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la gestión de activos durante las distintas fases del ciclo de vida.

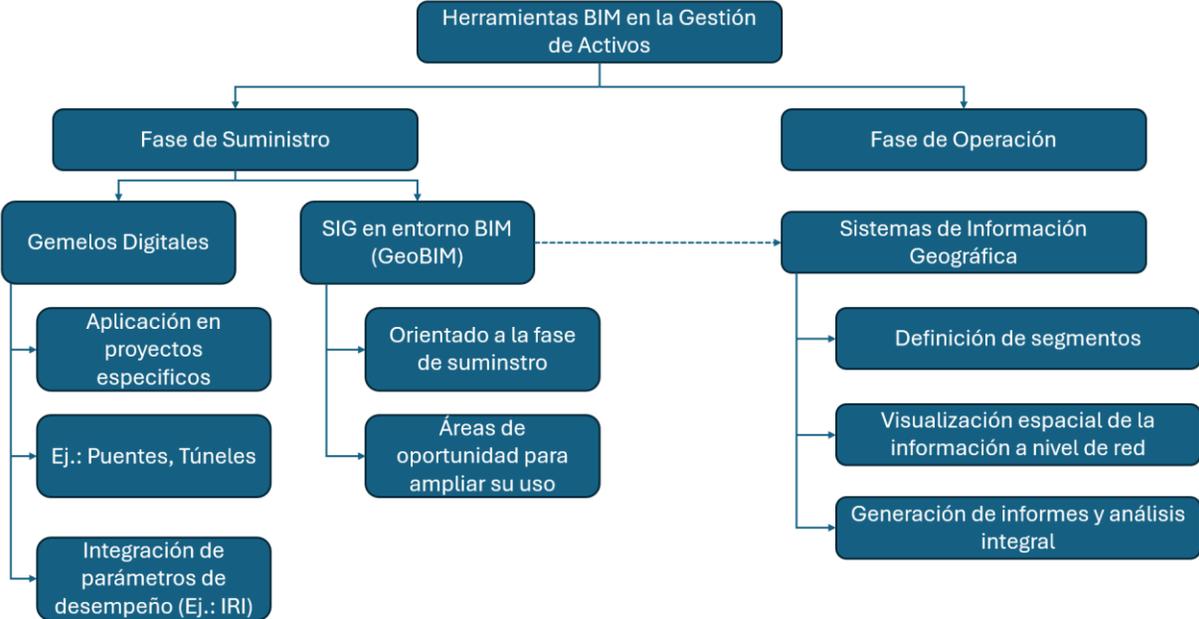
**Tabla 30. Relación entre modelos tridimensionales y SIG en la aplicación de BIM y gestión de activos.**

Fase	Elemento	Aplicación Principal
Suministro	Modelos Tridimensionales (3D)	Proyectos específicos (puentes, túneles) y aspectos puntuales (Integración de parámetros como IRI)
Suministro	SIG en entornos BIM (GeoBIM)	Integración inicial en la fase de suministro con potencial de expansión
Operación	Sistemas de información Geográfica (SIG)	Gestión de activos a nivel de red: segmentación, visualización espacial, análisis e informes

En este sentido, actualmente existen una amplia variedad de herramientas computacionales orientadas a BIM; no obstante, estas se concentran principalmente en la fase de suministro (diseño, planeación y construcción). Aunque este estudio aborda la adaptabilidad de BIM en la gestión de activos viales, se identifica una limitación en la concepción actual de la metodología. Las restricciones encontradas se centran en la falta de desarrollo de herramientas específicas para la gestión de infraestructura civil, lo cual reduce la viabilidad de adoptar BIM en este ámbito. Este escenario abre un área de oportunidad para el desarrollo de soluciones más adaptadas.

Asimismo, es importante considerar que los costos asociados a las licencias de ciertos softwares pueden representar un obstáculo para las organizaciones encargadas de los activos. Esto conduce a que, en muchos casos, se prefiera optar

por herramientas especializadas en gestión de activos, que resulten más viables y funcionales desde el punto de vista financiero.



**Figura 67. Relación de herramientas (modelos 3D, GeoBIM y SIG) para la gestión de activos a lo largo del ciclo de vida.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Finalmente, la asignación de roles y la definición precisa de los procesos de gestión de activos en BIM son aspectos fundamentales para que el propietario o encargado del activo pueda integrar ambas metodologías. Sin embargo, este proceso requiere una inversión significativa en la capacitación del personal, lo cual puede ser un elemento clave que limite la adopción de BIM. Por ello, resulta esencial discutir la viabilidad económica de incorporar BIM en la gestión de activos dentro de las organizaciones.

En la Tabla 31 se discute la viabilidad de la aplicación de herramientas BIM en los procesos involucrados en la gestión de activos viales

**Tabla 31. Análisis comparativo de Herramientas utilizadas en BIM para su aplicación en la gestión de activos.**

Fase	Herramientas / Metodología	Aplicación / Uso	Limitaciones	Áreas de Oportunidad / Alternativas	Requerimientos
<b>Suministro</b>	Modelos Tridimensionales (3D)	Proyectos específicos (ej.: puentes, túneles); integración de parámetros de desempeño (ej.: IRI)	Aplicación limitada a elementos puntuales y proyectos específicos	Integración con SIG a nivel de red	Alto costo en licencias
<b>Suministro</b>	GeoBIM	Diseño, planeación y construcción; uso en entornos BIM (GeoBIM)	Falta de herramientas específicas para infraestructura civil; enfoque centrado en la fase de suministro	Desarrollo de herramientas integradas que amplíen su aplicación a la gestión de activos viales	Alto costo (licencias), tiempo (capacitación) y altos recursos (especialización requerida)
<b>Operación</b>	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Gestión de activos a nivel de red: definición de segmentos, visualización espacial de la información, generación de informes y análisis integral	No cubre las capacidades de modelado 3D requeridas en BIM	Ampliar la integración con BIM (GeoBIM) y posibilidad de integrar adecuadamente en el ECD	Mayormente viable para la gestión de activos viales
<b>Operación</b>	Herramientas Especializadas en Gestión de Activos	Evaluación de la integración de BIM en el ciclo de vida completo de los activos	Integración parcial; falta de ajustes y herramientas específicas que faciliten la vinculación	Desarrollo de soluciones integradas que aborden las limitaciones en costos, tiempo y recursos de BIM	No necesita de BIM para poder realizar un proceso de gestión de activos adecuado

#### 4.2 Propuesta de aplicación. Caso de estudio: Carretera Querétaro – San Luis Potosí. Tramo San Luis de la Paz – San Diego de la Unión. Cadenamiento: 90+000 – 100+000.

En esta sección se presenta el programa de obra multianual, segmentado por tramo y alternativa, elaborado a partir del análisis realizado con la herramienta computacional HDM-4 y considerando todas las variables de entrada previamente descritas. Se incluye un listado de los trabajos requeridos para cada año en los segmentos definidos de las redes carreteras, conforme a los criterios de intervención establecidos en los estándares de trabajo.

Como parte del análisis de estrategias en HDM-4 para la generación del programa de conservación, se definieron dos escenarios de decisión:

1. **Alternativa base**, contempla únicamente trabajos rutinarios de conservación
2. **Alternativa de proyecto**, incluye tanto los trabajos rutinarios como acciones correctivas orientadas a mejorar los parámetros de desempeño.

Estas alternativas se detallan en la Tabla 32 a 33 (Alternativa de proyecto) y Tabla 34 a 35 (Alternativa base).

**Tabla 32. Alternativa de proyecto (Sentido 1)**

Segmento	Obras por año									
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
S1-T1-90+000-90+580		RDE								RDE
S1-T2-90+580-92+120		RDE								RDE
S1-T3-92+120-94+160		RDE								RDE
S1-T4-94+160-95+440		RDE								RDE
S1-T5-95+440-96+100		RDE								RDE
S1-T6-96+100-98+200		RDE								RDE
S1-T7-98+200-99+000		RDE								RDE
S1-T8-99+000-100+000		RDE	FR5							

**Tabla 33. Alternativa de Proyecto (Sentido 2)**

Segmento	Obras por año									
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
S2-T1-90+000-90+540		RDE	MIC					FR5		
S2-T2-90+540-94+480		RDE	FR5					MIC		
S2-T3-94+480-95+200		RDE	FR5					MIC		
S2-T4-95+200-96+000		RDE	FR5					MIC		
S2-T5-96+000-97+520		RDE	FR5							
S2-T6-97+520-99+040		RDE	FR5				MIC			
S2-T7-99+040-100+000		RDE	FR5							

**Tabla 34. Alternativa base (Sentido 1)**

Segmento	Obras por año									
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
S1-T1-90+000-90+580		RDE								RDE
S1-T2-90+580-92+120		RDE								RDE
S1-T3-92+120-94+160		RDE								RDE
S1-T4-94+160-95+440		RDE								RDE
S1-T5-95+440-96+100		RDE								RDE
S1-T6-96+100-98+200		RDE								RDE
S1-T7-98+200-99+000		RDE								RDE
S1-T8-99+000-100+000		RDE						RGA	RGA	RGA/ RDE

**Tabla 35. Alternativa base (Sentido 2)**

Segmento	Obras por año									
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
S2-T1-90+000-90+540		RDE		RGA						
S2-T2-90+540-94+480		RDE		RGA						
S2-T3-94+480-95+200		RDE		RGA						
S2-T4-95+200-96+000		RDE		RGA						
S2-T5-96+000-97+520		RDE						RGA	RGA	RGA
S2-T6-97+520-99+040		RDE						RGA	RGA	RGA
S2-T7-99+040-100+000		RDE						RGA	RGA	RGA

Así mismo, en la Tabla 36 se presenta un resumen del costo anual total correspondiente a cada alternativa del proyecto correspondiente al catálogo de conceptos de la SICT en el año 2023. En este contexto, tanto el programa de conservación propuesto como el desglose de costos permiten analizar y comparar el comportamiento de los activos a lo largo del tiempo. Tal como se expuso en el apartado 3.2.4.5 *Historial de intervenciones*, se discute la evolución del deterioro en el desempeño de los activos, lo cual se ve reflejado directamente en el programa de conservación.

En el caso del Sentido 1, tras la determinación del fallo del contrato de la organización encargada de la gestión del activo a través del esquema Asociación

Público-Privada (APP) en 2016, la red fue objeto de una reconstrucción total entre 2017 y 2018. A partir de 2019, el nivel de servicio, medido a través de los indicadores de desempeño, se ha mantenido por encima del 90 %, clasificándose en estado “bueno”. Este comportamiento se refleja en el programa de conservación, donde se observa que la red puede mantenerse en niveles óptimos de servicio mediante intervenciones de mantenimiento rutinario y periódico, sin requerir acciones de reconstrucción mayores.

Por otro lado, el comportamiento del Sentido 2 difiere considerablemente. Antes de 2017, el estado de la red era visiblemente mejor al del Sentido 1. Con base en los datos de irregularidad presentados en el apartado 3.2.4.5, se infiere que no se realizó una reconstrucción total o que el nivel de inversión fue significativamente menor en comparación con el Sentido 1. Esta diferencia se traduce en un programa de conservación que requiere un mayor nivel de inversión y una mayor cantidad de intervenciones para alcanzar los niveles de desempeño deseados.

**Tabla 36. Resumen de costo anual total por alternativa.**

<b>Año</b>	<b>Alternativa base</b>	<b>Alternativa de proyecto</b>
2025	\$ 908,240.96	\$ 908,240.96
2026	-	\$ 10,954,272.08
2027	\$ 131,202.97	-
2028	\$ 171,137.25	-
2029	\$ 348,417.81	-
2030	\$ 350,197.76	\$ 1,059,424.75
2031	\$ 494,432.70	\$ 4,444,498.75
2032	\$ 495,912.47	-
2033	\$ 920,503.83	\$ 262,525.50
<b>Total</b>	<b>\$ 3,820,045.75</b>	<b>\$ 17,628,962.04</b>

Finalmente, los resultados generados mediante el software HDM-4 proporcionan información detallada sobre los modelos de predicción de deterioro, el análisis económico del activo mediante indicadores de rentabilidad y un resumen de las actividades de conservación propuestas por tramo y por año. Los análisis correspondientes se detallan en los anexos siguientes:

- Predicción de irregularidad promedio por tramo y año, conforme al programa de conservación establecido (**Anexo D**)
- Resumen de los trabajos programados por año (**Anexo E**)  
Resumen del análisis económico correspondiente (**Anexo F**)

#### 4.2.1 Análisis multicriterio en la gestión de proyectos

Dado que el estudio se limita a un caso único sin una muestra comparativa con métodos tradicionales, la evaluación de la optimización se efectuó mediante criterios relativos y enfoques multicriterio, en lugar de análisis estadísticos. Por ello, no es factible establecer mejoras porcentuales como “es 20 % más eficiente” mediante un parámetro específico, ya que no se cuenta con un grupo de control. La viabilidad, eficacia y aportaciones del marco propuesto se analizaron con base en criterios clave, empleando herramientas como el Modelo de Suma Ponderada (WSM, por sus siglas en inglés) en el contexto de gestión de proyectos, con el fin de evidenciar mejoras posicionales relativas frente a escenarios hipotéticos.

Para validar de forma estructurada la propuesta metodológica que integra la gestión de activos con la metodología BIM, se aplicó el análisis multicriterio previamente mencionado. Este modelo permite comparar alternativas considerando múltiples criterios cualitativos y cuantitativos, incluso en situaciones donde no es viable establecer comparaciones directas mediante estudios paralelos.

A continuación, se muestran los parámetros establecidos para el desarrollo del modelo:

- **Definición de alternativas**

Se establecieron cuatro escenarios hipotéticos que representan distintos niveles de madurez e integración entre BIM y la gestión de activos viales (Tabla 37).

**Tabla 37. Definición de alternativas para el análisis multicriterio en la gestión de proyectos.**

Alternativa	Descripción
A1	Gestión de activos (Nivel de madurez avanzado) sin integración de la metodología BIM.
A2	Uso de BIM (solo fase de suministro y nivel de madurez 3) sin integración de herramientas de gestión de activos.
A3	Gestión de activos con procesos básicos de la metodología BIM (Propuesta de aplicación: Carretera Querétaro – San Luis Potosí. Tramo San Luis de la Paz – San Diego de la Unión. Cadenamiento: 90+000 – 100+000).
A4	<b>Aplicación de la metodología BIM (fase de suministro y operación; nivel de madurez 3) en la gestión de activos viales (Nivel de madurez avanzado). Se limita al avance tecnológico actual al momento del estudio.</b>

- **Criterios de evaluación**

Los criterios definidos se alinean con los objetivos del modelo propuesto y con los factores críticos identificados en la literatura (Tabla 38):

**Tabla 38. Clasificación de los criterios de evaluación.**

Criterio	Nombre mejorado	Tipo	Distribución Porcentual
C1	Digitalización de la información involucrada del activo	Manejabilidad de la información	0.04
C2	Adaptabilidad a proyectos de infraestructura horizontal (vías terrestres)	Técnico	0.04
C3	Concentración de la información a lo largo del ciclo de vida a través de un repositorio	Manejabilidad de la información	0.04

<b>Criterio</b>	<b>Nombre mejorado</b>	<b>Tipo</b>	<b>Distribución Porcentual</b>
C4	Interoperabilidad de la información entre distintas partes interesadas para la gestión del activo	Manejabilidad de la información	0.04
C5	Gestión de riesgos vinculados a la gestión del activo	Metodológico y Técnico	0.04
C6	Interoperabilidad de la información entre las aplicaciones enfocadas en la gestión del activo	Manejabilidad de la información y Técnico	0.04
C7	Representación visual y espacial de la información a nivel de red	Manejabilidad de la información	0.04
C8	Integración de la información involucrada en la fase de suministro	Manejabilidad de la información y Técnico	0.04
C9	Integración de la información involucrada en la fase de operación	Manejabilidad de la información y Técnico	0.04
C10	Desarrollo de competencias del personal involucrado en la gestión del activo	Manejabilidad de la información y Tiempo	0.04
C11	Evaluación de costos asociados a herramientas computacionales utilizadas	Económico	0.04
C12	Compatibilidad de software BIM con procesos tradicionales de gestión de activos viales	Técnico	0.04
C13	Facilidad operativa para mantener actualizada la información del activo	Manejabilidad de la información, Tiempo	0.04
C14	Accesibilidad funcional para generación de reportes y consultas del estado del activo	Manejabilidad de la información	0.04
C15	Comunicación efectiva entre herramientas y partes interesadas del activo	Manejabilidad de la información	0.04
C16	Definición de metas, objetivos y políticas organizacionales para el desempeño del activo en la fase de operación	Gestión estratégica	0.04
C17	Continuidad y trazabilidad de la información a lo largo del ciclo de vida del activo	Manejabilidad de la información	0.04

<b>Criterio</b>	<b>Nombre mejorado</b>	<b>Tipo</b>	<b>Distribución Porcentual</b>
C18	Análisis de viabilidad económica del activo	Económico	0.04
C19	Integración de fases del ciclo de vida en los procesos de gestión del activo	Manejabilidad de la información, Técnica	0.04
C20	Seguimiento continuo del desempeño del activo a lo largo del ciclo de vida	Manejabilidad de la información, Técnica	0.04
C21	Comunicación fluida entre software y personal involucrado en la gestión	Manejabilidad de la información	0.04
C22	Conexión estructurada entre las fases del ciclo de vida (diseño, operación, construcción y mantenimiento del activo)	Técnica	0.04
C23	Claridad y soporte visual para toma de decisiones basadas en datos	Manejabilidad de la información	0.04
C24	Reducción de tiempos en la generación de información útil	Tiempo	0.04
C25	Simplicidad operativa para la actualización continua de datos del activo	Manejabilidad de la información, Tiempo	0.04

Cada criterio fue jerarquizado en una escala de madurez ordinal de la siguiente manera:

- Ponderación 1: Nulo (0), Básico (1), Competente (2) y Avanzado (3).
- Ponderación 2: Bajo (3), Medio (2) y Alto (1)
- Ponderación 3: Si (0) y No (3)

Posteriormente, se asignaron pesos relativos a cada criterio, priorizando aquellos más relevantes para la optimización del proceso de gestión de activos (Tabla 39).

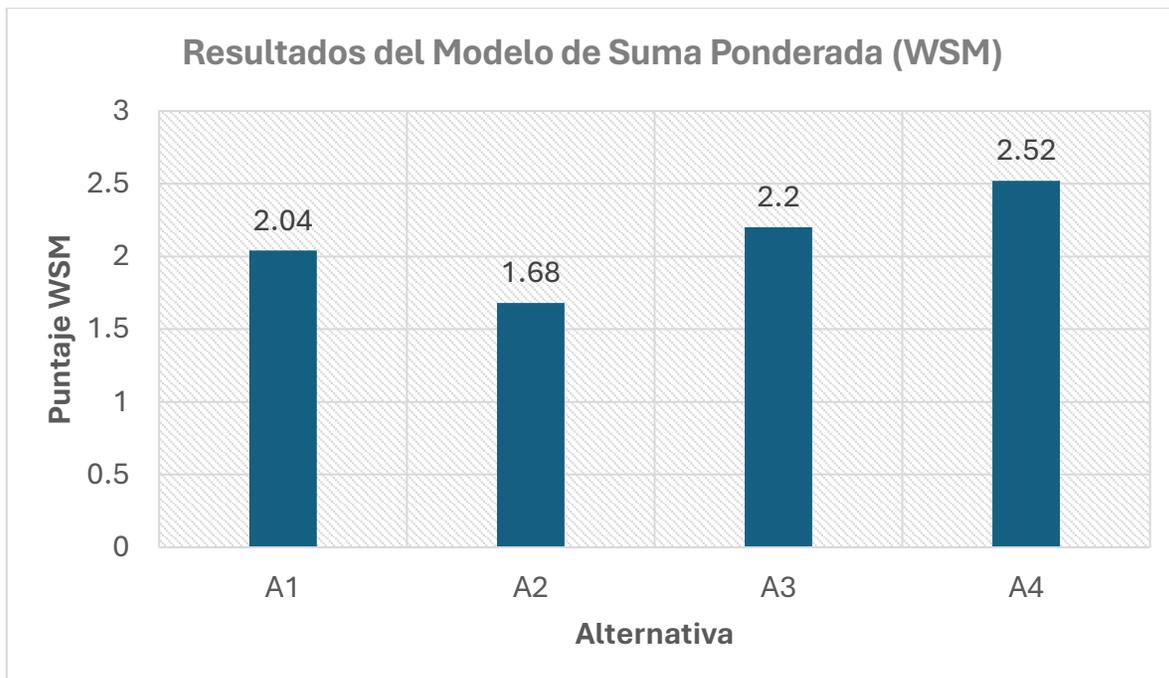
**Tabla 39. Evaluación de los criterios de evaluación por alternativa.**

Criterio	Alternativa			
	A1	A2	A3	A4
C1	Competente	Avanzado	Avanzado	Avanzado
C2	Avanzado	Básico	Básico	Básico
C3	Competente	Avanzado	Avanzado	Avanzado
C4	Nulo	Avanzado	Avanzado	Avanzado
C5	Avanzado	Básico	Competente	Avanzado
C6	Avanzado	Nulo	Nulo	Nulo
C7	Avanzado	Nulo	Básico	Avanzado
C8	Nulo	Avanzado	Competente	Avanzado
C9	Avanzado	Básico	Avanzado	Avanzado
C10	Si	Si	Si	Si
C11	Medio	Medio	Medio	Alto
C12	Nulo	Nulo	Nulo	Básico
C13	Avanzado	Avanzado	Avanzado	Avanzado
C14	Avanzado	Básico	Competente	Avanzado
C15	Básico	Avanzado	Avanzado	Avanzado
C16	Avanzado	Nulo	Avanzado	Avanzado
C17	Competente	Avanzado	Avanzado	Avanzado
C18	Avanzado	Nulo	Avanzado	Avanzado
C19	Competente	Competente	Avanzado	Avanzado
C20	Competente	Competente	Competente	Avanzado

Criterio	Alternativa			
	A1	A2	A3	A4
C21	Básico	Avanzado	Avanzado	Avanzado
C22	Básico	Básico	Competente	Avanzado
C23	Avanzado	Competente	Avanzado	Avanzado
C24	Avanzado	Competente	Competente	Avanzado
C25	Avanzado	Avanzado	Avanzado	Avanzado

- **Resultados del Modelo de Suma Ponderada (WSM)**

Al aplicar el método WSM, que consiste en multiplicar el valor de cada criterio por su peso y sumar los resultados por alternativa, se obtuvo lo siguiente (Figura 68):



**Figura 68. Resultado del análisis multicriterio de las diferentes alternativas de gestión de proyectos.**

## 5. CONCLUSIONES

La metodología BIM ha sido predominantemente utilizada en proyectos de infraestructura vertical, tales como edificaciones y proyectos arquitectónicos, su aplicación ha requerido adaptaciones para proyectos de infraestructura civil. En este contexto, es fundamental la integración de Sistemas de Información Geográfica.

Por otro lado, las herramientas computacionales disponibles actualmente en el mercado relacionadas con BIM están, en su mayoría, enfocadas principalmente en la fase de suministro (diseño, planeación y construcción). Si bien algunas de estas herramientas abordan aspectos de la gestión de activos correspondientes a la fase de operación, su aplicación ha sido limitada, especialmente en edificaciones o proyectos arquitectónicos. En este sentido, es importante destacar que un activo vial presenta un comportamiento distinto al de una edificación, lo que representa una oportunidad de mejora para integrar de manera más efectiva estos aspectos en la adopción de proyectos de infraestructura civil.

La integración de BIM como una metodología para la gestión de la información en la gestión de activos es una opción viable, ya que permite establecer un proceso sistemático que facilita el flujo de información entre nivel de proyecto y nivel de red, permitiendo la interacción entre las distintas partes interesadas. No obstante, es importante señalar que las partes involucradas y la información requerida durante la fase de operación no necesariamente serán los mismos que en las fases previas del proyecto.

Sin embargo, la implementación de los modelos tridimensionales no es una solución viable para la gestión de activos, debido a su limitación para representar y analizar de manera espacial el estado del desempeño del activo, así como para integrar información a nivel de red. En este sentido, se recomienda complementar el uso de BIM con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y promover su adaptabilidad a los estándares empleados en las herramientas de

gestión de activos utilizadas por las organizaciones responsables de la infraestructura vial.

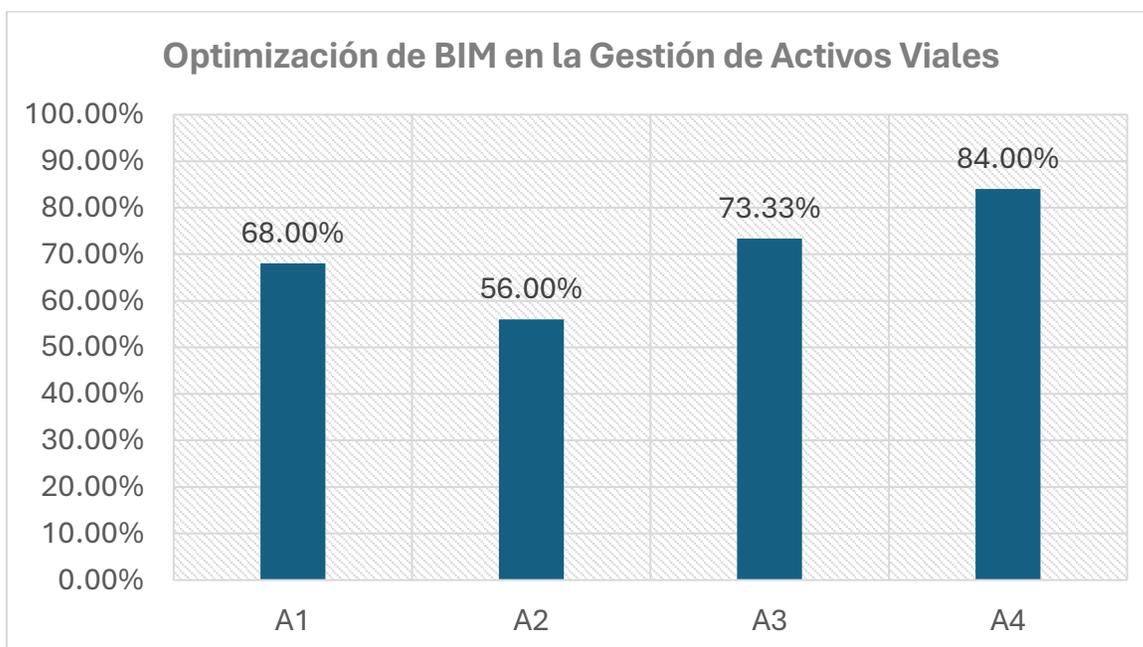
Por otro lado, la hipótesis en este estudio plantea que la utilización de la metodología BIM como un sistema de gestión de la información de activo vial durante su ciclo de vida, optimiza el proceso de la gestión de activos respecto a los sistemas empleados tradicionalmente en la gestión de la información de las redes de carreteras.

La aplicación del método de Suma Ponderada (WSM, por sus siglas en inglés) permitió validar de forma estructurada y cuantificable la superioridad técnica de la alternativa A4 frente a los escenarios con menor grado de madurez. Esta alternativa representa la integración ideal entre la metodología BIM y la gestión de activos viales, considerando un nivel de madurez avanzado conforme al marco propuesto por PIARC y alineado al Nivel 3 de madurez de acuerdo con la norma PAS 1192. No obstante, es importante señalar que esta propuesta está sujeta a las limitaciones actuales del desarrollo tecnológico, tanto en las herramientas de modelado BIM como en los sistemas de gestión de activos.

Por su parte, la alternativa A3 correspondiente a la propuesta de aplicación basada en la integración parcial de ambas metodologías, refleja una mejora sustancial en los procesos de gestión de activos viales. Sin embargo, presenta vacíos de información en la fase de suministro del activo, derivados principalmente de la limitada disponibilidad o acceso a bases de datos, ya que toda la información empleada en el análisis es de carácter público.

En contraste, las alternativas A2 y A1 son relativas a la gestión tradicional de activos y al uso aislado de BIM durante la etapa de proyecto y suministro respectivamente. Ambas evidencian que la metodología BIM, por sí sola, aún requiere un proceso de adaptación más profundo dentro del ámbito de la infraestructura vial. En consecuencia, su potencial de optimización se ve restringido a menos que se adopten los requerimientos específicos planteados en este estudio.

Para establecer un valor representativo de la optimización alcanzada mediante la integración de BIM y la gestión de activos, tal como se plantea en la hipótesis de este documento, se tomó como referencia la escala jerárquica del método WSM, en la cual el valor máximo (3) equivale al 100% de eficiencia relativa. A partir de ello, se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 69): A1 (68%), A2 (56%), A3 (73.33%) y A4 (84%). Como se observa, la alternativa A4 representa la opción más viable, mostrando una mejora del 16% respecto al modelo tradicional sin BIM, mientras que la alternativa A3 alcanza una optimización del 5.33%.



**Figura 69. Optimización de BIM en la Gestión de Activos Viales**

Cabe destacar que esta evaluación fue desarrollada incluso sin contar con un caso control paralelo. Sin embargo, esto se complementa a través de la validación teórica y conceptual con un análisis cuantitativo multicriterio, lo cual refuerza la viabilidad y el impacto del enfoque propuesto. Asimismo, los criterios empleados en el modelo fueron valorados considerando la disponibilidad actual de herramientas tecnológicas y su grado de compatibilidad, mientras que las ponderaciones fueron definidas a partir del criterio técnico del autor, apoyado en el

análisis de herramientas disponibles, la revisión documental y aplicaciones de distintos proyectos en curso donde esta implementada BIM o la gestión de activos.

Finalmente, se concluye que la metodología BIM podría ser viable en la gestión de activos únicamente en aquellos procesos relacionados con la gestión de la información, específicamente en lo que respecta al intercambio de datos tanto a nivel de proyecto como de red, tal como se aborda en este estudio. No obstante, los costos de inversión que una organización carretera tendría que asumir para incorporar BIM en sus procesos podrían ser elevados, y la rotación de personal representa un factor de riesgo adicional para su implementación efectiva. Por ello, resulta más sostenible que una organización continúe gestionando sus activos mediante las herramientas especializadas en gestión de activos actualmente disponibles, sin necesidad de incorporar BIM.

Por lo tanto, se sostiene que una organización puede ejecutar una gestión de activos de manera efectiva, independientemente de la incorporación de BIM, siempre que se define, implemente y aplique de forma rigurosa sus estrategias y objetivos organizacionales orientados a la gestión de activos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO (2012). *Pavement Management Guide, Second Edition 2012*. AASHTO, Washington, DC.

AASHTO TAM Guide – AASHTO Transportation Asset Management Guide Volume III. (2020). <https://www.tamguide.com/>

Arisekola, K., & Madson, K. L. (2023). Digital twins for asset management: Social network analysis-based review. *Automation in Construction*, 150, 104833. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104833>

Arroyo, J. A., Hernández, S., Cruz, G., Vilchis, D. A. y Abarca (2024). Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2024. [Publicación técnica no.739]. Querétaro, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt838.pdf>.

Asset Management Tools | Asset Management Manual - World Road Association (PIARC). (2023). <https://road-asset.piarc.org/en/applications/asset-management-tools>

Biancardo, S. A., Viscione, N., Cerbone, A., & Dessì, E. (2020). BIM-Based design for road infrastructure: a critical focus on modeling guardrails and retaining walls. *Infrastructures*, 5(7), 59. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070059>

BibLus. (2023). BIM maturity Levels: from stage 0 to stage 3. <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-maturity-levels-from-stage-0-to-stage-3/>

BibLus. (2023). The dimensions of BIM – 3D, 4D, 5D, 6D, 7D, 8D, 9D, 10D BIM explained. <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions/>

BIM, GIS, IoT, and AR/VR Integration for Smart Maintenance and Management of Road Networks: a Review. (2018). IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8656978>

Building Information Modelling (BIM) for Transport and Main Roads A guide to enabling BIM on Road Infrastructure Projects. State of Queensland (Department of Transport and Main Roads, 2017)

BSI. Building Smart (2020). Guía BIM para Propietarios y Gestores de Activos. <https://www.buildingsmart.es/recursos/gu%C3%ADa-bim-para-propietarios-y-gestores-de-activos/>

BSI. Building Smart. (2021). Introducción a la serie en ISO 19650. <https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650/>

BSI. Building Smart (2023). Roles en organizaciones y proyectos que utilizan BIM. <https://www.buildingsmart.es/recursos/roles-en-organizaciones-y-proyectos/>

J. Carneiro, R. J. F. Rossetti, D. C. Silva and E. C. Oliveira, "BIM, GIS, IoT, and AR/VR Integration for Smart Maintenance and Management of Road Networks: a Review," 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), Kansas City, MO, USA, 2018, pp. 1-7, doi: 10.1109/ISC2.2018.8656978.

Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R., Pellicer, E., & Porras, H. (2021). BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design. *Automation in Construction*, 131, 103911. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103911>

Chong, H., Lopez, R., Wang, J., Wang, X., & Zhao, Z. (2016). Comparative analysis on the adoption and use of BIM in road infrastructure projects. *Journal of Management in Engineering*, 32(6). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000460](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000460)

Consilvio, A., Hernández, J. S., Chen, W., Brilakis, I., Bartocchini, L., Di Gennaro, F., & Van Welie, M. (2023). Towards a digital twin-based intelligent

decision support for road maintenance. *Transportation Research Procedia*, 69, 791–798. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.237>

Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., & Chen, S. S. (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction*, 94, 257–281. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001>

D’Amico, F., Bertolini, L., Napolitano, A., Ciampoli, L. B., Manalo, J. R. D., Gagliardi, V., & Calvi, A. (2023). A possible implementation of non-destructive data surveys in the definition of BIM models for the analysis of road assets. *Transportation Research Procedia*, 69, 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.161>

Darwin, D., Heller, S. & Lindström, Y., (2019). Requirements for the Education of Road Asset Managers - A PIARC Approach. *Routes/Roads*, Issue 381, pp. 33-36.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons.

es.BIM. (2017). Definición de Roles en procesos BIM. En <https://bim.tecniberia.es/wp-content/uploads/2016/11/GT2-Personas-SG2.3-Roles.pdf>. <https://bim.tecniberia.es/wp-content/uploads/2016/11/GT2-Personas-SG2.3-Roles.pdf>

Fang, Z., Liu, Y., Lu, Q., Pitt, M., Hanna, S., & Tian, Z. (2022). BIM-integrated portfolio-based strategic asset data quality management. *Automation in Construction*, 134, 104070. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104070>

Federal Highway Administration (2021) *Advancing BIM for Infrastructure: National Strategic Roadmap*. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/21064/index.cfm>

Feito, O. B. (2024). ¿Qué es Infracworks? Diseño conceptual de Infraestructuras para análisis de soluciones en un entorno BIM. Imasgal. <https://imasgal.com/que-es-infracworks/>

Feng, J., Ma, L., Broyd, T., Chen, W., & Luo, H. (2022). Digital twin enabled sustainable urban road planning. *Sustainable Cities and Society*, 78, 103645. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103645>

Garramone, M., Moretti, N., Scaioni, M., Ellul, C., Cecconi, F. R., & Dejaco, M. C. (2020). BIM AND GIS INTEGRATION FOR INFRASTRUCTURE ASSET MANAGEMENT: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VI-4/W1-2020, 77–84. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-vi-4-w1-2020-77-2020>

Formazione, C. (2024). *InfraWorks, de Autodesk ¿qué es InfraWorks?* Espacio BIM. <https://www.espaciobim.com/infracworks>

Gestión de activos. “Business Solutions” Asset Management Maintenance Framework. Dr. Luis Amendola, Ph. D. 3ª Edición. PMM Institute for learning. Valencia –España. Printed by Coprint S.L. (20 mayo 2015)

Getting started | Asset Management Manual - World Road Association (PIARC). (2023). <https://road-asset.piarc.org/en/management-asset-management-implementation/getting-started>

Guignone, G. C., Da Gama, J. L. C. N., Vieira, D. R., & Bravo, A. (2023). BIM and LCA integration methodologies: A critical analysis and proposed guidelines. *Journal of Building Engineering*, 73, 106780. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106780>

Han, C., Han, T., Ma, T., Tong, Z., Wang, S., & Hei, T. (2023). End-to-end BIM-based optimization for dual-objective road alignment design with driving safety and construction cost efficiency. *Automation in Construction*, 151, 104884. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104884>

Haas, R., Hudson, W. y Zaniewsky, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Malabar (FL): Krieger Publishing Company.

Haas, R., Hudson, W. R. & Falls, L. C., 2015. *Pavement Asset Management*. Primera ed. Salem(MA): Scrivener Publishing LLC / John Wiley & Sons, Inc..

Heller, S., 2021. BIM - Stereotypes and Misunderstandings in the Context of Road Asset Management (documento de trabajo del Comité Técnico 3.3 de la PIARC).

ISO 19650-1 (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles*. International Organization for Standardization.

ISO 55002 (2014). *Asset Management – Overview, principles and terminology*. International Organization for Standardization.

ISO 55002 (2018). *Asset Management – Management Systems – Guidelines for the application of ISO 55001*. International Organization for Standardization.

Jian, S. (2020). The application of BIM technology in road and bridge construction management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 587(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/587/1/012002>

Justo, A., Soilán, M., Sánchez-Rodríguez, A., & Riveiro, B. (2021). Scan-to-BIM for the infrastructure domain: Generation of IFC-compliant models of road infrastructure assets and semantics using 3D point cloud data. *Automation in Construction*, 127, 103703. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103703>

Kenley, R., Harfield, T., & Bedggood, J. (2014). Road Asset Management: The role of location in mitigating extreme flood maintenance. *Procedia. Economics and Finance*, 18, 198–205. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00931-9](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00931-9)

Lee, S., & Kim, B. (2011). IFC extension for road structures and digital modeling. *Procedia Engineering*, 14, 1037–1042. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.130>

Mendoza Sánchez, J. F., Adame Valenzuela, E., Gradilla Hernández, L. A., Alonso Guzmán, E. M. y Marcos Palomares, O. A. (2021). Sistema de Información Climática para el Diseño de Infraestructura Carretera. [Publicación técnica no.636]. Querétaro, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt636.pdf>.

Mirboland, M., & Smarsly, K. (2021). BIM-Based Description of Intelligent Transportation Systems for Roads. *Infrastructures*, 6(4), 51. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6040051>

Moretti, N., Ellul, C., Cecconi, F. R., Papapesios, N., & Dejaco, M. C. (2021). GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision making. *Automation in Construction*, 130, 103859. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103859>

Morris, C., Theroux, A., & Kline, C. F. (2020). *GIS Tools and Apps – Integration With Asset Management*. <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/62205>

Morín Maya, E., & Alvarado Roldán, M. L. (2017, junio). Indicadores de rentabilidad (Boletín No. V). Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP). [https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores\\_rentabilidad.pdf](https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf)

Najafi, M., & Bhattachar, D. V. (2011). Development of a culvert inventory and inspection framework for asset management of road structures. *Journal of King Saud University - Science*, 23(3), 243–254. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.11.001>

Nicolosi, V., Augeri, M. G., Leonardi, S., & Distefano, N. (2023). Cross-Asset resource allocation and the impact on road network performance. *Transportation Research Procedia*, 69, 799–806. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.238>

Oreto, C., Biancardo, S. A., Veropalumbo, R., & Veropalumbo, R. (2023). Leveraging Infrastructure BIM for Life-Cycle-Based Sustainable Road pavement Management. *Materials*, 16(3), 1047. <https://doi.org/10.3390/ma16031047>

Pantuso, A., Flintsch, G. W., Katicha, S. W., & Loprencipe, G. (2019). Development of network-level pavement deterioration curves using the linear empirical Bayes approach. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(6), 780-793. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1646912>

Patel, K., & Ruparathna, R. (2021). Life cycle sustainability assessment of road infrastructure: a building information modeling-(BIM) based approach. *The International Journal of Construction Management*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.2017113>

Park, T., Kang, T., Lee, Y., & Seo, K. W. (2014). Project cost estimation of National Road in preliminary feasibility stage using BIM/GIS platform. *Computing in Civil and Building Engineering (2014)*. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.053>

Peraka, N. S. P., & Biligiri, K. P. (2020). Pavement asset management systems and technologies: A review. *Automation in Construction*, 119, 103336. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103336>

Petchrompo, S., & Parlikad, A. K. (2019). A review of asset management literature on multi-asset systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 181, 181–201. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.09.009>

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, VI-4/W1-2020, 77–84. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-vi-4-w1-2020-77-2020>

PIARC. (2006). Highway Development and Management Model (HDM-4) User Manual.

¿Qué es BIM? | Building Information Modeling | Autodesk. (2023).  
<https://www.autodesk.es/solutions/bim>

Radopoulou, S. C., & Brilakis, I. (2016). Improving road asset condition monitoring. *Transportation Research Procedia*, 14, 3004–3012.  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.436>

Renteria, A. y Cook, G. (2024). *ArcGIS GeoBIM: An Introduction*. ArcGIS Blog. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/geobim/aec/arcgis-geobim-an-introduction>

Renzi, E., & Trifarò, C. A. (2023). Knowledge and Digitalization: a way to improve safety of Road and Highway Infrastructures. *Procedia Structural Integrity*, 44, 1228–1235. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.158>

Sabato, E., D'Amico, F., Tripodi, A., & Tiberi, P. (2023). BIM & Road safety – Applications of digitals models from in-built safety evaluations to asset management. *Transportation Research Procedia*, 69, 815–822.  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.240>

Safari, K., & AzariJafari, H. (2021). Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102728.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102728>

Salzano, A., Parisi, C., Acampa, G., & Nicolella, M. (2023). Existing assets maintenance management: Optimizing maintenance procedures and costs through BIM tools. *Automation in Construction*, 149, 104788.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104788>

Sampaio, A. Z. (2022). Project management in office: BIM implementation. *Procedia Computer Science*, 196, 840–847.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.083>

Sampaio, A. Z. (2023). BIM training course improving skills of Construction industry professionals. *Procedia Computer Science*, 219, 2035–2042. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.505>

SHCP. Secretaria de Hacienda y Crédito Público (2019). Estrategia para la implementación del modelado de información de la construcción (MIC) en México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/473961/Plan\\_estrategico\\_MIC.PDF](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/473961/Plan_estrategico_MIC.PDF)

Sinha, K. C., Labi, S., & Agbelie, B. (2017). Transportation infrastructure asset management in the new millennium: continuing issues, and emerging challenges and opportunities. *Transportmetrica*, 13(7), 591–606. <https://doi.org/10.1080/23249935.2017.1308977>

Strafaci, A. (2008). What does BIM Mean for Civil Engineers? <https://trid.trb.org/view/873759>

Salzano, A., Parisi, C., Acampa, G., & Nicoletta, M. (2023). Existing Assets Maintenance Management: Optimizing maintenance procedures and costs through BIM tools. *Automation in Construction*, 149, 104788. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104788>

SICT. Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2024). Datos Viales 2024. *Dirección General de Servicios Técnicos* (DGST). [https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos\\_Viales\\_2024/00\\_Int\\_DV2024.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos_Viales_2024/00_Int_DV2024.pdf)

Solorio, R., Hernández, R. I., Montoya M. y Cárdenas, S. L. (2013). Metodología para la elaboración de anteproyectos de presupuesto para la conservación de autopistas con HDM-4. [Publicación técnica no.375]. Querétaro, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt375.pdf>.

Solorio, R., Garnica, P., Montoya, M. y Hernández, R. (2016). Metodología basada en el HDM-4 para la selección de metas de desempeño en la red federal de carreteras. [Publicación técnica no.457]. Querétaro, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt457.pdf>.

Solorio, R., Garnica, P. & Hernández, R. (2018). Un protocolo para la gestión del patrimonio vial en México. Instituto Mexicano del Transporte. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=476&IdBoletin=175>

Solorio, R. y Montoya, M. (2021). Capacidad estructural y conservación de pavimentos asfálticos a nivel de red. [Publicación técnica no.642]. Querétaro, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt642.pdf>.

Solorio Murillo, J. R. (2023). La Gestión de Activos como prerrequisito para la aplicación de BIM en gestión de carreteras. Instituto Mexicano Del Transporte. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=574&IdBoletin=202>

Solorio, R., Toral, J. y Soto, R. (2023). Estado actual en el desarrollo de modelos de deterioro de pavimentos. [Publicación técnica no.739]. Querétaro, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt739.pdf>.

Solorio, R. y Sánchez, A. (2024). Identificación de ciclos de deterioro de pavimentos en función del IRI. [Publicación técnica no.794]. Querétaro, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt794.pdf>.

Tang, F., Ma, T., Zhang, J., Guan, Y. L., & Chen, L. (2020). Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM. P, 113, 103152. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103152>

Trojanová, M. (2014). Asset management as integral part of road economy. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.030>

United Kingdom Roads Liaison Group (UKRLG) and Highways Maintenance Efficiency Programme (HMEP), Highway Infrastructure Asset Management Guidance Document, Londres: Department for Transport, London, 2013.

Vignali, V., Acerra, E. M., Lantieri, C., Di Vincenzo, F., Piacentini, G., & Pancaldi, S. (2021). Building information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure. *Automation in Construction*, 128, 103752. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103752>

Welcome to the National BIM Standard - United States | National BIM Standard - United States. (2013). <https://www.nationalbimstandard.org/>

Zhu, B., Hou, F., Feng, T., Li, T., & Song, C. (2023). An information model for highway operational risk management based on the IFC-Brick schema. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12(3), 878–890. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.12.004>

Zhu, J., Wang, X., Wang, P., Wu, Z., & Kim, M. J. (2019). Integration of BIM and GIS: Geometry from IFC to shapefile using open-source technology. *Automation in Construction*, 102, 105–119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.014>

## ANEXOS

### Anexo A. Solicitud de información del activo.

a. Formato de solicitud de información al Instituto Mexicano del Transporte.

ACUSE



Santiago de Querétaro, Qro.; a 5 de octubre del 2023.

**Dr. Horacio Delgado Alamilla**  
Coordinador de la Coordinación de Infraestructura en Vías Terrestres  
Instituto Mexicano del Transporte  
Presente. -

Me permito la presente para solicitar formalmente su colaboración y apoyo en el desarrollo de mi tesis de investigación titulada "La metodología BIM en la gestión de activos viales. Propuesta de Aplicación." La naturaleza de mi investigación requiere el acceso a la información recopilada en el "Programa de Auscultación de la Red Carretera Federal" llevado a cabo anualmente por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), la cual se tiene una copia de esta en la Coordinación de Infraestructura en Vías Terrestres.

El propósito de mi investigación es explorar y proponer la aplicación de la metodología BIM (*Building Information Modeling*) en la gestión de activos viales. Mi objetivo es demostrar cómo esta metodología puede mejorar significativamente la eficiencia en la gestión de activos, particularmente en el contexto de las redes de carreteras.

Es fundamental destacar que la utilización de los datos obtenidos se limitará exclusivamente a fines académicos y de investigación para el desarrollo de mi tesis. La investigación será conducida de acuerdo con los estándares éticos establecidos por el *Comité de Ética para la Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro*.

El *Dr. José Ricardo Solorio Murillo*, Jefe de Grupo de Gestión de Activos de la Infraestructura del Transporte, ha aceptado amablemente ser el director de mi tesis, brindando su experiencia y orientación en esta área específica.

Agradezco de antemano su consideración y colaboración en este asunto. Estoy dispuesto a proporcionar cualquier documentación adicional necesaria y estoy abierto a discutir los detalles de este proyecto en cualquier momento que le resulte conveniente.

Quedo a la espera de su favorable respuesta y agradezco de antemano la atención dispensada.



Atentamente,



Ing. Agustín Sánchez Olguín

Alumno de la Maestría en Vías Terrestres y Movilidad

Tel. 771 175 72 95

E-mail: [asanchez300@alumnos.uaq.mx](mailto:asanchez300@alumnos.uaq.mx)

C.c. M.C. Juan Fernando Mendoza Sánchez  
Dr. José Ricardo Solorio Murillo



b. Permiso de uso de información por parte del Instituto Mexicano del Transporte.



**Instituto Mexicano del Transporte**  
**Coordinación de Infraestructura en Vías Terrestres**  
Oficio No. 3.5.203.183/2023

San Fandila, Qro., a 11 de octubre de 2023

**Ing. Agustín Sánchez Olgún**  
Alumno de la Maestría en Vías Terrestres y Movilidad  
Universidad Autónoma de Querétaro  
Presente

En relación con su comunicación del día 5 de los corrientes relativa al acceso a los datos del "Programa de Auscultación de la Red Carretera Federal" a cargo de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SICT, de los cuales obra una copia en poder de esta Coordinación, por medio del presente me es grato manifestarle que no existe inconveniente de nuestra parte para que utilice esta información en el desarrollo de la tesis del programa de maestría que actualmente cursa en la Universidad Autónoma de Querétaro. No omito reiterarle que el uso de los datos debe limitarse exclusivamente a este fin y que deben respetarse todas las disposiciones de confidencialidad aplicables.

Mucho le agradeceré ponerse en contacto con el Dr. Ricardo Solorio Murillo para hacer efectivo el acceso solicitado.

ATENTAMENTE,

**Dr. Horacio Delgado Alzamilla**  
Coordinador de la Coordinación de Infraestructura en Vías Terrestres

C. c. p. M.C. Juan Fernando Mendoza Sánchez, Jefe de la División de Laboratorios de Infraestructura del IMT. - Para su conocimiento.  
Dr. José Ricardo Solorio Murillo, Investigador Titular del IMT. - Para su conocimiento.

Km 12 Carretera Estatal N° 431, El Colorado-Galindo, San Fandila, Pedro Escobedo C.P. 76703 Querétaro, México.  
Tel: (442) 216 97 77 [www.gob.mx/imt](http://www.gob.mx/imt)

Periférico Sur N° 1990, Planta Baja, Tlacopac, Alcaldía Álvaro Obregón, C.P. 01049, Ciudad de México.  
(Oficina de Partes) [www.gob.mx/imt](http://www.gob.mx/imt)



## Anexo B. Redes de carreteras.

### • Información general

ID	Descripción	Última modificación	Clase de sup.	Tipo de pavimento	Juego de calibración PD	Long (km)	Ancho de calzada (m)	Flujo de tránsito	Ancho acot. (m)	Tipo vel./cap.	Modelo de tránsito	Tipo de accidente	Zona climática	Tipo de carretera	Año TDPA TM	TDPA del TM	Año TDPA TMM	TDPA del TMM
S1-1	S1-T1-90+000-90-580	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	0,6	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12621,00	2024	0,00
S1-2	S1-T2-90+580-92+120	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	1,5	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12621,00	2024	0,00
S1-3	S1-T3-92+120-94+160	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	2,0	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12621,00	2024	0,00
S1-4	S1-T4-94+160-95+440	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	1,3	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12621,00	2024	0,00
S1-5	S1-T5-95+440-96+100	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	0,7	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12621,00	2024	0,00
S1-6	S1-T6-96+100-98+200	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	2,1	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12621,00	2024	0,00
S1-7	S1-T7-98+200-99+000	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	0,8	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12621,00	2024	0,00
S1-8	S1-T8-99+000-100+000	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	1,0	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12621,00	2024	0,00
S2-1	S2-T1-90+000-90-540	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	0,5	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12242,00	2024	0,00
S2-2	S2-T2-90+540-94+480	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	3,9	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12242,00	2024	0,00
S2-3	S2-T3-94+480-95+200	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	0,7	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12242,00	2024	0,00
S2-4	S2-T4-95+200-96+000	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	0,8	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12242,00	2024	0,00
S2-5	S2-T5-96+000-97+520	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	1,5	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12242,00	2024	0,00
S2-6	S2-T6-97+520-99+040	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	1,5	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12242,00	2024	0,00
S2-7	S2-T7-99+040-100+000	14/07/2025	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	AMGB	1,0	7,00	Dos carril	1,00	Carretera de	Flujo libre	Accidentes r	Semiarido-S	Basica o con	2023	12242,00	2024	0,00

### • Geometría

ID	Descripción	Última modificación	Asc. y desc.	Curvatura promedio	Lím. vel.	Altitud (m)	Tipo de dren	No. asc. y desc.	Sobreelevación (%)	adtl (m²)	>NMT	Fricción lateral (X/FRI)	>MT	Cumplimiento lím. vel.
S1-1	S1-T1-90+000-90-580	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S1-2	S1-T2-90+580-92+120	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S1-3	S1-T3-92+120-94+160	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S1-4	S1-T4-94+160-95+440	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S1-5	S1-T5-95+440-96+100	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S1-6	S1-T6-96+100-98+200	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S1-7	S1-T7-98+200-99+000	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S1-8	S1-T8-99+000-100+000	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S2-1	S2-T1-90+000-90-540	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S2-2	S2-T2-90+540-94+480	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S2-3	S2-T3-94+480-95+200	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S2-4	S2-T4-95+200-96+000	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S2-5	S2-T5-96+000-97+520	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S2-6	S2-T6-97+520-99+040	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10
S2-7	S2-T7-99+040-100+000	14/07/2025	6,30	0,00	110,00	197	Efectos del drenaje no considera	2,00	3,00	0,10	1,00	1,00	1,00	1,10

### • Datos del pavimento

ID	Descripción	Última modificación	Material superficial	Espesor sup. rvo. (mm)	Espesor sup. prev. (mm)	Espesor de base (mm)	Módulo resiliente (GPa)	SNP	VRS sub. %	Estación seca	Última constr.	Última rehab.	Último trat. sup.	Último trat. prev.
S1-1	S1-T1-90+000-90-580	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	471,00	5,00	12,17	8,00	✓	2017	2020	2021	2021
S1-2	S1-T2-90+580-92+120	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	471,00	5,00	12,17	8,00	✓	2017	2020	2021	2021
S1-3	S1-T3-92+120-94+160	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	471,00	5,00	12,17	8,00	✓	2017	2020	2021	2021
S1-4	S1-T4-94+160-95+440	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	471,00	5,00	12,17	8,00	✓	2017	2020	2021	2021
S1-5	S1-T5-95+440-96+100	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	471,00	5,00	12,17	8,00	✓	2017	2020	2021	2021
S1-6	S1-T6-96+100-98+200	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	471,00	5,00	12,17	8,00	✓	2017	2020	2021	2021
S1-7	S1-T7-98+200-99+000	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	471,00	5,00	12,17	8,00	✓	2017	2020	2021	2021
S1-8	S1-T8-99+000-100+000	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	471,00	5,00	10,15	8,00	✓	2017	2020	2021	2021
S2-1	S2-T1-90+000-90-540	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	449,00	5,00	6,83	8,00	✓	2018	2018	2022	2022
S2-2	S2-T2-90+540-94+480	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	449,00	5,00	6,83	8,00	✓	2018	2018	2022	2022
S2-3	S2-T3-94+480-95+200	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	449,00	5,00	6,83	8,00	✓	2018	2018	2022	2022
S2-4	S2-T4-95+200-96+000	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	449,00	5,00	6,83	8,00	✓	2018	2018	2022	2022
S2-5	S2-T5-96+000-97+520	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	449,00	5,00	3,43	8,00	✓	2018	2018	2022	2022
S2-6	S2-T6-97+520-99+040	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	449,00	5,00	3,43	8,00	✓	2018	2018	2022	2022
S2-7	S2-T7-99+040-100+000	14/07/2025	Concreto asfáltico	112,00	0,00	449,00	5,00	3,43	8,00	✓	2018	2018	2022	2022

### • Condición del pavimento

ID	Descripción	Última modificación	Condición al final del año	Irregularidad IRI (m/km)	Agriet. estr. total (%)	Agriet. estr. ancho (%)	Agrietamiento térmico (%)	Área con despr. %	Baches (por km)	Rotura de borde (m²/km)	Prof. media roderas (mm)	Desv. est. prof. rod (mm)	Prof. de textura (mm)	Fricción scrim@50km/h	Condición drenaje
S1-1	S1-T1-90+000-90-580	14/07/2025	2023	1,22	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,40	3,26	0,40	0,51	Excelente
S1-2	S1-T2-90+580-92+120	14/07/2025	2023	1,06	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,40	1,58	0,55	0,51	Excelente
S1-3	S1-T3-92+120-94+160	14/07/2025	2023	1,23	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,40	1,68	0,53	0,51	Excelente
S1-4	S1-T4-94+160-95+440	14/07/2025	2023	1,09	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,40	1,90	0,43	0,51	Excelente
S1-5	S1-T5-95+440-96+100	14/07/2025	2023	1,23	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,40	1,45	0,56	0,51	Excelente
S1-6	S1-T6-96+100-98+200	14/07/2025	2023	1,11	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,40	5,34	0,56	0,59	Excelente
S1-7	S1-T7-98+200-99+000	14/07/2025	2023	1,11	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,40	3,30	0,40	0,59	Excelente
S1-8	S1-T8-99+000-100+000	14/07/2025	2023	1,79	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,40	2,47	0,54	0,59	Excelente
S2-1	S2-T1-90+000-90-540	14/07/2025	2023	1,51	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,60	3,86	0,46	0,43	Excelente
S2-2	S2-T2-90+540-94+480	14/07/2025	2023	1,72	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,60	4,11	0,41	0,43	Excelente
S2-3	S2-T3-94+480-95+200	14/07/2025	2023	1,72	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,60	3,26	0,40	0,49	Excelente
S2-4	S2-T4-95+200-96+000	14/07/2025	2023	1,72	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,60	3,26	0,40	0,49	Excelente
S2-5	S2-T5-96+000-97+520	14/07/2025	2023	1,72	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,60	3,26	0,40	0,49	Excelente
S2-6	S2-T6-97+520-99+040	14/07/2025	2023	1,35	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,60	3,26	0,40	0,49	Excelente
S2-7	S2-T7-99+040-100+000	14/07/2025	2023	1,75	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,60	3,26	0,40	0,49	Excelente

- Otros

ID	Descripción	Última modificación	Carriles TNM separados	Número de carriles TNM	Compactación relativa %	Área agriet. estruct. %	Área agriet. ancho %	Agriet. transv. térmico (no./km)	ELANES
S1-1	S1-T1-90+000-90+580	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S1-2	S1-T2-90+580-92+120	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S1-3	S1-T3-92+120-94+160	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S1-4	S1-T4-94+160-95+440	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S1-5	S1-T5-95+440-96+100	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S1-6	S1-T6-96+100-98+200	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S1-7	S1-T7-98+200-99+000	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S1-8	S1-T8-99+000-100+000	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S2-1	S2-T1-90+000-90+540	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S2-2	S2-T2-90+540-94+480	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S2-3	S2-T3-94+480-95+200	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S2-4	S2-T4-95+200-96+000	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S2-5	S2-T5-96+000-97+520	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S2-6	S2-T6-97+520-99+040	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00
S2-7	S2-T7-99+040-100+000	14/07/2025	■	0	97.00	0.00	0.00	0.00	2.00

## Anexo C. Datos de diseño, criterios de intervención, costos, efectos y valuación de las acciones de conservación.

### Estándares de Conservación (Alternativa de Proyecto)

Acciones	
Reconstrucción	REC
Fresado y reemplazo de 5 cm	FR5
Microcarpeta	MIC
Reparacion de grietas anchas	RGA
Reparacion de desprendimientos	RDE
Bacheo	BCH

#### 1. Reconstrucción (REC)

- **Diseño**

General | **Diseño** | Intervención | Costos | Efectos | Valuación de activos

Tipo de pavimento: **Mezcla asfáltica sobre base estabilizada**

Material superficial: **Concreto asfáltico**

SNP para la estación seca: **7**

Espesor superficial: **80** mm

Compactación relativa: **97** %

Capa de base (sólo para bases estabilizadas)

Espesor de base: **200** mm      Módulo resiliente: **5** GPa

Indicadores de defectos de la construcción

Capa asfáltica: **1**      0.5 <= CDS <= 1.5

Base: **0**      0 <= CDB <= 1.5



- **Efectos**

General | Diseño | Intervención | Costos | **Efectos** | Valuación de activos

Condición después de los trabajos

Irregularidad y roderas

Deducidos

Definidos por el usuario

Irregularidad:  IRI (m/km)

Profundidad media de roderas:  mm

Características superficiales definidas por el usuario

Textura superficial:  mm

Resistencia al deslizamiento:  SCRIM (a 50km/h)

- **Valuación de activos**

General | Diseño | Intervención | Costos | Efectos | **Valuación de activos**

Componente de activos	Proporción del costo de los trabajos %	Valor residual %	Vida útil de los trabajos	
			Años	ESAL
Terreno y subrasante				
Capas del pavimento	100.00	<input type="text" value="0.00"/>	0.00	0.00
Andadores, senderos y ciclistas (carriles TNM)				

Proporción de los activos existentes dados de baja:  %



- **Costos**

General	Diseño	Intervención	Costos	Efectos	Valuación de activos
		Económicos		Financieros	
Costos unitarios:		<input type="text" value="169.03"/>	<input type="text" value="196.08"/>	por m <sup>2</sup>	
Costos unitarios de los trabajos previos:					
Recargas aisladas:		<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>	
Reparaciones:		<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>	
Rep. de borde:		<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>	
Sellado de grietas:		<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>	
Drenaje:					
Factor de costo de mant. del drenaje:		<input type="text" value="1"/>	0 < DMCF <= 1		

- **Efectos**

General	Diseño	Intervención	Costos	Efectos	Valuación de activos
Condición después de los trabajos					
Irregularidad y roderas					
<input type="radio"/> Deducidos <input type="button" value="Editar calibración detallada..."/>					
<input checked="" type="radio"/> Definidos por el usuario <input type="text" value="1.5"/> Irregularidad:		IRI (m/km)			
<input type="text" value="0"/> Profundidad media de roderas:		mm			
<input checked="" type="checkbox"/> Características superficiales definidas por el usuario					
<input type="text" value="1"/> Textura superficial:		mm			
<input type="text" value="0.55"/> Resistencia al deslizamiento:		SCRIM (a 50km/h)			

- **Valuación de activos**

Componente de activos	Proporción del costo de los trabajos %	Valor residual %	Vida útil de los trabajos	
			Años	ESAL
Terreno y subrasante				
Capas del pavimento	100.00	0.00	0.00	0.00
Andadores, senderos y ciclopistas (carriles TNM)				

Proporción de los activos existentes dados de baja:  %

### 3. Microcarpeta (MIC)

- **Diseño**

General	Diseño	Intervención	Costos	Efectos	Valuación de activos
Material superficial: <input type="text" value="Asfalto modificado con polímeros"/>					
Espesor de la nueva capa superficial: <input type="text" value="30"/> mm					
Coeficiente de la estación seca: <input type="text" value="0.3"/>					
Profundidad de fresado: <input type="text" value="0"/> mm					
Área de la calzada para fresado y remplazo parcial: <input type="text" value="50"/> %					
Indicador de calidad de la construcción					
Superficie asfáltica: <input type="text" value="1"/> 0.5 <= CDS <= 1.5					



- **Efectos**

General | Diseño | Intervención | Costos | **Efectos** | Valuación de activos

Condición después de los trabajos

Irregularidad y roderas

Deducidos [Modelo seleccionado: Bilineal]  
[Editar calibración detallada...](#)

Definidos por el usuario  
 Irregularidad:  IRI (m/km)  
 Profundidad media de roderas:  mm

Características superficiales definidas por el usuario

Textura superficial:  mm  
 Resistencia al deslizamiento:  SCRIM (a 50km/h)

- **Valuación de activos**

General | Diseño | Intervención | Costos | Efectos | **Valuación de activos**

Componente de activos	Proporción del costo de los trabajos %	Valor residual %	Vida útil de los trabajos	
			Años	ESAL
Terreno y subrasante				
Capas del pavimento	100.00	0.00	0.00	0.00
Andadores, senderos y ciclopistas (carriles TNM)				

Proporción de los activos existentes dados de baja:  %





- **Costos**

General	Intervención	Costos	Efectos
		Económicos	Financieros
Costos unitarios:		<input type="text" value="63.77"/>	<input type="text" value="73.97"/> <input type="text" value="por m&lt;sup&gt;2&lt;/sup&gt;"/>
Costos unitarios de los trabajos previos			
Recargas aisladas:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>
Reparaciones:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>
Rep. de borde:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>
Sellado de grietas:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>
Drenaje			
Factor de costo de mant. del drenaje:		<input type="text" value="1"/>	0 < DMCF <= 1

- **Efectos**

General	Intervención	Costos	Efectos
Seleccione el deterioro por reparar			
<input type="radio"/>	Sólo baches:	<input type="text" value="100"/>	%
Retraso de la reparación:		<input type="text" value="Doce meses"/>	
<input type="radio"/>	Sólo agrietamiento térmico:	<input type="text" value="100"/>	%
<input type="radio"/>	Sólo agrietamiento estructural ancho:	<input type="text" value="100"/>	%
<input checked="" type="radio"/>	Sólo desprendimientos:	<input type="text" value="100"/>	%



- **Efectos**

General | Intervención | Costos | **Efectos**

Seleccione el deterioro por reparar

Sólo baches:  %  
 Retraso de la reparación:

Sólo agrietamiento térmico:  %

Sólo agrietamiento estructural ancho:  %

Sólo desprendimientos:  %

**Estándares de Conservación (Alternativa Base)**

Estándar de conservación: Rutina

General

Nombre:

Código:

Clase de superficie:

Acciones

Reparacion de grietas anchas	RGA
Reparacion de desprendimientos	RDE
Bacheo	BCH

Nueva acción...  
 Copiar acción  
 Eliminar acción  
 Editar...

Listado de acciones de conservación asociadas con el estándar





- **Costos**

General	Intervención	Costos	Efectos
		Económicos	Financieros
Costos unitarios:		<input type="text" value="63.77"/>	<input type="text" value="73.97"/> <input type="text" value="por m&lt;sup&gt;2&lt;/sup&gt;"/>
Costos unitarios de los trabajos previos:			
Recargas aisladas:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>
Reparaciones:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>
Rep. de borde:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>
Sellado de grietas:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	por m <sup>2</sup>
Drenaje:			
Factor de costo de mant. del drenaje:		<input type="text" value="1"/>	0 < DMCF <= 1

- **Efectos**

General	Intervención	Costos	Efectos
Seleccione el deterioro por reparar:			
<input type="radio"/>	Sólo baches:	<input type="text" value="100"/>	%
Retraso de la reparación:		<input type="text" value="Doce meses"/>	
<input type="radio"/>	Sólo agrietamiento térmico:	<input type="text" value="100"/>	%
<input type="radio"/>	Sólo agrietamiento estructural ancho:	<input type="text" value="100"/>	%
<input checked="" type="radio"/>	Sólo desprendimientos:	<input type="text" value="100"/>	%



- **Efectos**

General | Intervención | Costos | **Efectos**

Seleccione el deterioro por reparar

Sólo baches:  %  
Retraso de la reparación:

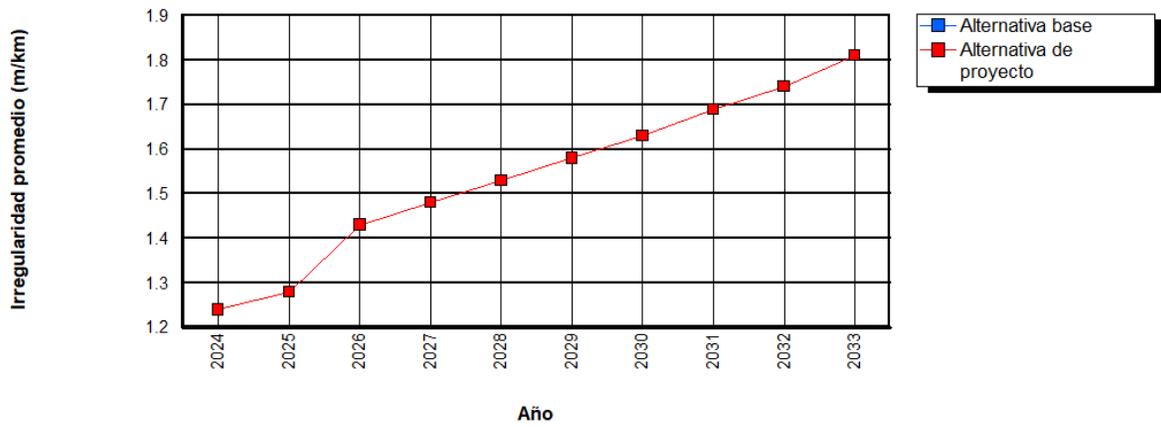
Sólo agrietamiento térmico:  %

Sólo agrietamiento estructural ancho:  %

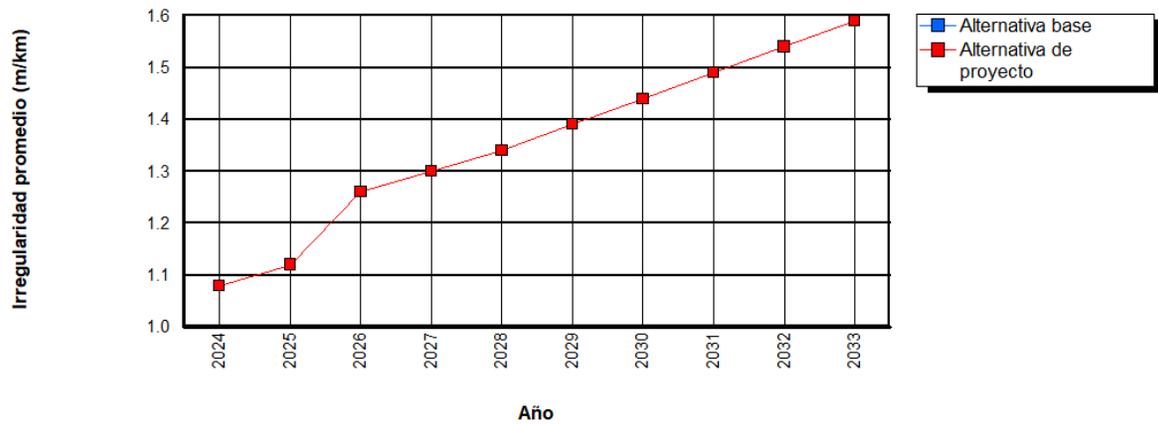
Sólo desprendimientos:  %

## Anexo D. Irregularidad promedio por tramo.

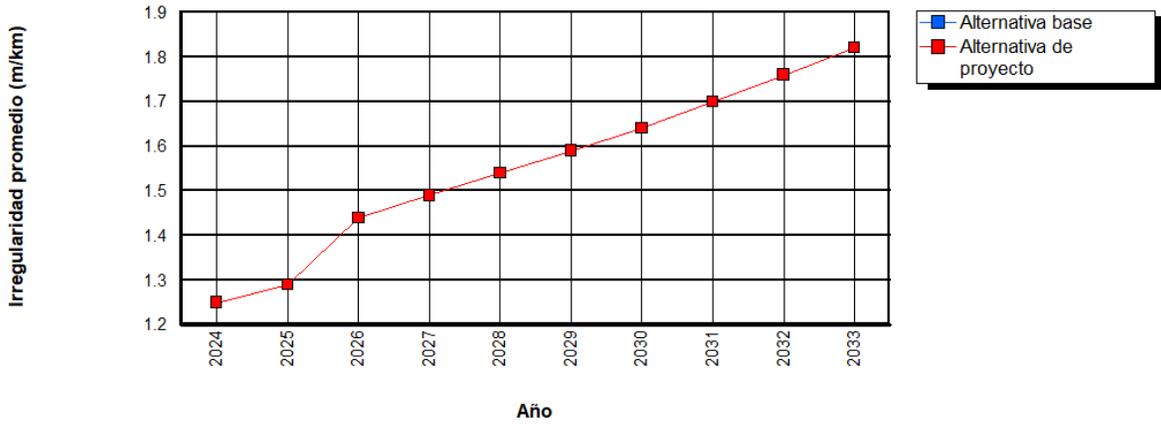
- **Segmento 1. Tramo 90+000 – 90+580. Sentido 1.**



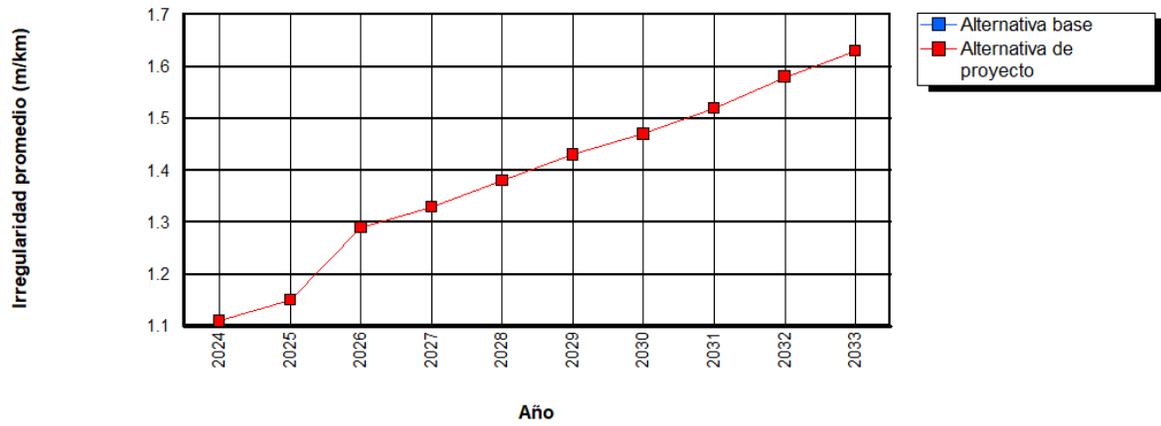
- **Segmento 2. Tramo 90+580 – 92+120. Sentido 1.**



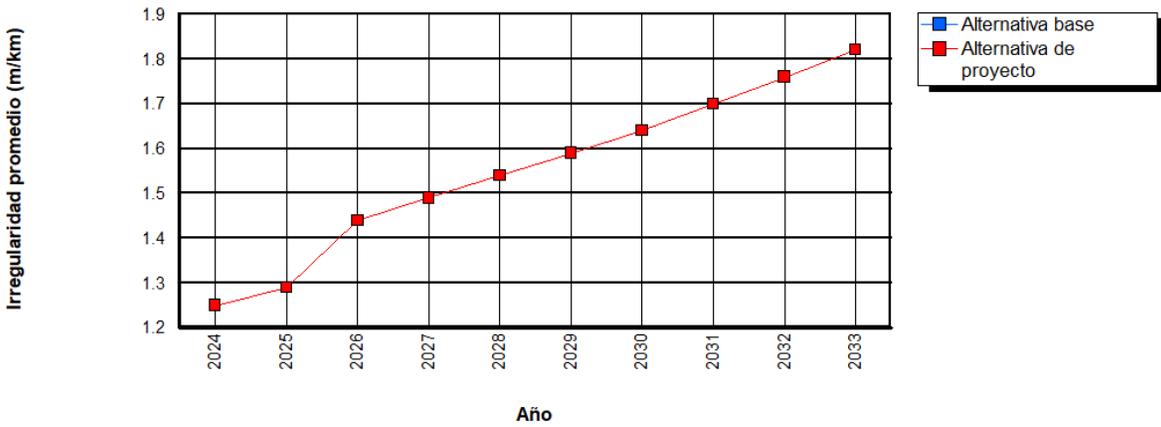
- **Segmento 3. Tramo 92+120 – 94+160. Sentido 1.**



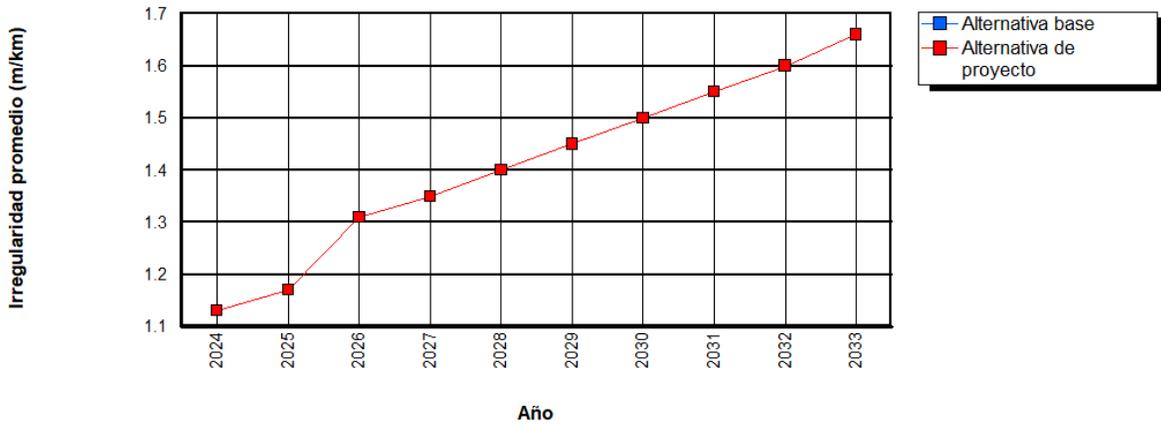
- **Segmento 4. Tramo 94+160 – 95+440. Sentido 1.**



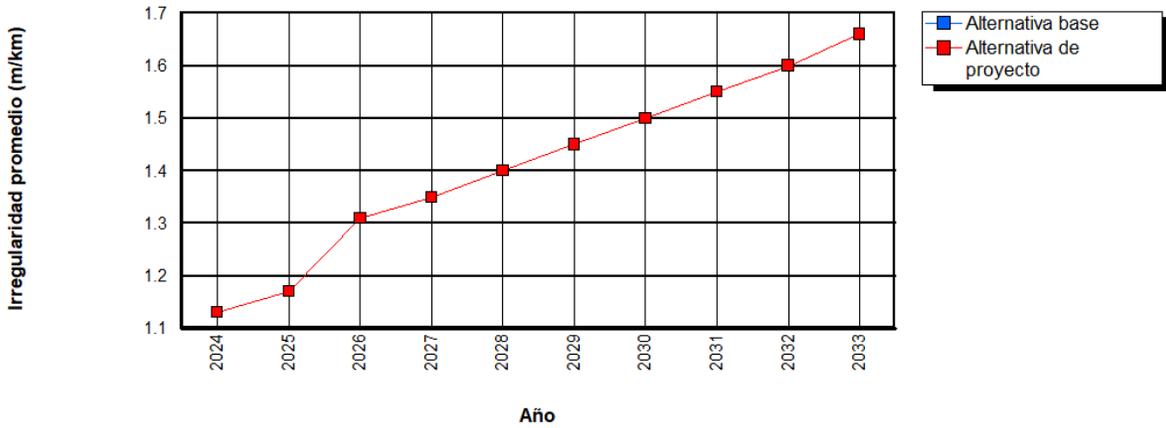
- **Segmento 5. Tramo 95+440 – 96+100. Sentido 1.**



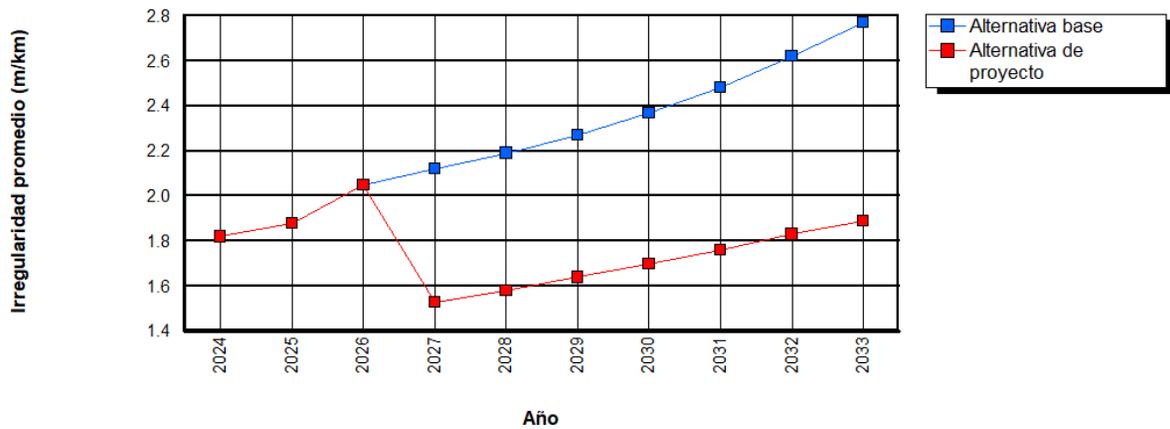
- **Segmento 6. Tramo 96+100 – 98+200. Sentido 1.**



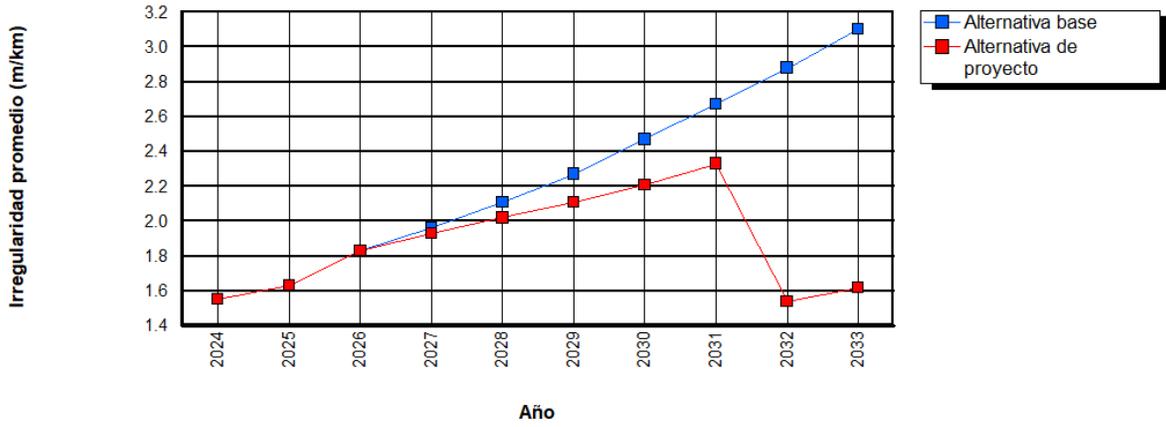
- **Segmento 7. Tramo 98+200 – 99+000. Sentido 1.**



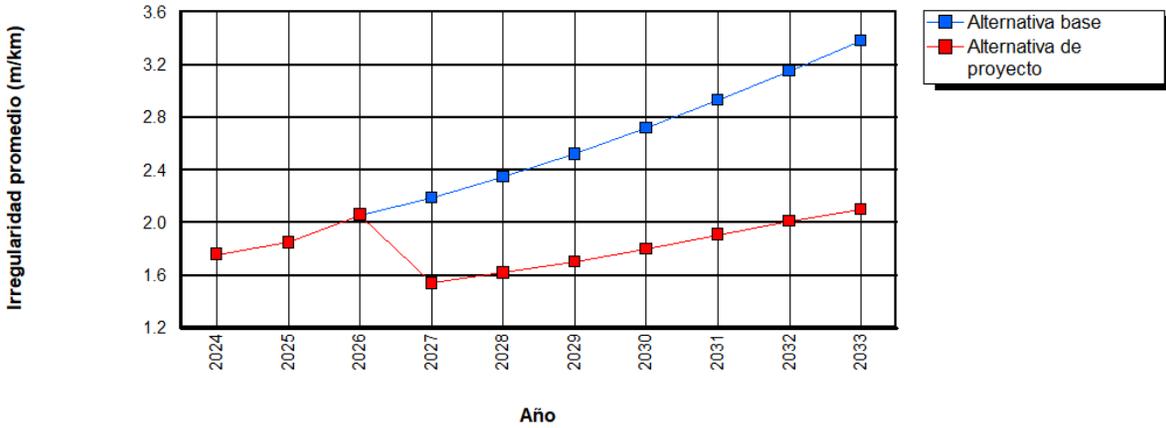
- **Segmento 8. Tramo 99+000 – 100+000. Sentido 1.**



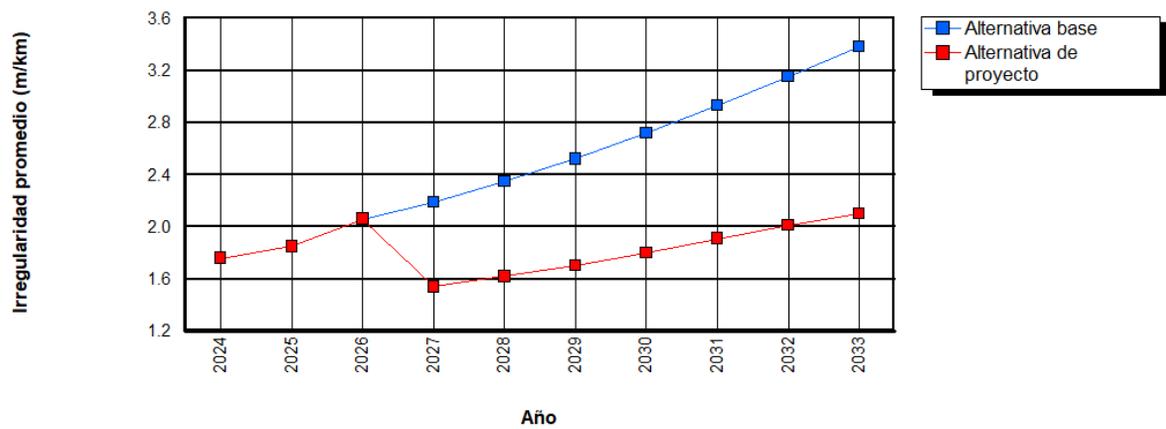
- **Segmento 1. Tramo 90+000 – 90+540. Sentido 2.**



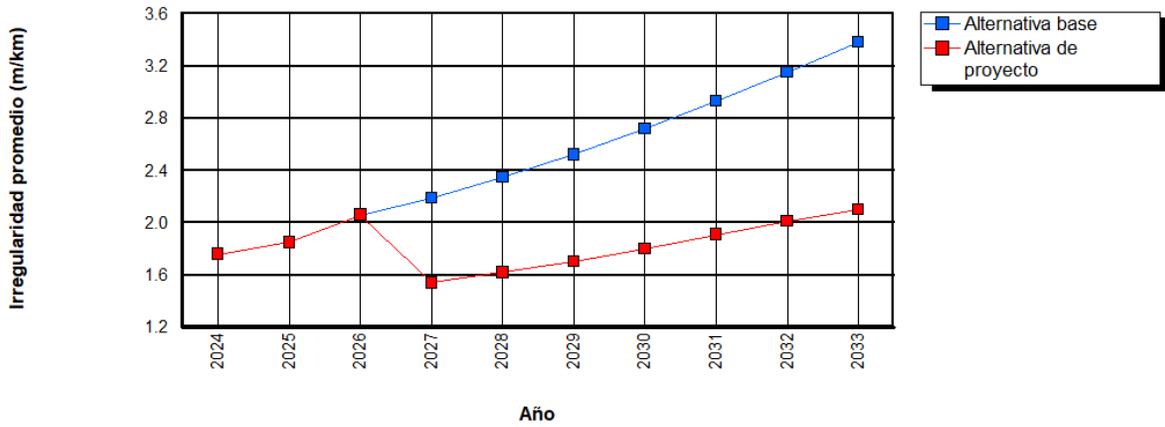
- **Segmento 2. Tramo 90+540 – 94+480. Sentido 2.**



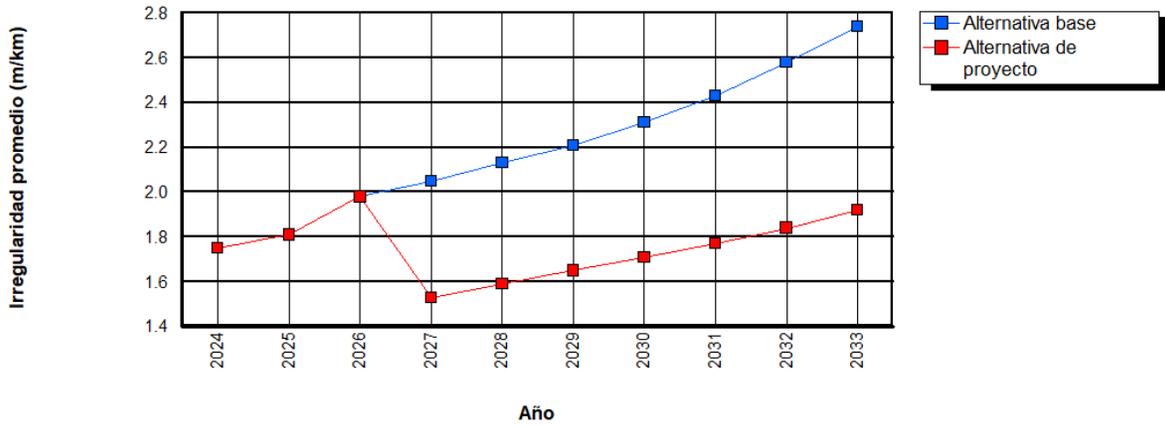
- **Segmento 3. Tramo 94+480 – 95+200. Sentido 2.**



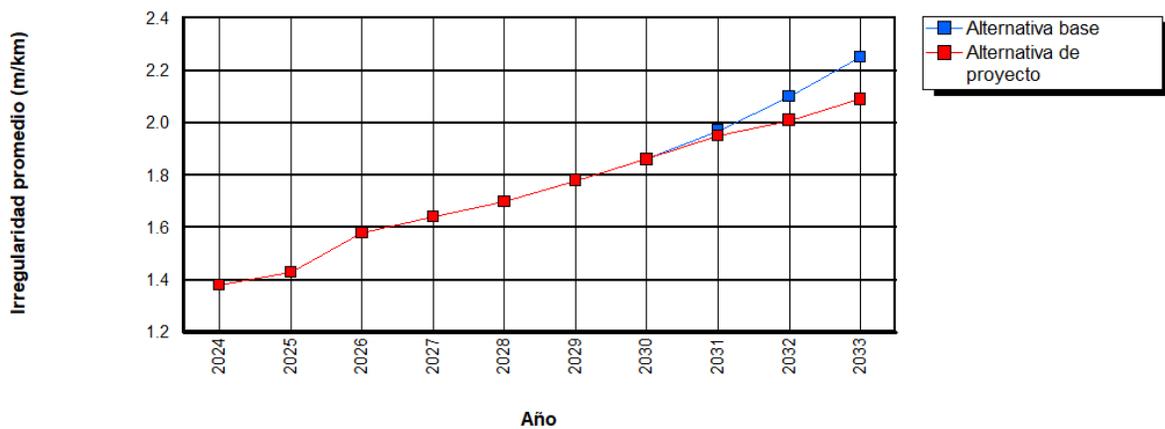
- **Segmento 4. Tramo 95+200 – 96+000. Sentido 2.**



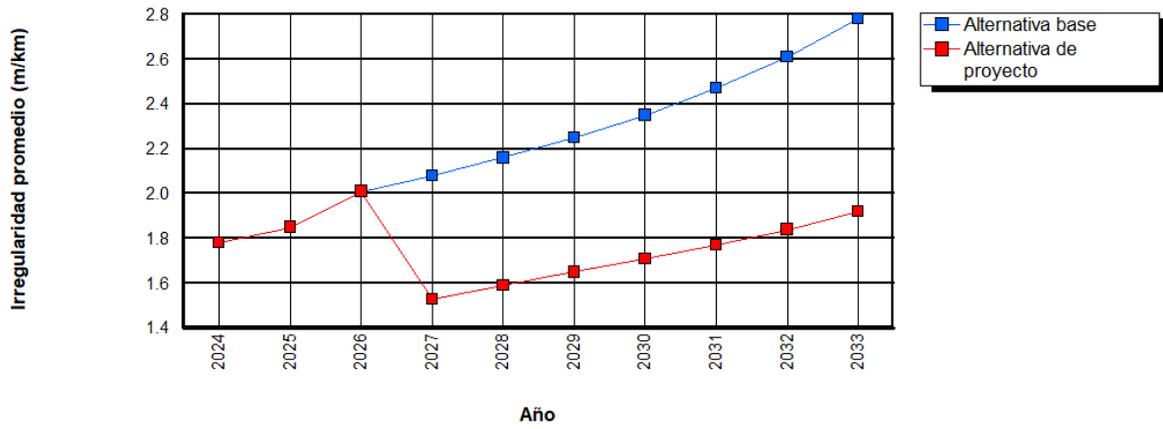
- **Segmento 5. Tramo 96+000 – 97+520 Sentido 2.**



- **Segmento 6. Tramo 97+520 – 99+040. Sentido 2.**



- **Segmento 7. Tramo 99+040 – 100+000. Sentido 2.**



## Anexo E. Resumen de trabajos por año



### Resumen de trabajos (por año)

Nombre del estudio: **Aplicación de la metodología BIM en la Gestión de Activos**  
 Fecha de ejecución: **15-07-2025**  
 Unidad monetaria: **Peso**

**Alternativa:** Alternativa base

**Sensibilidad:** No se realizó análisis de sensibilidad

Año	Tramo	Descripción de los trabajos	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad	
2025	S1-T1-90+000-90	Reparacion de desprendimie	RDE	26,488.5	30,725.3	415.38 sq. m	
	S1-T2-90+580-92	Reparacion de desprendimie	RDE	70,331.4	81,580.9	1,102.89 sq. m	
	S1-T3-92+120-94	Reparacion de desprendimie	RDE	93,166.3	108,068.3	1,460.97 sq. m	
	S1-T4-94+160-95	Reparacion de desprendimie	RDE	58,457.3	67,807.5	916.69 sq. m	
	S1-T5-95+440-96	Reparacion de desprendimie	RDE	30,142.1	34,963.3	472.67 sq. m	
	S1-T6-96+100-98	Reparacion de desprendimie	RDE	95,906.5	111,246.7	1,503.94 sq. m	
	S1-T7-98+200-99	Reparacion de desprendimie	RDE	36,535.8	42,379.7	572.93 sq. m	
	S1-T8-99+000-100	Reparacion de desprendimie	RDE	45,669.8	52,974.6	716.16 sq. m	
	S2-T1-90+000-90	Reparacion de desprendimie	RDE	24,197.8	28,068.2	379.45 sq. m	
	S2-T2-90+540-94	Reparacion de desprendimie	RDE	176,554.2	204,794.0	2,768.61 sq. m	
	S2-T3-94+480-95	Reparacion de desprendimie	RDE	32,263.7	37,424.3	505.94 sq. m	
	S2-T4-95+200-96	Reparacion de desprendimie	RDE	35,848.6	41,582.5	562.15 sq. m	
	S2-T5-96+000-97	Reparacion de desprendimie	RDE	69,418.1	80,521.5	1,088.57 sq. m	
	S2-T6-97+520-99	Reparacion de desprendimie	RDE	69,418.1	80,521.5	1,088.57 sq. m	
	S2-T7-99+040-100	Reparacion de desprendimie	RDE	43,843.0	50,855.7	687.52 sq. m	
	<i>Costo total anual:</i>				<b>908,241.0</b>	<b>1,053,513.9</b>	
	2027	S2-T1-90+000-90	Reparacion de grietas anchas	RGA	11,808.3	13,696.9	116.22 sq. m
S2-T2-90+540-94		Reparacion de grietas anchas	RGA	86,156.6	99,936.6	848.00 sq. m	
S2-T3-94+480-95		Reparacion de grietas anchas	RGA	15,744.4	18,262.5	154.96 sq. m	
S2-T4-95+200-96		Reparacion de grietas anchas	RGA	17,493.7	20,291.7	172.18 sq. m	
<i>Costo total anual:</i>				<b>131,203.0</b>	<b>152,187.7</b>		
2028	S2-T1-90+000-90	Reparacion de grietas anchas	RGA	15,402.4	17,865.8	151.60 sq. m	
	S2-T2-90+540-94	Reparacion de grietas anchas	RGA	112,380.1	130,354.3	1,106.10 sq. m	
	S2-T3-94+480-95	Reparacion de grietas anchas	RGA	20,536.5	23,821.1	202.13 sq. m	
	S2-T4-95+200-96	Reparacion de grietas anchas	RGA	22,818.3	26,467.9	224.59 sq. m	
<i>Costo total anual:</i>				<b>171,137.3</b>	<b>198,509.1</b>		
2029	S2-T1-90+000-90	Reparacion de grietas anchas	RGA	31,357.6	36,373.0	308.64 sq. m	
	S2-T2-90+540-94	Reparacion de grietas anchas	RGA	228,794.4	265,388.0	2,251.91 sq. m	
	S2-T3-94+480-95	Reparacion de grietas anchas	RGA	41,810.1	48,497.3	411.52 sq. m	
	S2-T4-95+200-96	Reparacion de grietas anchas	RGA	46,455.7	53,885.9	457.24 sq. m	
<i>Costo total anual:</i>				<b>348,417.8</b>	<b>404,144.1</b>		

**H D M - 4 Resumen de trabajos (por año)**

2030	S2-T1-90+000-90-	Reparacion de grietas ancha RGA	31,517.8	36,558.8	310.21 sq. m
	S2-T2-90+540-94-	Reparacion de grietas ancha RGA	229,963.2	266,743.7	2,263.42 sq. m
	S2-T3-94+480-95-	Reparacion de grietas ancha RGA	42,023.7	48,745.1	413.62 sq. m
	S2-T4-95+200-96-	Reparacion de grietas ancha RGA	46,693.0	54,161.2	459.58 sq. m
		<i>Costo total anual:</i>	<u>350,197.8</u>	<u>406,208.7</u>	
2031	S1-T8-99+000-10(	Reparacion de grietas ancha RGA	28,522.9	33,084.9	280.74 sq. m
	S2-T1-90+000-90-	Reparacion de grietas ancha RGA	31,663.7	36,728.0	311.65 sq. m
	S2-T2-90+540-94-	Reparacion de grietas ancha RGA	231,027.4	267,978.1	2,273.89 sq. m
	S2-T3-94+480-95-	Reparacion de grietas ancha RGA	42,218.2	48,970.6	415.53 sq. m
	S2-T4-95+200-96-	Reparacion de grietas ancha RGA	46,909.1	54,411.8	461.70 sq. m
	S2-T5-96+000-97-	Reparacion de grietas ancha RGA	43,354.8	50,289.0	426.72 sq. m
	S2-T6-97+520-99-	Reparacion de grietas ancha RGA	43,354.8	50,289.0	426.72 sq. m
	S2-T7-99+040-10(	Reparacion de grietas ancha RGA	27,382.0	31,761.5	269.51 sq. m
		<i>Costo total anual:</i>	<u>494,432.7</u>	<u>573,512.7</u>	
2032	S1-T8-99+000-10(	Reparacion de grietas ancha RGA	28,522.9	33,084.9	280.74 sq. m
	S2-T1-90+000-90-	Reparacion de grietas ancha RGA	31,796.8	36,882.5	312.96 sq. m
	S2-T2-90+540-94-	Reparacion de grietas ancha RGA	231,999.1	269,105.3	2,283.46 sq. m
	S2-T3-94+480-95-	Reparacion de grietas ancha RGA	42,395.8	49,176.6	417.28 sq. m
	S2-T4-95+200-96-	Reparacion de grietas ancha RGA	47,106.4	54,640.7	463.65 sq. m
	S2-T5-96+000-97-	Reparacion de grietas ancha RGA	43,354.8	50,289.0	426.72 sq. m
	S2-T6-97+520-99-	Reparacion de grietas ancha RGA	43,354.8	50,289.0	426.72 sq. m
	S2-T7-99+040-10(	Reparacion de grietas ancha RGA	27,382.0	31,761.5	269.51 sq. m
		<i>Costo total anual:</i>	<u>495,912.5</u>	<u>575,229.2</u>	
2033	S1-T1-90+000-90-	Reparacion de desprendimie RDE	16,918.3	19,624.4	265.30 sq. m
	S1-T2-90+580-92-	Reparacion de desprendimie RDE	44,921.0	52,106.1	704.42 sq. m
	S1-T3-92+120-94-	Reparacion de desprendimie RDE	59,505.8	69,023.7	933.13 sq. m
	S1-T4-94+160-95-	Reparacion de desprendimie RDE	37,337.0	43,309.0	585.49 sq. m
	S1-T5-95+440-96-	Reparacion de desprendimie RDE	19,251.9	22,331.2	301.90 sq. m
	S1-T6-96+100-98-	Reparacion de desprendimie RDE	61,256.0	71,053.8	960.58 sq. m
	S1-T7-98+200-99-	Reparacion de desprendimie RDE	23,335.6	27,068.1	365.93 sq. m
	S1-T8-99+000-10(	Reparacion de grietas ancha RGA	28,522.9	33,084.9	280.74 sq. m
		Reparacion de desprendimie RDE	26,436.9	30,665.5	414.57 sq. m
	S2-T1-90+000-90-	Reparacion de grietas ancha RGA	31,918.8	37,023.9	314.16 sq. m
	S2-T2-90+540-94-	Reparacion de grietas ancha RGA	232,888.7	270,137.2	2,292.21 sq. m
	S2-T3-94+480-95-	Reparacion de grietas ancha RGA	42,558.3	49,365.2	418.88 sq. m
	S2-T4-95+200-96-	Reparacion de grietas ancha RGA	47,287.0	54,850.2	465.42 sq. m
	S2-T5-96+000-97-	Reparacion de grietas ancha RGA	94,379.0	109,474.0	928.93 sq. m
	S2-T6-97+520-99-	Reparacion de grietas ancha RGA	94,379.0	109,474.0	928.93 sq. m
	S2-T7-99+040-10(	Reparacion de grietas ancha RGA	59,607.8	69,141.5	586.69 sq. m
		<i>Costo total anual:</i>	<u>920,503.8</u>	<u>1,067,732.7</u>	
		<i>Costo total por alternativa:</i>	<u>3,820,045.8</u>	<u>4,431,038.1</u>	

**H D M - 4 Resumen de trabajos (por año)**

**Alternativa:** Alternativa de proyecto  
**Sensibilidad:** No se realizó análisis de sensibilidad

Año	Tramo	Descripción de los trabajos	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad	
2025	S1-T1-90+000-90	Reparacion de desprendimie	RDE	26,488.5	30,725.3	415.38 sq. m	
	S1-T2-90+580-92	Reparacion de desprendimie	RDE	70,331.4	81,580.9	1,102.89 sq. m	
	S1-T3-92+120-94	Reparacion de desprendimie	RDE	93,166.3	108,068.3	1,460.97 sq. m	
	S1-T4-94+160-95	Reparacion de desprendimie	RDE	58,457.3	67,807.5	916.69 sq. m	
	S1-T5-95+440-96	Reparacion de desprendimie	RDE	30,142.1	34,963.3	472.67 sq. m	
	S1-T6-96+100-98	Reparacion de desprendimie	RDE	95,906.5	111,246.7	1,503.94 sq. m	
	S1-T7-98+200-99	Reparacion de desprendimie	RDE	36,535.8	42,379.7	572.93 sq. m	
	S1-T8-99+000-100	Reparacion de desprendimie	RDE	45,669.8	52,974.6	716.16 sq. m	
	S2-T1-90+000-90	Reparacion de desprendimie	RDE	24,197.8	28,068.2	379.45 sq. m	
	S2-T2-90+540-94	Reparacion de desprendimie	RDE	176,554.2	204,794.0	2,768.61 sq. m	
	S2-T3-94+480-95	Reparacion de desprendimie	RDE	32,263.7	37,424.3	505.94 sq. m	
	S2-T4-95+200-96	Reparacion de desprendimie	RDE	35,848.6	41,582.5	562.15 sq. m	
	S2-T5-96+000-97	Reparacion de desprendimie	RDE	69,418.1	80,521.5	1,088.57 sq. m	
	S2-T6-97+520-99	Reparacion de desprendimie	RDE	69,418.1	80,521.5	1,088.57 sq. m	
	S2-T7-99+040-100	Reparacion de desprendimie	RDE	43,843.0	50,855.7	687.52 sq. m	
	<i>Costo total anual:</i>				<u>908,241.0</u>	<u>1,053,513.9</u>	
	2026	S1-T8-99+000-100	Fresado y reemplazo de 5 cr	FR5	1,183,210.0	1,372,560.0	7,000.00 sq. m
S2-T1-90+000-90		Microcarpeta	MIC	376,374.6	436,590.0	3,780.00 sq. m	
S2-T2-90+540-94		Fresado y reemplazo de 5 cr	FR5	4,661,847.5	5,407,886.5	27,580.00 sq. m	
S2-T3-94+480-95		Fresado y reemplazo de 5 cr	FR5	851,911.2	988,243.2	5,040.00 sq. m	
S2-T4-95+200-96		Fresado y reemplazo de 5 cr	FR5	946,568.0	1,098,048.0	5,600.00 sq. m	
S2-T5-96+000-97		Fresado y reemplazo de 5 cr	FR5	1,798,479.1	2,086,291.3	10,640.00 sq. m	
S2-T7-99+040-100		Fresado y reemplazo de 5 cr	FR5	1,135,881.6	1,317,657.6	6,720.00 sq. m	
<i>Costo total anual:</i>				<u>10,954,272.1</u>	<u>12,707,276.6</u>		
2030	S2-T6-97+520-99	Microcarpeta	MIC	1,059,424.8	1,228,920.0	10,640.00 sq. m	
<i>Costo total anual:</i>				<u>1,059,424.8</u>	<u>1,228,920.0</u>		
2031	S2-T1-90+000-90	Fresado y reemplazo de 5 cr	FR5	638,933.4	741,182.4	3,780.00 sq. m	
	S2-T2-90+540-94	Microcarpeta	MIC	2,746,140.5	3,185,490.0	27,580.00 sq. m	
	S2-T3-94+480-95	Microcarpeta	MIC	501,832.8	582,120.0	5,040.00 sq. m	
	S2-T4-95+200-96	Microcarpeta	MIC	557,592.0	646,800.0	5,600.00 sq. m	
<i>Costo total anual:</i>				<u>4,444,498.8</u>	<u>5,155,592.4</u>		
2033	S1-T1-90+000-90	Reparacion de desprendimie	RDE	16,918.3	19,624.4	265.30 sq. m	
	S1-T2-90+580-92	Reparacion de desprendimie	RDE	44,921.0	52,106.1	704.42 sq. m	
	S1-T3-92+120-94	Reparacion de desprendimie	RDE	59,505.8	69,023.7	933.13 sq. m	
	S1-T4-94+160-95	Reparacion de desprendimie	RDE	37,337.0	43,309.0	585.49 sq. m	
	S1-T5-95+440-96	Reparacion de desprendimie	RDE	19,251.9	22,331.2	301.90 sq. m	
	S1-T6-96+100-98	Reparacion de desprendimie	RDE	61,256.0	71,053.8	960.58 sq. m	
	S1-T7-98+200-99	Reparacion de desprendimie	RDE	23,335.6	27,068.1	365.93 sq. m	
<i>Costo total anual:</i>				<u>262,525.5</u>	<u>304,516.4</u>		

## Anexo F. Resumen del análisis económico

- Segmento 1. Tramo 90+000 – 90+580. Sentido 1.**

Tramo: S1-T1-90+000-90+580

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TN	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actualizado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ninguna solución TIR

- Segmento 2. Tramo 90+580 – 92+120. Sentido 1.**

Tramo: S1-T2-90+580-92+120

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TN	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actualizado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ninguna solución TIR

- Segmento 3. Tramo 92+120 – 94+160. Sentido 1.**

Tramo: S1-T3-92+120-94+160

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TN	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actualizado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ninguna solución TIR

- Segmento 4. Tramo 94+160 – 95+440. Sentido 1.**

Tramo: S1-T4-94+160-95+440

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TN	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actualizado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ninguna solución TIR

- Segmento 5. Tramo 95+440 – 96+100. Sentido 1.**

Tramo: S1-T5-95+440.96+100

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNN	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficio económico neto (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actualizado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ninguna solución TIR

- **Segmento 6. Tramo 96+100 – 98+200. Sentido 1.**

Tramo: S1-T6-96+100.98+200

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNN	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficio económico neto (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actualizado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ninguna solución TIR

- **Segmento 7. Tramo 98+200 – 99+000. Sentido 1.**

Tramo: S1-T7-98+200.99+000

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNN	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficio económico neto (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Actualizado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ninguna solución TIR

- **Segmento 8. Tramo 99+000 – 100+000. Sentido 1.**

Tramo: S1-T8-99+000.100+000

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNN	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficio económico neto (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	1.18	-0.11	0.00	1.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85
Actualizado	0.98	-0.05	0.00	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = 12.7% (No. de soluciones = 1)

- **Segmento 1. Tramo 90+000 – 90+540. Sentido 2.**

Tramo: S2-T1-90+000.90+540

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNN	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficio económico neto (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	1.02	-0.19	0.00	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06
Actualizado	0.64	-0.10	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.22

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = -1.6% (No. de soluciones = 1)

- **Segmento 2. Tramo 90+540 – 94+480. Sentido 2.**

Tramo: S2-T2-90+540-94+480

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNM	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	7.41	-1.35	0.00	13.71	0.00	0.00	0.00	0.00	7.66
Actualizado	5.26	-0.74	0.00	6.83	0.00	0.00	0.00	0.00	2.31

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = 21.1% (No. de soluciones = 1)

- **Segmento 3. Tramo 94+480 – 95+200. Sentido 2.**

Tramo: S2-T3-94+480-95+200

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNM	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	1.35	-0.25	0.00	2.48	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
Actualizado	0.96	-0.14	0.00	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = 20.8% (No. de soluciones = 1)

- **Segmento 4. Tramo 95+200 – 96+000. Sentido 2.**

Tramo: S2-T4-95+200-96+000

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNM	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	1.50	-0.27	0.00	2.76	0.00	0.00	0.00	0.00	1.53
Actualizado	1.07	-0.15	0.00	1.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = 20.8% (No. de soluciones = 1)

- **Segmento 5. Tramo 96+000 – 97+520 Sentido 2.**

Tramo: S2-T5-96+000-97+520

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNM	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	1.80	-0.18	0.00	1.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
Actualizado	1.49	-0.08	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.44

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = 2.4% (No. de soluciones = 1)

- **Segmento 6. Tramo 97+520 – 99+040. Sentido 2.**

Tramo: S2.T6.97+520.99+040

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNM	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	1.06	-0.18	0.00	-0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.38
Actualizado	0.60	-0.08	0.00	-0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.76

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = -89.2% (No. de soluciones = 1)

- **Segmento 7. Tramo 99+040 – 100+000. Sentido 2.**

Tramo: S2.T7.99+040.100+000

Alternativa: Alternativa de proyecto vs Alternativa base

No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera			Ahorros en COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNM	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes	Especiales						
Sin actualizar	1.14	-0.11	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
Actualizado	0.94	-0.05	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.21

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = 4.4% (No. de soluciones = 1)