



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Propuesta de un sistema de gestión vial para la preservación de pavimentos
urbanos en Lima Metropolitana

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

AUTORES

Cielo Jimenez, Alexander Jeanfranco

ORCID: 0000-0002-8197-3917

Sanchez Avendaño, Carmen Nicole

ORCID: 0000-0001-7638-2357

ASESOR

Arevalo Lay, Victor Eleuterio

ORCID: 0000-0002-2518-8201

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de autores

Cielo Jimenez, Alexander Jeanfranco

DNI: 71345627

Sanchez Avendaño, Carmen Nicole

DNI: 70334829

Datos de asesor

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

Datos del jurado

JURADO 1

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0002-6949-1317

JURADO 2

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

ORCID: 0000-0002-7722-8711

JURADO 3

Támara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN VIAL PARA LA PRESERVACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS EN LIMA METROPOLITANA

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	vdocuments.es Fuente de Internet	2 %
2	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	2 %
3	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	1 %
4	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	1 %
5	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %
6	Submitted to Universidad de San Martín de Porres Trabajo del estudiante	1 %
7	eva-test.fing.edu.uy Fuente de Internet	1 %
8	www.oitcinterfor.org	

DEDICATORIA

A mi Abuela Teresa, que con la sabiduría de Dios me ha enseñado a ser quien soy hoy. Gracias por tu paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por tus consejos, por el amor que me has dado y por tu apoyo incondicional en mi vida. Gracias por llevarme en tus oraciones porque estoy seguro que siempre lo haces. A mi familia en especial a mis padres Lissie y Mario, por ser un apoyo incondicional en mi vida, por siempre darme consejos y la sabiduría para tomar decisiones. A mis amigos, quienes me han apoyado y a todos los que me prestaron ayuda, a todos ellos dedico esta tesis con cariño y un muy grande agradecimiento.

Alexander Jeanfranco Cielo Jimenez

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios, que iluminó mi camino para poder realizarla en su debido tiempo. También a mis seres amados: mi esposo Renato, mis hijos Emiliano y Carolina, mi madre y mi familia todos quienes han estado a mi lado y han sido el soporte para lograr este objetivo profesional llamado tesis.

Carmen Nicole Sanchez Avendaño

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater Universidad Ricardo Palma por habernos impartido los conocimientos en esta maravillosa carrera, a nuestro asesor de tesis Mg. Ing. Victor Arevalo Lay por ser un gran apoyo para concluir con la tesis y a todas las personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de la tesis, entre ellos docentes y familiares.

Alexander Cielo y Carmen Sanchez

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos	1
1.1.1 Descripción del problema.....	1
1.1.2 Problema general	4
1.1.3 Problemas específicos.....	4
1.2 Objetivo general y específicos.....	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Delimitación de la investigación	5
1.4 Justificación e importancia	5
1.4.1 Justificación	5
1.4.2 Importancia	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes del estudio de investigación	8
2.1.1 Marco histórico.....	8
2.1.2 Investigaciones internacionales	12
2.1.3 Investigaciones nacionales.....	15
2.2 Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio	21
2.2.1 Sistema de gestión de infraestructura vial	21
2.2.2 Preservación de los pavimentos urbanos	32
2.2.3 Marco normativo	60
2.3 Definición de términos básicos.....	76
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	78
3.1 Hipótesis	78
3.1.1 Hipótesis principal	78
3.1.2 Hipótesis secundarias	78
3.2 Variables	78
3.2.1 Definición conceptual de las variables	79

3.2.2 Operacionalización de las variables	79
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	81
4.1 Tipo y nivel.....	81
4.2 Diseño de investigación.....	81
4.3 Población y muestra.....	81
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	82
4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos	82
4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	82
4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos	83
4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	83
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	84
5.1 Exploración de los sistemas de gestión de infraestructura vial	84
5.1.1 Sistema de gestión de infraestructura vial actual en el Perú.....	84
5.1.2 Sistema de gestión de infraestructura vial en América Latina	90
5.1.3 Sistema de gestión de infraestructura vial en el mundo	108
5.2 Comparación de los sistemas de gestión de infraestructura vial	120
5.3 Presentación de resultados.....	130
CONCLUSIONES	162
RECOMENDACIONES	163
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	164
ANEXOS.....	169
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	169
Anexo 2: Activos estratégicos en vías urbanas.....	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Enfoques en el tiempo de la gestión de pavimentos urbanos en Chile	9
Tabla 2. Tipos de falla por nivel de severidad	17
Tabla 3. Deterioros en la textura superficial de los pavimentos	40
Tabla 4. Clasificación del índice de serviciabilidad de una vía (PSI).....	46
Tabla 5. Estado vial según la rugosidad (IRI).....	53
Tabla 6. Tipos de mantenimiento en función del PCI.....	56
Tabla 7. Actividades de mantenimiento y rehabilitación según N.T CE. 010.....	58
Tabla 8. Fases del desarrollo de la herramienta del SGAV	69
Tabla 9. Información de inventario vial calificado en la RVN no concesionada	71
Tabla 10. Operacionalización de las variables.....	80
Tabla 11. Identificación del tipo de IOARR y parámetros	88
Tabla 12. Desarrollo técnico en la gestión de pavimentos urbanos en Chile.....	100
Tabla 13. Países del Banco Asiático de Desarrollo en la gestión de activos viales.111	
Tabla 14. Comparativa de lo sistemas de gestión en países de Latinoamérica.....	120
Tabla 15. Propuesta de SGPU para Lima Metropolitana según protocolo AMAAC ...	130
Tabla 16. Aplicabilidad de la propuesta de SGPU para Lima Metropolitana.....	131
Tabla 17. Inventario del SGVPPU.....	136
Tabla 18. Propuesta SGVPPU	142
Tabla 19. Opciones de reparación de tipos de fallas según ASTM-11	143
Tabla 20. Inventario del SGVPPU estudiado	147
Tabla 21. PCI entre la Av. Los Frutales y la Av. la Molina	149
Tabla 22. PCI entre la Av. Los Frutales y la Av. la Molina	150
Tabla 23. Cantidad de fallas presentes.....	151
Tabla 24. Severidad de fallas	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema vial de Lima Metropolitana.....	3
Figura 2. Criterios de evaluación de sistema vial empleando el protocolo AMAAC	13
Figura 3. Esquema de propuesta para el manejo del sistema vial	18
Figura 4. Componentes de un sistema	21
Figura 5. Estructura general de gestión de pavimentos.....	24
Figura 6. Gestión vial en Denver, Colorado	26
Figura 7. Componentes de un Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (SGPU).	29
Figura 8. Soporte para la toma de decisiones en la gestión de pavimentos urbanos	31
Figura 9. Estructura de los pavimentos flexibles	33
Figura 10. Deterioro de una vía pavimentada a través de su tiempo de vida	34
Figura 11. Factores que influyen en el deterioro de los pavimentos	35
Figura 12. Fases de deterioro del pavimento a través del tiempo.....	36
Figura 13. Ciclo de vida fatal y deseable de una vía.....	39
Figura 14. Deterioro de un pavimento en el ciclo de vida fatal y deseable	39
Figura 15. Fisuras, baches, ahuellamiento y exudaciones	41
Figura 16. Fallas en pavimentos flexibles agrupados por categorías	42
Figura 17. Resumen de fallas en pavimentos flexibles	42
Figura 18. PCI, escala de calificación y colores sugeridos	45
Figura 19. Clasificación de las vías en función al IRI.....	47
Figura 20. Concepto de rugosidad superficial IRI (m/km).	47
Figura 21. PCI vs. tiempo con costos en \$/pie.....	59
Figura 22. Flujograma de inventario vial básico por el MTC.....	61
Figura 23. Esquema conceptual del inventario vial calificado por el MTC.	62
Figura 24. Diagrama de flujo explicativo de un inventario vial.....	62
Figura 25. Gravedad en daños de los pavimentos flexibles según MTC.	63
Figura 26. Daños en los pavimentos flexibles.....	64
Figura 27. Gravedad en daños de los pavimentos rígidos según MTC.....	64
Figura 28. Daños en pavimentos rígidos.....	65
Figura 29. Valores de rugosidad admisible en m/km según tipo de carretera.....	66
Figura 30. Esquema del estado de gestión de activo viales.....	68
Figura 31. Metas de implementación del SGA en la RVN no concesionada	72
Figura 32. Metas de implementación del SGA de la RVN concesionada.....	73
Figura 33. Actividades para el monitoreo de tráfico de la RVN.....	73
Figura 34. Evolución de indicadores de la gestión de conservación.	74
Figura 35. Sistema de gestión de activos para la red vial nacional concesionada.....	75
Figura 37. Fallas en pavimentos urbanos.....	86

Figura 38. Formato de porcentaje de deterioro en la vía según tipo de falla.....	86
Figura 39. Costos para pistas y veredas referenciales por el MVCS 2020.....	88
Figura 40. Valoración PCI junto con mantenimiento a realizar	89
Figura 41. Unidad mínima de análisis: segmento vial	91
Figura 42. Componentes de un inventario vial	92
Figura 43. Análisis para un SGPU.....	93
Figura 44. Umbrales en función a nivel de servicio	94
Figura 45. Intervención óptima caso agencia vial.....	95
Figura 46. Intervención óptima caso costo de usuarios.....	95
Figura 47. Criterios de priorización SGPU	96
Figura 48. Estrategias de intervención	97
Figura 49. Estructura del SGPU propuesto Colombia.	98
Figura 50. Factores para índice de prioridades SGPU Bogotá – Colombia.....	98
Figura 51. Nivel de madurez de una organización según protocolo AMAAC.....	99
Figura 52. Ejemplos de modelos de comportamiento de pavimentos urbanos	103
Figura 53. Tratamientos considerados en el SGPU.....	104
Figura 54. Evaluación técnico-económica basada en costo-efectividad	105
Figura 55. Diagrama de proceso lógico del sistema SGPU.....	107
Figura 56. Operacionalidad de la gestión de activos vial y el SGAV	109
Figura 57. Consejos CAREC aplicados a Lima Metropolitana.....	118
Figura 58. PCI escala, categorías y curva S.....	119
Figura 59. Árbol del SGPU propuesto.....	132
Figura 60. Momento óptimo de intervención para preservar los pavimentos	133
Figura 61. Esquema de deterioro de un pavimento a través del tiempo	134
Figura 62. Factores para el índice de prioridades	138
Figura 63. Fallas consideradas por el método PCI.....	138
Figura 64. Tramificarían y sectorización para evaluación de pavimentos	140
Figura 65. Longitudes de unidades de muestreo asfálticas	140
Figura 66. Umbral de intervención propuesto	141
Figura 67. SGVPPU en Lima Metropolitana	145
Figura 68. Sentido de tránsito del tramo de estudio.....	146
Figura 69. Carril interno de estudio la Av. Javier Prado Este	146
Figura 70. Fotografía de la vía en estudio.....	147
Figura 71. Sección de muestras para el PCI.....	149
Figura 72. Localización de fallas	152
Figura 73. Tramo 01 – priorizado	154
Figura 74. Tramo 02 – no priorizado	154
Figura 75. Solución a las fallas incidentes	155
Figura 76. Preservación del Tramo 01	155

Figura 77. Comparativa de costos del tramo 1 y 2.....	156
Figura 78. Malla vial propuesta, para el distrito de la Molina	157

RESUMEN

La presente investigación constó en determinar si los sistemas de gestión vial internacionales permiten proponer la implementación de un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana, este estudio surge debido a que la Norma Técnica CE. 0.10 de pavimentos urbanos en el capítulo 6 solo menciona, respecto al mantenimiento, siete actividades para realizarlo, mas no indica una metodología de cómo hacerlo quedando este a criterio de las municipalidades o la agencia vial correspondiente.

La investigación usó el método deductivo, es de tipo descriptivo con un nivel descriptivo – correlacional. Nos da como resultados cuatro prácticas indispensables para proponer la gestión de pavimentos urbanos como un sistema, siendo estas: inventario, herramientas, programas y estrategias o políticas de gestión donde las vías son intervenidas respecto a criterios de priorización y recursos económicos bajo el enfoque de la preservación donde como aporte principal tenemos la estrategia o política de gestión que consta en mantener las vías en un umbral de intervención (PCI=85-55) y así lograr su preservación. Se concluyó principalmente que determinando como operan los sistemas de gestión vial en otras partes del mundo donde éstos ya se vienen aplicando, se puede proponer uno para las condiciones locales.

Palabras claves: Sistema de gestión de pavimentos urbanos, valor patrimonial vial, políticas de gestión, umbrales de intervención.

ABSTRACT

The present investigation consisted in determining if international road management systems allow proposing the implementation of a system that preserves urban pavements in Metropolitan Lima, this study arises because the CE Technical Standard. 0.10 of urban pavements in chapter 6 only mentions, regarding maintenance, seven activities to carry it out, but it does not indicate a methodology on how to do it, leaving this at the discretion of the municipalities or the corresponding road agency. The research used the deductive method, it is descriptive with a descriptive - correlational level. It gives us as results four essential practices to propose the management of urban pavements as a system, these being: inventory, tools, programs and strategies or management policies where the roads are intervened regarding prioritization criteria and economic resources under the approach of they had as their main contribution we have the management strategy or policy that consists of keeping the roads at an intervention threshold (PCI=85-55) and thus they achieved their goal. It was mainly concluded that by determining how road management systems operate in other parts of the world where they are already being applied, one can be proposed for local conditions.

Keywords: Urban pavement management system, road heritage value, management policies, intervention thresholds.

INTRODUCCIÓN

Las vías urbanas del país no cuentan con una guía desarrollada para la gestión de sus mantenimientos por lo cual requiere un modelo de sistema de gestión vial que incluya un diagnóstico generalizado de las vías y con ello observar el estado de conservación real de estas para así priorizar las intervenciones según el modelo presupuestal, no sólo que tenga por objetivo las necesidades de nuevas construcciones, sino también y sobre todo la preservación de las vías existentes para prolongar la vida útil de estas.

El valor teórico de esta investigación se justifica debido a que permite contribuir con mejorar la gestión vial para preservar los pavimentos urbanos de Lima Metropolitana haciendo más eficiente la toma de decisiones por parte de las municipalidades en aspectos de mantenimiento y preservación de los pavimentos urbanos. Se justifica desde el punto de vista social ya que la puesta en marcha del sistema de gestión para preservar los pavimentos urbanos propuesto brinda beneficios a la comunidad al tener las vías en un estado mínimamente base (PCI=55).

La presente tesis tiene como objetivos explorar y comparar sistemas de gestión viales internacionales para proponer la implementación de un sistema de gestión vial que preserve los pavimentos urbanos de Lima Metropolitana.

En el Capítulo I se describe la realidad problemática y se formulan en forma de interrogantes los problemas y objetivos, así como también se especifica la delimitación y justificación. En el Capítulo II se recopila información antecesora sobre nuestra investigación a través de tesis nacionales e internacionales, manuales, papers, libros y normativas, asimismo se desarrolla las bases teóricas conceptuales a fin de obtener el marco teórico. En el Capítulo III se presenta el sistema de hipótesis, también la definición conceptual y operacional de las variables. En el Capítulo IV se menciona la metodología de estudio, el diseño de investigación, la población y muestra, al igual que las técnicas e instrumentos para la recolección, procesamiento y análisis de los datos encontrados. En el Capítulo V se obtienen los resultados de la investigación, así como el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, también la contrastación de hipótesis. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron de la presente tesis de investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

1.1.1 Descripción del problema

Una vía pavimentada se ve afectada por el deterioro debido a condiciones de clima y de tránsito, estas se deterioran aún más cuando el pavimento no recibe mantenimiento pues rápidamente llega a un estado muy malo tanto estructural como funcionalmente, lo que se vuelve una pérdida de transitabilidad y serviciabilidad.

El desarrollo económico y social de una comunidad está fuertemente ligado al mejoramiento en su sistema de transporte. El patrimonio vial es uno de los mayores activos públicos con los que cuentan los países, el deterioro de los pavimentos en las vías compromete la calidad de la vida de las personas en la medida que les dificulta la accesibilidad, en tiempo de viaje y reduce la eficiencia del transporte público. Actualmente, más del 80% de la población latinoamericana vive en las ciudades.

La implementación de un sistema de gestión vial para la preservación de pavimentos urbanos ayuda a los gobiernos locales, en este caso a Lima Metropolitana de manera que optimiza sus recursos, toma decisiones con eficacia y así preserva su patrimonio local. Dicha implementación también será de gran relevancia para el sistema de transporte de pavimentos urbanos en el Perú debido a que actualmente la normativa no nos presenta criterios netamente aplicables para pavimentos urbanos, el capítulo 6 de la Norma Técnica CE. 010 de pavimentos urbanos menciona, respecto al mantenimiento siete actividades para realizarlo, mas no indica una metodología del cómo, quedando este a criterio del MTC para vías no concesionadas y de los concesionarios para vías concesionadas.

De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro (2018) nos dice que el sistema de gestión de Chile incorpora como valor agregado modelos decisionales de optimización y priorización más sólidos que las gestiones pasadas y mayores capacidades analíticas en SIG (p. 519).

El Banco Asiático de Desarrollo (2018) en base a su experiencia con sistemas de gestión de activos viales aplicados a once países integrantes de Asia Central, nos da lineamientos para la introducción e integración exitosa de este sistema con 11 prácticas indispensables: limitar los datos a recopilar, hacer una base de datos fácil de usar, comenzar con un software simple, institucionalizar desde el principio, contar con estadísticas del rendimiento anual, integrar a los involucrados en los procesos de toma de decisiones, proporcionar financiamiento suficiente y predecible, separar la gestión de la implementación, garantizar un soporte de alto nivel, continuar el apoyo al desarrollo y desarrollar la capacidad de ejecución de obras.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) por medio del Plan de Implementación del Sistema de Gestión de Activos de la Red Vial Nacional (2021) nos dice que, este se ha desarrollado sobre los documentos técnicos normativos del MTC, a las definiciones de los ISO 55000, 55001 y las experiencias internacionales de EE.UU., España, Argentina, Chile, Colombia, en el caso peruano a la experiencia de Provias Nacional del MTC, precisando que no existe una fórmula exacta para una gestión de activos, sino que ésta se va a desarrollar e implementar de acuerdo las necesidades.

Gutierrez (2020) nos dice que, en el Perú, las vías urbanas se encuentran precarias en sistema técnico-profesional, ocasionado por no tener guía de gestión. En la práctica, lo común para cubrir esta necesidad es ampliar las vías disponibles para el tráfico de vehículos, respecto a las decisiones de mantenimiento y rehabilitación, estas se basan en la reconstrucción de las vías que tienen costos más elevados que el mantenimiento preventivo.

Lima Metropolitana requiere de un modelo de gestión vial que incluya un diagnóstico generalizado de las vías para observar el estado de conservación real de éstas para así priorizar las intervenciones según el modelo presupuestal, no sólo que tenga por objetivo las necesidades de nuevas construcciones, sino también la gestión y preservación de las vías existentes para prolongar la vida útil de estas. Un segundo gran problema es que los recursos económicos para el mantenimiento de vías son bastante limitados.

La infraestructura vial no es sólo un importante motor de desarrollo, sino, además, uno de los activos más valiosos del sector público, lo cual para el cierre de brechas se debe generar prácticas modernas de gestión de activos que considere el ciclo de vida total de la infraestructura, a fin de lograr optimizar la conservación y las inversiones viales y alinearlas con los objetivos de desarrollo sostenible. La causa de una gestión débil genera costos elevado de reconstrucción, incremento en los costos de operación de vehículos y de siniestros viales.

En esta investigación, para llegar a proponer un sistema de gestión vial para la preservación de pavimentos urbanos en lima metropolitana se explorarán los sistemas de gestión aplicado a las vías urbanas de diferentes países de América Latina como Perú, Colombia, Brasil, Chile y México como también de Estados Unidos y Asia: Afganistán, Kazajstán, República Kirguisa, Tayikistán, Turkmenistán, Uzbekistán, Azerbaiyán, la República Popular China, Georgia, Mongolia y Pakistán, con el fin de compararlos y proponer un sistema de gestión vial que más se adapte a nuestra realidad para su implementación en Lima Metropolitana.

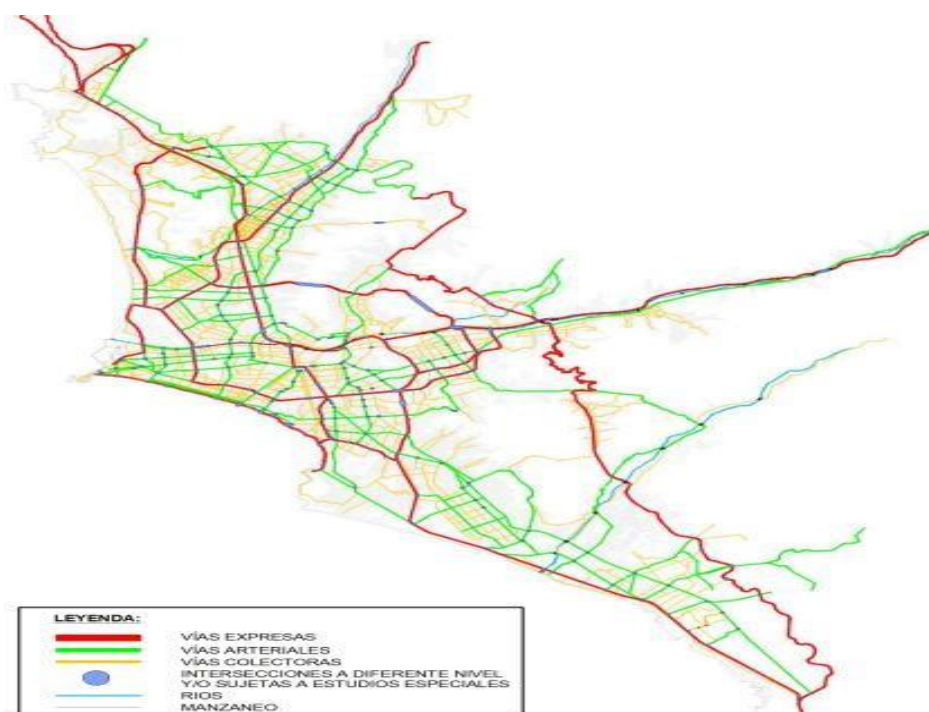


Figura 1. Sistema vial de Lima Metropolitana.

Fuente: MVCS e IMP (2021, p.17).

1.1.2 Problema general

¿De qué modo la determinación de los sistemas de gestión vial propone la implementación de un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana?

1.1.3 Problemas específicos

- a) ¿De qué manera la exploración de los sistemas de gestión vial induce a proponer un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana?
- b) ¿En qué medida la comparación de los sistemas de gestión vial induce a proponer un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana?
- c) ¿Cuál es la propuesta de sistema de gestión vial que implementada preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana?

1.2 Objetivo general y específicos

1.2.1 Objetivo general

Determinar los sistemas de gestión vial para proponer la implementación de un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Explorar los sistemas de gestión vial para inducir a proponer un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.
- b) Comparar los sistemas de gestión vial para inducir a proponer un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.
- c) Proponer la implementación de un sistema de gestión vial que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

1.3 Delimitación de la investigación

Delimitación temporal

La bibliografía considerada para efectuar esta investigación está sujeta a información de los últimos años. Los datos, reglamentos y normas son los actuales realizados a las vías urbanas.

La investigación es realizada en el presente año 2022.

Delimitación espacial

La investigación realizada presenta como delimitación espacial la provincia de Lima Metropolitana siendo esta ejemplificada en un sector del distrito de La Molina, herramienta base de un sistema de gestión para preservar los pavimentos de toda la provincia.

Delimitación temática

La presente investigación se encuentra delimitada en el área temática de transportes en el tema de gestión vial y sistemas de gestión. Se lleva a cabo a través del estudio de investigaciones nacionales e internacionales junto con normativas vigentes con la finalidad de elaborar un sistema de gestión de preservación vial del pavimento urbano calibrado a las condiciones locales.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación

Justificación teórica

Esta investigación permite contribuir con mejorar la gestión vial con el fin de preservar los pavimentos urbanos de Lima, siendo más eficiente la toma de decisiones por parte de las agencias viales. La investigación está acuñada en los siguientes libros: Compendio de mejores prácticas en gestión de activos viales, Gestión de infraestructura vial y las normativas vigentes.

Los sistemas de gestión de pavimentos son el comienzo de un sistema de gestión más grande e integral como es el sistema de gestión de activos viales.

Justificación práctica

La presente investigación nos permite entender que, en los pavimentos urbanos, lo relacionado a su sistema de gestión, yendo estos desde inventarios, pasando por la toma de decisiones según su marco institucional y el presupuesto hasta la implementación, constituye una actividad fundamental para su mantenimiento y la preservación, esto se refleja en los diferentes casos de éxito internacionales consecuencia de las mejoras y actualizaciones tecnológicas en sus sistemas de gestión. Este nuevo sistema que se piensa proponer, en un ámbito más general puede servir de base para las demás vías urbanas del Perú, con la correcta calibración según criterios decisionales y económicos locales, llega a dar rentabilidad.

Justificación metodológica

Esta investigación elabora como propuesta general, un sistema de gestión en mantenimiento vial para preservar los pavimentos urbanos de Lima Metropolitana basadas en metodologías del PCI para inspeccionar fallas visuales en los pavimentos y brindar categorías junto con escenarios de acción en función de umbrales adaptados de la metodología.

Justificación social

Si se cumple con los planes de gestión implementados, la puesta para preservar los pavimentos urbanos brinda beneficios a la comunidad al tener las vías en un estado base de preservación considerado por las municipalidades. Por el contrario, si no se gestiona correctamente, se traduce en mal manejo de uno de los mayores activos públicos con los que cuenta Lima Metropolitana y con ello inconformidad de los usuarios que transitan por sus vías. El desarrollo social y económico de una comunidad está fuertemente ligado a su sistema de transporte, la propuesta de nuestra investigación para preservar los pavimentos urbanos entiende que el deterioro de los pavimentos en las vías compromete:

- La calidad de la vida de las personas en la medida que les dificulta la accesibilidad a sus puntos de destino.
- Disminuye el tiempo de viaje e incomodidad en los usuarios.
- Reduce costos de conservación de las vías urbanas en el ciclo de vida útil proyectada del pavimento.
- Eficiencia para el transporte público.
- Accidentes de tránsito, condiciones de confort y seguridad uniforme en las vías urbanas.
- Afectaciones mecánicas en los vehículos.

1.4.2 Importancia

La investigación permite un realce en el marco de la preservación vial de tal manera, se tiene como objetivo proponer un sistema de gestión vial para preservar los pavimentos urbanos para Lima Metropolitana guiándonos de experiencias internacionales donde sistemas de gestión ya preservan la vida útil de sus activos viales, con ello, también de los pavimentos, logrando conservar el valor patrimonial de sus vías en beneficios de la comunidad. Esta investigación obtiene el cuerpo contrastando las experiencias con la realidad de Lima Metropolitana y su forma de gestión actual. Con el sistema de gestión propuesto, se pretende ya no llegar a un estado malo en las vías sino mantenerlas en un umbral de preservación que solo requiera de mantenimientos preventivos o correctivos, también mejorar los tiempos de viaje, incrementar la eficiencia del transporte público, cuidar de afectaciones mecánicas los vehículos y evitar accidentes.

Al preservar las vías, posibilita ahorrar en costos de operación vehicular, también brindar seguridad, rapidez y confort al usuario. Otro aspecto importante, es que se pretende crear una base de datos históricas que contengan las intervenciones realizadas de acuerdo a las políticas de gestión y con ello calibrar aún más el sistema a las condiciones actuales.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

2.1.1 Marco histórico

Inicios

El primer estudio de gestión de pavimentos ocurrió en 1966 mediante el programa de investigación *National Cooperation Highway Research Program* (NCHRP) realizado por la *American Association of State Highway Officials* (AASHTO), desde dicha investigación se vienen desarrollando métodos de diseño y programas de mantenimiento en los pavimentos. Hoy en día se utilizan como bases teóricas mejorando continuamente en su nivel de detalle mediante la tecnología. En 1978 Haas y Hudson introdujeron por primera vez el concepto de gestión de pavimentos en la ingeniería vial en su libro *Pavement Management System*.

Sistemas de gestión vial en el mundo

Uno de entre los primeros sistemas de gestión de pavimentos urbanos en Estados Unidos fue *StreetSaver*, un sistema computacional trabajado por la Comisión de Transporte Metropolitano de California en 1981 cuando la agencia de planificación de transporte, financiamiento y coordinación de nueve condados de San Francisco desarrollaron un estudio que conceptualizaba el gasto histórico en mantenimiento vial, como consecuencia, la Comisión Metropolitana de Transporte desarrolló este programa piloto de gestión de pavimentos en 1984 y lo aplicó en 1986.

De Solminihaç et al. (2019) nos comenta referente a los sistemas de gestión de pavimentos urbanos actuales, que se distinguen: En Canadá la experiencia de Toronto, Montreal, Calgary y Edmonton. En Estados Unidos, sistemas como el MTC-PMS (Sistema de Gestión de Pavimentos de la Comisión de Transporte Metropolitano) aplicado en las zonas urbanas de la bahía de San Francisco en el estado de California y el programa *StreetWise* del estado de Washington. En Europa, el sistema de gestión de Lisboa debido a los resultados obtenidos.

Sistemas de gestión vial en América Latina

Flintsch (2019) en el libro estado de la gestión de activos viales en América Latina y el Caribe nos da una descripción detallada de la gestión de activos de doce países evaluados:

Respecto a México, nos dice que existe una estrategia de gestión de activos establecida desde el 2013 que se actualiza cada 6 años, con indicadores de desempeño definidos y disponibles en la web. Referente al plan de gestión de activos, este sí existe para mantenimiento desde el 2013 y se actualiza cada 6 años considerando riesgos.

Respecto a Colombia, nos dice que existe una estrategia de gestión de activos establecida desde el 2015 que se actualiza de forma anual, con indicadores de desempeño definidos y disponibles en la web. Referente al plan de gestión de activos, este sí existe y se actualiza de manera anual considerando riesgos.

Respecto a Chile, existe una estrategia de gestión de activos, pero no está formalmente documentada, con indicadores de desempeño definidos y disponibles en la web. Referente al plan de gestión de activos, existe, pero tampoco está formalmente documentada.

En la Tabla 1, veremos la gestión de pavimentos urbanos en Chile.

Tabla 1

Enfoques en el tiempo de la gestión de pavimentos urbanos en Chile

DESDE 1992	1992 al 2000	2014 al 2016
Impulso a implementar sistemas de gestión de pavimentos urbanos.	Institucionalidad e investigación aplicada como evaluación económica del desarrollo de modelos predictivos del comportamiento del pavimento urbano.	Cambio de enfoque de investigación y desarrollo a uso de herramientas modernas de modelación y decisión.

Fuente: Adaptado de Solminihaç et al. (2019).

Sistemas de gestión vial en el Perú

En febrero del 2021 se publicó el Plan de Implementación de Sistema de Gestión de Activos de la Red Nacional por el MTC donde se dan los primeros lineamientos en el país para la implementación de sistema de gestión de activos para carreteras, donde los soportes dados también incluyen lineamientos para los pavimentos en lo referente a inventarios, monitoreo, evaluación del desempeño, entre otros.

El Instituto Metropolitano de Planificación (2018) cuenta con los siguientes antecedentes normativos:

En 1949 la Oficina Nacional de Planeamiento y Urbanismo (ONPU) realizó un plan piloto de Lima donde incluía un sistema arterial para Lima, para 1980 el sistema vial estaría también incluyendo vías expresas y avenidas, para 1997 se consideraría una clasificación vial funcional con vías expresas, arteriales, colectoras y locales. A partir de mediados de los años sesenta comenzó a surgir una nueva especialidad dentro de la ingeniería civil cuyo objetivo fue apoyar tecnicada y objetivamente la toma de decisiones respecto a las inversiones que se deben realizar en los distintos tipos de elementos de la infraestructura, a fin de lograr un nivel de servicio adecuado a las necesidades de los usuarios de las vías, tales como: seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión, todo lo anterior minimizando costos monetario, social y ecológico. (Burneo, 2013)

Entre los años 80 y 90 la política de gestión vial en el Perú estaba a cargo del MTC y era centralizado. En los años 80 se salía de un gobierno militar entrando a un gobierno democrático con el presidente Belaunde Terry, él dio prioridad a la política de vivienda más que a la de transporte. Con el siguiente presidente, Alan García, en su primer gobierno se tuvo una política popular. Con el presidente Alberto Fujimori se tenía una infraestructura deficiente debido al terrorismo. El foco de atención del gobierno comenzó a enfocarse en rehabilitar la red de carreteras con empresas privadas y batallones de ingeniería en las zonas de mayor conflicto.

Menéndez (2016) cuenta que hasta antes de los años 90 las vías en el Perú

tenían un estado deplorable, y fue ese año un punto de quiebre en lo que significa el desarrollo del Perú y la vez del desarrollo vial pues se empezaron a tomar medidas para recuperar la red rehabilitando vías y realizando mantenimientos. Hoy en día se sabe que las vías no solo se deben rehabilitar y mantener sino también preservar de la mejor manera posible.

En la publicación del plan de implementación del sistema de gestión de activos de la red vial nacional del 2021 dice que el sector público para el año fiscal 2021 ha asignado recursos en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones hasta por la suma de S/15,000,000.00, destinados, únicamente, al financiamiento de la implementación de un sistema de gestión de activos de la red vial nacional, el que debe incluir los mecanismos para el seguimiento del cumplimiento de dicha implementación, toda vez que, incluye un cronograma de implementación detallado, la estimación del presupuesto requerido en los próximos años y las matrices de riesgo y de contrataciones. Con ello, vemos que el estado está invirtiendo para tener las bases de una correcta gestión de los activos viales y con ello, consecuentemente, del sistema de gestión vial del territorio nacional.

Actualmente en el Perú se realizan análisis de comportamiento de pavimentos con modelos como el HDMIII y HDM4 del Banco Mundial, como lo reconoce el Manual de Carreteras del MTC publicado a inicios del 2013. Estos programas incorporan submodelos de deterioro de pavimentos afirmados, flexibles y rígidos que son aceptados por el MTC, el manual de inventarios viales también indica que los ingenieros proyectistas pueden utilizar otros modelos de reconocida procedencia técnica institucional y que cuenten con la aceptación previa del MTC.

Referente a las normas aplicables a los pavimentos urbanos, tenemos la Norma Técnica CE. 010 en su capítulo 6 no nos presenta criterios netamente aplicables para pavimentos urbanos solo menciona, respecto al mantenimiento, siete actividades para realizarlo, mas no indica una metodología del cómo, quedando este a criterio de la agencia vial correspondiente.

2.1.2 Investigaciones internacionales

Barajas y Buitrago (2017) en su trabajo de grado presentan como objeto proponer el sistema de gestión que más se adecue a Bogotá, Colombia utilizando procedimientos propios de su sistema de gestión basados en el HDM4 y procedimientos del modelo TAVAKOLI utilizado en Sao Paulo, Brasil con la hipótesis de que, aunque un sistema de gestión de pavimentos sea teóricamente el indicado, no garantiza que no haya partes de su proceder que se puedan modificar beneficiándose de otros sistemas. Para ello se analizaron y compararon aspectos de ambos sistemas, siendo estos: factor equivalente de carga, recopilación de datos, identificación del tipo de deterioro en la vía, asignación de la intervención requerida y priorización de vías. Se concluye que no se recomienda implementar por completo el sistema de gestión de Sao Paulo debido a su carácter empírico, pero sí se recomienda incluir al sistema de gestión de Bogotá el módulo de índice de prioridades para así localizar con más detalle las vías que más afectan el funcionamiento de la malla vial y que necesitan una intervención inmediata, otro punto clave es también incluir un estudio cada 5 años de la malla vial en su totalidad, así como lo hace Sao Paulo.

Solorio, Garnica y Hernández presentaron en el Congreso Mexicano del Asfalto (2017) una investigación para la gestión del patrimonio vial en México que tuvo por objetivo explorar la aplicación del enfoque del protocolo AMAAC PA-MA 01/2013 como una metodología para determinar el grado de madurez de las organizaciones de carreteras respecto a la práctica de infraestructura vial a su cargo, para ello, utilizan este enfoque como un mecanismo de evaluación de competencias en un área de especialidad de la ingeniería de carreteras adaptado a las condiciones particulares del país considerando cuatro aspectos: inventario vial, herramientas de gestión del patrimonio, programas y estrategia y para cada uno de ellos definió tres niveles de competencia: básico, intermedio y avanzado. De ello resultó la Figura 2:

		Concepto			
		Herramientas	Inventario	Programas	Estrategia
Nivel de madurez	Básico	En general, no se aplican de manera sistemática herramientas de análisis, o se utilizan esporádicamente sin haber sido calibradas.	Se cuenta con información muy general en formato de hoja de cálculo o similar, la cual se recopila ocasionalmente, sin un procedimiento establecido.	Los programas se elaboran en la mayoría de los casos a partir de los presupuestos asignados históricamente a los diferentes activos, y tienen una periodicidad anual.	No existen objetivos vinculados al desempeño de la infraestructura vial o se encuentran enunciados de manera muy general.
	Intermedio	Existen herramientas de análisis para pavimentos, puentes y otros activos que se aplican sistemáticamente para la obtención de los programas. No todas las herramientas han sido calibradas.	Se han definido procedimientos para la actualización de la información. Los datos están almacenados centralmente y comprenden información de los principales activos.	Los programas se basan en análisis del ciclo de vida de los activos más importantes y consideran en algunos casos riesgos y periodicidades anuales plurianuales.	Se han definido objetivos de desempeño para la infraestructura vial, alineados con las políticas nacionales o locales de transporte, así como planes para el logro de esos objetivos en plazos y con recursos determinados.
	Avanzado	Se han implementado herramientas de análisis para los principales activos y para la distribución de recursos entre ellos. Las herramientas se han calibrado y validado y se han elaborado manuales institucionales para su uso.	Existe un sistema central reconocido como una fuente confiable de información, el cual es capaz de generar informes de manera ágil y contiene datos históricos sobre el desempeño de los principales activos. Los procedimientos de acopio están ampliamente documentados.	Se elaboran programas anuales y plurianuales basados en análisis del ciclo de vida, riesgos y los requisitos de los grupos de interés, con una contribución explícita a los objetivos de desempeño. Existen mecanismos para optimizar la distribución de recursos entre clases de activos.	La estrategia de gestión del patrimonio orienta los procesos institucionales y puede ser auditada, revisada y actualizada.

Figura 2. Criterios de evaluación de sistema vial empleando el protocolo AMAAC.

Fuente: Solorio et al. (2017, p. 15).

Se concluye finalmente que el protocolo constituye una propuesta inicial para exhortar a las organizaciones viales mexicanas sobre la importancia de tener conocimiento de las oportunidades de mejora que pueden derivarse de un examen autocrítico de sus capacidades relacionadas con la gestión de infraestructura vial y para la mejora de sus prácticas de gestión. Los criterios de evaluación del protocolo propuesto incluyen procesos como análisis del ciclo de vida, análisis de riesgos y evaluación del desempeño, cuyas características deben integrarse más adelante a la especificación del protocolo. También nos sugiere que existe una amplia experiencia internacional con respecto a la evaluación de la madurez en la gestión del patrimonio vial que, más allá de lo expuesto en este documento que puede constituir una guía para las organizaciones de carreteras según sus necesidades.

Nieto (2012) en su tesis de maestría tiene por objetivo explorar la manera de estructurar e implementar un sistema de gestión para pavimentos urbanos apoyándose de experiencias locales e internacionales sin desarrollar ningún sistema específico sino describir cómo y porqué hacerlo, así como también las variables que lo constituyen. Nos dice que la estructura de un SGPU se articula de los componentes información, análisis, planeación de costos y productos asociados y que dentro de cada uno se identifican elementos que desarrollan recursos y productos.

Analizando cada uno de sus componentes se concluye que:

- En la estructura no se pueden aplicar como tal los sistemas de gestión de pavimentos tradicionales sobre todo en las etapas de toma de información, análisis y priorización, así como en elementos y herramientas de análisis como las leyes de deterioro, costos de usuarios y comportamiento del tránsito en cuanto a flujos vehiculares y controles del mismo.
- Los elementos de control deben ser más detallados en un SGPU, es así como al analizar redes y no corredores la evaluación de los indicadores debe corresponder a una zona, pues generalmente las estrategias y programas de conservación se realizan por áreas.
- La unidad mínima aconsejada para análisis de red en un SGPU es la zona o área, la cual deberá asociar diferentes vías, que pueden tener estrategias de conservación diferentes.
- Las intervenciones deben considerar los problemas identificados de la manera más eficiente, disminuyendo tiempos en la vía que generen congestión, así como los componentes asociados al comportamiento del tránsito y a los tiempos de viaje que son esenciales en el proceso de priorización de un SGPU.
- Se debe establecer una política de actualización de inventario y diagnóstico, periodo que máximo no supere los cinco años.

2.1.3 Investigaciones nacionales

Sotil (2014) en su ponencia propuesta de gestión de pavimentos para municipales y gobiernos locales tiene como objetivo presentar una propuesta de sistema de gestión de pavimentos para municipalidades o gobiernos locales del Perú con bajos recursos con metodología de base probabilística y estocástica basada en evaluaciones funcionales y de confortabilidad justificándose en el hecho de que en el Perú el concepto tradicional de conservación vial, al momento del mantenimiento, invertiría sus esfuerzos y recursos en rehabilitar y reconstruir los pavimentos muy pobres y colapsados abandonando los pavimentos en condición buena o mejor, y dejando que éstas se deterioren con el tiempo así que para ello propone un concepto moderno estudiado y aplicado de manera internacional donde los esfuerzos y recursos están más enfocados en los pavimentos buenos, muy buenos y excelentes que necesitan mantenimientos menos costosos y con menos esfuerzo para su preservación. El sistema propuesto tiene base teórica en los conceptos de las especificaciones técnicas generales para la conservación de las carreteras por el MTC (2007) y el desarrollo del capítulo 6, sección 6.4 de la NTE CE.0.10 pavimentos urbanos por MVCS (2010). Al aplicar este sistema en dos escenarios: uno en condiciones con punto de partida referente a condiciones de deterioro en el pavimento desconocidos para la localidad y el otro con la premisa de que la localidad ya tiene una base de datos histórica donde ya se pueden utilizar métodos empíricos de predicción de modelos de deterioro, concluyen en que la propuesta basada en la metodología de cálculo del PCI según norma ASTM contribuye a las desarrolladas por el estado peruano, también comprueba con tres ejemplos prácticos para un mismo sistema hipotético lo que dice la tendencia de gestión de pavimentos actual donde orientan los mantenimientos a preventivos en vez de correctivos, atendiendo a pavimentos en buena condición se evita su deterioro y mejora poco a poco el sistema muy pobre, permitiendo a la vez un crecimiento sostenido en el número de vías en excelentes condiciones por ello recomiendan la implementación de la metodología en los pavimentos del Perú.

Cerna y Palacios (2020) en su tesis de grado tienen como objetivo principal proponer un sistema de gestión de pavimentos para conservar el valor patrimonial de las vías urbanas, tomando como diseño muestral las vías de lima norte comprendidas entre el distrito de Comas y San Martín de Porras, con finalidad de reducir los deterioros o fallas de los pavimentos, controlados a partir de políticas de gestión de mantenimientos preventivos y/o correctivos según el estado de condición de cada vía urbana, georreferenciado por un sistema de información geográfica (SIG), garantizando un estado de condición bueno y satisfactorio ($PCI = 70$ a 100), ya que todo surge por el deterioro acelerado de las vías urbanas pavimentadas en los distritos de la provincia de Lima, donde está contextualizada en un problema complejo de declive de actividades rutinarias y periódicas centradas a la conservación, mejoramiento y rehabilitación de los pavimentos; debido al amplio número de fallas o defectos existentes en las vías urbanas; teniendo como resultado el desgaste y/o daño raudo y más aun teniendo políticas (presión popular, reclamos) y posibles nuevas elecciones para que los gobiernos locales realicen mantenimientos, reparaciones, rehabilitaciones y/o conservaciones del valor patrimonial por lo cual los gobiernos locales desconocen el valor patrimonial de las vías urbanas de su distrito. Por lo tanto, la investigación propone un sistema de gestión de pavimentos urbanos, conformados por el inventario vial (calcular el valor) a través del sistema de información geográfica (SIG), estado de condición (IRI y PCI) y políticas de gestión, que en conjunto permiten determinar el índice de condición y en función a la política de gestión se programaran las actividades de conservación vial (mínimo satisfactorio $PCI = 70$), para conservar el valor patrimonial de las vías urbanas y la serviciabilidad de tránsito.

Se tiene un análisis de muestra de 5 y 8 vías urbanas colectoras distritales de los distritos de Comas y San Martín donde se encontró que las fallas más comunes que deterioran el pavimento son el desprendimiento de agregados (54%), grietas longitudinales y transversales (16%) y los abultamientos y hundimientos (6%). Se obtuvo el siguiente cuadro (Tabla 2) donde se detalla la cantidad de fallas con mayor incidencia y su nivel de severidad, el cual ayuda en la elección de tipo de mantenimiento para cada tipo de falla.

Tabla 2

Tipos de falla por nivel de severidad

TIPOS DE FALLA	SEVERIDAD		
	BAJA	MEDIA	ALTA
1. PIEL DE COCODRILO	25	5	
4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO	15		20
6. DEPRESIONES	20		
7. GRIETA DE BORDE	15	10	
9. DESNIVEL CARRIL - BERMA	5	10	
10. FISURA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL	10	5	
11. PARCHES	25	20	5
13. BACHES	10	5	
19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	20	19	5

Fuente: Cerna y Palacios (2020, p.139).

Concluyen que los mantenimientos preventivos o mínimos se deben hacer cada 2 años y los mantenimientos correctivo menores se deben realizar cada 6 años con el fin de mantener la vía urbana en un estado de condición de “bueno” y “satisfactorio” (PCI= 70 a 100), y poder conservar el valor patrimonial de la vía urbana. Recomiendan hacer el inventario vial por lo menos una vez al año, para analizar el comportamiento como también crear un historial de las vías urbanas. También para evitar en lo posible el deterioro acelerado de las vías, aplicar desde el día "1" de la terminación del proyecto, políticas de gestión preventiva que ayudará en la conservación del valor patrimonial vial urbano.

Montañez (2018) en su tesis de pregrado cuenta con el objetivo general de plantear un sistema de gestión de mantenimiento vial para evitar el deterioro acelerado de las vías urbanas de la ciudad del Cusco, tomando como muestra de caso de estudio a la Av. de la Cultura comienzan realizando un análisis y diagnóstico situacional de los procesos de mantenimiento vial utilizados por la entidad responsable, se realizó el análisis del estado de deterioro del ciclo de vida del pavimento y el análisis del costo del ciclo de vida para un periodo de 50 años en dos escenarios: escenario 1 considerando las actividades de mantenimiento rutinario y periódicos y el escenario 2 sin considerar

mantenimiento. En el análisis se encuentra que en el escenario 2 existe un VPN de S/.1, 003,829 más que el escenario 1 demostrando que la aplicación de actividades de mantenimiento rutinario y sobre todo periódico, ha sido desde el punto de vista económico mucho más ventajoso que el no haber aplicado actividades de mantenimiento periódico y esto aumenta más si sumamos la mejora de la calidad de servicio y seguridad a los usuarios. Para replantear una reestructuración organizacional dentro del municipio de Cusco, se identificó las dependencias que tiene a su cargo la administración del mantenimiento de la red vial urbana y se analizó las posibles reestructuraciones trayendo como resultado la creación de nuevas dependencias encargadas de la gestión vial, así como la integración de algunas de ellas a las dependencias que actualmente trabajan para el mejoramiento en sus funciones como se ve en la Figura 3.



Figura 3. Esquema de propuesta para el manejo del sistema vial.

Fuente: Montañez (2018, p. 99).

El sistema de referencia que se propone es una cartografía digitalizada de coordenadas geográficas SIG, para su implementación se recomienda dividir la red en secciones y aplicar la metodología utilizada en el manual de inventarios viales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2014) para analizar las variables en el tiempo como los indicadores funcionales (PCI, IRI, PSI) y estructurales (deflexiones). Referente al inventario, éste debe proporcionar información básica sobre la ubicación y la conectividad de cada sección de gestión dentro de la red vial, la información que se requiere para cada sección que se requiere gestionar es: identificación, ubicación (inicio y fin), dimensión de la sección, longitud, número de carriles de tránsito, tipo de superficie, estructura de pavimento, clasificación funcional (categoría de la vía), estado de transitabilidad, características del suelo de fundación o sub-rasante (tipo, CBR, Mr, K), niveles de tránsito, datos históricos sobre la construcción y mantenimiento, datos de medio ambiente, que contenga: información del clima e información sobre el drenaje, información de los carriles de estacionamiento.

Para la evaluación sistemática de las condiciones funcionales y estructurales en que se encuentra el pavimento en determinado momento, debe realizarse periódicamente enfocado en la necesidad de predicciones con respecto al futuro comportamiento del deterioro, y poder realizar una adecuada planeación de las actividades de mantenimiento.

Referente a los datos de ingeniería de tránsito, En los análisis del sistema de gestión, es importante disponer de datos básicos de ingeniería de tránsito de cada una de las vías para poder evaluar las posibles estrategias que se propongan de mantenimiento.

Referente a las acciones de gestión de mantenimiento de pavimentos y las acciones a implementar en cada una de las actividades como construcción, mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, rehabilitación, mejoramiento y reconstrucción; medidas en términos de volumen, superficie o unidades, requeridas anualmente por km de carril o de calzada, son las que se denominan acciones de gestión de pavimentos y se utilizan en las etapas de planeación y programación con el fin de establecer los montos presupuestales

para disponer de los recursos (mano de obra, equipos y materiales) necesarios en la ejecución del volumen de trabajo calculado.

Referente a la priorización de acciones de mantenimiento, es necesario determinar, con base en la disponibilidad económica del presupuesto asignado por la municipalidad, además de la evaluación económica, el orden en que se ejecutarían las acciones.

Se considera que el subsistema diseñado responderá efectivamente a las necesidades de la localidad y, que los programas anuales que resulten, reflejan de manera realista la necesidad técnica y económica de implantar un programa sostenido y balanceado en cuya decisión se incluyan consideraciones de límites presupuestales, las expectativas y demandas del usuario, así como los aspectos sociopolíticos que conllevan a acciones de esta naturaleza, referente a la obtención de recursos financieros, las tareas que realizan los gobiernos municipales son enormes, interminables y muy costosas. La propuesta de financiamiento es obra por impuestos, puesto que el reglamento de la ley de obra por impuestos considera que la inversión en mantenimiento de la obra podrá ser financiada en un plazo acordado entre la entidad pública y la empresa privada.

Con la aplicación de todo el sistema propuesto, se puede concluir que la única manera de evitar un deterioro acelerado de una vía pavimentada es a través de implementar en la institución responsable del mantenimiento vial, un sistema de gestión de mantenimiento vial que es una herramienta que comprende un conjunto coordinado de actividades relacionadas con la planificación, diseño, construcción, mantenimiento, evaluación e investigación de todos los elementos que constituyen la infraestructura vial ejecutando en primer lugar obras de mantenimiento cuya postergación demandaría una inversión sustancialmente mayor y de esta manera controlar oportunamente a menor costo el deterioro acelerado de los pavimentos.

La propuesta considera la reestructuración organizacional, capacitación de recursos humanos, responsabilidades institucionales, generación e implementación del sistema de gestión de pavimentos y propuesta de financiamiento.

2.2 Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio

2.2.1 Sistema de gestión de infraestructura vial

La infraestructura vial nos habla del conjunto de elementos que permiten que los vehículos se trasladen de forma confortable y segura, incluye pavimentos, puentes, señalización, sistemas de drenaje, entre otros. El sistema actual de transporte incluye los medios marítimos, aéreos, férreos y terrestres, todos de algún modo llevan consigo el uso del pavimento, por tanto, se dice que el elemento básico dentro de la infraestructura vial son los pavimentos (De Solminihac et al., 2018).

Un Sistema de Gestión de Infraestructura Vial (SGIV) es un conjunto coordinado de actividades de planificación, diseño, construcción, mantenimiento, evaluación e investigación de los activos viales que tiene como propósito utilizar la información y criterios de decisión dentro de una estructura organizada para producir una gestión de ingeniería rentable. Para definir la gestión de infraestructura vial como un sistema primero es necesario saber el concepto y los componentes generales del sistema para luego relacionarlos al SGIV. Un sistema está conformado por entradas, salidas o resultados de la ejecución de procesos, un ciclo de retroalimentación y fronteras o restricciones que lo intercomunican con su entorno, siendo este último el medio en el cual está incluido el sistema. Vemos esta estructura en la Figura 4.

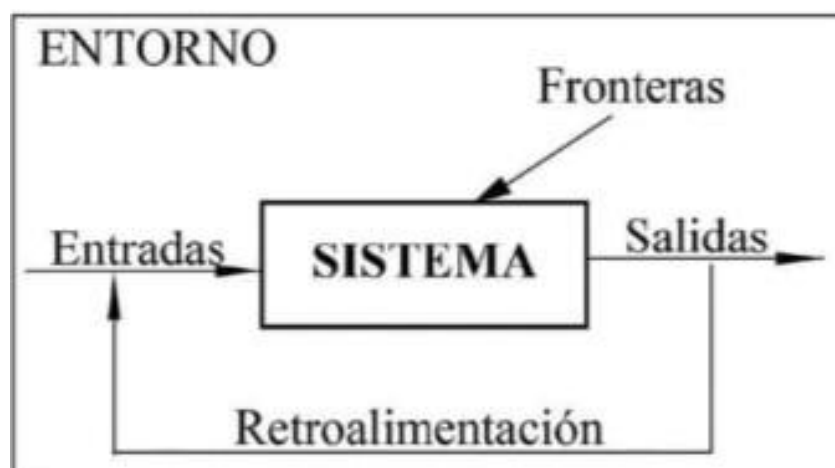


Figura 4. Componentes de un sistema.

Fuente: De Solminihac et al. (2019, p. 42).

Basándose en el concepto general ya descrito, un SGIV es un sistema sociotécnico constituido a la vez por tres subsistemas que interactúan entre ellos: sistema decisional, sistema de información y sistema organizativo, cada uno de sus componentes influye sobre el otro y en conjunto se comportan como una unidad. Tiene como finalidad el seguimiento y continua evaluación del estado de los pavimentos y demás activos viales para proporcionar seguridad y confort a los usuarios del sistema de transporte, obteniendo la mayor rentabilidad social posible sujeta a restricciones técnicas, económicas, sociales y ambientales. El sistema decisional es el que se encarga de los análisis lógicos respecto al comportamiento de la infraestructura vial y elabora resultados considerando múltiples escenarios. A partir de los datos de entrada, valora el efecto de las intervenciones sobre la infraestructura vial como también su costo y beneficio y propone una lista priorizada y optimizada de intervenciones que permite construir un plan de mantenimiento, este modo de respuesta se logra a partir de indicadores de comportamiento tales como deterioro superficial, comportamiento estructural, índice de condición de pavimentos, entre otros.

El sistema de información tiene por objetivo proveer información adecuada (datos de entrada), precisa y oportuna para apoyar la toma de decisiones con el apoyo de softwares, procedimientos y métodos de análisis de información, se requiere de instrucciones con una sintaxis definida para materializar y movilizar la información hacia otros subsistemas, una vez desarrollada la información, produce información de salida para los tomadores de decisiones considerando los impactos en la sociedad.

El sistema organizativo es la agencia vial encargada, del Estado o concesionada, que permite llevar a efecto un sistema de gestión de infraestructura y las obras fin como tal, este sistema (entorno) llega a ser el sistema institucional que utiliza los resultados para crear políticas públicas, consignar el gasto y la ejecución dentro de la infraestructura vial, especialmente los pavimentos.

Las fronteras son las restricciones o limitaciones dentro del entorno o agencia vial (De Solminihac et al., 2018).

De Solminihaç et al. también nos dicen que un sistema de infraestructura vial comprende un conjunto coordinado de actividades relacionadas con la planificación, diseño, construcción, conservación, evaluación e investigación de todos los elementos que constituyen la infraestructura vial. Su principal objetivo es establecer la metodología para el seguimiento y continua evaluación del estado de la infraestructura vial, para proporcionar así seguridad, confort y economía al transporte, obteniendo la mayor rentabilidad posible por el dinero invertido sujeto a las restricciones económicas, técnicas, políticas y ambientales, para tales efectos, el sistema debe ser actualizable, permitir comparación de alternativas e identificar la óptima, basando sus decisiones en atributos, criterios y restricciones cuantificables, además de usar información de retroalimentación para evaluar las consecuencias de decisiones tomadas.

Los objetivos específicos de un sistema de gestión vial son:

- Conservación adecuada de las carreteras que conforman la red a un costo apropiado.
- Aplicación de programas de conservación a largo plazo.
- Optimización de los costos y beneficios generados alrededor del uso de la infraestructura.
- Verificación permanente de los efectos generados por la infraestructura sobre el medio ambiente.
- Implementación de sistemas de control de la efectividad de las medidas de conservación.

Los elementos primordiales en la configuración de la gestión vial son:

- Información de inventario de red.
- Información del estado funcional y estructural de los elementos de la vía.
- Modelos de predicción del comportamiento durante su vida útil.
- Estándares de conservación para el deterioro actual y futuro de la vía.
- Evaluación económica de las distintas alternativas de conservación y/o rehabilitación.
- Configuración de un programa de actuación en el periodo de análisis.

Estructura general de un sistema de gestión vial

La gestión vial se estructura en base a la relación solicitudes-diseño y construcción a que se ve sometido el pavimento a lo largo de su vida útil que determina el modo de respuesta de esta y se mide a través de características funcionales y estructurales, tales como dice Hidalgo (2006):

- Irregularidad superficial
- Resistencia al deslizamiento
- Deterioro superficial
- Comportamiento estructural

De acuerdo a las solicitudes, la infraestructura vial sufre un deterioro, que debe ser evitado o corregido oportunamente mediante la aplicación de conservaciones las que dentro del sistema se presentan como opciones a ser seleccionadas de acuerdo al presupuesto y al nivel de mejoramiento que otorgan al pavimento, así como el control de costos asociados que generan. En la Figura 5 vemos como se estructura la gestión de pavimentos.

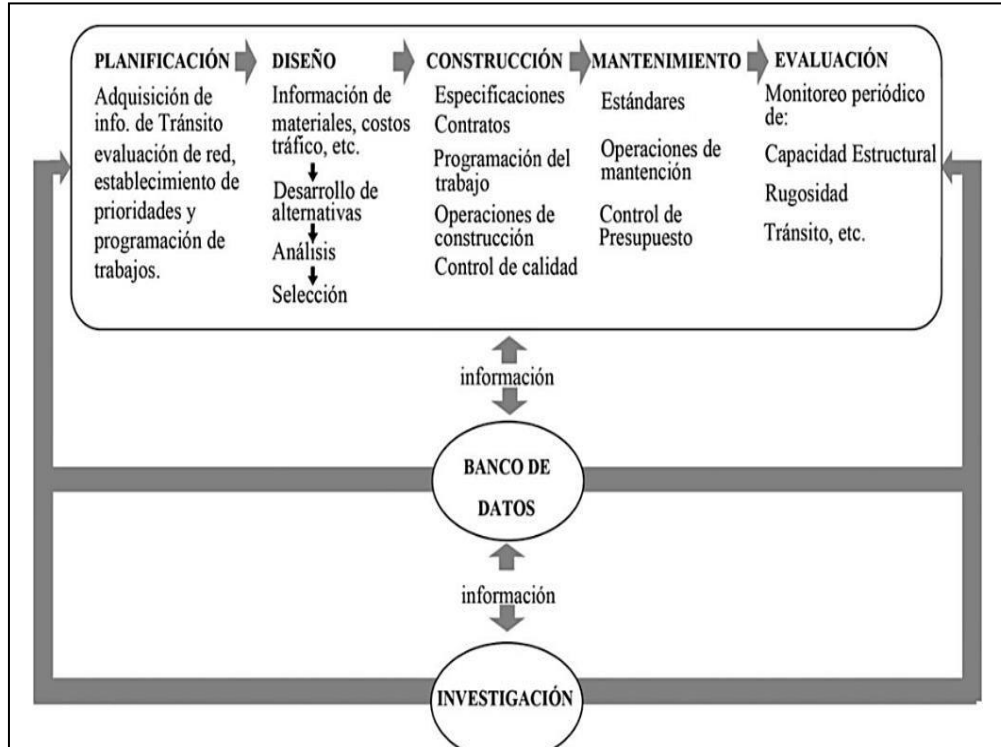


Figura 5. Estructura general de gestión de pavimentos.

Fuente: De Solminihac et al. (2019, p. 48).

Condiciones para el desarrollo de un sistema de gestión vial

Las condiciones principales para establecer un sistema de gestión vial según Hidalgo (2006) son:

- a) La voluntad de las autoridades en los diferentes niveles administrativos, ya que son ellos los que toman las decisiones relacionadas al financiamiento.
- b) La creación de una organización necesaria para su funcionamiento, según Solminihaq se deben considerar al menos los aspectos siguientes: estrategia, organización, equipamiento e investigación.
- c) La articulación del sistema de gestión vial a las siguientes actuaciones:

Elaboración de un banco de datos donde queden inventariadas las características de la red o proyecto que se desea gestionar.

Recolección sistematizada y periódica de información cuantitativa del estado del pavimento y de los restantes elementos de la carretera.

Establecimiento de los índices y parámetros para la cuantificación global del nivel de servicio de las vías, con la posibilidad de fijación de umbrales de intervención.

Definición de un método de elección de prioridades para establecer un orden de aplicación de los recursos disponibles.

Elección de las técnicas de conservación que deben aplicarse en cada caso en función de la información recogida y proceder a su valoración.

Gestión de conservación vial

Comprende la realización de un conjunto de actividades integradas tales como la definición de políticas, la planificación, la organización, el financiamiento, la ejecución, el control y la operación, para lograr una conservación vial que asegure la economía, la fluidez, la seguridad y la comodidad de los usuarios viales (MTC, 2018).

Un proceso de planificación y gestión de conservación vial requiere de las siguientes acciones:

Esclarecimiento de metas y objetivos.

Caracterización de las insuficiencias en la red vial.

Priorización, optimización de acciones y esclarecimiento de una estrategia.

Estudio y establecimiento de planes de financiamiento.

Planeación de acciones y manejo de recursos.

Ejecución, monitoreo y control.

Evaluación de resultados y retroalimentación.

La gestión vial ha sido entendida tradicionalmente como el conjunto de acciones que desarrollan los organismos viales para asegurar una adecuada conservación y expansión de la red vial que se encuentra a su cargo. Esta concepción tradicional ha llevado a tales organismos a la práctica de usar los recursos disponibles para resolver los problemas que se presentan, actuando de manera reactiva, es decir cuando el daño sobre las vías ya es existente, y no de manera preventiva (Salomón y González, 2003).

La moderna concepción de gestión vial señala que ésta consiste en la conducción proactiva del organismo vial hacia el logro de metas y objetivos de largo alcance que son fijados con anticipación, ello implica: el desarrollo de algún tipo de planificación para lograr un mejor uso de los recursos, la adopción de acciones de carácter preventivo que eviten el deterioro de las vías; y, la generación de capacidades para la toma de decisiones en el momento oportuno.



Figura 6. Gestión vial en Denver, Colorado.

Fuente: Menéndez (2019).

Sistema de gestión de pavimentos urbanos

Un sistema de gestión de pavimentos nos habla de las actividades de operaciones en conjunto que tiene por fin preservar por un lapso de tiempo las condiciones de seguridad, conformidad y capacidad estructural adecuada para la circulación, aguantando las condiciones de tráfico, clima y extorno de una determinada vía, considerando los recursos disponibles, externalidades e intangibles. La gestión de pavimentos es la acción de mantener el nivel de servicio de una red vial sobre un estándar. Su objetivo es usar información de una base de datos para así tener alternativas y con ellas aplicar criterios de decisión respecto al mantenimiento de las vías y a su vez con dichas decisiones tener una retroalimentación. Para una buena toma de decisiones se hace indispensable la organización de la información recaudada de la vía y su procesamiento de forma sistemática, para ello, apoyándose de las nuevas tecnologías, se utilizan software ad hoc con entorno GIS. De Solminihac et al. también nos detalla requisitos que debe tener un sistema de gestión de pavimentos:

De fácil manejo que nos permita sumar y actualizar datos.

Examinar estrategias dentro de la evaluación e identificación de la más óptima. Basar la toma de decisiones en procedimientos, criterios y restricciones medibles.

Usar información de retroalimentación para saber la respuesta a las decisiones tomadas.

Gestión de pavimentos

La gestión de pavimentos es la acción de mantener el nivel de servicio de una red vial sobre un estándar. Su objetivo es usar información de una base de datos para así tener alternativas y con ellas aplicar criterios de decisión respecto al mantenimiento de las vías y a su vez con dichas decisiones tener una retroalimentación. Se puede decir también que la gestión de pavimentos son las actividades de operación en conjunto que tiene por fin preservar por un lapso de tiempo las condiciones de seguridad, conformidad y capacidad estructural adecuada para la circulación, aguantando las condiciones de tráfico, clima y

extorno de una determinada vía, considerando los recursos disponibles, externalidades e intangibles. Para una buena toma de decisiones se hace indispensable la organización de la información recaudada de la vía y su procesamiento de forma sistemática, para ello, apoyándose de las nuevas tecnologías, se utilizan software ad hoc con entorno GIS (De Solminihac et al., 2018).

Gestión de pavimentos urbanos

La gestión de pavimentos urbanos desemeja de la gestión de pavimentos rurales debido a los criterios de priorización de vías. En los pavimentos urbanos tiene mayor relevancia lo referente al patrón de flujo vehicular pues de acuerdo al tipo de vía se admite o no el paso de ciertos camiones, para determinar el flujo que se asigna a determinada red se utiliza el modelo secuencial de transporte y el modelo de asignación de redes, a dichos modelos se les debe dotar de información como el uso del suelo, matrices de viaje, flujos vehiculares y características de la red; con la modelación de dicha información se establece la intensidad del tráfico, las velocidades y demoras en horas punta y se visualizan las vías más transitadas; con el procesamiento de dicha información se establecen patrones de deterioro de los pavimentos. Otros requerimientos relevantes la regulación de las intersecciones, la prioridad al transporte público, la interacción con flujos peatonales y ciclistas, los peajes, las fluctuaciones horarias del tráfico y el grado de saturación de las vías, los impactos indirectos durante las intervenciones de mantenimiento y la coexistencia con redes de servicios. Las pistas, veredas, ciclovías, pasajes y puentes peatonales y vehiculares, son elementos de las vías urbanas (De Solminihac et al. 2018).

La gestión de pavimentos urbanos está constituida por tres componentes: la agencia vial, un sistema de soporte para la toma de decisiones y un sistema de información, donde estos componentes interactúan entre sí, influyen sobre el otro y en conjunto se comportan como una unidad. (De Solminihac et al., 2018, p.508)

Componentes de un sistema de gestión de pavimentos urbanos

De Solminihac et al. (2018) nos dice que consta de tres elementos:

La agencia vial, un sistema de soporte para la toma de decisiones y un sistema de información. La agencia vial corresponde a las entidades encargadas de realizar las tareas de gestión, son los que obtienen la información y realizan la toma de decisiones de mantenimiento.

Los sistemas de soporte para la toma de decisiones se apoyan en sistemas analíticos que optimizan la asignación de recursos y la priorización de proyectos de mantenimiento.

Los sistemas de información integran entornos computacionales y geográficos de modelos de deterioro, evaluación y optimización económica y desarrollo de programas de mantenimiento apoyando así las decisiones de mantenimiento.

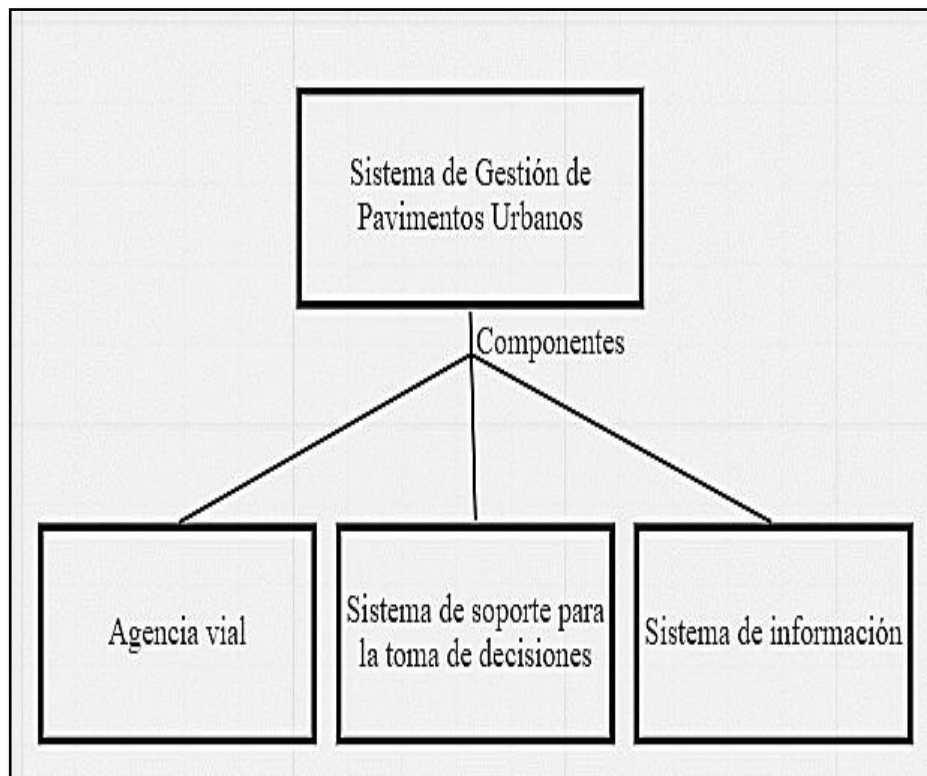


Figura 7. Componentes de un Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (SGPU).
Fuente: Elaboración propia.

a) Agencia vial

Son los encargados de las decisiones de asignación de recursos y los que dan los parámetros de criterios de priorización. Por ello, deben realizarlo en forma conveniente en lo relacionado a cantidad y oportunidad para entregar al público usuario el mejor servicio con los recursos disponibles. En el caso urbano, las entidades encargadas son los ministerios encargados de vialidad urbana (en el Perú corresponde al ministerio de vivienda, construcción y saneamiento), municipios y gobiernos locales.

b) Sistema de soporte para la toma de decisiones

A continuación, en la Figura 8, veremos cómo según de Solminihac et al., se formula el sistema de soporte de para la toma de decisiones. Cabe resaltar que con la información de la base de datos se determina el estado de la red urbana mediante indicadores del deterioro, que el diseño de estándares de mantenimiento depende de las decisiones tomada por la agencia vial según su categoría de vía e importancia en la red, su condición funcional, estructural y cualquier otra condición que crean oportuna, que los costos de operación vehicular (COV) se evalúan mediante modelos como Road User Effects (RUE) o Roads Economic Decision Model (RED) por ejemplo. De Solminihac et al. (2018) sujeta que:

En pavimentos urbanos los COV se justifican a partir de la regulación de las intersecciones, la prioridad al transporte público, la interacción con flujos peatonales y ciclistas, las restricciones de circulación, las fluctuaciones horarias del tráfico y grado de saturación de las vías, así como los impactos durante las intervenciones de mantenimiento. Se otorga particular atención a los efectos de los trabajos de mantenimiento sobre los usuarios y espacio público. A las vías urbanas con principal tráfico, presencia de transporte público y condiciones ambientales más desfavorables se les da estándares de mantenimientos más rigurosos. (p. 507)

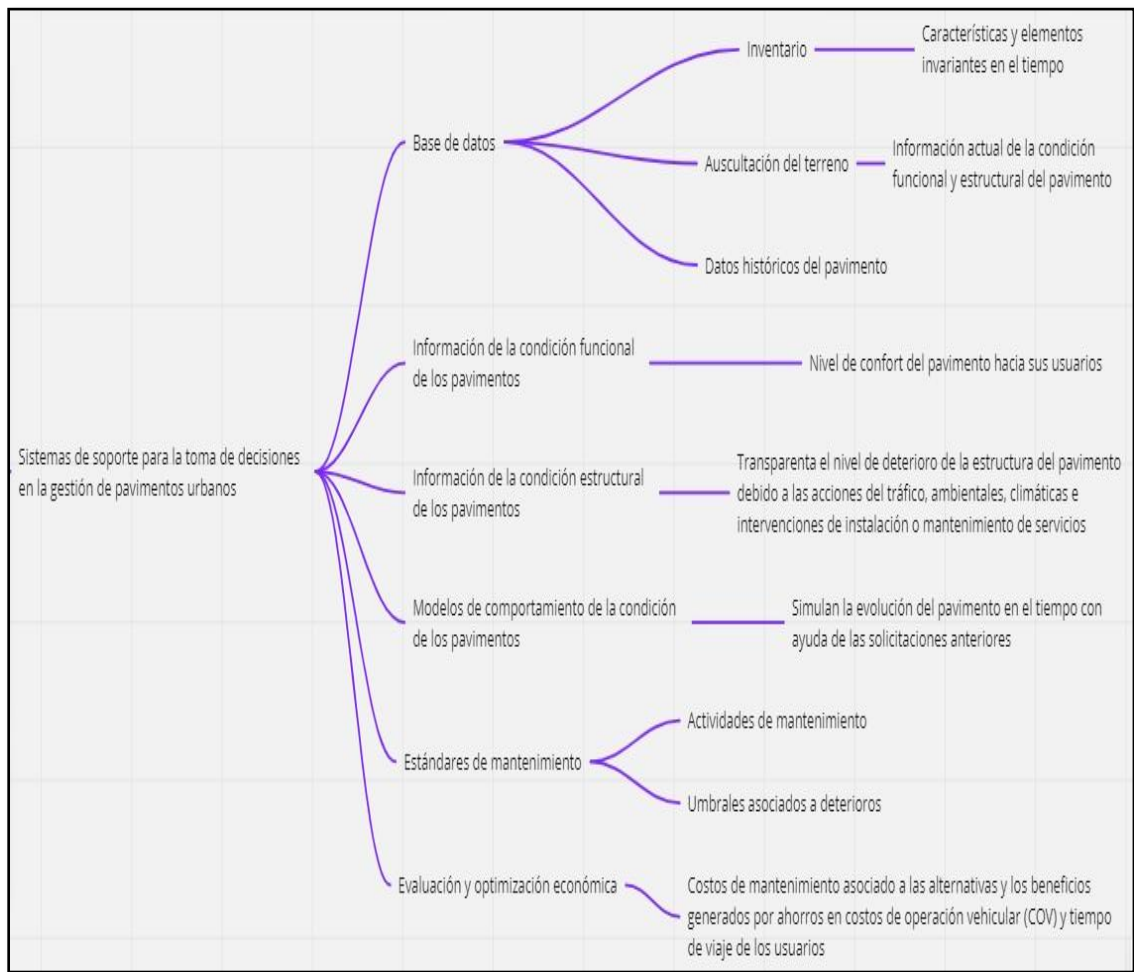


Figura 8. Soporte para la toma de decisiones en la gestión de pavimentos urbanos.

Fuente: Elaboración propia.

c) Sistema de información

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) proporcionan una plataforma esencial para la gestión de infraestructura en virtud a su capacidad de análisis de información geoespacial. Un SIG facilita 1) La visualización de información por medio de una base de datos con mapas e inventarios. 2) La recolección, procesamiento de información y la integración de datos mediante modelos de predicción del comportamiento del pavimento que sustentan las alternativas de mantenimiento y sus diversos escenarios de acuerdo a criterios decisionales. 3) La asignación de actividades de mantenimiento que contienen prioritizaciones en base a costos y restricciones presupuestarias.

2.2.2 Preservación de los pavimentos urbanos

Introducción a los pavimentos urbanos

Los pavimentos son estructuras horizontales conformadas por un conjunto de capas de materiales con espesores y calidades diferentes que se apoyan en toda su superficie sobre el suelo de fundación de una vía, destinada a facilitar y hacer más confortable y seguro el tránsito de vehículos, dentro de un rango de serviciabilidad, durante un periodo de tiempo predeterminado, el cual deberá recibir algún tipo de tratamiento para prolongar su ciclo de vida (Vivar, 1995). De Solminihac et al. (2018) sostienen que los pavimentos son el conjunto de los elementos que proporcionan estabilidad estructural a una superficie de rodadura en conformidad con el diseño geométrico, la categoría de la vía y los requerimientos de los medios de transporte., consta de una capa de rodadura y dos capas inferiores llamadas base y subbase que en conjunto soportan las cargas debido al tráfico en relación también con el efecto del clima. Los pavimentos son los elementos más importantes y complejos en la infraestructura vial a la vez que involucran muchas variables. Por consiguiente, es necesario esclarecer los factores técnicos y económicos que involucran su construcción y mantenimiento para con ello poder hacerle su adecuada gestión.

Funciones de los pavimentos

Proporcionar una superficie resistente a los efectos destructivos del tráfico y de los agentes atmosféricos a los cuales están sometidos.

Presentar una superficie suave de deslizamiento, mejorando las condiciones de rodadura de los vehículos, proporcionando comodidad y seguridad a los usuarios.

Resistir, transmitir y distribuir al terreno de fundación la intensidad de las cargas originadas por los vehículos según tipo de zonificación y vías.

Tipos de pavimentos

Los pavimentos se clasifican de acuerdo a la calidad de materiales que lo conforman, a su estructura, al tipo de solicitaciones a las que son sometidos y a la forma en que distribuyen las cargas al terreno (Vivar, 1995).

- Pavimento flexible o asfáltico

En este tipo de pavimento la capa superior está conformada por una carpeta bituminosa (asfalto) apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas de material granular llamadas base y subbase que deben tener resistencia al corte para absorber los esfuerzos horizontales además de las presiones verticales que se transmiten a los estratos inferiores por la acción repetitiva de las cargas de tránsito vehicular. Estos tipos de pavimentos son particularmente sensibles a las variaciones climáticas y efecto de saturación continuada, su comportamiento es ir mejorando sus propiedades desde las capas inferiores a la superior. Se utiliza en caminos con velocidades superiores a los 60km/h (Montejo, 2001).

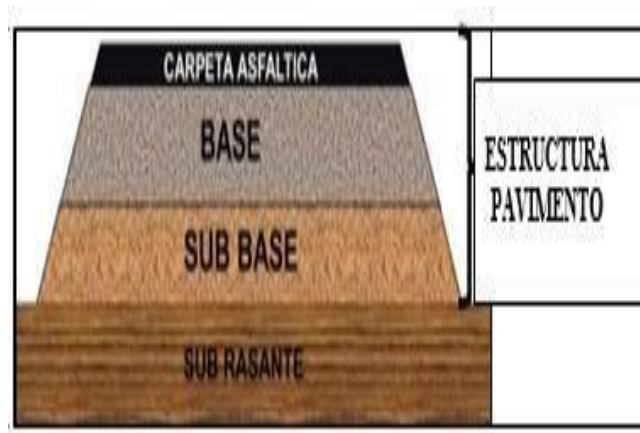


Figura 9. Estructura de los pavimentos flexibles.
Fuente: Elaboración propia.

- Pavimentos rígidos o de hormigón

En este caso, la capa de rodadura está conformada por una losa de concreto de cemento hidráulico y además de resistir los esfuerzos de corte, debe soportar sin daño, los esfuerzos de tracción por flexión, su capa estructural consta de una losa de hormigón que otorga rigidez para reducir las tensiones transmitidas a las capas inferiores compuestas de material granular. En estos pavimentos las juntas y bordes constituyen suspuntos más débiles. Se utiliza en caminos con velocidades superiores a los 60km/h (Montejo, 2001).

Estado de condición en los pavimentos urbano

Una buena duración y servicio del pavimento depende en gran parte de los espesores adoptados, de la tecnología constructiva y control de calidad de los materiales utilizados, cuando estas condiciones no se cumplen, las degradaciones o fallas y deteriorose manifiestan prematuramente sobre la capa de rodadura, produciendo un bajo índice de serviciabilidad en la vía, que refleja en una incomodidad para el usuario. Los deterioros en los pavimentos urbanos son degradaciones que se presentan en los pavimentos y se manifiestan a través de la acumulación de daños sobre todo en su superficie durante el tiempo de su operación, que afecta sobre sus características funcionales y estructurales influenciando sobre la circulación vehicular, haciéndola menos confortable, más insegura y más costosa. El tiempo de servicio es importante en lo que respecta al estado de las vías pavimentadas, debido al avance del deterioro de estos con el transcurso del tiempo. En la Figura 10 veremos en deterioro de una vía pavimentada a través de su vida útil.

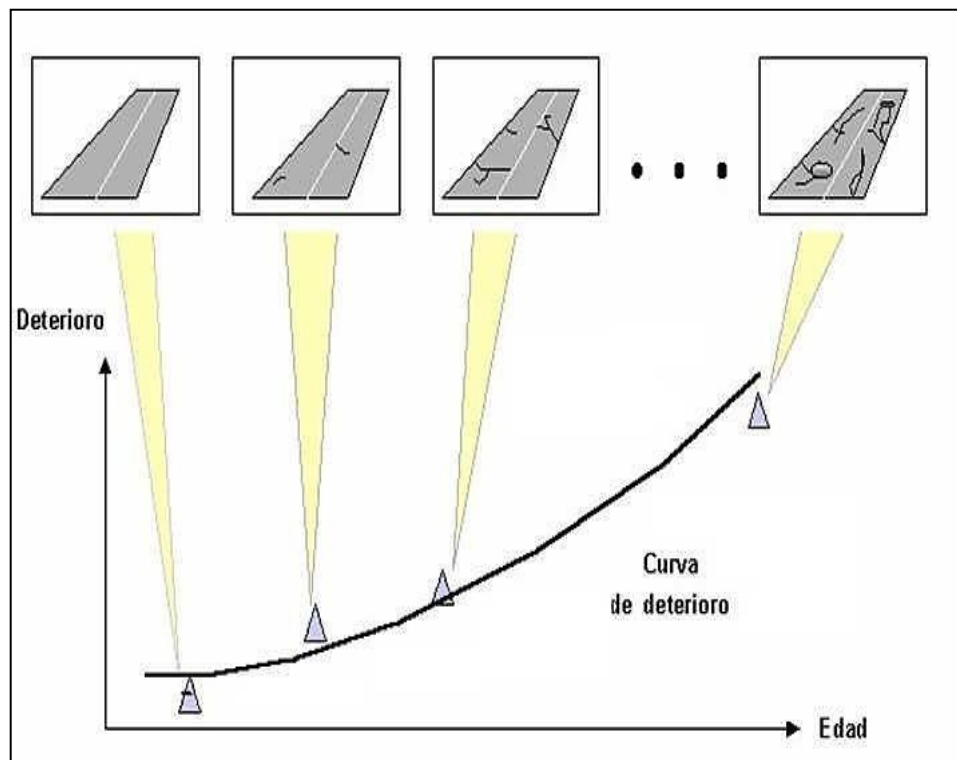


Figura 10. Deterioro de una vía pavimentada a través de su tiempo de vida.

Fuente: Araya y Tobar (2010, p. 195).

Factores que influyen en el deterioro de las vías pavimentadas

Araya y Tobar (2010) nos dice que entre los factores que influyen el deterioro de las vías pavimentadas tenemos:

Falta o inadecuado e inoportuno mantenimiento vial.

Condiciones climáticas.

Características del tránsito.

Malos diseños estructurales.

Construcciones deficientes.

Drenaje mal diseñado o mal mantenido.

“Estos factores afectan al pavimento, en mayor o menor medida, pero su acción es permanente y termina deteriorándolo a tal punto que lo puede convertir en intransitable” (Araya & Tobar, 2010)

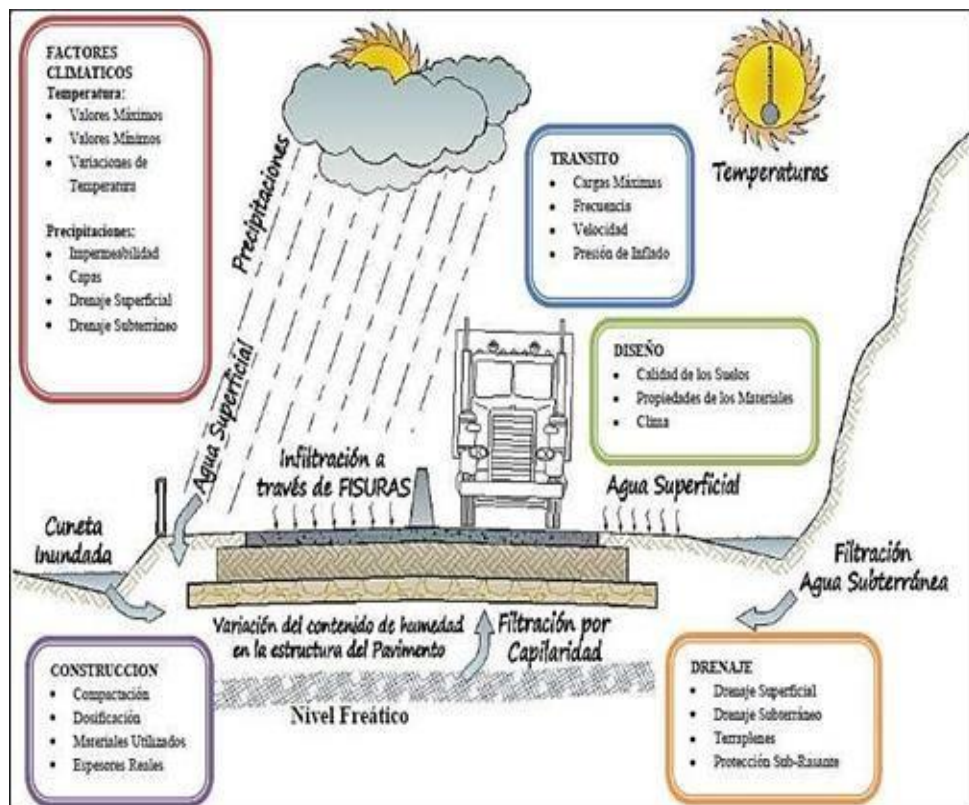


Figura 11. Factores que influyen en el deterioro de los pavimentos.

Fuente: Araya y Tobar. (2010, p. 36).

Fases de deterioro de las vías pavimentadas

En algunos países en desarrollo, los caminos están sometidos a un ciclo que, por sus características, ha adquirido la condición de fatal. Según CEPAL (1994) este ciclo consta de cuatro fases las cuales son Fase A (vía recién construida o rehabilitada), Fase B (vía que se empieza a deteriorar y el proceso es lento y poco visible), Fase C (deterioro acelerado) y Fase D (punto de colapso). Estas fases se describen a continuación en la Figura 12:

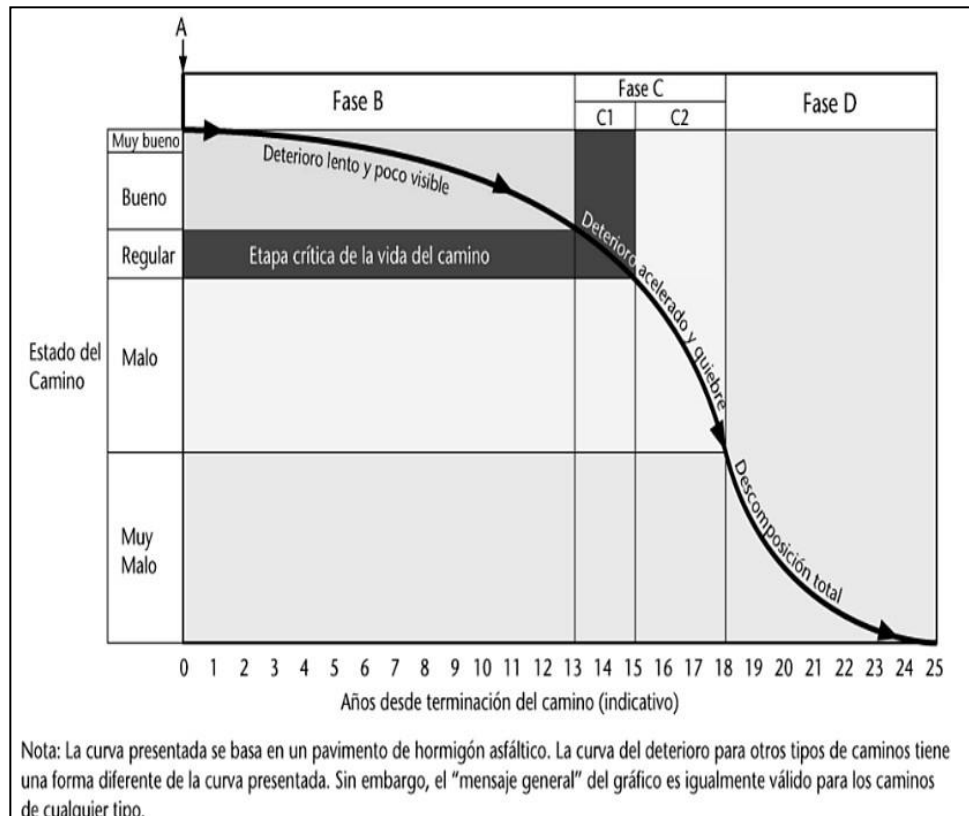


Figura 12. Fases de deterioro del pavimento a través del tiempo.

Fuente: Naciones Unidas (1994).

Fase A: Construcción

Un camino puede ser de construcción sólida o con algunos defectos. De todos modos, entra en servicio apenas se termina la obra, o incluso está en funcionamiento mientras se realiza la rehabilitación o mejoramiento.

El camino se encuentra, en ese momento, en excelentes condiciones para satisfacer plenamente las necesidades de los usuarios. (Punto A del gráfico).

Fase B: Deterioro lento y poco visible

Durante un cierto número de años, el camino va experimentando un deterioro debido a un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodadura, aunque, en menor grado, también en el resto de su estructura. El desgaste se produce en proporción al número de vehículos livianos y pesados que circulan por él, aunque también por la influencia del clima, las precipitaciones o aguas superficiales y otros factores indicados.

Por otro lado, la velocidad del desgaste depende también de la calidad de la construcción inicial. Para disminuir el proceso de desgaste y debilitamiento, es necesario aplicar, con cierta frecuencia, diferentes medidas de conservación, principalmente en la superficie de rodadura y en las obras de drenaje, además de efectuar las operaciones rutinarias de mantenimiento. Durante la fase B, el camino se mantiene en aparente buen estado y el usuario percibe el desgaste, a pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas. El camino sigue sirviendo bien a los usuarios y está en condiciones de ser conservado en el pleno sentido del término.

Fase C: Deterioro acelerado

Después de varios años de uso, la superficie de rodadura y otros elementos del camino están más “agotados”; el camino entra en un período de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito vehicular. Al inicio de esta fase, la estructura básica del camino aún sigue intacta y la percepción de los usuarios es que el camino se mantiene bastante sólido; sin embargo, no es así. Avanzando más en la fase C, se puede observar cada vez más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura básica, lo cual, lamentablemente, no es visible. Los daños comienzan siendo puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte del camino. Esta fase es relativamente corta, una vez que el daño de la superficie se generaliza, la destrucción es acelerada.

Fase D: Descomposición total

La descomposición total del camino constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años. Durante este período el paso de los vehículos se dificulta seriamente, la velocidad de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida asólo una fracción de la original. En estas condiciones, los costos de operación de los vehículos suben de manera considerable y la cantidad de accidentes graves también aumenta.

Lamentablemente, en Latinoamérica existen muchos ejemplos “perfectos” de vías que han llegado a esta fase de descomposición, encontrándose con el deterioro total de caminos. Su reconstrucción viene demandando la inversión de muchos millones de dólares, este gasto, sin embargo, pudo haberse evitado si se hubiera intervenido oportunamente en el proceso de mantenimiento (CEPAL, 1994).

Efectos del deterioro: Análisis del ciclo de un pavimento

El deterioro de los pavimentos de los países en desarrollo pierde infraestructura vial de costos considerables con cifra de hasta miles demillones de dólares. El deterioro de las vías pavimentadas se acelera si no se realiza un adecuado y oportuno mantenimiento o conservación vial. La reconstrucción de estas vías pavimentadas costará entre tres y cinco veces más de lo que habría costado el mantenimiento oportuno (Banco Mundial, 1988).

El siguiente diagrama de flujo de la Figura 13, muestra el proceso que sigue un camino sin mantenimiento(ciclo de vida fatal) y otro con mantenimiento (ciclo de vida deseable) donde se aprecia que la falta de mantenimiento permanente conduce inevitablemente al deterioro total del camino, mientras que la atención constante del mismo mediante el mantenimiento rutinario, sólo requiere, cada cierto tiempo, trabajos de mantenimiento periódico (Rodríguez, 2011).



Figura 13. Ciclo de vida fatal y deseable de una vía.
Fuente: Rodríguez (2011, p. 15).

De Solminihac et al. (2018) nos dicen que los pavimentos son proyectados para una vida de diseño y que la falta de mantenimiento o cuando esta es inoportuna representa que en corto plazo los pavimentos tendrán un servicio menor al proyectado. Vemos que en los pavimentos sin mantenimiento que al comienzo su vida útil sufre sólo un deterioro lento y casi invisible, luego se origina un declive en el cual se acelera el deterioro y se llega rápidamente a su término. En cambio, con mantenimientos periódicos y rutinarios, estos conservan un estado de bueno a regular como vemos en la Figura 14.

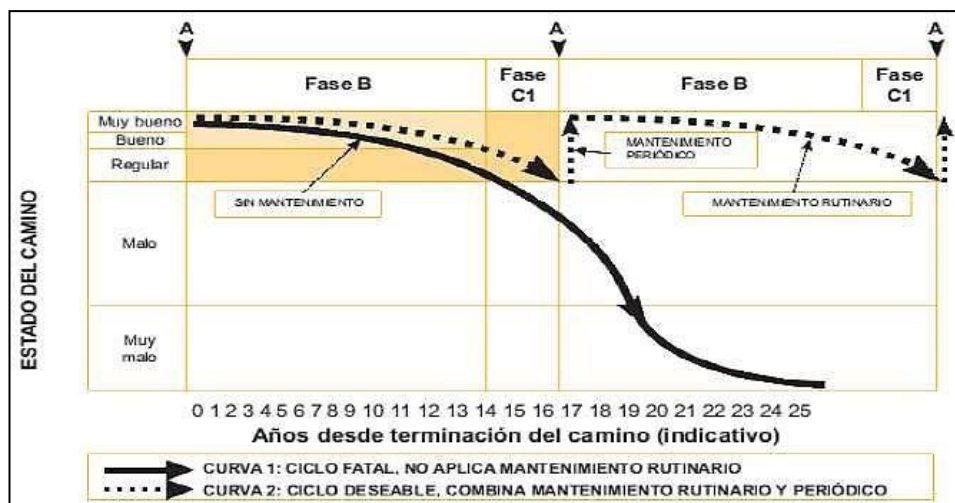


Figura 14. Deterioro de un pavimento en el ciclo de vida fatal y deseable.
Fuente: Rodríguez (2011, p. 14).

Fallas en los pavimentos urbanos flexibles

Aquí se exponen las diversas fallas (ver Tabla 3) que se pueden dar en un pavimento flexible con sus respectivos niveles de severidad, como se deben medir y las opciones de reparación, estas 19 fallas son las utilizadas en el método del PCI para su calificación del estado de condición.

Tabla 3

Deterioros en la textura superficial de los pavimentos

Fallas en la textura superficial	
Nombre del deterioro	Descripción
Fisura en bloque	Gran cantidad de leves fisuras interconectadas que se asemejan a una red de caminos en un mapa, cuando son lo suficientemente anchas como para que el agua penetre en ellas, pueden ocasionar daños adicionales en los ciclos de hielo-deshielo y facilitar la corrosión del acero de refuerzo.
Desgaste superficial	Pulimiento de la superficie que resulta a partir de un intenso tráfico y que se manifiesta con la aparición del agregado grueso sin efectos estructurales dañinos.
Ahuellamiento	Es la formación de depresiones longitudinales sobre la capa de rodamiento, usualmente tienen el ancho de la zona donde pasan las ruedas de los vehículos. Este efecto es generalmente causado por el paso del tráfico y el desplazamiento de la capa de rodamiento sobre la base debido a cargas muy altas. Otras causas probables son una inadecuada compactación durante la construcción o un diseño inapropiado de mezcla.
Baches	Son huecos de tamaño variable en la capa de rodamiento, causados por la desintegración del concreto asfáltico, que es producida por un mal drenaje y agravado por las cargas del tráfico.
Grietas de reflexión	Aparecen en una sobre capa debido a la presencia de juntas o grietas en una capa inferior, pueden ocurrir longitudinal o transversalmente en relación con la línea central de la rodadura.
Grietas de borde	Son grietas con tendencia longitudinal a semicircular ubicadas cerca del borde de la calzada, se presentan generalmente por la ausencia de berma o por la disimilitud de nivel de la berma y la calzada.

Piel de cocodrilo	Grietas interconectadas formando una serie de pequeños polígonos que asemejan la piel de un lagarto. Son causadas por fatiga y un soporte inadecuado.
Corrugación	Son ondulaciones transversales a intervalos regulares sobre la superficie del pavimento, afecta el confort de los usuarios y pueden ser peligrosas en estado severo. Usualmente se producen debido al tráfico sobre mezclas inestables.
Exudación	Condición causada por una concentración de asfalto sobre la superficie del pavimento, por lo regular brillante, resbaladiza y pegajosa. Se genera a partir de mezclas con cantidades excesivas de asfalto originando bajo contenido de vacíos con aire, también puede darse por el uso de asfaltos muy blandos o por derrame de solventes y llega a afectar la resistencia al deslizamiento.
Pulimiento del agregado	Este deterioro viene asociado a la circulación del tráfico pesado durante largo tiempo, debido al tipo de agregado usado en la mezcla.
Desintegración	Pérdida de pequeñas partículas de agregado de la superficie de rodadura. Es provocada por una compactación inadecuada, una mezcla demasiado pobre, condiciones inadecuadas durante la construcción, etc.

Fuente: AASHTO (1993).



Figura 15. Fisuras, baches, ahuellamiento y exudaciones.

Fuente: Elaboración propia.

En los pavimentos flexibles, las patologías pueden ser agrupadas en cuatro categorías según Peñaloza y Calle (2017), como se aprecia en la Figura 16.

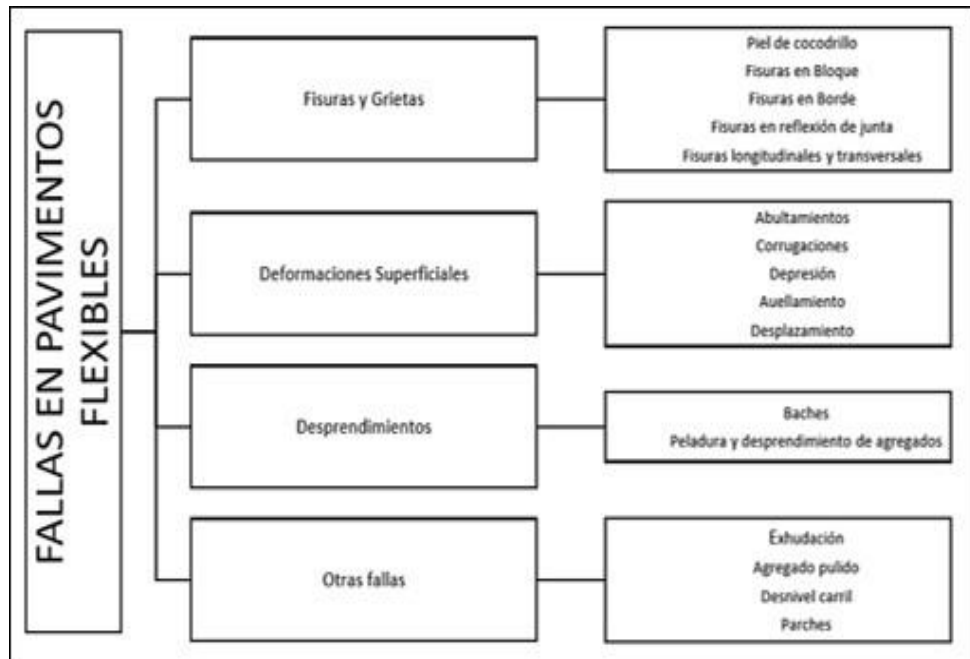


Figura 16. Fallas en pavimentos flexibles agrupados por categorías.

Fuente: Peñaloza y Calle (2017, p. 61).

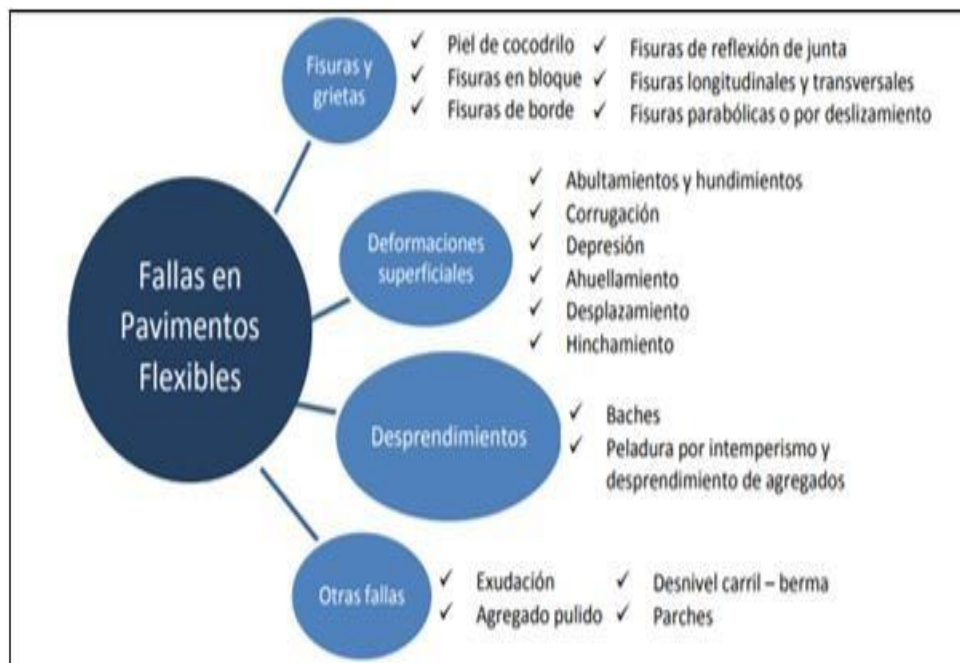


Figura 17. Resumen de fallas en pavimentos flexibles.

Fuente: Rodríguez (2009, p. 11).

Evaluación de los pavimentos urbanos

Se conoce que la evaluación de la infraestructura permite diagnosticar los problemas pasados, presentes o futuros y dar solución a estos. En temas específicos de pavimentos, sirve para tener una idea y poder comparar el estado de deterioro. Éste es un proceso sistemático de toma de datos de campo que son sintetizados en indicadores o índices estandarizados por agencias de estudio de los pavimentos como es la American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO), de modo que luego de un análisis de la condición actual del pavimento, es decir, un diagnóstico del deterioro del pavimento, se trata mejorar su estado a través de técnicas de rehabilitación. La evaluación del estado de un pavimento se realiza mediante técnicas que sean capaces de caracterizar la condición de un pavimento.

a) Evaluación funcional del pavimento

La evaluación funcional de los pavimentos está asociada a la calidad de rodado y seguridad de los vehículos, es decir al grado de servicio y operación que presta la vía al usuario, relacionándose únicamente a las características superficiales del pavimento. La evaluación funcional del pavimento, tiene por objetivo determinar las deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie, considerando los factores que afectan a la comodidad, seguridad y economía. Entre los tipos de deficiencias están: La rugosidad superficial, fallas superficiales y pérdida de fricción, costo de usuario y el medio ambiente.

b) Evaluación superficial del pavimento

La evaluación superficial se refiere a la medición de la calidad superficial del pavimento que sirve al usuario. El confort o calidad de la transitabilidad es la característica principal que se evalúa con evaluaciones desde una inspección visual realizada por uno o más ingenieros, que en base a las fallas encontradas y a su apreciación personal estiman el grado de funcionamiento, hasta el uso de equipos sofisticados que permiten cuantificar las fallas y deformaciones que se presentan en la vía.

Según Thenoux & Gaete (1995), señala que la evaluación funcional del

pavimento es indispensable para poder brindar un servicio adecuado a los usuarios, el objetivo de ésta es determinar el estado superficial del pavimento. Todo pavimento durante su vida útil debe cumplir con condiciones que garanticen a los usuarios tanto en seguridad como confort. Tal como se mencionó anteriormente, existen indicadores o parámetros del estado del pavimento como son el IRI, PSI y PCI, que permiten conocer las condiciones superficiales de éste.

En la evaluación superficial se determina índices de deterioro determinados por diferentes métodos, algunos de ellos serán indicados a continuación.

Índices de deterioro relacionados a la condición superficial del pavimento:

- Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Según la Norma ASTM-D6433-11, que consigna un método de evaluación del comportamiento del pavimento es el “procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento” más conocido como el “Método PCI” (Pavement Condition Index). Según Sierra Díaz y Rivas Quintero (2016), esta técnica se fundamenta en inspecciones visuales por medio de las cuales se determina el estado en que se encuentra una vía, dependiendo del tipo, cantidad y severidad de las fallas presentes. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas sofisticadas más allá de conocimientos de distintos tipos de patologías y de un formulario de inspección visual. El índice de condición del pavimento se constituye en la metodología más completa para conocer el comportamiento y calificar de manera objetiva el pavimento, sean estos flexibles o rígidos. Índice de Condición del Pavimento (PCI) (Pavement Condition Index) Es el parámetro de evaluación que sirve para cuantificar el estado superficial de un pavimento. El PCI es un índice numérico, diseñado para obtener el valor de la irregularidad superficial del pavimento y la condición operacional de este. El método califica la condición integral del pavimento en base a una escala que varía entre “0” para un estado fallado y un valor de “100” para un estado bueno. Se muestra a continuación en la Figura 18 los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.



Figura 18. PCI, escala de calificación y colores sugeridos.

Fuente:ASTM D6433-11 (2011, p.2).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento y grado de deterioro del mismo en función al tipo de falla, severidad de la falla (ancho de las grietas) y densidad de la falla (porcentaje del área afectada). (Vivar y Gutiérrez 1996).

El procedimiento detallado para el levantamiento y registro de fallas desarrolla en el manual del ACI.

- Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Indicador que refleja la comodidad del usuario, representa la opinión del usuario acerca de la calidad del servicio del pavimento. Es medida a través de una escala numérica del 1 al 5.

Tabla 4

Clasificación del índice de serviciabilidad de una vía (PSI)

PSI	CALIFICACIÓN
0.0	Intransitable
0.1 -1.0	Muy malo
1.1 -2.0	Malo
2.1 -3.0	Regular
3.1 -4.0	Bueno
4.1 -4.9	Muy bueno
5.0	Excelente

Fuente: ICG (2010, p. 32).

La determinación analítica del PSI se relacionará a la rugosidad con el índice de servicio; la correlación adoptada se desarrolló usando los datos obtenidos en el “ensayo internacional sobre rugosidad en caminos” realizados en Brasil en 1985, que tiene la siguiente expresión de Chang (2005).

Ecuación 1: $PSI=5.5 * e^{-(IRI/5.5)}$

- Índice de Rugosidad Internacional o Índice Internacional de Irregularidad superficial (IRI)

Se define como la sumatoria de las irregularidades verticales presentadas a lo largo de la superficie de rodadura de un tramo homogéneo de pavimento dividido entre la longitud del mismo, su unidad de medida es m/km, por lo tanto, se puede decir que es una medida extendida de las deformaciones o irregularidades verticales de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana, la misma que afectan al movimiento del vehículo, al confort de viaje y el drenaje superficial del pavimento.

Por lo tanto, el IRI es un indicador estadístico de las irregularidades superficiales del pavimento.

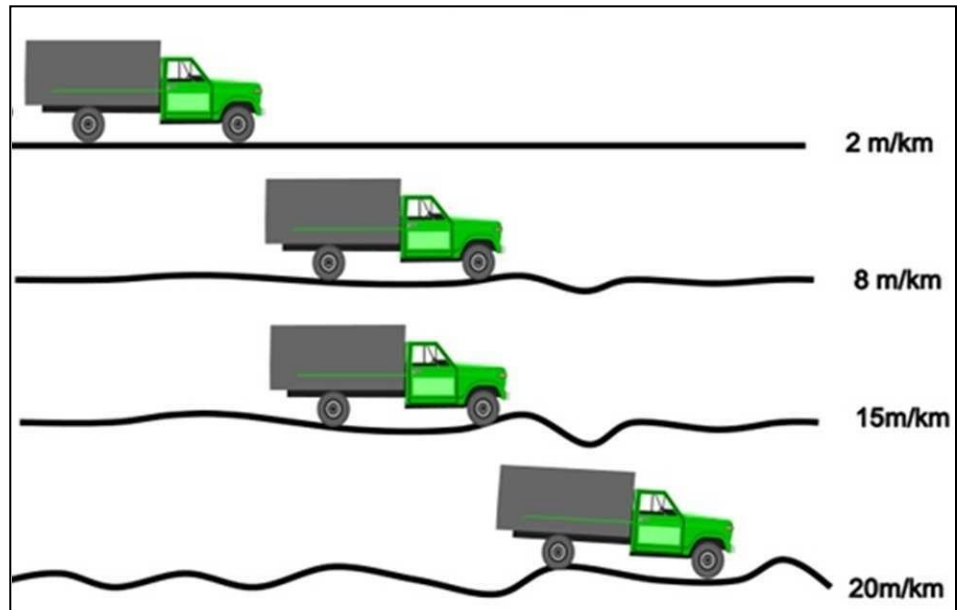


Figura 19. Clasificación de las vías en función al IRI.

Fuente: Chang (2007).

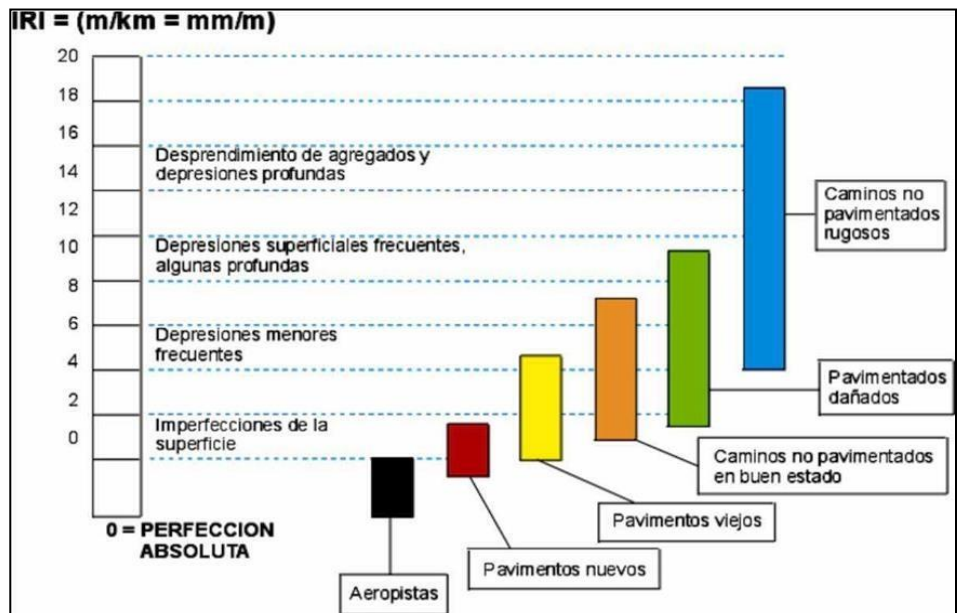


Figura 20. Concepto de rugosidad superficial IRI (m/km).

Fuente: Chang (2007).

Existen muchos instrumentos de medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), como los perfilómetros dinámicos láser, considerados como instrumentos de alto rendimiento y buena precisión, otro el Rugosímetro de Merlín de fácil manejo, pero de bajo rendimiento, pero con métodos de análisis simple y con resultados confiables, siendo sólo superada por la exactitud que proporciona el método topográfico.

Preservación mediante el mantenimiento vial

Se entiende por conservación vial al conjunto de actividades técnicas, de naturaleza periódica o rutinaria, que deben realizar los organismos responsables de la gestión vial para cuidar las vías y mantenerlas en estado óptimo de operación. Salomón (2003). El mantenimiento vial se refiere a un conjunto de actividades destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado y condición de las vías, tanto en el corto, como en el mediano y largo plazo, al menor costo posible, mediante la protección física de la estructura y de la superficie del pavimento, de modo que se pueda prevenir su deterioro y prolongar su vida útil, logrando prestar un servicio óptimo, adecuado y permanente al usuario. El objetivo fundamental del mantenimiento vial, es mantener un determinado nivel de servicio en la red vial y puede ser de carácter preventivo con la finalidad de retrasar la degradación por deterioro del pavimento, que posteriormente pueda conllevar a la rehabilitación o refuerzo. En general tiende a considerarse que ambos términos tienden a una relación de causa-efecto, siendo en realidad el mantenimiento parte de la conservación. A partir de mediados de los años sesenta comenzó a surgir una nueva especialidad dentro de la ingeniería civil, que mirando con la perspectiva de los años noventa, se le puede asignar el nombre de gestión de la infraestructura vial o sistema de gestión de pavimentos, cuyo objetivo es apoyar técnicamente y objetivamente la toma de decisiones respecto a las inversiones que se deben realizar en los distintos tipos de elementos de la infraestructura, a fin de lograr un nivel de servicio adecuado a las necesidades de los usuarios de las vías, tales como: seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en

que se ubica la vía en cuestión, todo lo anterior minimizando costos monetario, social y ecológico (Burneo, 2013, p.15).

A medida que se han ido atendiendo las demandas de nuevos caminos, se ha incrementado la necesidad de conservar los caminos en buen estado de funcionamiento. En general, las personas entendían que el camino al haber sido construido con recursos del Estado era de su propiedad y, por lo tanto, el mantenimiento también era de su responsabilidad. Sin embargo, de acuerdo a la legislación vigente, en la mayoría de países, la red vecinal está bajo responsabilidad de los municipios y, en algunos casos, la red secundaria ha sido entregada a la gestión de los gobiernos provinciales o regionales.

La conservación vial es importante porque:

Son ahorros en los costos de operación de vehículos.

Ahorro de tiempo para los usuarios.

Preserva la inversión realizada por las instituciones administradoras viales.

Brinda a los usuarios seguridad, rapidez y confort.

Permite acceder a servicios (salud, educación, etc.) y mercados.

Niveles de intervención en la conservación vial

Los niveles de intervención son las diversas acciones que se realizan en la vía, los cuales se clasifican de acuerdo a la magnitud de los trabajos, que se originan desde una intervención simple que se realiza en las actividades de mantenimiento rutinario, hasta una intervención con mayor grado de dificultad y mayor costo como las actividades de reconstrucción o rehabilitación. Así mismo, uno de los objetivos principales de la conservación vial es evitar, al máximo posible, la pérdida del capital ya invertido, mediante la protección física de la infraestructura básica y de la superficie del camino. La conservación procura específicamente evitar la destrucción de partes de la estructura de los caminos y su posterior rehabilitación o reconstrucción. Por lo tanto, consiste en la realización de actividades o tareas que no impliquen modificar la estructura existente del camino. Siendo los niveles de intervención en la conservación vial los siguientes:

a) **Rehabilitación:** Consiste en la reparación selectiva y de refuerzo estructural, previa demolición parcial de la estructura existente. La rehabilitación procede cuando el camino se encuentra en un estado de avanzado deterioro como para poder resistir una mayor cantidad de tránsito en el futuro, pudiendo incluir algunos mejoramientos en los sistemas de drenaje y de contención. La rehabilitación tiene como propósito restablecer la capacidad estructural y la calidad de la superficie de rodadura. En la mayoría de casos, la rehabilitación se hace cuando no ha existido una conservación adecuada, pero en un esquema sano de conservación sólo debería ser ocasionalmente necesaria, como cuando deben rehabilitarse fracciones defectuosas de una vía nueva. Debe señalarse al respecto que estos defectos se producen por falta de homogeneidad en la ejecución de la obra, imposible de evitar completamente al momento de su construcción. Las actividades contenidas dentro de los trabajos de rehabilitación pueden ser agrupadas de la siguiente manera: restablecer la capacidad estructural y la calidad de la superficie de rodadura, mejorar el sistema de drenaje. Consiste en la reparación selectiva y de refuerzo estructural, previa demolición parcial de la estructura existente. La rehabilitación procede cuando el camino se encuentra demasiado deteriorado como para poder resistir una mayor cantidad de tránsito en el futuro. Salomón (2003). Es una actividad de mantenimiento que se hace cuando hay niveles altos de rugosidad o de deformaciones superficiales. La rehabilitación tiene como propósito devolver a la estructura de pavimento las condiciones de soporte de carga con las que inicialmente se construyó, así como la calidad de la superficie de rodadura y su serviciabilidad en términos de seguridad y comodidad. Constituye una práctica correctiva y comprende las actividades de intervenciones profundas (Retiro y re conformación de las capas de la estructura de pavimento con idénticas características) o reciclado In Situ de la totalidad de la estructura de pavimento.

b) **Mantenimiento periódico:** Aunque este concepto puede inducir error, pues todas las actividades de conservación son periódicas, es decir que deben ser repetidas cada cierto tiempo, se ha optado por la utilización de este término, pues se diferencia del mantenimiento rutinario en que las actividades periódicas se realizan cada cierto número de años. Se aplica generalmente al tratamiento y renovación de la superficie de la vía. El tratamiento de superficie se orienta a restablecer algunas características de la superficie de rodadura, sin constituirse en un refuerzo estructural. Entre sus características está la de preservar en buena forma la textura de la superficie de rodadura, de manera que asegure la integridad estructural del camino por un tiempo más prolongado y evite su destrucción. En un camino en afirmado, se refiere a la reaplicación de la capa de grava, cuando ésta aún se encuentre en un estado regular de conservación, antes de llegar al mal estado. Las actividades contenidas dentro de los trabajos de mantenimiento periódico pueden ser agrupadas de la siguiente manera:

Restablecimiento de las características de la superficie de rodadura.

Reparación de obras de arte.

Reparación del sistema de drenaje.

Son actividades más especializadas que permiten recuperar las características originales de la vía, cuando estas han sido deterioradas en su superficie de rodadura, tendiente a aumentar en un período de tiempo adicional la vida útil de la estructura de pavimento, en términos de comodidad y seguridad. Puede constituir una práctica preventiva y/o correctiva. Se aplica generalmente al tratamiento y renovación de la superficie de la vía, se orienta a restablecer algunas características de la superficie de rodadura, sin constituirse en un refuerzo estructural. Entre sus características está la de preservar en buena forma la textura de la superficie de rodadura, de manera que asegure la integridad estructural del pavimento por un tiempo más prolongado y evite su destrucción.

- c) **Mantenimiento rutinario:** consiste en la reparación localizada de pequeños defectos en la superficie de rodadura, en la nivelación de la misma y de las bermas, en el mantenimiento regular de los sistemas de drenaje (zanjas, cunetas, alcantarillas, etc.), de los taludes laterales, de los bordes y otros elementos accesorios de las vías; en el control del polvo y de la vegetación, la limpieza de las zonas de descanso y de los dispositivos de señalización. Se aplica con regularidad una o más veces al año, dependiendo de las condiciones específicas de la vía.

Las diferentes intervenciones rutinarias pueden ser programables a lo largo del tiempo o dependerán de algún evento extraordinario para programar su ejecución. Es por ello, que Burneo (2013) plantean tres grupos de actividades: de recurrencia cíclica, eventuales y de emergencia, las cuáles se definen a continuación:

Actividades de recurrencia cíclica (ARC): son aquellas que se deben realizar a lo largo de todo el tramo y son previsibles para efectos de programación, como es el caso de roce de maleza, limpieza de alcantarillas, cunetas, señales, y la de guardavías, etc. También se consideran las actividades de pintado de elementos, las cuales tienen una menor recurrencia que las actividades de limpieza, pero su ejecución es programable a corto plazo.

Actividades eventuales (AE): la característica principal de estas actividades es que no son previsibles a corto plazo. Es decir, no pueden ser programadas a menos que el defecto aparezca y sea necesaria su intervención, como es el caso de la reposición de guardavías, de señales, tratamiento de fisuras, eliminación de obstáculos en el derecho de vía, entre otras. En los parámetros establecidos en los contratos por niveles de servicio se definen plazos máximos para la intervención de estos elementos, por cuanto la programación de estas actividades dependerá de estos plazos, el cual debería ser contabilizado una vez hallado el defecto.

Actividades de emergencia (AEM): son aquellas cuya atención tiene prioridad frente a cualquier otra actividad. Entre éstas tenemos derrumbes menores o mayores, deslizamientos, huaycos, accidentes de tránsito, emergencias viales, entre otras y dependerá si el evento está interrumpiendo

el tránsito o si está peligrando la seguridad del usuario para que tenga la característica de emergencia. La ejecución de estas actividades se debe programar lo antes posible y en la mayoría de casos se debe sacrificar la programación rutinaria.

Las intervenciones requeridas en las vías diagnosticadas están asociadas al estado de condición del pavimento, medido con el índice de condición de pavimento (PCI) o con el índice de rugosidad internacional (IRI).

Tabla 5

Estado vial según la rugosidad (IRI)

	Pavimentadas	No Pavimentadas
Estado	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < \text{IRI} < 2.8$	$\text{IRI} < 6$
Regular	$2.8 < \text{IRI} < 4.0$	$6 < \text{IRI} < 8$
Malo	$4.0 < \text{IRI} < 5.0$	$8 < \text{IRI} < 10$
Muy Malo	$5 > \text{IRI}$	$10 > \text{IRI}$

Fuente: Sotil (2014, p. 14).

Políticas de gestión vial para preservar los pavimentos urbanos

Concepto de gestión de pavimentos

Según Hudson (1987) la gestión de pavimentos es un proceso global, que incluye todas aquellas actividades involucradas en proporcionar caminos, entre las que se cuentan: adquisición de información inicial, planificación y programación de mantenimiento, rehabilitación y nueva construcción, diseño de detalles de proyectos individuales y de seguimiento periódico de pavimentos existentes. La gestión identifica las mejores estrategias priorizándolas para su implementación.

Haas (2015), señala que su objetivo básico, es usar información segura y consistente para desarrollar criterios de decisión, otorgar alternativas realistas y contribuir a la eficiencia en la toma de decisiones.

Estructura del Sistema de Gestión de Pavimentos según FHWA

Según la Federal Highway Administration – FHWA (2003), un sistema de gestión de pavimentos está formado por los siguientes componentes:

a) Inventario de la red

En éste se encuentran definidas características de la red de caminos y sus tramos componentes. Contiene información permanente de las rutas, como, por ejemplo: su clasificación, longitud, tipo de pavimento, ancho y número de carriles, características planimétricas, y altimétricas, tipo y espesor de capas del pavimento, características físicas de los materiales de las capas, tipo de drenaje, historial de construcción y mantenimiento, factores climáticos (temperatura, precipitaciones, etc.), y las características del tránsito (TPDA, ESAL, etc.).

b) Condición de los pavimentos

Define la calidad del pavimento con base en diversos indicadores, con el objetivo de conocer su situación real y evaluar así la condición o estado de éste. Los indicadores o parámetros básicos son los siguientes: deterioros superficiales en el pavimento que influyen sobre la circulación, calidad de la rodadura (rugosidad), capacidad estructural, textura superficial.

c) Estrategias de mantenimiento

Son los tipos de acciones de mantenimiento y rehabilitación que usa el organismo administrador de la red vial, de acuerdo al estado de los pavimentos. Estas acciones están definidas por la FHWA, y son las siguientes:

No acción: Se refiere a pavimentos en excelente estado, es decir, recientemente construidos.

Mantenimiento rutinario: Esta conserva el pavimento en buen estado general, se encarga de problemas localizados como sellado de grietas o bacheos; así como de operaciones de limpieza de drenajes, hombros (bermas) y taludes.

Mantenimiento periódico: Contrarresta el deterioro antes que sea significativo, mediante actividades como lechadas asfálticas y sellos superficiales (en pavimentos bituminosos), reparaciones de espesor parcial o total, restauración de transferencia de carga y cepillado (en pavimentos de concreto).

Rehabilitación: Se aplica cuando el pavimento alcanza una condición entre regular y mala, y comprende actividades de refuerzo.

Reconstrucción: Un reemplazo total o parcial del pavimento. Además, incluye otras mejoras como realineamiento, ensanchamiento, etc.

d) Necesidades de la red

Los factores que definen las necesidades de la red son: condición (serviciabilidad, capacidad estructural, índices de deterioro), tránsito, clasificación del camino, factores políticos, y seguridad. Su determinación implica analizar la condición del pavimento para determinar la acción que debe ejecutarse tomando como base el estudio de su condición.

En la siguiente tabla, se verá cómo Sotil (2014) adapta los tipos de mantenimiento según necesidad de la red.

Tabla 6

Tipos de mantenimiento en función del PCI

Índice de Estado Superficial del Pavimento - Categorías de Acción		
Rango de índice de estado	Categoría de acción	Descripción
100 a 85	Bueno	Pavimento en condición muy buena; no requiere acciones de mantenimiento correctivo inmediatas; ocasionalmente pueden requerir acciones de mantenimiento mínimo preventivo.
	Mantenimiento preventivo o mínimo	
85 a 70	Satisfactorio	Pavimento en condición buena, con fallas incipientes que requieren acciones de mantenimiento correctivas inmediatas y/o en el corto plazo.
	Mantenimiento correctivo menor	
70 a 55	Justo	Pavimento en condición dudosa o regular, con fallas evidentes que requieren acciones de mantenimiento correctivo frecuentes y probablemente una rehabilitación a mediano plazo: 1. Condición dudosa mantenimiento correctivo mayor 2. Sellado de superficie 3. Reencarpetado delgado.
	Mantenimiento correctivo mayor o intensivo	
40 a 25	Pobre	Pavimento en condición deficiente con fallas en proceso de generación, que requieren una rehabilitación en el corto plazo para evitar la generalización de daños irreversibles.
	Rehabilitación - refuerzo estructural	
< 25	Muy pobre, grave y fallado	Pavimento en condición muy deficiente, con fallas severas generalizadas que requieren una rehabilitación mayor, probablemente con alto porcentaje de reconstrucción, en el corto plazo.
	Rehabilitación - reconstrucción	

Fuente: Sotil (2014, p. 17).

e) Priorización de obras

Define los factores que determinan la secuencia que seguirá la realización de diferentes proyectos en un período determinado, es imprescindible cuando hay restricciones presupuestarias en un proceso de selección de proyectos. Los criterios de priorización pueden ser los siguientes: índices individuales de deterioro (grietas, baches, rugosidad), índice combinado de deterioro (función de varios índices), o por análisis de beneficio/costo o costo-efectividad.

f) Programación de trabajo

Una vez generado el listado de proyectos a ejecutar, debe definirse un programa de actividades que refleje los tratamientos que se aplicarán a los pavimentos y el tiempo en que éstos se ejecutarán.

g) Presupuesto

Define las necesidades anuales de financiamiento a lo largo del periodo de análisis. Al igual que en cualquier planificación de proyectos, es indispensable que sea elaborado considerando todas las variables que afectarán los costos de las obras de mantenimiento o construcción de los pavimentos.

h) Ejecución de obras y retroalimentación

Es la evaluación de los resultados obtenidos luego de una construcción o de la realización de los trabajos de mantenimiento y rehabilitación. Este proceso sirve para lograr un mejoramiento continuo en los programas de conservación, de manera que cada vez, se brinde caminos con mejores niveles de serviciabilidad a los usuarios, al mismo tiempo que se logra disminuir costos para el administrador vial.

Determinación de las políticas de gestión

La denominación de mantenimientos nos llevará a determinar políticas de gestión. La Norma Técnica para pavimentos urbanos nos dice en la Tabla 7 cuáles son la que considera.

Tabla 7

Actividades de mantenimiento y rehabilitación según N.T CE. 010

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN	
Mantenimiento rutinario	Mantenimiento recurrente
En toda vía indistintamente a sus características o volumen de tráfico.	Espaciados durante el año dependiendo del volumen de tráfico.
Mantenimiento periódico	Mantenimiento urgente
Realizados en el intervalo, normalmente, de 5 años.	Imprescindible para afrontar situaciones de emergencia y que solicitan acción inmediata.
Rehabilitación	
Refuerzo estructural del pavimento cuando ha cumplido su vida de servicio.	

Fuente: Adaptado del ítem 6.3 de la N.T CE. 010.

Estimación de Recursos

(Sotil, 2014) Cada gobierno municipal debe determinar los costos de reparación, mantenimiento y construcción, según los recursos locales, y por lo tanto es claro que las decisiones variarán por distrito y locación.

La

Figura 21 (PCI vs Tiempo con costos en \$/pie²) muestra un ejemplo de cómo podría realizarse esto, pero como se indicó anteriormente, esto tiene que realizarse de manera local.

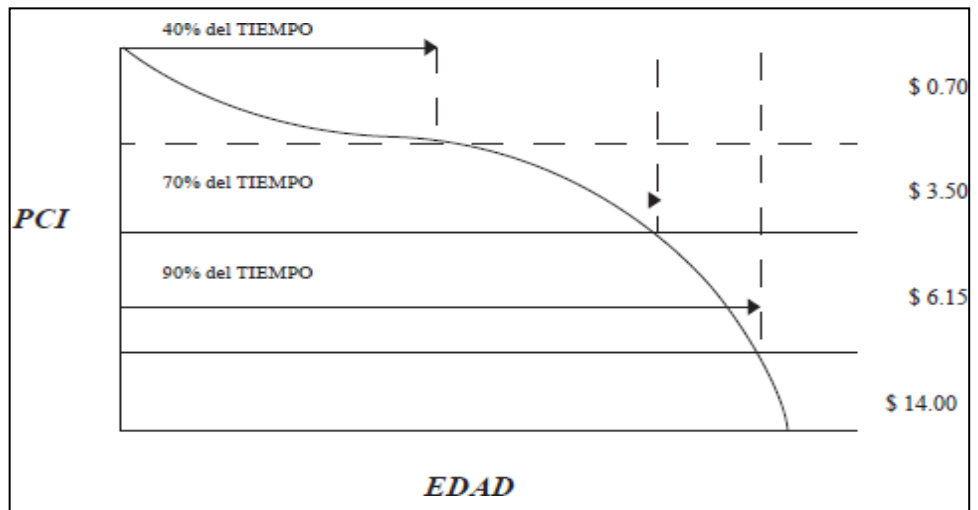


Figura 21. PCI vs. tiempo con costos en \$/pie.

Fuente: Sotil (2014).

Plan de intervención

La Planificación de una gestión vial involucra como una actividad importante el análisis y establecimiento de estrategias de financiamiento. Según lo mencionado por (Cooperación Andina de Fomento (CAF), 2010): Existen diferentes esquemas o fuentes de financiamiento para la gestión del mantenimiento, que en general pueden resumirse como provenientes de: recursos recurrentes, fondos de destinación específica y cargos a los usuarios.

2.2.3 Marco normativo

Conforme al Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), la gestión de conservación vial comprende la realización de un conjunto de actividades integradas tales como la definición de políticas (el qué hacer), la planificación (cómo hacer), la organización (entidad encargada), el financiamiento, la ejecución, el control y la operación, para lograr una conservación vial que asegure la economía, la fluidez, la seguridad y la comodidad de los usuarios viales. Un proceso de planificación y gestión de conservación vial requiere de las siguientes acciones:

Esclarecimiento de metas y objetivos.

Caracterización de las insuficiencias en la red vial.

Priorización y optimización de acciones.

Esclarecimiento de una estrategia.

Estudio y establecimiento de planes de financiamiento.

Planeación de acciones y manejo de recursos.

Ejecución, monitoreo y control.

Evaluación de resultados y retroalimentación

La Resolución Ministerial 144-2021-MTC/01 del año 2021 nos dice que:

El Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, aprobado con Decreto Supremo N° 034-2008-MTC y modificatorias, en su artículo 11

establece los lineamientos para el planeamiento de la gestión de la infraestructura vial en base a la realización y/o actualización de inventarios viales:

El artículo 11.1 nos dice que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) tiene entre sus funciones normar y llevar a cabo las políticas de promoción y desarrollo en materia de transportes y comunicaciones.

El artículo 11.2 expone que los planes de desarrollo a corto, mediano y largo plazo del sistema nacional de carreteras son efectuados por las autoridades competentes indicadas en el artículo 4 del reglamento, en la siguiente forma:

- El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, elabora el plan vial nacional que abarca el plan de la red vial nacional e incorpora los planes viales de la red vial departamental o regional y red vial vecinal o rural.
- Los gobiernos regionales elaboran los planes viales de la red vial departamental o regional en conformidad con el plan vial nacional.
- Los gobiernos locales provinciales elaboran los planes viales de la red vial vecinal o rurales en conformidad con el plan vial nacional.

El artículo 11.3 detalla que las autoridades competentes para efectos de la formulación de los planes indicados y en función a la priorización de inversiones, realizan y/o actualizan inventarios viales, siendo éstos: i) de carácter básico, cuyo objetivo es obtener o actualizar información relativa a la ubicación, longitud, características geométricas generales, tipo de superficie de rodadura, clasificación o jerarquización, estado situacional general. El inventario básico requiere de una etapa preliminar de búsqueda de información y generalmente tres etapas de desarrollo: La primera es el reconocimiento de la ruta, la segunda es la medición y georreferenciación de la vía y la tercera es el relevamiento de información de campo.; y ii) de carácter calificado, cuyo objetivo es obtener información actualizada y detallada de todos los elementos conformantes de la vía.

El artículo 11.4 asevera que le corresponde al MTC a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles dictar las normas para la elaboración de los inventarios viales indicados.

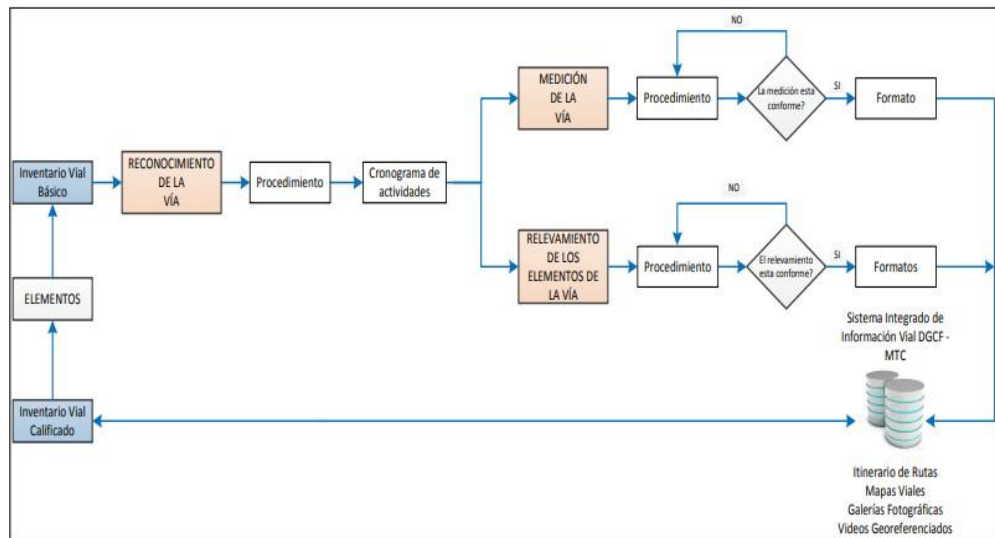


Figura 22. Flujograma de inventario vial básico por el MTC.
Fuente: MTC (2016, p. 50).

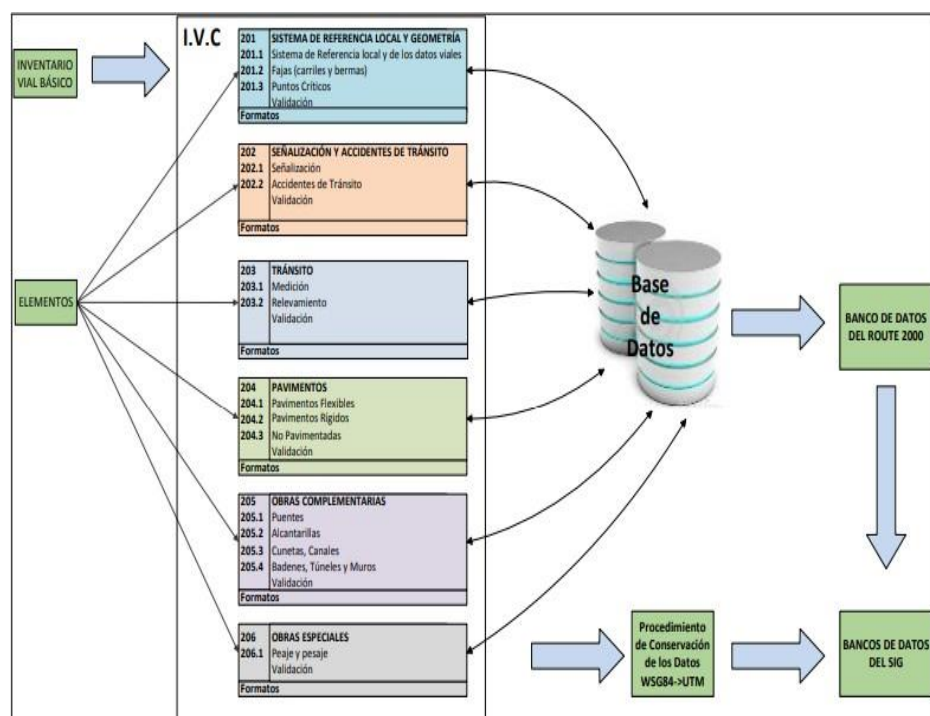


Figura 23. Esquema conceptual del inventario vial calificado por el MTC.
Fuente: MTC (2016, p. 120).

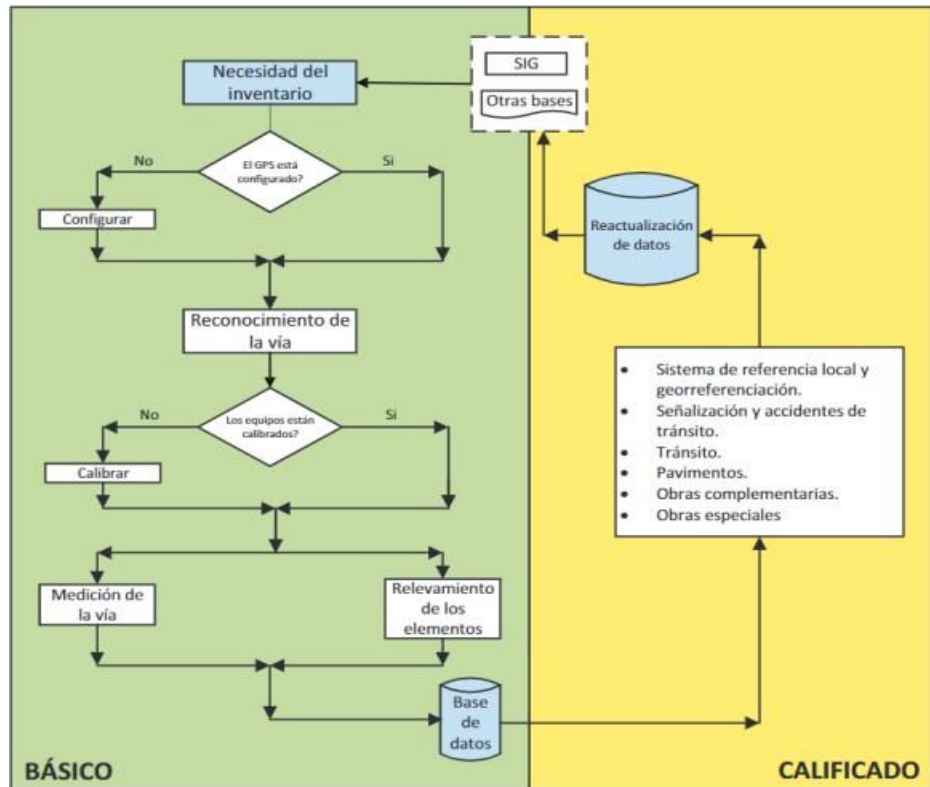


Figura 24. Diagrama de flujo explicativo de un inventario vial.

Fuente: MTC (2016, p. 38).

El Manual de inventarios viales del MTC (2016) nos habla de una manera extendida cómo proceder al desarrollo de los inventarios viales para vías pavimentadas y no pavimentadas, así como también para las obras que los complementar. Aunque este manual está enfocado en carreteras, se rescatará los principios básicos y servirá como parte de la propuesta de sistema de gestión para pavimentos urbanos.

Referente a daños en pavimentos flexibles, nos dice que estos daños se clasifican en estructurales y superficiales, los primeros relacionados con obras de rehabilitación de alto costo y los segundos con mantenimientos. En la Figura 25. se verán los criterios a utilizar para cada daño:

Clasificación de los daños	Código de daño	Daños	Gravedad
Daños estructurales	1	Piel de cocodrilo	1. Malla grande (> 0,5 m) sin material suelto 2. Malla mediana (entre 0,3 y 0,5 m) con material suelto o sin él 3. Malla pequeña (< 0,3 m) con material suelto o sin él
	2	Fisuras longitudinales	1. Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho < 1 mm) 2. Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm) 3. Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
	3	Deformación por deficiencia estructural	1. Profundidad sensible al usuario pero < 2 cm 2. Profundidad entre 2 cm y 4 cm 3. Profundidad ≥ 4 cm
	4	Ahuellamiento visco-elástico	1: Profundidad sensible al usuario pero < 1 cm 2: Profundidad > 1 cm
	5	Reparaciones o bacheo	1. Reparación o bacheo para daños superficiales 2. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado 3. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado
Daños superficiales	6	Desprendimiento	1. Puntual sin aparición de la base granular 2. Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular. 3. Continuo con aparición de la base granular
	7	Huecos	1. Diámetro < 0,2 m 2. Diámetro entre 0,2 y 0,5 m 3. Diámetro > 0,5 m
	8	Fisuras transversales	1. Finas (ancho < 1 mm) 2. Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm) 3. Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
	9	Exudación	1. Puntual 2. Continua 3. Continua con superficie viscosa
Daños en bermas	10	Daños	1. Daños puntuales 2. Daños en menos del 30 % de la longitud 3. Daños en más del 30 % de la longitud
	11	Desnivel	1. Desnivel significativo pero menor que 5 cm 2. Desnivel entre 5 y 10 cm 3. Desnivel ≥ 10 cm

Figura 25. Gravedad en daños de los pavimentos flexibles según MTC.
Fuente: MTC (2016, p. 167).



Figura 26. Daños en los pavimentos flexibles.

Fuente: MTC (2016, p. 168).

Referente a los daños en pavimentos rígidos, se muestra en la Figura 27 los daños y criterios clasificación según gravedad:

Código de daño	Daños	Gravedad
1	Desnivel entre losas	Sensible al usuario sin reducción de la velocidad Resulta en una reducción significativa de la velocidad Resulta en una reducción drástica de la velocidad
2	Fisuras longitudinales	Finas (ancho < 1 mm) Abiertas y/o ramificadas, sin pérdida de material (ancho > 1 mm) Abiertas y/o ramificadas, con pérdida de material (ancho > 1 mm)
3	Fisuras transversales	Finas (ancho < 1 mm) Abiertas y/o ramificadas, sin pérdida de material (ancho > 1 mm) Abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
4	Fisuras de esquina	Solamente una esquina quebrada Dos esquinas quebradas Más que dos esquinas quebradas
5	Fisuras oblicuas	Finas (ancho < 1 mm) Abiertas y/o ramificadas, sin pérdida de material (ancho > 1 mm) Abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
6	Reparaciones o bacheos	Puntuales (menos que el 10% de la superficie de las losas afectadas) Puntuales (entre el 10% y 30% de la superficie de las losas afectadas) Continuas (más que el 30% de la superficie de las losas afectadas)
7	Despostillamiento de juntas	Fracturamiento o desintegración de bordes en menos que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta. Fracturamiento o desintegración de bordes en más que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta Fracturamiento o desintegración hasta una distancia superior a 5 cm de la junta
8	Desprendimiento	Pérdida de material en menos que el 10% de la superficie de las losas afectadas Pérdida de material entre el 10 % y 30% de la superficie de las losas afectadas Pérdida de material en más que el 30% de la superficie de las losas afectadas
9	Huecos	Diámetro < 0.2 m Diámetro entre 0.2 y 0.5 m Diámetro > 0.5 m
10	Tratamiento superficial	Desprendimiento en menos que el 10% de la superficie de las losas afectadas Desprendimiento entre el 10% y 30% de la superficie de las losas afectadas Desprendimiento en más que el 30% de la superficie de las losas afectadas
11	Daños en bermas	Daños puntuales Daños en más del 30 % de la longitud Daños en más del 30 % de la longitud
12	Desnivel en bermas	Desnivel significativo pero menor que 5 cm Desnivel entre 5 y 10 cm Desnivel ≥ 10 cm

Figura 27. Gravedad en daños de los pavimentos rígidos según MTC.

Fuente: MTC (2016, p. 172).



Figura 28. Daños en pavimentos rígidos.

Fuente: MTC (2016, p. 173).

Adicionalmente, en ambos casos se utiliza la metodología de evaluación de pavimentos PCI para tipificar y cuantificar con mayor detalle los daños superficiales en la vía según lineamientos de la norma ASTM D-6433 actual. Según el Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción del MTC (2015) se deben seguir las siguientes especificaciones sobre la calidad de trabajo terminado, en valores de regularidad superficial (IRI):

Para pavimento de concreto asfáltico primero se deben realizar las mediciones en cada uno de los carriles del pavimento construido por tramos de 5 km, registrando mediciones cada 100 m. Además, en tramos que incluyan singularidades (intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, etc.), no habrá exigencia de cumplimiento de los valores de IRI, debido a que producirán alteraciones del perfil longitudinal no procedentes de deficiencias constructivas. Los requisitos de regularidad superficial en unidades de IRI característico (IRI_c) según el tipo de carretera, se muestran en la Figura siguiente. Si los resultados del IRI exceden los límites especificados, el tramo correspondiente será rechazado.

Tipo de carretera	IRI _{característico} inicial para pavimento nuevos (m/km)	IRI _{característico} inicial para pavimento reforzado (m/km)	IRI _{característico} durante periodo de servicio (m/km)	Observación
Autopistas: IMDA ¹ >6000, con 2 o + carriles	2.00	2.50	3.50	Para una confiabilidad de 98%
Carreteras Multicarril: 4000<IMDA<6000, con 2 o + carriles	2.00	2.50	3.50	Para una confiabilidad de 95%
Carretera de primera clase: 2000<IMDA<4001, para 2 carriles	2.50	3.00	4.00	Para una confiabilidad de 95%
Carretera de segunda clase: 400<IMDA<2001, para 2 carriles	2.50	3.00	4.00	Para una confiabilidad de 90%
Carreteras de tercera clase: 200<IMDA<401, para 2 carriles	3.00	3.50	4.50	Para una confiabilidad de 90%
Carreteras de bajo volumen de tránsito: IMDA<201	3.00	3.50	4.50	Para una confiabilidad de 85%

Figura 29. Valores de rugosidad admisible en m/km según tipo de carretera.

Fuente: Moyano (2020, p.19).

Para pavimento de concreto hidráulico, la rugosidad superficial medida en unidades IRI no podrá ser mayor de 3,0 m/km. La medición de la rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada deberá efectuarse en toda su longitud y debe involucrar ambas huellas por tramos preestablecidos o aprobados por el supervisor, registrando mediciones en secciones a 100 m.

$$\text{Ecuación 2: } IRI_{\text{característico}} = IRI_{\text{prom}} + T\sigma \quad (2)$$

Donde:

T = parámetro estadístico que representa el grado de confiabilidad

σ = variabilidad de datos

El Plan de implementación del sistema de gestión de activos de la red vial nacional del MTC (2021) nos dice:

La infraestructura vial no es sólo un importante motor de desarrollo, sino, además, uno de los activos más valiosos del sector público. Lo cual para cierre de brechas se debe generar prácticas modernas de gestión de activos que considere el ciclo de vida total de la infraestructura, a fin de lograr optimizar la

conservación y las inversiones viales y alinearlas con los objetivos de desarrollo sostenible, siendo como uno de sus objetivos específicos la industria, innovación e infraestructura de calidad.

La causa de una gestión débil genera costos elevado de reconstrucción, incremento en los costos de operación de vehículos y de siniestros viales, con el aumento en el número de heridos y en la pérdida de vidas, lo cual podrían mejorarse y adaptarse al contexto que se presente durante su implementación de un sistema para la gestión vial.

Entre los objetivos propuestos por el MTC para lograr un modelo de gestión de activos viales en el Perú, tenemos:

1. La elaboración del modelo de gestión de activos viales para su contribución con la gestión del sistema nacional de carreteras al año 2022.
2. La mejora de la gestión tecnológica de los inventarios al año 2023.
3. Generación de información para la conservación de la RVN no concesionada 10,000 km al año 2025.
4. Llevar a cabo la capacitación en gestión de activos viales a 23 profesionales.

El plan se ha desarrollado en base a los documentos técnicos normativos del MTC, a la definición vertida en los ISO 55000, 55001 y las experiencias internacionales de países como EE.UU., España, Argentina, Chile, Colombia, en el caso peruano a la experiencia de PVN del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, precisando que no existe una fórmula para una gestión de activos, sino que ésta se va a desarrollar e implementar de acuerdo las necesidades de cada país.

La dirección de gestión vial de PVN, tiene planificado desarrollar un sistema de gestión de activos, el desarrollo y la implementación del presente plan permite migrar una gestión de intervenciones individuales que se viene desarrollando en la actualidad, hacia una gestión estratégica, basado en el desempeño con enfoque del usuario, mejorando así los niveles de servicio y seguridad vial. Se ve reflejado en la Figura 30.

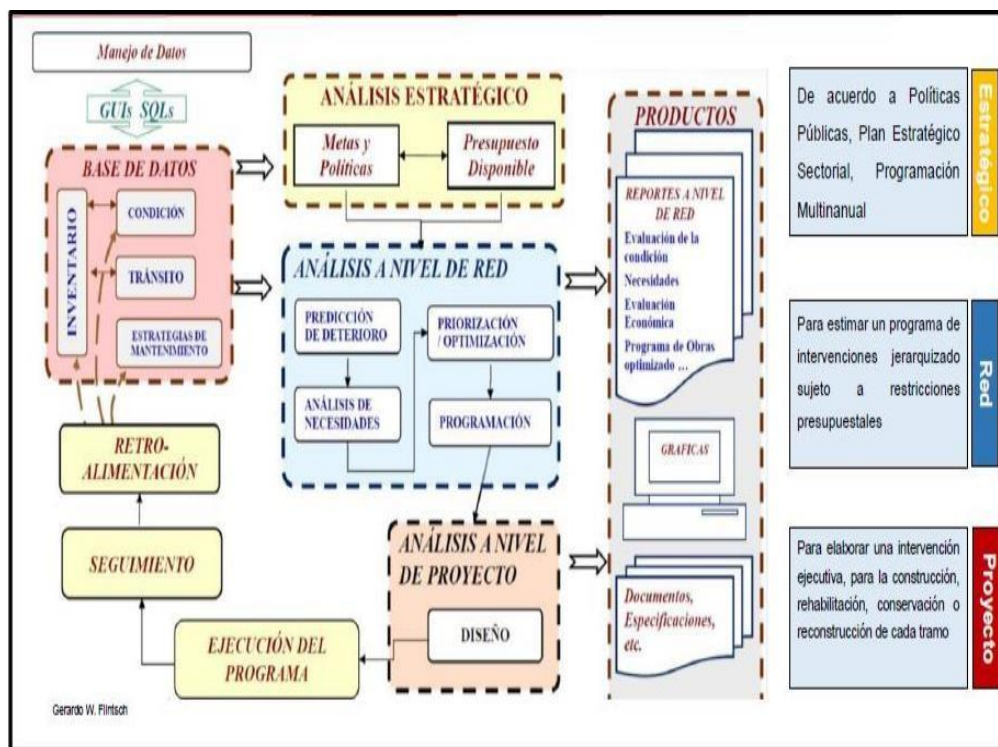


Figura 30. Esquema del estado de gestión de activo viales.

Fuente: MTC (2021, p.12).

Mientras se desarrolla la implementación de gestión de activos viales en el país, a la par se ejecutan las siguientes actividades:

Primero se realiza un análisis normativo a cargo de consultorías, siendo de estudio los documentos normativos, para mejorar y actualizar el sistema de gestión de carreteras y manual de inventarios viales, actualizar el sistema y modelo del sistema de gestión de infraestructura vial, proponer la arquitectura y sistematización para a gestión de activos viales y una propuesta de normativa de participación del personal de la dirección de políticas y normas en transporte vial. Apoyándose en los datos de PVN, se formula el plan, en este incluyendo: recolección de datos (metodología a definir), parámetros de conservación (definir), umbrales de actuación (definición), seguimiento de la calidad de las intervenciones proyectadas, post análisis se forma un equipo de trabajo para la revisión final (diferentes unidades responsables de la gestión de la infraestructura vial, como también profesionales de la dirección de políticas y normas en transporte vial).

En lo referente a implementación de herramienta analítica, es fundamental identificar y evaluar el alcance del software y considerar casos de éxito en el desarrollo e implementación de este tipo de herramientas en Perú y otros países con carreteras con pavimentos de características similares, uno de ellos puede ser el software podría ser el HDM-4, pero tiene que cumplir con los siguientes requerimientos de predicción de modelos de deterioro del pavimento y programación de actividades de conservación, así como evaluaciones económicas, de ahí derivar estrategias y optimización de inversión en las carreteras no concesionadas. Se precisa que el objetivo principal del SGA es diseñar políticas de mantenimiento a largo plazo, seleccionar de manera racional los tramos que requieran intervenciones de mantenimiento o conservación, definir los presupuestos mínimos, y optimizar el uso de los recursos disponibles. Se lleva a cabo por fases:

Tabla 8

Fases del desarrollo de la herramienta del SGAV

Recolección de información	Análisis y diseño	Desarrollo	Capacitación y desarrollo del SGAV
Identificación de la normativa en experiencia internacional para el desarrollo de la herramienta.	Definir la estructura de la herramienta del SGAV, incluyendo el diseño de cada módulo a implementar, validación del uso del software HDM4 como herramienta analítica.	Prueba piloto con datos de Provias Nacional para el desarrollar la herramienta del SGA, adaptada a las necesidades peruanas.	Actividades sobre la utilización de la herramienta, elaboración y presentación de la documentación técnica.

Fuente: Adaptado del MTC (2021).

El Inventario de la Red Vial Nacional (RVN) no concesionada es trabajado en paralelo a la consultoría del SGAV lo cual ayuda para la toma de decisiones de gestión y asignación presupuestal con un enfoque multianual estratégico, clasificándose de la siguiente manera:

Referencia local y georreferencia (conformado por ruta, ubicación, longitud, tipo de superficie de rodadura, puntos de referencia, coordenadas de trayectoria, datos de altimetría, jurisdicción departamental, entidades responsables, reclasificaciones temporales, características geométricas, dimensiones de calzada, entre otros).

- Señalización y accidentes (dichos datos de dispositivos de control de tránsito, elementos de seguridad vial, información de derecho de vía, registro de siniestros viales, entre otros).
- Tráfico (constituido por datos de: volumen vehicular diario (IMD), carga de vehículos pesados, encuestas origen/destino, velocidades de circulación, tasas de crecimiento anual, entre otros).
- Pavimentos (puntos críticos, daños en pavimentos flexibles, daños en pavimentos rígidos, daños en pavimentos básicos, daños en carreteras no pavimentadas, estructura de pavimento, deflexiones, índice de rugosidad internacional, textura, ahuellamiento, entre otros).
- Obras complementarias (registro de ubicación, características y estado de las obras de arte y drenaje existentes como también puentes y túneles).
- Obras especiales (integrado por los datos de pesaje y peaje).

El estado situacional a octubre 2020 como fecha corte del plan, de un total ya inventariado de 20,393.274 km., lo cual 446.186 km. se encuentran con intervenciones de inversión (mejoramiento y rehabilitación) por contratos de conservación por niveles de servicio, una vez culminen tendrá un inventariado actualizado. Se muestra la distribución según material:

- Carpeta asfáltica (8, 583.92 km.)
- Solución básica (7, 022.321 km.)
- Afirmado / no pavimentado (4, 831. 991 km.)

No se cuenta con inventario vial calificado vigente o proyectado a ser realizado hasta diciembre del año 2022 como fecha inicial, por ello se tiene el siguiente plan:

Tabla 9

Información de inventario vial calificado en la RVN no concesionada

Levantamientos de inventarios	km	Influencia en porcentaje
Inventario procedente de contratos de conservación por niveles de servicio (2020-2022)	11,024.192	54%
No tiene previsto inventario	8,922.896	46%

Fuente: Adaptado del MTC (2021).

Los criterios empíricos que han sido utilizados para realizar el inventario vial calificado:

- La longitud máxima para inventariar por cada ítem no debe superar los 2000 Km.
- La cercanía entre los corredores viales es de acuerdo a los mapas GIS elaborados.
- Prioridad al 2021, la elaboración de inventarios de los corredores con data más antigua, para no ocasionar muchos desfases.

Las inspecciones de los inventarios lo realizan profesionales del área, con ensayos como perfilómetro laser y rugosidad para la medición del IRI, el deflectómetro de impacto (FWD) y deflectómetro de impacto ligero (LWD) para la medición de la deflectometría, y a la fecha de publicación, hubo una propuesta de la compra de un equipo multifuncional (MFV) con el fin de evaluar los daños del pavimento.

La actualización anual de inventario y auscultación de pavimentos con las consultorías es vital, por lo cual desde el año 2023, luego de haber culminado con el inventario del total de la red vial como línea base, se debe actualizar cada 3 años el 100% la red vial, considerando que no todos los parámetros se

deben evaluar de forma anual, sino de acuerdo al análisis realizado en base a los datos que se han obtenido en los diversos años.

El monitoreo del Tráfico de la RVN va a implicar el seguimiento en tiempo real de las condiciones de tránsito y eventos externos que puedan tener impacto en la utilización de la carretera, tales como condiciones climáticas adversas, incidentes de tránsito y otros eventos, el objetivo es dotar de información cuantitativa y cualitativa a los operadores y controladores, para que en gabinete o central de monitoreo obtenga parámetro de flota vehicular, modelamientos de tráfico de la RVN, estimación de tráfico, evolución del tráfico, datos mensuales de tráfico, evolución de velocidades, datos mensuales de velocidades, evolución de accidentes en la RVN (víctimas en la RVN), tramos de concentración de accidentes (TCA) en la RVN, seguimiento de emergencias viales, seguimiento a la operación de peajes.

Las actividades necesarias para implementar el sistema de monitoreo y modelamiento de tráfico también dotan de información a las áreas responsables de la operación del SGAV y del HDM4, donde la recolección de datos de tráfico, la sistematización, y los análisis se irán implementando de manera progresiva hasta que en el 2025.

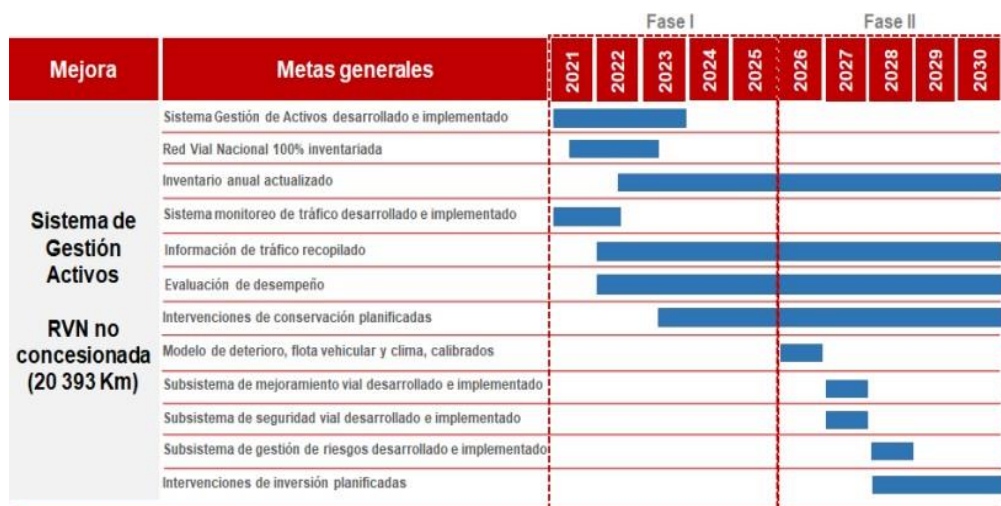


Figura 31. Metas de implementación del SGA en la RVN no concesionada. Fuente: MTC (2021, p. 41).



Figura 32. Metas de implementación del SGA de la RVN concesionada.
Fuente: MTC (2021, p. 45).

Las variables para el HDM-4 y modelamiento del tráfico en la RVN no concesionada son: índice medio diario anual (IMDA), flujo de todos los ejes de los vehículos, los ejes equivalentes, promedio anual de velocidades del tráfico, promedio de velocidades de los vehículos pesados y encuestas origen – destino. La definición de criterios para la ubicación e instalación de pórticos y estudios de tráfico pórticos para la recolección de datos de tráfico son priorizados y serán cubiertos con consultorías anuales.

Ítem	Actividades para el monitoreo de tráfico	Metas y Etapas de Intervención
01	Consultoría para el análisis, diseño y propuesta de implementación del Sistema de Monitoreo y modelamiento de Tráfico (SMT) de la RVN.	Presentación del producto de la consultoría concluida el segundo semestre del 2021.
02	Equipamiento, actualización y transmisión de datos de tráfico de Peajes a PVN incluyendo la instalación de sensores (data para conteo de tráfico en ambos sentidos, e interconexión)	Transmisión de data y adición de fuentes de información de los 23 peajes al Centro de Monitoreo de PVN, en segundo semestre del 2021.
03	Implementación de cabecera en Provias Nacional (MTC) para la llegada de conexión de comunicación a través de fibra óptica de forma directa desde las 17 estaciones de Peajes no concesionados.	Contar con un mayor ancho de banda de comunicación de datos para la mejora de la gestión, en el segundo semestre del 2021
04	Instalación de postes o pórticos, e implementación de sistema de registro de tráfico y velocidades (30 pórticos)	Instalación de 30 pórticos con sus respectivos sistemas informáticos para la recolección de datos de tráfico, Etapa I (15 pórticos primer semestre del 2022) y Etapa II (15 pórticos en segundo semestre del 2022), pórticos instalados y operando.
05	Consultoría para la implementación de software de modelamiento de tráfico e implementación del Módulo de Tráfico en el Centro de Monitoreo	Inicio de actividad en segundo semestre del 2021 y cierre en primer semestre del 2022).
06	Estudios de tráfico (conteo de tráfico, pesaje, OD, velocidad) por etapas (I, II, III).	Los estudios de Origen Destino se desarrollarán por etapas, Etapa I en el 2023, la Etapa II en el 2024 y la Etapa III en el 2025.
07	Servicio de mantenimiento y gestión del software para el Monitoreo del Tráfico.	Se realizará a partir de su implementación desde el segundo semestre del 2022 anualmente.

Figura 33. Actividades para el monitoreo de tráfico de la RVN.
Fuente: MTC (2021, p.20).

La evaluación del desempeño para la gestión de activos viales y la programación multianual de intervenciones de conservación de la RVN no concesionada está basada en la medición del estado actual y futuro, por lo cual se plantea hacer una evaluación a un periodo equivalente de 1 año de manera general y equivalente a 3 años de manera exhaustiva, con la finalidad de ir ajustando y optimizando las intervenciones de conservación que sean necesarias para mitigar el ritmo del deterioro y lograr una mayor eficiencia en el desempeño, considerando indicadores de estado, medio ambiente, costo-eficiencia, entre otros.

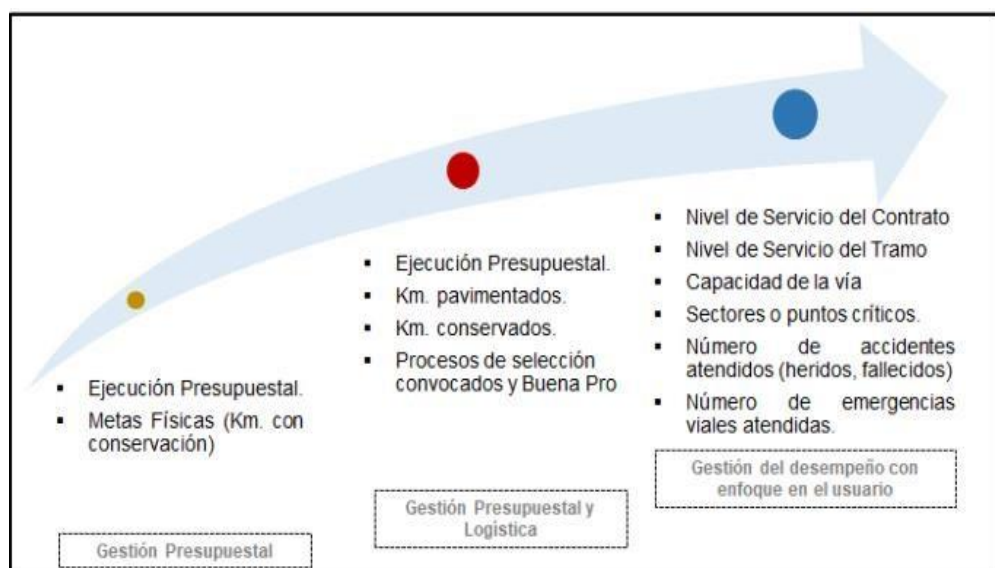


Figura 34. Evolución de indicadores de la gestión de conservación.
Fuente: MTC (2021, p.21).

En el seguimiento y evaluación, considerado en la primera fase de 5 años de implantación se efectúan los reajustes y balances necesarios, se hace un seguimiento constante tanto físico como financiero donde se evalúa las metas conseguidas con una periodicidad anual.

Se tiene en cuenta los puntos que aporten a la investigación en respecto a RVN concesionada, esta requiere de información estructurada y estandarizada de sus activos a fin de que estos puedan ser gestionados de forma eficiente y efectiva, considerar los planes y políticas con una estructura de los contratos de las Asociaciones Públicas y Privadas (APP) y leyes aplicables.

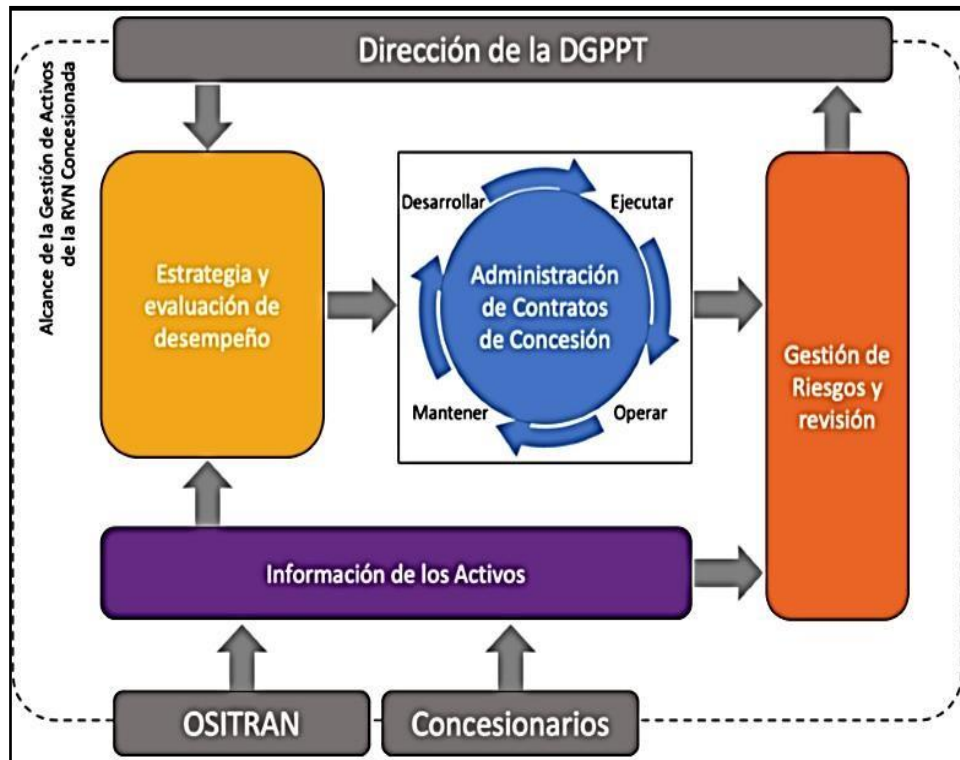


Figura 35. Sistema de gestión de activos para la red vial nacional concesionada. Fuente: MTC (2021, p. 22).

Los contratos de APP viales tienen plazo de vigencia entre 15 a 25 años, las actividades de mantenimiento y operación han sido transferidas al concesionario, en algunos contratos de APP, las tareas de mantenimiento periódico pueden acarrear mayores gastos para el concedente. Por ello, la evaluación de desempeño para esta categoría de información se realiza a través de un seguimiento sistematizado de las actividades de conservación rutinaria, con lo cual se puede prever razonablemente las futuras intervenciones y costos en las labores de mantenimiento periódico. En la Fase II, hay proyecciones con sustento no solo financiero, sino también técnico como el HDM4.

El objetivo en los primeros cinco años del SGA en la Dirección General de Programas y Proyectos de Transportes (DGPPT) es la información estandarizada y estructurada de los contratos de APP viales, estandarizar los procesos de flujo de información proveniente de OSITRAN, procesos de análisis de datos para diagnóstico y toma de decisiones.

2.3 Definición de términos básicos

Sistema de gestión de infraestructura vial: Es un conjunto coordinado de actividades vinculado a la planificación, diseño, construcción, mantenimiento, evaluación e investigación de los activos viales que tiene como propósito utilizar la información y criterios de decisión dentro de una estructura organizada para producir una gestión de ingeniería social y privadamente rentable (De Solminihac et al., 2018).

Gestión de conservación vial: Comprende la realización de un conjunto de actividades integradas tales como la definición de políticas, la planificación, la organización, el financiamiento, la ejecución, el control y la operación, para lograr una conservación vial que asegure la economía, la fluidez, la seguridad y la comodidad de los usuarios viales (MTC, 2018).

Inventario vial: El agrupado de documentos oficiales de información técnica compilados y sistematizados de los datos obtenidos en las mediciones de campo en los cuales se identifican y registran las características y estado de las vías que forman el Sistema Nacional de Carreteras. Su fin es contar con información técnica oficial, que permita la planificación de la infraestructura vial y la priorización de inversiones, realizan y actualizan los inventarios viales, siendo estos de carácter básico y calificado (MTC, 2016).

Programa de conservación vial: Documento elaborado en la etapa pre operativa por el contratista – conservador, que contiene las actividades que realizará el contratista durante la ejecución del servicio, asimismo incluye el plan de conservación vial, el plan de manejo socio ambiental, el inventario vial de la situación inicial y el plan de calidad (MTC, 2018).

Modelo de gestión de conservación vial integral: Comprende un conjunto de actividades integradas, donde se realice labores de mantenimiento rutinario y periódico en conjunto, para lograr una conservación vial que asegure la economía, la fluidez, la seguridad y la comodidad de los usuarios viales (Juárez, 2017).

Pavimentos: Conjunto de elementos que proporcionan estabilidad estructural y funcional a una superficie de rodadura en conformidad con el diseño geométrico, la categoría de la vía y los requerimientos de los medios de transporte; consta de una capa de rodadura y dos capas inferiores llamadas base y subbase que en conjunto soportan las cargas debido al tráfico en relación también con el efecto del clima (De

Solminihac et al., 2018).

Condición de la estructura del pavimento: Es la determinación de la condición actual en la que se encuentra una vía, ya sea a nivel funcional o estructural, en conjunto con el nivel de tráfico que está expuesto (Juárez, 2017).

Niveles de intervención de la vía: Son los distintos tipos de servicios o actividades que se ha realizado en una vía existente, con la finalidad de recuperar sus condiciones iniciales (MTC, 2018).

Mantenimiento preventivo: Consiste en la reparación localizada de pequeños defectos en la superficie de rodadura, limpieza de drenaje, ornato, zonas de descanso y dispositivos de señalización.

Mantenimiento correctivo: Tratamiento y renovación de la superficie de la vía, se orienta a restablecer algunas características de la superficie de rodadura.

Rehabilitación: Consiste en la reparación selectiva y de refuerzo, previa demolición parcial de la estructura existente. Procede cuando el camino se encuentra en un estado de avanzado deterioro como para poder resistir una mayor cantidad de tránsito en el futuro.

Reconstrucción: Reestablecer las capacidades funcionales y estructurales de la vía devolviendo las condiciones de soporte de carga con las que inicialmente se construyó. Esta procede cuando la vía ya llegó a un estado colapsable.

Costos de mantenimiento vial: Son aquellos costos que se generan por las actividades tanto rutinarias como periódicas, para mantener la vía en óptimas condiciones (Baltodano, 2017).

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis principal

Con la determinación de los sistemas de gestión vial se propone la implementación de un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

3.1.2 Hipótesis secundarias

- a) Con la exploración de los sistemas de gestión vial se induce a proponer un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.
- b) Al comparar los sistemas de gestión vial se induce a proponer un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.
- c) La propuesta de implementación de un sistema de gestión vial preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

3.2 Variables

Variable independiente

Sistema de gestión vial

Variable dependiente

Preservación de pavimentos urbanos

3.2.1 Definición conceptual de las variables

Sistema de gestión vial

Un sistema de gestión vial enfocado a la gestión de pavimentos, como uno de los puntos más importantes dentro de la gestión vial, trata del conjunto de operaciones que tienen por objetivo preservar por un cierto periodo de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones de tráfico, clima y extorno de la zona de una determinada vía, considerando los costos, externalidades e intangibles. (De Solminihac et al., 2018, pp. 32,38). Un sistema de gestión vial, enfocado a la gestión de pavimentos urbanos, está constituido por tres componentes: agencia vial, sistema de soporte para la toma de decisiones y sistema de información, donde estos componentes interactúan entre sí e influyen sobre el otro (De Solminihac et al., 2018, p.508)

Preservación de pavimentos urbanos

Los pavimentos tienen por propósito servir al tránsito en forma segura, confortable y eficiente. Por tal motivo es importante para su preservación realizar labores de conservación, mantenimiento y rehabilitación adecuadas y oportunas sobre ellos para prolongar el servicio del tránsito y así conseguir un programa de mantenimiento económicamente óptimo. (De Solminihac et al., 2018, p. 33 y 34). Los estándares para cada caso serán base, óptimo y subóptimo y dependiendo de las decisiones tomadas por la agencia vial se decidirá las acciones a aplicarse. (De Solminihac et al., 2018, p. 528)

El sistema de gestión de pavimentos urbanos introduce estándares de conservación, mantenimiento y rehabilitación para pavimentos de asfalto y hormigón. En la jerarquía de conservación, están los referentes a tratamientos que no mejoran la capacidad estructural del pavimento, en la jerarquía mantenimiento, los tratamientos que mejoran la estructura del pavimento y en la jerarquía rehabilitación cuando el pavimento ya han cumplido su vida de servicio. (De Solminihac et al., 2018, p. 527)

3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla 10

Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
V.I. Sistemas de gestión vial	Un sistema de gestión vial enfocado a la gestión de pavimentos, como uno de los puntos más importantes dentro de la gestión de cualquier vía, nos habla del conjunto de operaciones que tienen por objetivo preservar por un cierto periodo de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones de tráfico, clima y extorno de la zona en que se ubica una determinada vía, considerando los costos, externalidades e intangibles (De Solminihac et al., 2018, pp. 32,38)	Un sistema de gestión vial, enfocado a la gestión de pavimentos urbanos, está constituido por tres componentes: la agencia vial, un sistema de soporte para la toma de decisiones y un sistema de información, donde estos componentes interactúan entre sí, influyen sobre el otro y en conjunto se comportan como una unidad. (De Solminihac et al., 2018, p.508)	Sistemas de gestión vial	Inventario
				Herramientas
V.D. Preservación de pavimentos urbanos	Los pavimentos tienen por propósito servir al tránsito en forma segura, confortable y eficiente. Por tal motivo es importante para su preservación realizar labores de conservación, mantenimiento y rehabilitación adecuadas y oportunas sobre ellos para prolongar el servicio del tránsito y así conseguir un programa de mantenimiento económicamente óptimo. (De Solminihac et al., 2018, p. 33 y 34) Los estándares para cada caso serán base, óptimo y subóptimo y dependiendo de las decisiones tomadas por la agencia vial se decidirá las acciones a aplicarse. (De Solminihac et al., 2018, p. 528)	El sistema de gestión de pavimentos urbanos introduce estándares de conservación, mantenimiento y rehabilitación para pavimentos de asfalto y hormigón. La jerarquía planteada por nosotros se basa en estado de condición según PCI, esta puede ser Satisfactoria (PCI=85-100) donde a lo más se necesita un mantenimiento preventivo, Óptima a preservar (PCI=55-85) que viene a ser nuestro umbral para preservar con mantenimientos correctivos y pobre (0-55) que el pavimento está llegando o llegó al final de su vida útil y necesita rehabilitación o reconstrucción.	Satisfactorio	Programas
				Estrategias o políticas de gestión
				No hacer nada
				Mantenimiento preventivo
			Óptimo a preservar	Mantenimiento correctivo menor
				Mantenimiento correctivo mayor
				Rehabilitación Reconstrucción
			Pobre	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel

En este capítulo se presentó la metodología que permitió desarrollar el trabajo de grado. La investigación es de tipo descriptivo, pues el objetivo de estudio fue describir, comparar y analizar investigaciones anteriores, el cómo se comportan los diferentes sistemas de gestión de pavimentos urbanos alrededor del mundo, especialmente de América Latina a fin de recopilar información de los resultados obtenidos de su gestión. De esa manera se definieron y midieron las variables en estudio, donde se conoció el grado de asociación entre variables y así permitió determinar las características más importantes de los sistemas de gestión de pavimentos urbanos para preservar los pavimentos rígidos y flexible. Se caracterizó en un tramo estudiado del distrito de La Molina.

La investigación fue de nivel descriptivo-correlacional pues para llegar a los indicadores, se tuvieron que describir las dimensiones y usar como base de medida criterios establecidos en normativas. Con ello se estandarizó un criterio propio para los pavimentos de la vía estudiada. Con dicho juicio se buscó ver la incidencia de la forma en que se ejecutan los sistemas llegando a estudiar el efecto que produce la aplicación del sistema de gestión de pavimentos urbanos para preservar los pavimentos rígidos y flexibles.

4.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental, prospectivo y transversal. No experimental porque se registró la información del estado de preservación de los pavimentos rígidos y flexibles de manera exploratoria y no se manipularon las variables; prospectivo porque los datos fueron tomados de otras fuentes para mostrar un efecto en el presente buscando la causa en el pasado; transversal, porque únicamente se realizará una medición o levantamiento de información.

4.3 Población y muestra

Población: Los pavimentos urbanos que se encuentran regulados por los gobiernos locales de Lima Metropolitana y sus municipalidades.

Muestra: No paramétrica, optamos por el sistema de gestión vial enfocado al

pavimento del distrito de La Molina, Lima, Perú. Los puntos considerados para escoger dicha muestra fue que es un distrito pequeño, con vías ordenadas en una zona urbana accesible para los investigadores.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

En la presente investigación se usaron técnicas de recopilación de datos basados en tesis, papers y estudios anteriores de los últimos años hasta el 2022, libros teóricos, manuales y normas vigentes.

Con la información recolectada de los sistemas de gestión vial de otros países, se procedió a la comparación y posteriormente, el análisis de los datos obtenidos, los resultados se tradujeron en cuadros y gráficos, todo esto enfocado a la preservación vial aplicable para una red vial de la zona urbana de Lima Metropolitana, resumiendo en formatos modelos, para una fácil aplicación de recolección de datos, evaluación técnico - económica de la vía y sistema de gestión a ser propuesto con políticas de gestión estándar.

Se analizó los beneficios de aplicación del sistema propuesto concluyendo con el análisis, y propuesta de sistema de gestión de vial para preservar pavimentos urbanos, que puede ser aplicado en vías con características similares, contribuyendo a realizar acciones para incrementar la vida útil de la vía en beneficio de los usuarios de la vía y económicamente a los ministerios y entidades encargadas de la gestión de pavimentos de la jurisdicción respectiva, para ello se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Los elementos de la vía fueron analizados y procesados de acuerdo a normas y manuales vigentes en el Perú según PCI, la determinación de cómo tomar el inventario, usar las herramientas, realizar un programa y determinar políticas de gestión, fueron propuestas basadas según políticas internacionales.

4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Los países a los que se les estudió su sistema de gestión vial y su condición

actual en función de la preservación de sus pavimentos urbanos están ampliamente estudiados y la información plasmada en libros y fuentes oficiales.

Los elementos de la vía fueron tomados de fuentes autorizadas y públicas en sus últimas actualizaciones y realizados según lineamientos normativos al igual que analizados y procesados de acuerdo a normas y manuales vigentes en el Perú.

4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos

El procedimiento para la recolección de datos fue la búsqueda bibliográfica, revisión y análisis, estudio de los diferentes sistemas de gestión vial que se vienen aplicando a nivel internacional y nacional, finalmente la aplicación de normativas vigentes para preservar los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana. Cada sistema de gestión estudiado, se realizó de forma minuciosa ahondando en el cómo funciona, cuáles son los pasos que sigue, el porqué de sus políticas de gestión, cómo a avanzado a través del tiempo y más.

4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

En lo respectivo al procesamiento y análisis de la información, para nuestra variable sistema de gestión vial enfocado a pavimentos urbanos se vio el cómo, porqué y que implicancia ha tenido en el país estudiado la forma de gestión aplicada y para la variable preservación de pavimentos urbanos, según las similitudes a las vías de Lima Metropolitana, se llevó a propuesta criterios utilizados en sistemas de gestiones internacionales, esta propuesta es un ejemplo aplicativo, el cual podrá ser replicado y comparado en costos, tiempos de ejecución y preservación de vías a nivel Lima Metropolitana u otras vías del Perú con características similares. Cabe resaltar que como restricciones se tuvieron que, para prescribir los mantenimientos, estos no se vieron afectados por las variabilidades más bien que las condiciones a largo plazo que se dieron en el contexto de la planificación se mantendrán constantes y vigentes.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Exploración de los sistemas de gestión de infraestructura vial

Los puntos a tomar en cuenta de los diferentes sistemas de gestión serán: inventario, inspección, criterios para la inspección con sus normativas y escalas de medición respectivas, herramientas del sistema de gestión, criterios de priorización de vías, estimación de recursos, medición del comportamiento y monitoreo.

5.1.1 Sistema de gestión de infraestructura vial actual en el Perú

Para un mejor análisis la clasificación funcional de la red vial urbana de la ciudad de Lima, es necesario conocer que esta se encuentra compuesta de: vías expresas, vías arteriales, vías colectoras, vías locales, ciclovías y vías peatonales.

Las vías expresas: Son vías que se caracterizan por el alto flujo vehicular que integra centros poblados importantes en la ciudad, está destinado para soportar una carga vehicular amplia, es una vía de preferencia de paso y se integra a las vías nacionales y regionales.

Las vías arteriales: Son vías que conectan a dos centros poblados o áreas principales de generación y atracción de viajes, además que posee un flujo vehicular aceptable.

Las vías colectoras: Su función es trasladar el volumen vehicular de las vías arteriales hacia las vías colectoras y estas a las vías locales, el tránsito vehicular es moderado y poseen intersecciones semaforizadas en los cruces de las vías arteriales.

Las vías locales: Constituidas por vías locales preferenciales, que conectan a los predios y que se conectan con las colectoras, con 1 o 2 carriles de tránsito y en algunos casos vías en un solo sentido; dada la poca oferta vehicular en transporte público, existen algunas vías locales que cumplen como vías colectoras.

El documento pautas para para la identificación de inversiones de optimización, ampliación marginal, reposición y rehabilitación (IOARR) del servicio de movilidad urbana del MVCS (2020) lleva como objetivo orientar las unidades formuladoras (UF), para la adecuada identificación de (IOARR) del servicio de movilidad urbana.

Pasos para la identificación de la IOARR:

- Como primer paso la identificación de la Unidad Productora (UP), pudiendo ser esta individual o colectiva. Se les conoce como UP individual a las vías urbanas, sean estas: vías expresas, vías arteriales o colectoras, comprendida desde la cuadra 1 hasta la última cuadra que la conforma. En caso de compartir con dos distritos se considera según competencia territorial a la que pertenece. La UP colectiva es aquella vía local cuya zona de estudios son urbanizaciones, barrios, sectores, asociaciones, etapas o semejantes dentro de un distrito. En cualquiera de los dos casos, se encuentran conformadas por el total de componentes de la vía (pista, vereda, ciclovía y puentes peatonales).
- El segundo paso es analizar la UP para identificar la necesidad de la intervención, este análisis se hará por medio de la descripción de sus características sujetas a intervenir:

Características de la vía, aquí tenemos tipo (local, expresa, arterial o colectora), nombre de la vía o conjunto de vías, longitud y ancho promedio de vías, área total de la sección vial en m² (vereda, pista, ciclovía, etc.) con o sin pavimento y precisar la existencia de servicios básicos instalados.

Características del mobiliario de vía, habiendo aquí que ver las características técnicas como antigüedad, estado operativo, tipo de material y la cantidad de mobiliario.

Características de la infraestructura de la vía, características técnicas como antigüedad, nivel de operatividad, tipo de pavimentos, plano de ubicación, tipo de falla sea funcional o estructural (indicando m² de afectación). Las fallas en los pavimentos urbanos se van a dividir en funcionales y estructurales.

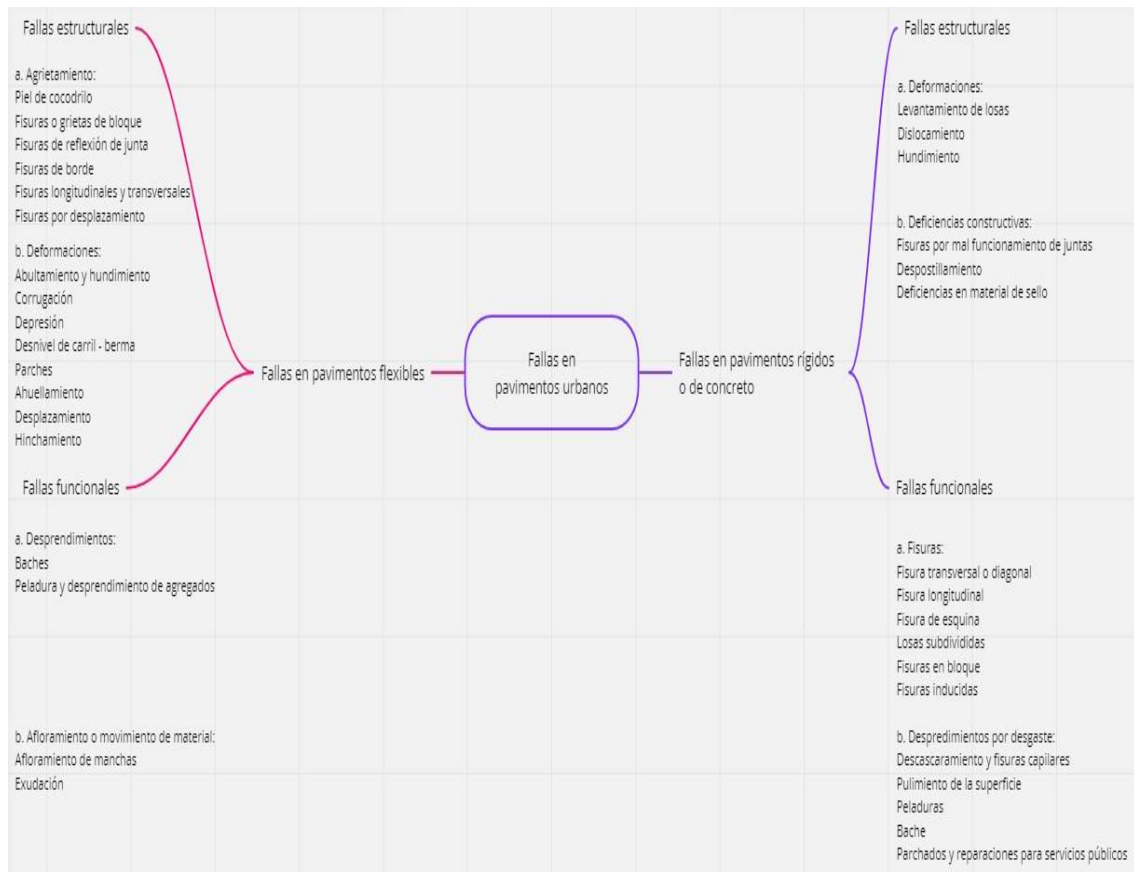


Figura 36. Fallas en pavimentos urbanos.
Fuente: Adaptado del IOARR (2020).

- El tercer paso es definir el tipo de IOARR con la que se va intervenir la UP, ello nos sirve para sustentar las intervenciones. Aquí se solicita determinar el porcentaje de deterioro de la vía según tipo de falla, el estado del mobiliario urbano de la vía y el incremento de la capacidad de producción.

% de deterioro de la vía según tipo de falla	Área de la UP con pavimento (m ²)	Área con deterioro (m ²)	% deterioro
% de deterioro de la vía por falla funcional			
% de deterioro de la vía por falla estructural			
Total			

Figura 37. Formato de porcentaje de deterioro en la vía según tipo de falla.
Fuente: Adaptado del IOARR (2020).

Para la estimación del valor de la dimensión física de la rehabilitación (%), tenemos la siguiente Ecuación que debe ser menor al 40% del valor de la dimensión física de la UP.

Ecuación 3:

$$\text{Valor de la dimensión física de la UP (\%)} = \frac{\text{Área con deterioro (m2)}}{\text{Valor de la dimensión física de la UP (m2)}}$$

Nota: En el dividendo debe ir el valor en m2 de deterioro de la vía por falla estructural y en el divisor el área total de la vía analizada.

Para la estimación del incremento de la capacidad de producción del servicio (%) tenemos la siguiente ecuación que máximo debe ser el 20% de la capacidad de diseño.

Ecuación 4:

$$\text{Incremento capacidad de producción (\%)} = \frac{\text{Área de la UP sin pavimento (m2)}}{\text{Área total de la UP (m2)}}$$

Nota: En el dividendo debe ir el valor en m2 de área de la vía sin pavimento y en el divisor el área total de la vía analizada.

- El cuarto paso viene a ser la identificación del tipo de IOARR, esta puede ser rehabilitación, reposición, ampliación marginal de servicio u optimización como vemos en la Tabla 11.

Tabla 11

Identificación del tipo de IOARR y parámetros

Rehabilitación	Reposición	Ampliación marginal de servicio	Optimización
<ul style="list-style-type: none"> - Fallas funcionales mayores al 20% de área total de la UP. - Fallas estructurales menores o iguales al 20% del total de área del UP. - Para ambos casos si supera o es igual al 40%, se interviene con un PI. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando ya cumplió su vida útil, y no constituye a un mantenimiento. - Se considera gasto de capital cuando la reposición no supera a 05 UIT. 	<ul style="list-style-type: none"> - Área sin pavimento de la UP, igual o menor al 20% a la capacidad de diseño. - El incremento de la capacidad de producción no debe superar el 20% de la capacidad de diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> - La UP solicita la intervención de 2 o más tipos de IOARR se registrará como IOARR de optimización. - Cuando se encuentra en terreno natural, según necesidad y diseño, pueden ser intervenidas como área verde o pavimento. - El incremento de la capacidad de producción debe ser igual o menor al 20% a la capacidad de diseño de la UP.

Fuente: Adaptado del IOARR (2020)

- El quinto paso es la estimación del costo de la IOARR, el cual está sujeto al tamaño y tipo de intervención. Debe incluir el costo de los activos (infraestructura y mobiliario urbano), incluyendo gastos generales, IGV y utilidad según modalidad de ejecución. Así como también costo de expediente técnico, de supervisión y de liquidación. Se presentará en la siguiente Figura, los costos referenciales por el MVCS al 2020 para pistas y veredas a precio de mercado.

- Componentes		Costa	Sierra	Selva alta	Selva baja
Pistas	Concreto (b=20 cm, e=20 cm)	308.99	368.05	335.85	412.74
	Asfalto (b=20 cm, c=2 pulgadas)	307.21	372.56	339.96	351.48
	Adoquinado (B=020 cm, e=2 cm)	366.80	453.66	413.95	451.96
Veredas	Concreto (b=10 cm, e=10 cm)	143.72	170.82	155.87	190.74
	Adoquinado (b=10 cm, e=4 cm)	178.42	215.03	196.21	233.50

Figura 38. Costos para pistas y veredas referenciales por el MVCS 2020.

Fuente: IOARR (2020, p. 7).

Sotil (2014) en su propuesta de sistema de gestión para municipalidades y gobiernos locales:

Mediante normas del PCI ASTM 6433-11 asociados a los mantenimientos propuestos por la Norma Técnica CE. 0.10 pavimentos urbanos que a su vez están concomitantes a una acción con excepción de la condición regular puesto que lo consideran contraproducente, determinan el tipo de mantenimiento y la acción por realizar como vemos en la Figura 40.

Índice de Estado Superficial del Pavimento - Categorías de Acción		
Rango de Índice de Estado	Categoría de Acción	Descripción
100 a 85	Excelente Mantenimiento Preventivo o Mínimo	Pavimento en condición muy buena; no requiere acciones de mantenimiento correctivo inmediatas; ocasionalmente pueden requerir acciones de mantenimiento mínimo preventivo
85 a 70	Muy Bueno Mantenimiento Correctivo Menor	Pavimento en condición buena, con fallas incipientes que requieren acciones de mantenimiento correctivas inmediatas y/o en el corto plazo
70 a 55	Bueno Mantenimiento Correctivo Mayor o Intensivo	Pavimento en condición dudosa o regular, con fallas evidentes que requieren acciones de mantenimiento correctivo frecuentes y probablemente una rehabilitación a mediano plazo: 1. Condición dudosa mantenimiento correctivo mayor. 2. Sellado de superficie 3. Re-encarpetado delgado
40 a 25	Pobre Rehabilitación - Refuerzo Estructural	Pavimento en condición deficiente con fallas en proceso de generación, que requieren una rehabilitación en el corto plazo para evitar la generalización de daños irreversibles
< 25	Muy Pobre y Colapsado Rehabilitación - Reconstrucción	Pavimento en condición muy deficiente, con fallas severas generalizadas que requieren una rehabilitación mayor, probablemente con alto porcentaje de reconstrucción, en el corto plazo

Figura 39. Valoración PCI junto con mantenimiento a realizar

Fuente: Sotil (2014, p. 17).

5.1.2 Sistema de gestión de infraestructura vial en América Latina

Sistema de gestión vial de Bogotá - Colombia

Según Barajas y Buitrago (2017) el SGPU toma como referencia los manuales de inspección visual de INVIAS para los pavimentos rígidos y flexibles para el soporte visual. La priorización de las vías se realiza respecto a los resultados del PCI, así como otros dos parámetros: espacios públicos que consideran la demanda de movilidad que reciben las vías sabiendo que a mayor demanda más necesidad de tener la vía en condición excelente y la importancia de las vías para situaciones de emergencia.

Nieto (2012) nos dice que para la estructuración, implementación y operación del SGPU, el logro de un sistema de gestión radica en la buena calidad y control de los datos obtenidos, la información disponible, el análisis de los resultados en cuanto a las necesidades identificadas y la facilidad de actualización, corrección y cargue de datos.

Para el autor existen marcadas diferencias entre sistemas urbanos e interurbanos en 1) Estructura organizacional: la planeación involucra elementos asociados a la estructura de pavimento, como lo son las señales, puentes, redes de servicios y espacio público, es así como la estructura organizacional de la ciudad debe permitir que todos estos elementos logren hacer parte de un todo, 2) Impacto sobre los habitantes y la movilidad: el entorno en el cual se ejecutan corresponde a zonas densamente habitadas, con influencia de comercio, zonas dotacionales, peatones, ciclo usuarios y diferentes actores que se ven afectados de alguna u otra manera por las intervenciones, no solo de las obras sino también del paso de vehículos por zonas donde antes no pasaban, reducción en la movilidad (velocidad de operación, tiempos de desplazamiento entre otros) y problemas ambientales como ruido y polución, 3) Se debe identificar cuál de los parámetros tienen sentido y relevancia en condiciones urbanas, para los usuarios de la red vial urbana tiene mayor relevancia los tiempos de desplazamiento asociados a la congestión, la comodidad del usuario está representada en elementos como la disminución de tiempos de viaje, calidad del aire y tiempos de espera en los semáforos, entre otros aspectos y 4) Las limitaciones de intervención: los

programas de conservación deben atender no solo a las necesidades estructurales y operacionales de la vía, también a las condiciones del entorno, es así como se deben tener en cuenta la localización de estructuras hidráulicas como drenajes, los accesos a los predios y la presencia de elementos asociados a la infraestructura vial como lo son las redes de servicios públicos.

Componentes de un sistema de gestión de pavimentos

1) Área de influencia e identificación

Las vías urbanas se vinculan a elementos que en conjunto forman la infraestructura vial, como lo son las calzadas, aceras, ciclorrutas, alamedas, separadores y elementos de confinamiento como sardineles y la señalización vertical y horizontal. Estos elementos también deben estar identificados dentro de los tramos viales a los cuales se les asignó una identificación, para facilitar su incorporación al sistema siendo la unidad mínima de análisis el segmento vial segmento vial (véase Figura 41).

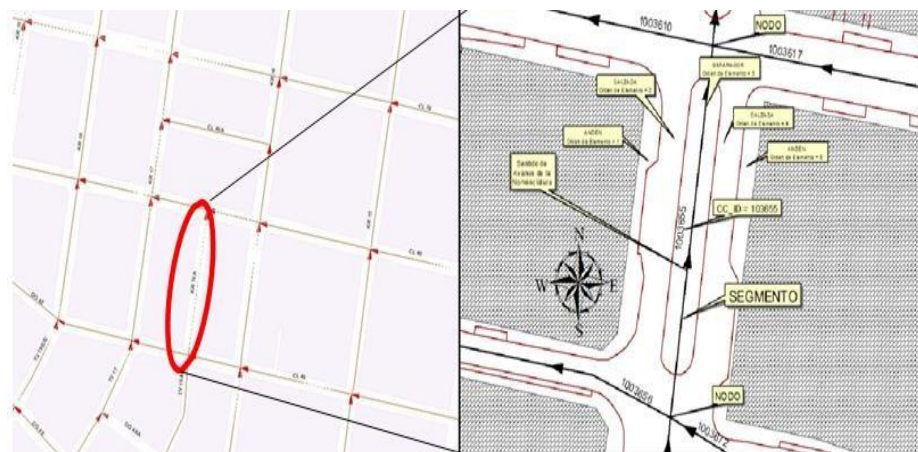


Figura 40. Unidad mínima de análisis: segmento vial.

Fuente: Nieto (2012, p.42).

2) Datos e información requerida

Tipo de información

Inventario: Su finalidad está en actualizar los datos, ajustar o corregir los elementos asociados herramientas computacionales.

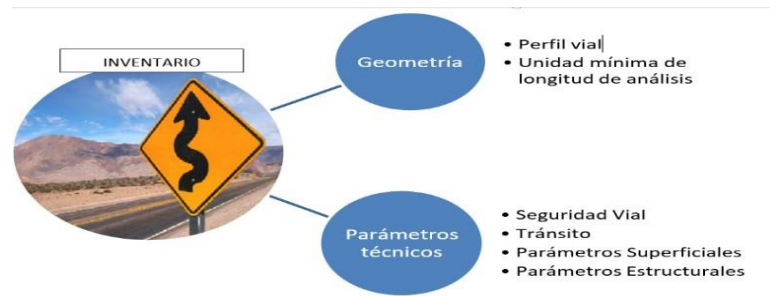


Figura 41. Componentes de un inventario vial.

Fuente: Nieto (2012, p.43).

Estado de pavimento: superficiales y estructurales

Características del tránsito: clasificación vehicular, pesos, indicadores de accidentalidad, nivel de servicio en función de la capacidad, señalización y semáforos.

Constructivos: Costo inicial de construcción, costo final, actividades de mantenimiento, año de intervenciones y costos asociados.

Manera de adquirirla

Se debe emplear equipos de alto rendimiento para la adquisición de datos superficiales, estructurales y aquellos relacionados con la geometría y geográficos.

Almacenamiento y manejo de la información

Se apoya en tecnología tal que los datos se puedan transformar en información que soporten y ayuden con la toma de decisiones.

3) Análisis de la información

Se considera el manejo y actualización de dos tipos de datos, uno relacionados con la vía y el pavimento y otro con la cartografía y los componentes espaciales o elementos geográficos, identificando la evolución no sólo del estado de los pavimentos si no también el desarrollo y crecimiento vial de la ciudad.

Según el *Washington State Department of Transportation* para un sistema de gestión de pavimentos, se deben hacer los siguientes análisis:



Figura 42. Análisis para un SGPU.

Fuente: Nieto (2012, p.22).

Condición de pavimento: Con la información del inventario de daños (superficiales y estructurales).

Inversión: Una herramienta computacional permite llevar control de las inversiones.

Tránsito: Análisis con énfasis en capacidad y tiempos de viaje, también es fundamental conocer la magnitud real y el comportamiento de las cargas que los vehículos transmiten a la estructura de pavimento.

Desempeño de pavimento: Mediante la construcción de curvas de deterioro las cuales se deben actualizar constantemente. Estos modelos de deterioro matemáticos de predicción de condiciones de superficie respuesta a las solicitaciones (tránsito o clima), de parámetros estructurales, de seguridad vial y de evolución del deterioro de los pavimentos son el soporte para identificar la evolución de parámetros empleando técnicas estadísticas.

Seguridad vial y señalización: La información de accidentalidad, inventario de la señalización y su estado, permiten contar con elementos adicionales para la toma de decisiones.

4) Variables, umbrales y pronósticos

Los programas de conservación son el resultado de la planeación y análisis de los índices propuestos. Para un SGPU, lo más importante es contar con

elementos que le permita predecir el avance de deterioro de la red vial, y si las inversiones atienden a las necesidades identificadas, para lo cual se debe definir previamente indicadores tanto técnicos como de evaluación a la gestión y a la inversión adelantada.

Indicadores técnicos: Para la condición de pavimento, un indicador que permita controlarla, para el análisis de desempeño, un indicador de evolución de la malla vial, en cuanto a la inversión, con indicadores de inversión como la tasa interna de retorno (TIR), para tránsito y seguridad vial, identificar la eficiencia o mejora de estas variables.

Indicadores de gestión: Se soportan y establecen mediante umbrales de control. La evolución de los pavimentos se soporta con la curva de vida de un pavimento a través de los años que se amortigua con intervenciones. Así se identifican dos niveles de servicio asociados a las intervenciones y dentro de estos niveles, los umbrales que ayudan a definir el momento oportuno de la intervención. El primer umbral corresponde al mínimo tolerable por la agencia vial y se le denomina nivel de intervención efectiva y el segundo nivel es el de después de la reparación y corresponde a un alto nivel de servicio, los umbrales se identifican como el de alerta y el de intervención óptima, asociados también a un nivel de servicio que lo define la agencia vial.

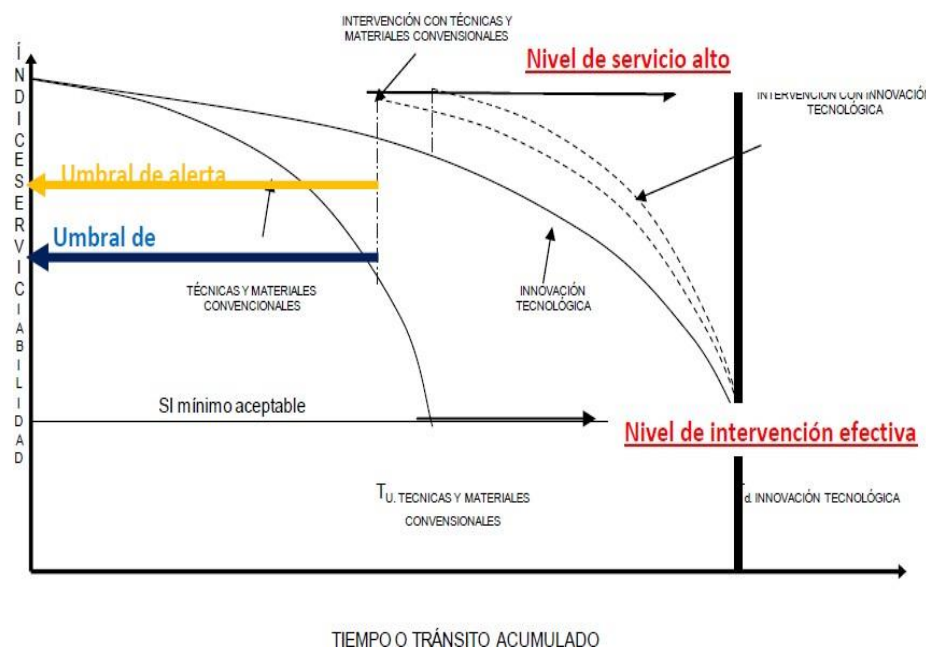


Figura 43. Umbrales en función a nivel de servicio.

Fuente: Nieto (2012, p.22).

Caso A, efecto sobre la agencia vial: El momento óptimo para intervenir es cuando el pavimento se encuentra en un estado regular. Así mismo, si la rehabilitación es posterior, este va aumentando.

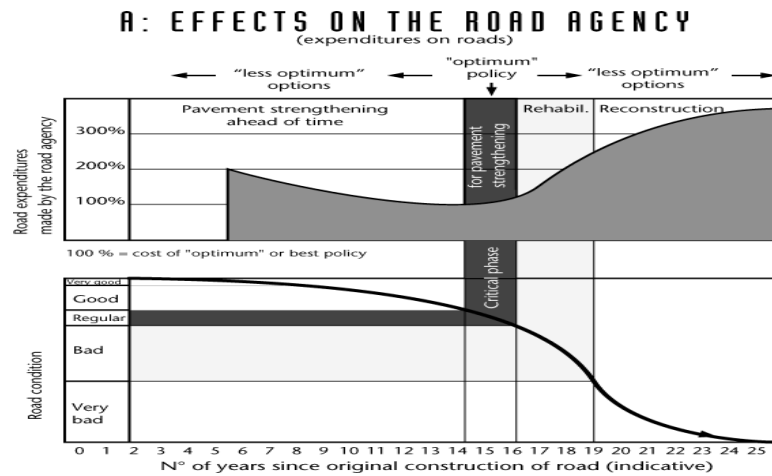


Figura 44. Intervención óptima caso agencia vial.

Fuente: Nieto (2012, p.26).

Caso B, efecto sobre los costos de usuarios: Este costo también llamado costo de operación vehicular, se mantiene constante cuando el pavimento presenta un estado de bueno a regular, en este punto la condición de pavimento genera un aumento de los costos de operación.

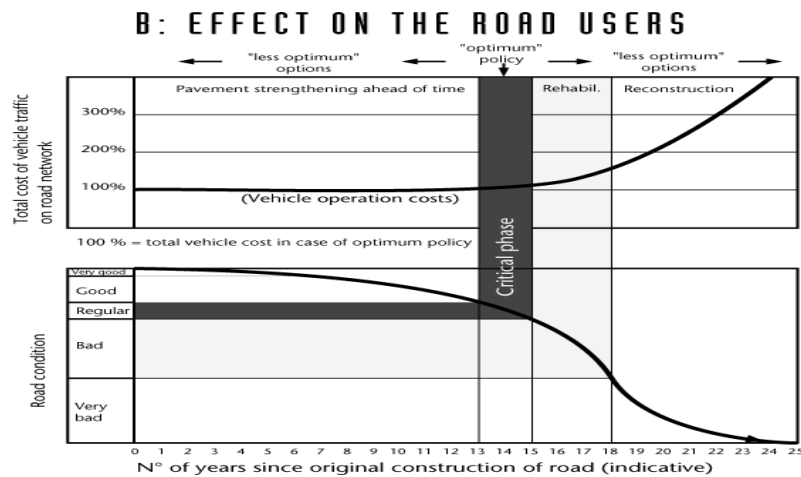


Figura 45. Intervención óptima caso costo de usuarios.

Fuente: Nieto (2012, p.27).

Con ambos análisis se concluye que para este SGPU el mejor momento de intervenir sería cuando el pavimento se encuentre en una condición regular. Las estrategias que se planteen deben siempre buscar la optimización de los recursos combinando elementos técnicos con los financieros y de control, todo esto representado en los indicadores.

5) Periodicidad en toma de información

La periodicidad de las inspecciones no necesariamente se debe hacer anual para todos los tipos de pavimentos, los recientemente construidos o rehabilitados no requieren seguimiento anual, una inspección cada dos años puede ser conveniente. Sin embargo, para estructuras con intervenciones superficiales como tratamientos o riegos, deben tener seguimiento en periodos más cortos, así mismo para estructuras que lleven un periodo prolongado de haber sido construidas o rehabilitadas. Otro criterio para el seguimiento es según jerarquía de la malla vial, es así como para vías locales el deterioro esperado es mucho menor que el que sufre una vía principal o de carga pesada.

Para estas zonas urbanas, se recomienda hacer la inspección entre tres a cinco años, si se divide la zona en cuadrantes un primer cuadrante se inspecciona en el año uno y el último en el año cuatro, es así como esa zona se inspeccionaría cada cuatro años.

6) Priorización y estrategias de conservación

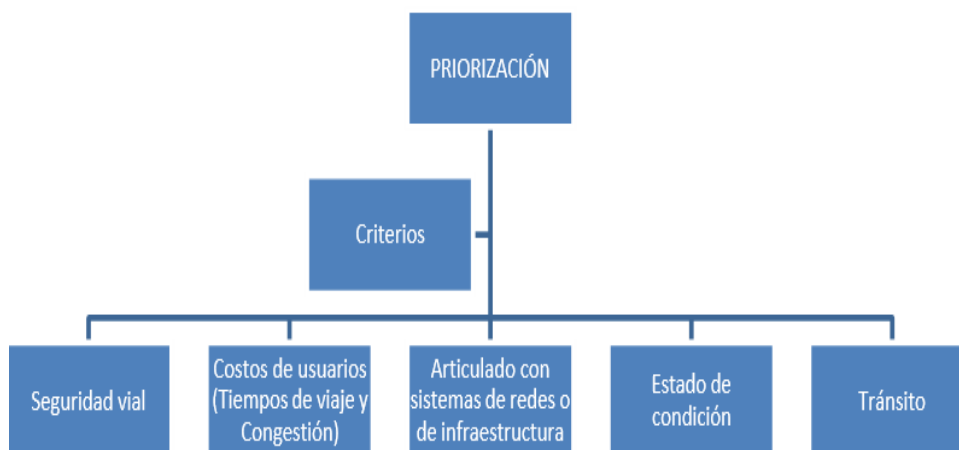


Figura 46. Criterios de priorización SGPU.
Fuente: Nieto (2012, p.51).

Para las estrategias de conservación se proponen planes para cada cinco años, proyectándose a 10 y 20 años, proporcionando recursos anuales para actividades de mantenimiento y rehabilitación. Las estrategias de intervención, están asociadas a alcanzar una condición de pavimento definida dentro de la política de conservación medible con un índice de condición como el PC, estas intervenciones deben alcanzar un estado de condición superficial, que a su vez suplan las necesidades de comodidad y seguridad vial para los usuarios. Las estrategias de intervención se pueden agrupar en cinco grupos:

No Intervenir: Pavimento en muy buen estado, se decide no intervenir.

Actividades de mantenimiento (rutinario y periódico): Mediante acciones constantes o programadas se busca reparar o detener fallas presentes en el pavimento.

Acción diferida: Actividades no programados en tramos de mal estado, donde ya se pasó el tiempo para mantenimientos periódicos o rutinarios, pero que aún no requieren ser rehabilitados en su totalidad o que por restricciones de presupuesto deben atenderse entre tanto se logra tener los recursos para su intervención definitiva, puede ser catalogada como una acción de emergencia.

Rehabilitación: Es generar en la estructura de pavimento un nuevo ciclo de vida, mejorando su condición estructural y superficial.

Reconstrucción: Es el remplazo total de la estructura de pavimento.

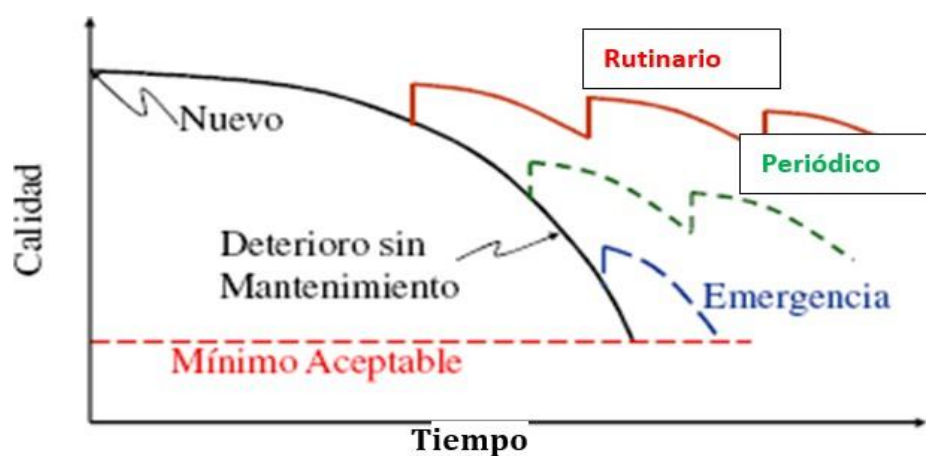


Figura 47. Estrategias de intervención.
Fuente: Nieto (2012, p.33).

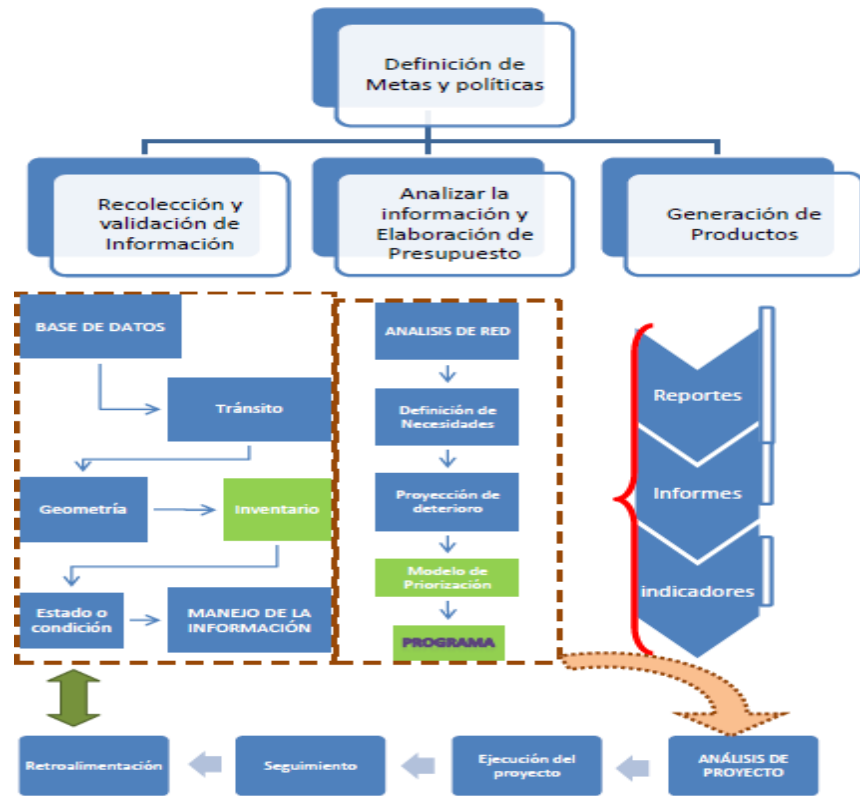


Figura 48. Estructura del SGPU propuesto Colombia.
Fuente: Nieto (2012, p.37).

Sistema de gestión vial de Rio de Janeiro - Brasil

Factor	Datos
PCI	PCI=100-total de puntos de defecto
TF	Tráfico Diario Medio (TDM) TDM = 0-99 TF= 10; TDM =100-499 TF= 20; TDM =500-999 TF= 30; TDM =1000-1999 TF= 40; TDM =2000-4999 TF= 50; TDM ≥ 5000 TF= 100;
FC	Arterial = 1,2 Colectora =1,1 Local = 1,0
TR	Tráfico= 1,0 Escolar=1,1
MF	$MF = \frac{1 + \text{índice de mantenimiento}}{10}$

Figura 49. Factores para índice de prioridades SGPU Bogotá – Colombia.
Fuente: Barajas y Buitrago (2017, p. 61).

Sistema de gestión vial de México

Propone un protocolo como propuesta inicial para que las carreteras mexicanas identifiquen en líneas generales sus prácticas de gestión sabiendo si se encuentran en un nivel de madurez básico, intermedio o avanzado según cuatro factores básicos para la gestión como lo son herramientas, inventarios, programas y estrategias.

		<i>Concepto</i>			
		Herramientas	Inventario	Programas	Estrategia
<i>Nivel de madurez</i>	Básico	En general, no se aplican de manera sistemática herramientas de análisis, o se utilizan esporádicamente sin haber sido calibradas.	Se cuenta con información muy general en formato de hoja de cálculo o similar, la cual se recopila ocasionalmente, sin un procedimiento establecido.	Los programas se elaboran en la mayoría de los casos a partir de los presupuestos asignados históricamente a los diferentes activos, y tienen una periodicidad anual.	No existen objetivos vinculados al desempeño de la infraestructura vial o se encuentran enunciados de manera muy general.
	Intermedio	Existen herramientas de análisis para pavimentos, puentes y otros activos que se aplican sistemáticamente para la obtención de los programas. No todas las herramientas han sido calibradas	Se han definido procedimientos para la actualización de la información. Los datos están almacenados centralmente y comprenden información de los principales activos.	Los programas se basan en análisis del ciclo de vida de los activos más importantes y consideran en algunos casos riesgos y periodicidades anual y plurianual.	Se han definido objetivos de desempeño para la infraestructura vial, alineados con las políticas nacionales o locales de transporte, así como planes para el logro de esos objetivos en plazos y con recursos determinados.
	Avanzado	Se han implementado herramientas de análisis para los principales activos y para la distribución de recursos entre ellos. Las herramientas se han calibrado y validado y se han elaborado manuales institucionales para su uso.	Existe un sistema central reconocido como una fuente confiable de información, el cual es capaz generar informes de manera ágil y contiene datos históricos sobre el desempeño de los principales activos. Los procedimientos de acopio están ampliamente documentados.	Se elaboran programas anuales y plurianuales basados en análisis del ciclo de vida, riesgos y los requisitos de los grupos de interés, con una contribución explícita a los objetivos de desempeño. Existen mecanismos para optimizar la distribución de recursos entre clases de activos.	La estrategia de gestión del patrimonio orienta los procesos institucionales y puede ser auditada, revisada y actualizada.

Figura 50. Nivel de madurez de una organización según protocolo AMAAC.

Fuente: Solorio et al. (2017, p. 15).

Sistema de gestión vial de Chile

A nivel regional y local, los gobiernos regionales y las municipalidades intervienen en la gestión de pavimentos urbanos. El primero planifica el mantenimiento y la definición presupuestaria mientras que el segundo propone las necesidades de mantenimiento.

Tabla 12

Desarrollo técnico en la gestión de pavimentos urbanos en Chile

Año de desarrollo	Sistema	Descripción
1988	MANVUSIMP	Método de evaluación social, destinado a evaluar planes de inversión en mantenimiento.
1992-1994	SAMPU	Software con capacidad de modelar comportamientos, estimar costo, gestionar datos y diseñar programas de inversión.
1996-2003	SGCPU	Análogo al SAMPU, pero en ambiente Windows con modelos propios de evaluación de pavimentos para la ciudad de Concepción.
2010-2016	SGPUC	Sistema más robusto, incluye modelos de deterioro probabilístico, modelo decisional de optimización y priorización. Capacidades analíticas en sistemas de información geográfica.

Fuente: De Solminihac et al. (2019, p. 519).

Del año 2010 al 2016 se desarrolla el sistema de gestión de pavimentos urbanos (SGPUC) cuyo objetivo principal es resolver aspectos técnicos, metodológicos y de caducidad tecnológica. Siguiendo las lógicas tradicionales de un sistema de gestión de pavimentos, incorpora aspectos de red vial urbana que los sistemas predecesores no lograron resolver al adoptar conceptos más relacionados con redes interurbanas.

Modelo decisional del SGPUC: Cuenta con cuatro módulos (1) datos de entrada correspondientes a información para ejecutar los algoritmos de evaluación, (2) procesos de evaluación que modelan alternativas de mantenimiento y rehabilitación, (3) retroalimentación que actualiza la condición de los pavimentos en base al mantenimiento y rehabilitación que propone el sistema y (4) datos de salida. El análisis para la priorización de los proyectos define una lista de secciones que deben intervenir en un tiempo, los estándares de preservación, mantenimiento y rehabilitación (P+M+R) son una agrupación de tratamientos para un determinado segmento que incluye un umbral de intervención y el efecto resultante de dicha intervención, en cada uno de los periodos de tiempo "t". Se segmenta la red por características y condiciones semejantes y el sistema produce secciones por condición de pavimento y los estándares óptimos de P+M+R. Como efecto se obtiene un listado de los proyectos a ser tratados en el año de análisis, los costos y la valoración técnica, ambiental y económica de los estándares. A partir de los costos de mantenimiento se estima el presupuesto mínimo necesario para cumplir con los objetivos estratégicos de mantenimiento. Partiendo de la comparación entre el presupuesto disponible y el presupuesto de mantenimiento se originan dos escenarios en el año de análisis i:

Presupuesto insuficiente. El sistema hace prevalecer los requerimientos y objetivos definidos a nivel estratégico para el mínimo requerido.

Presupuesto suficiente. Se inicia el proceso de priorización sin necesidad de ajuste presupuestal.

El siguiente proceso es la priorización, a partir de 4 criterios sociopolíticos hacen un factor global de ponderación social-político (FPSP): percepción social, infraestructura crítica, población beneficiada y presencia de vías alternas, que a su vez a partir de ellos se define un listado de secciones y estándares P+M+R. Junto a la puntuación técnico-económica-ambiental de cada estándar se juntan para obtener una priorización de las secciones a intervenir. El sistema detalla las secciones de la red que deben ser tratadas en cada año del periodo de análisis, los estándares de P+M+R que deben aplicarse, la condición de las secciones a lo largo del periodo de análisis y los costos asociados al programa de mantenimiento.

Índice de condición de Pavimentos Urbanos:

Este índice manifiesta la condición global del pavimento, separa por tipo de pavimento (asfalto y hormigón) y por la tecnología para medir los deterioros del pavimento (manual o automática) variando desde un valor mínimo de 1 (peor condición) hasta un máximo de 10 (mejor condición).

Ecuación 5:

$$ICPU_{\text{Alfalo, manual}} = 10 - a_1GF - a_2GTR - a_3PD - a_4A - a_5B$$

Ecuación 6:

$$ICPU_{\text{Alfalo, automático}} = 10 - a_6GF - a_7GTR - a_8PD - a_9A - a_{10}IRI$$

Ecuación 7:

$$ICPU_{\text{Hormigón, manual}} = 10 - a_{11}GL - a_{12}GT - a_{13}PD - a_{14}E - a_{15}GEO - a_{16}SD$$

Donde:

a_i coeficientes de calibración

GF grietas de fatiga (%)

GTR suma de grietas transversales y de reflexión (%)

PD parches deteriorados (%)

A ahuellamiento (mm) calculado como el promedio de ahuellamiento dentro de la unidad de muestra.

B baches (%)

IRI índice de rugosidad internacional (m/km)

GL grietas longitudinales (%)

GT grietas transversales (%)

E escalonamiento (mm) calculado como el promedio de escalonamiento de las losas dentro de la unidad de muestra.

GEO suma de grietas de esquina y oblicuas (%)

SD sellos dañados (%) calculado como el porcentaje del total de metros de uniones existentes dentro de la unidad muestral.

Modelo de comportamiento de los pavimentos: Con ello se presagia en qué momento se alcanza los umbrales de intervención, se estiman costos, se optimizan acciones de mantenimiento, se evalúa el impacto a largo plazo de los mantenimientos y se retroalimenta el proceso. Se basan en el índice ICPU, el clima y estado de los pavimentos presentes. Estos modelos especifican el cambio de estado del índice ICPU a lo largo del tiempo con y sin mantenimiento usando modelos markovianos, incluye 8 modelos de comportamiento: 3 para pavimentos asfálticos en clima mediterráneo, 1 para pavimentos asfálticos en clima seco y 1 para pavimentos de hormigón en clima húmedo.

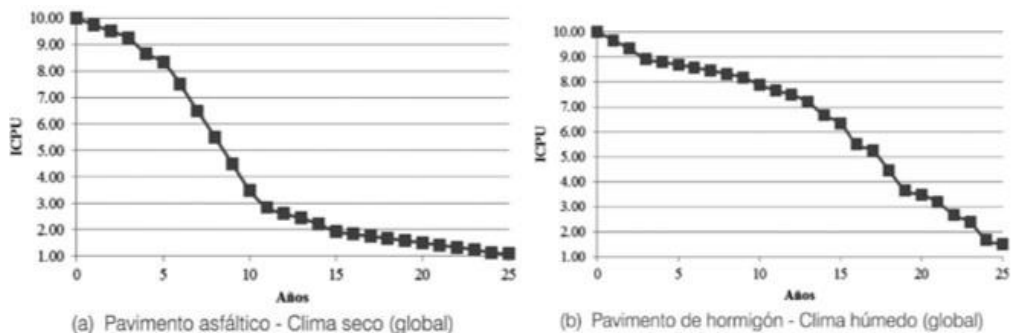


Figura 51. Ejemplos de modelos de comportamiento de pavimentos urbanos.

Fuente: De Solminihac et al. (2019, p. 527).

Estándares de mantenimiento: Los estándares de mantenimiento incluyen la conservación y el mantenimiento para los pavimentos de asfalto y hormigón. La conservación considera tratamientos que no mejoran la capacidad estructural mientras que los mantenimientos mejoran la capacidad estructural del pavimento, los tratamientos considerados se muestran a continuación:

Tipo de Intervención	Pavimento Asfáltico	Pavimento de Hormigón
Conservación	Limpieza y sellado grietas	Limpieza y sellado de grietas y juntas
	Bacheo	Reparación esquinas y desconche
	Riego de neblina	Cepillado
	Lechada asfáltica	Recapado funcional con asfalto
	Sello de agregado	Recapado funcional con hormigón
	Micropavimento	
	Recapado funcional con asfalto	
Mantenimiento	Reciclado <i>in situ</i> en caliente	Reparación de losa profundidad total
	Reciclado <i>in situ</i> en frío	Recapado estructural con asfalto
	Recapado estructural con asfalto	Recapado estructural con hormigón

Figura 52. Tratamientos considerados en el SGPU.

Fuente: De Solminihac et al. (2019, p. 528).

Evaluación técnico-económica: Se definen estándares de conservación base, óptimo y subóptimo de cada modelo de deterioro junto con las acciones que deben aplicarse diferenciándose en costos y en la relación costo-efectividad. La evaluación técnico- económico compara alternativas costo-efectividad unitaria. Este indicador posibilita comparar alternativas que generen respuestas no cuantificables en términos monetarios en función de la efectividad de las acciones de conservación aplicadas en el ciclo de vida del pavimento (área ABC) y del valor actual neto de las acciones de conservación aplicadas en el ciclo de vida (VAN_{costo}).

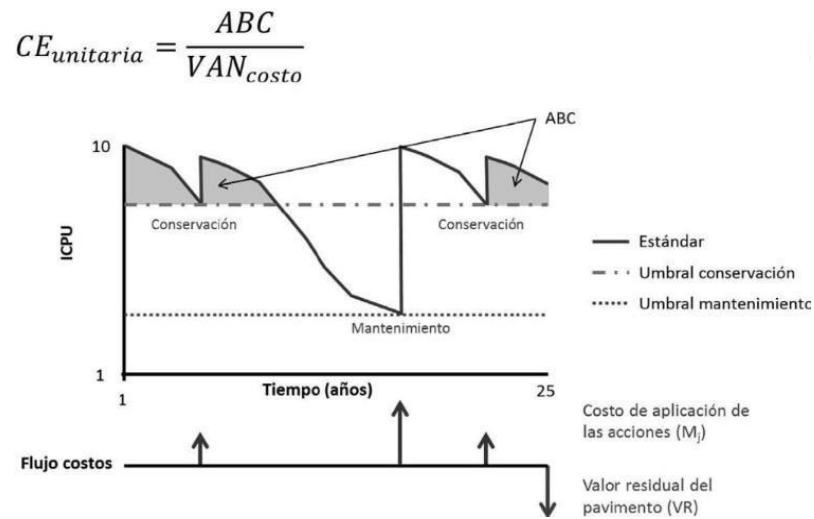


Figura 53. Evaluación técnico-económica basada en costo-efectividad.

Fuente: De Solminihac et al. (2019, p. 529).

Criterios de priorización: El sistema incluye el Factor de Prioridades (FP) para cada año de análisis t . Considera dos aspectos: priorización técnica-económica y prioridad sociopolítica.

Priorización técnica-económica: Se cuantifica partiendo del incremento en la condición del pavimento evaluado en términos ICPU, se pondera con la longitud y el tránsito dando como resultados el Factor de Prioridad Técnica-Económica (FPTE) con rango de valoración entre 0-1, siendo 1 la máxima prioridad y 0 la mínima.

Priorización sociopolítica: Responde a criterios locales que contribuyen a cuantificar un Factor de Prioridad Socio-Político (FPSP):

Cercanía a infraestructura pública (CI): prioridad a vía cercanas a centro de salud, educación y emergencias.

Población beneficiada (PB): población que vive, trabaja, hace turismo o circula cerca de las vías.

Existencia de vías alternas (EVA): da prioridad a vías que no tienen vías alternas.

Percepción social (PS): tiene en cuenta las quejas de los usuarios con respecto a la condición del pavimento.

Selección discrecional: prioridad a segmentos justificados con otros

mecanismos de evaluación.

Los polinomios que describen el FPSP se reflejan en las siguientes ecuaciones para áreas metropolitanas, ciudades de tamaño medio y diversos tipos de redes viales, los coeficientes b_i son coeficientes de calibración:

Ecuación 8:

$$FPSP_{\text{áreas metropolitanas, red estructurante}} = b_1PS + b_2CI + b_3PB + b_4EVA$$

Ecuación 9:

$$FPSP_{\text{ciudades intermedias, red estructurante}} = b_5PS + b_6CI + b_7PB + b_8EVA$$

Ecuación 10:

$$FPSP_{\text{áreas metropolitanas, red secundaria}} = b_9PS + b_{10}CI + b_{11}PB + b_{12}EVA$$

Ecuación 11:

$$FPSP_{\text{ciudades intermedias, red secundaria}} = b_{13}PS + b_{14}CI + b_{15}PB + b_{16}EVA$$

Plataforma computacional SGPUC: En ambiente SIG que permite aplicar los algoritmos y procesos ya descritos permitiendo también una fácil visualización de los resultados lo que simplifica el proceso de toma de decisiones ya que evalúa una amplia diversidad de escenarios.

En comparativa con el Perú: En el país no hay un sistema de gestión vial que este en operación con enfoque en pavimentos urbanos. Desde el año 2021 existe un plan de implementación del sistema de gestión de activos de la red vial nacional, pero para carreteras. De esta manera, proponer el modelo SGPUC que está en marcha en Chile desde el 2010, puede ser muy avanzado y llevar a costos muy altos de implementación y personal técnico calificado, de tal manera que comenzar de manera simple y evolucionar gradualmente hacia un sistema más completo como el que se presentó se ajusta más a las necesidades del país y su red. Recomendamos tomar como base el SAMPU aplicado a la ciudad de Concepción (SGCPU) llevando el estudio entre 1993 y 2003.

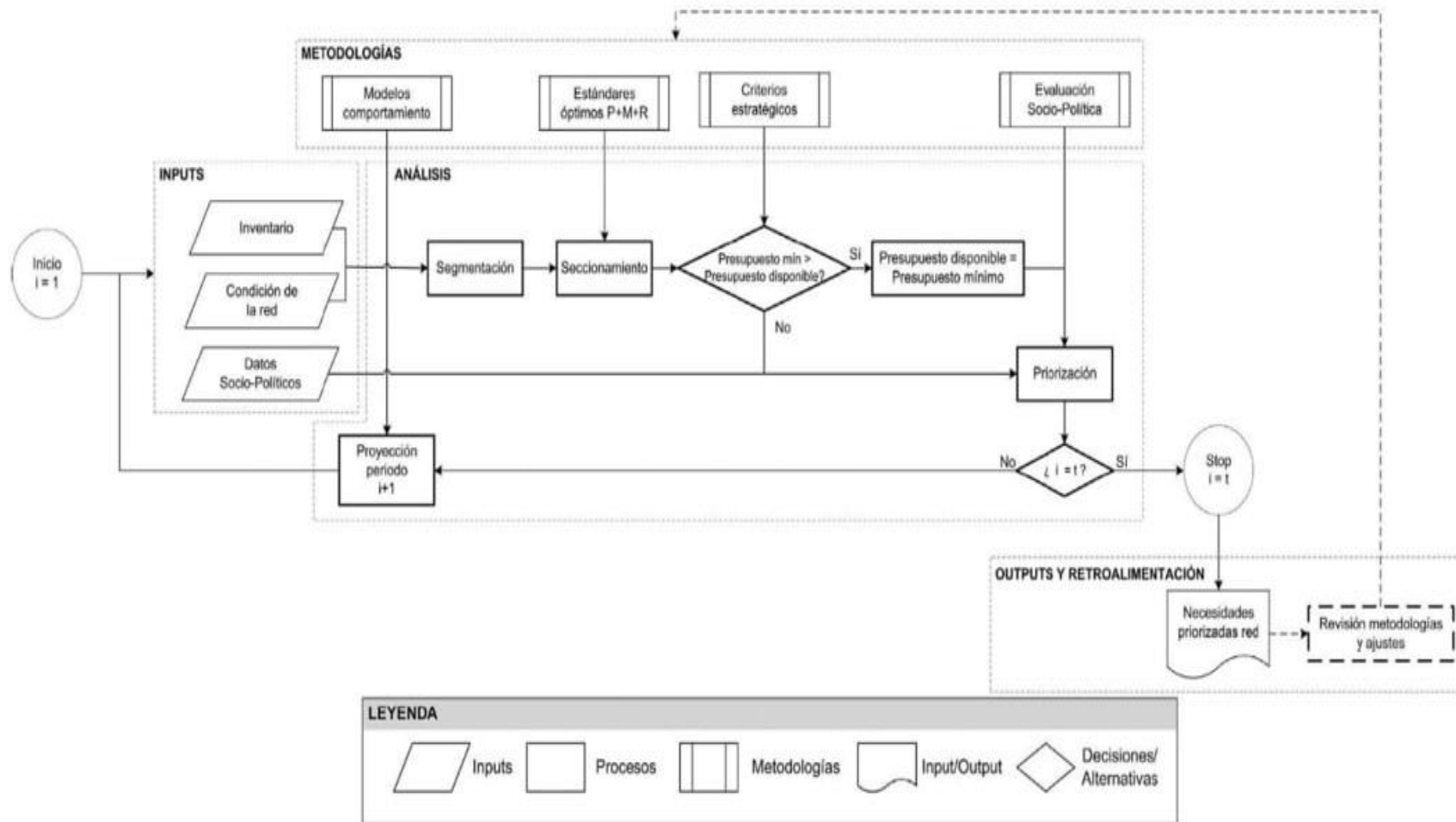


Figura 54. Diagrama de proceso lógico del sistema SGPUC.
 Fuente: De Solminihaç et al. (2019, p.523).

5.1.3 Sistema de gestión de infraestructura vial en el mundo

Sistemas de gestión vial en Asia Central

En el libro que lleva de título traducido al español Compendio de mejores prácticas en gestión de activos viales, se presentan mejores prácticas y el desarrollo de la gestión de activos viales con base a las experiencias en sus 11 países miembros: Afganistán, Azerbaiyán, República Popular China, Georgia, Kazajstán, República Kirguisa, Mongolia, Pakistán, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán. El objetivo de la gestión de activos viales es optimizar los beneficios económicos minimizando los costos de mantenimiento y los costos de los usuarios de la vía, dando a conocer las soluciones más exitosas en el desarrollo de la gestión de activos viales aplicada por CAREC (Cooperación Económica Regional de Asia Central).

Los países miembros del CAREC vienen desarrollando la implementación del RAMS (Road Asset Management System), al español SGAV (Sistema de Gestión de Activos Viales), con el fin de gestionar de manera adecuada sus activos viales. Este sistema ayuda a determinar los niveles óptimos de financiamiento minimizando los costos totales de transporte por carretera para un país, y puede demostrar cómo se puede asignar mejor el financiamiento disponible a caminos o secciones de caminos específicos, y a tipos específicos de mantenimiento y reparación. Al hacerlo, no considera los impactos a corto plazo en la red vial, sino los impactos a mediano o largo plazo (20 años). Busca optimizar el nivel y la asignación de fondos para el mantenimiento vial en relación con los resultados. También generar un cambio de enfoque de la reparación de caminos en malas condiciones a la preservación de caminos en buenas o regulares condiciones, evitando que se deterioren y requieran reparaciones costosas en el futuro. A corto plazo, esto da como resultado que se preste menos atención a las carreteras en mal estado, pero, a largo plazo, se liberan fondos para hacer frente a los retrasos en el mantenimiento.

El SGAV, es un sistema computarizado que abarca la recopilación de datos, la gestión de datos o base de datos y el análisis de datos, con fines de planificación y programación de carreteras viéndose junto al contexto en el que se desenvuelve llámese a ello marco institucional, sistemas de programación y

planificación de la red, procedimientos de financiación y asignación presupuestal y la implementación de la reparación y el mantenimiento vial. En resumen, la operabilidad del sistema de gestión de activos viales se divide en los siguientes puntos:

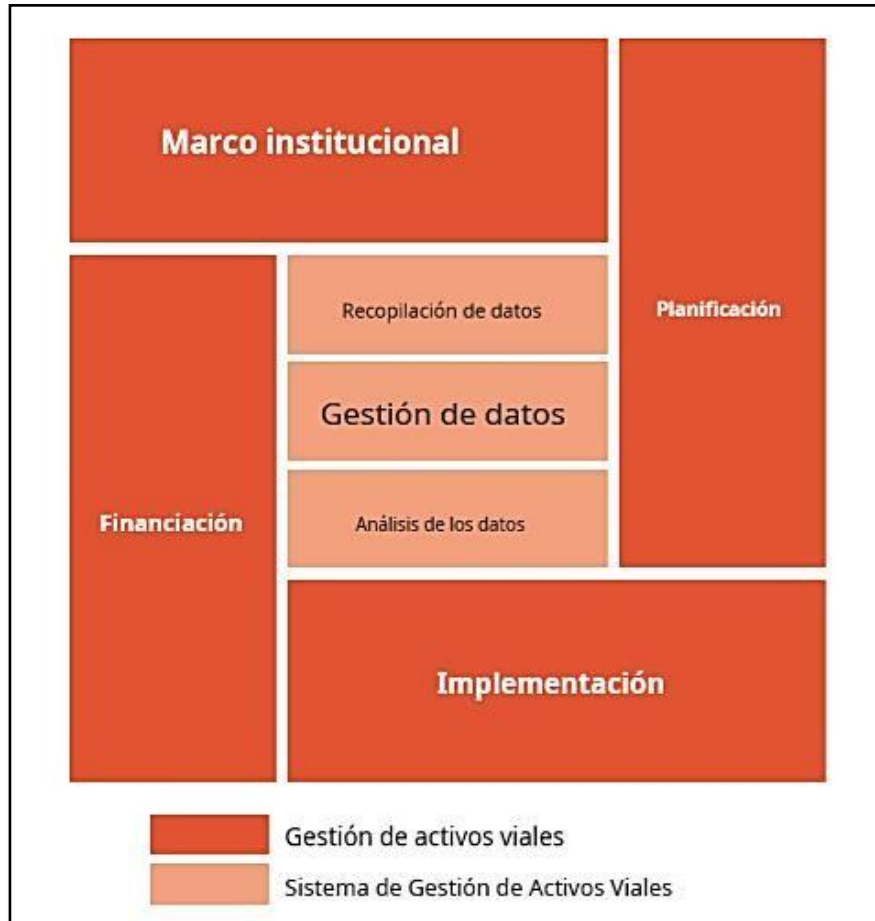


Figura 55. Operabilidad de la gestión de activos vial y el SGAV. Fuente: Banco Asiático de Desarrollo (2018, p.4).

De la Figura 55, el marco institucional se encarga del proceso de toma las decisiones; SGAV influye en los planes de gestión vial y sus asignaciones presupuestarias; es importante observar el vínculo del SGAV con los sistemas de planificación existentes. Durante la implementación, las consignaciones presupuestarias se utilizan para llevar a cabo las intervenciones planificadas. La recopilación de datos se divide en datos que se actualizan periódicamente (estado de carretera, tráfico) y datos que no cambian (trazado carretera, topografía, tipo de superficie); La gestión de datos supone una base que reúne los datos recopilados a ordenación de la planificación y el seguimiento, incluye datos numéricos o textuales (nombre de la vía, longitud

de vía) y de posicionamiento GPS (alineación, estado de vía); por último el análisis de datos determina el financiamiento dependiendo del tipo de intervención.

Asian Development Bank. (2018) nos da como resultado:

De los 11 países miembros seis (Afganistán, Kazajstán, República Kirguisa, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán) se encuentran en fases iniciales de desarrollo de un SGAV, cuatro (Azerbaiyán, la República Popular China [RPC], Georgia, y Mongolia) emplean el SGAV para el seguimiento, aún no lo integran en los procedimientos de toma de decisiones. Solo Pakistán incorporó e integró el SGAV, la recopilación, la gestión y el análisis de datos están completamente sistematizados y se efectúan con regularidad. El análisis de datos constituye una entrada para la planificación del mantenimiento e influye en los niveles de financiación y los presupuestos de mantenimiento, y la implementación se subcontrata de acuerdo con los planes de mantenimiento. Este significativo logro es consecuencia de 20 años de apoyo al desarrollo de RAMS.

En la Tabla 13 a continuación, veremos el progreso de los países del Banco Asiático de Desarrollo con la implementación de los sistemas de gestión de activos viales referente a frecuencia de recopilación de datos, el financiamiento, la planificación y el mantenimiento.

Tabla 13

Países del Banco Asiático de Desarrollo en la gestión de activos viales

	AFG	AZE	PRC	GEO	KAZ	KGZ	MON	PAK	TAJ	TKM	UZB
Datos de la Carretera											
Carreteras totales (km)	38,700	59,000	4,577,300	21,800	96,718	34,810	51,917	260,131	26,767	58,592	183,724
Área (km ²)	652,860	86,663	9,388,211	69,490	2,699,700	191,800	1,553,560	770,880	138,786	469,930	425,400
Densidad vial (km/100km ²)	5.9	68.1	48.8	31.4	3.6	18.1	3.3	33.7	19.3	12.5	43.2
Frecuencia recopilación de datos	Iniciando	Anual	Anual	Anual	Iniciando	Iniciando	Anual	Anual	Iniciando	No	Iniciando
Extensión recopilación de datos	Piloto	Red	Red	Red	Piloto	Piloto	Piloto	Red	Piloto	No	Piloto
Base de datos	No	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	No	Si
Implementación RAMS	No	Si	Algunas provincias	Si	No	No	Si	Si	No	No	No
Análisis de la estrategia	No	Si	Algunas provincias	Si	No	No	No	Si	No	No	No
Unidad RAMS	No	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No	No	Si
Financiamiento dedicado a mantenimiento	No	Si	Si	No	No	No	Si	Si	No	No	Si
Influencia en el financiamiento	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	No
Influencia en la planificación	No	No	No	Parcialmente	No	No	No	Si	No	No	No
Implementación de mantenimiento	Interno + Licitación	Interno	Interno + Licitación	Licitación	Interno + Licitación	Interno + Licitación	Interno	Licitación	Interno	Interno	Interno + Licitación

Fuente: Banco Asiático de Desarrollo (2018, p.6).

Para la introducción e integración exitosa de un SGAV se identificaron un total de 11 prácticas indispensables: limitar los datos a recopilar, base de datos fácil de usar, comenzar por un software simple, institucionalizar desde el principio, publicar estadísticas anuales de desempeño, integrarse en los procesos de toma de decisiones, proporcionar financiamiento suficiente y predecible, separar la gestión de la implementación, garantizar un apoyo de alto nivel, continuar con el apoyo de desarrollo y desarrollar la capacidad de ejecución de obras. Las cuales se explicarán brevemente:

Limitar los datos a recopilar

Para limitar el tiempo y el dinero financiado en la recopilación de datos, esto debe centrarse en los requisitos mínimos de datos, utilizando métodos confiables de recopilación, aplicando formatos de datos apropiados y asegurando procedimientos de control de calidad adecuados. Es preferible utilizar métodos probados de recolección de datos para los cuales existe alguna experiencia, asegurando una adecuada calibración y uso en los equipos, con el tiempo ya se sugiere introducir nuevas tecnologías para mejorar la confiabilidad de los datos o reducir los costos. Para el caso de requisitos mínimos de datos en las vías urbanas de Lima Metropolitana estos podrían ser PCI, IRI Y PSI con métodos modernos, económicos y confiables de recopilación de datos. Almenara (2015) utiliza el ROADroid para recopilar datos de rugosidad en vez de un perfilómetro laser, el cual está normado en los contratos de las concesiones peruanas.

Base de datos fácil de usar

La base de datos debe tener estructura definida, utilizar softwares fácilmente accesibles y de forma remota desde diferentes oficinas en una web sencilla de modo que puedan ser utilizados para el sistema de gestión y posteriormente para el monitoreo. También que se puedan exportar datos a formatos de uso común como Excel. Deben permitir el acceso a mapas, fotografías, coordenadas GPS para la inspección local, su fácil identificación y para planificar las intervenciones y monitorear el desempeño de la red vial. Además, los datos deben estar bien estructurados en secciones designadas por la agencia

vial. En el caso de Lima Metropolitana proponemos iniciar con una base de datos viales en Excel donde contenga la base de datos (inventario, auscultación del terreno, datos históricos del pavimento) así como información de las condiciones funcionales y estructurales del pavimento de cada vía incluyendo números o letras para su identificación.

Comenzar con un software simple

Con un software económico y fácil de usar para apoyar su sostenibilidad económica, el cual se desarrollará gradualmente a medida que aumenten las necesidades específicas en la gestión. Para Lima Metropolitana proponemos iniciar con hojas de cálculo simples en lo referente a base de datos y políticas de conservación, según nuestro árbol de decisiones y respaldarnos de los resultados de priorización de mantenimiento según el HDM4 que es la manera actual de realizar dicha tarea en el país. Referente al HDM4 y softwares que utilicemos, como mínimo, se debe proporcionar un manual detallado que explique las opciones del software en el idioma local.

Institucionalizar desde el principio

El SGAV debe institucionalizarse desde el principio, identificando responsabilidades claras y recursos para su operación, dejando estipulado quienes serán los encargados de la recopilación, la gestión y el análisis de datos, mismo personal que debe estar calificados y tener un estándar de cómo recopilar, gestionar y analizar la información. Cuando se traten de proyectos nuevos, la institucionalización debe establecerse antes de comenzar el proyecto. En Lima Metropolitana se propone capacitar al personal encargado de los mantenimientos en los programas de gestión que se utilicen en el momento, siendo el presente el HDM4 y Excel. También corroborar que el programa presupuestal para vías urbanas de los distritos para recopilación, análisis y gestión de datos para el mantenimiento se esté utilizando de manera acorde.

Publicar estadísticas de rendimiento anual

La publicación anual de estadísticas e informes de desempeño proporciona un incentivo para la recopilación regular de datos en apoyo de un SGAV. Se

recomienda fomentar la recopilación y gestión anual de datos de vía pues, además de proporcionar información sobre el desempeño del sector vial a lo largo del tiempo, garantiza que se utilicen los datos recopilados. Cuando dichos resultados se ponen a disposición del público, también introducen una mayor transparencia. Cada vez más, los datos viales se utilizan para los análisis HDM4 en apoyo de la planificación y políticas de gestión. En Lima Metropolitana se recomienda la publicación de datos de manera anual de los sectores evaluados para su seguimiento con el fin de utilizarlos para las decisiones de mantenimiento y para tener una base de datos de vías y realizar las estadísticas necesarias.

Integración en los procesos de toma de decisiones

Debe integrarse en los procesos de toma de decisiones para que sea eficaz, un SGAV puede indicar las intervenciones que ofrecen la mejor relación calidad - precio como las vías que deben priorizarse para obtener el máximo beneficio económico del presupuesto de mantenimiento disponible y, para ajustar el presupuesto a las necesidades de vía, el SGAV ayuda asimismo a determinar los niveles presupuestarios necesarios para mejorar la red a una condición mínima establecida por la agencia vial y mantenerla, por lo menos, en dicho nivel base. Para las vías de Lima Metropolitana se propone establecer niveles de intervención de vías con tres escenarios: si no se hace mantenimiento, mantenimiento base y mantenimiento óptimo y con estos criterios priorizar el presupuesto y la elección de las vías a intervenir y a qué nivel llegan en los planes anuales de mantenimiento. Se propone también a futuro utilizar el análisis por escenarios para estimar las necesidades presupuestarias de la cantidad de fondo que se asigna al mantenimiento vial cada año e introducir un presupuesto basado en resultados, vinculado a los objetivos a alcanzar.

Proporcionar financiación suficiente y predecible

Los niveles de financiamiento deben ser suficientes y predecibles para mejorar la condición de la red vial a mediano plazo y lograr las mejoras esperadas. Un SGAV muestra el impacto de diferentes niveles de financiamiento en la condición de la red a mediano y largo plazo que se utilizará como base para

determinar el nivel de financiación que se proporcionará al sector vial. En Lima Metropolitana, al establecer y pretender conservar las vías urbanas, por lo menos, con un mantenimiento base, si los fondos no fueran suficientes, se optimizaría la asignación, sin garantizar que se logre una condición aceptable para toda la red vial, aun así, es un paso inicial importante. Se tendría que tomar a consideración que la financiación sea estable a lo largo de los años en el mediano plazo pues cuando la financiación disminuye considerablemente de un año a otro, los beneficios de las inversiones planificadas se reducen significativamente puesto que las intervenciones ya no se llevan a cabo en el momento en que se planifican y eso ocasiona que los daños de vías empeoren y que su costo de mantenimiento aumente.

Separar la gestión de la implementación

Un SGAV es una herramienta que ayuda a planificar las inversiones de mantenimiento, rehabilitación y seguimiento del desempeño de la implementación del mantenimiento en la red vial, de respaldar la implementación del mantenimiento se encarga la entidad ejecutora o contratista. El contratista es responsable de lograr los resultados planificados puesto que, cuando la misma entidad es responsable, surge un conflicto de intereses pues sería que la entidad es responsable de evaluar su propio desempeño. Por tanto, las responsabilidades de la operación del sistema deben ser asignadas separado de la implementación del mantenimiento. En conclusión, el administrador vial es responsable de la planificación, el presupuesto y el seguimiento del desempeño, mientras que la entidad ejecutora (contratista) es responsable de lograr los resultados planificados. En el caso de Lima Metropolitana enfocamos nuestro sistema de gestión para preservar los pavimentos urbanos en la fase de planificación y presupuestación, comparando posibles asignaciones presupuestarias para diferentes tipos de mantenimiento y diferentes secciones de vía con el fin de seleccionar la opción que conduce a la preservación de los pavimentos cumpliendo con las políticas y costos establecidos. Se propondrá monitorear y evaluar el desempeño del contratista una vez implementado el sistema de gestión, los cuales se dedicarán a preparar una evaluación más detallada de las necesidades específicas de mantenimiento.

Garantizar un soporte de alto nivel

La integración de un SGAV en el marco institucional y en los procedimientos de toma de decisiones requiere el apoyo de funcionarios de alto nivel para no ser una herramienta independiente con poco impacto en la gestión vial. El apoyo no provee solo del sector vial, puede provenir de un ministerio. Para lograr dicho apoyo en Lima Metropolitana, se harán análisis de vía mostrando como estas evolucionan bajo diferentes escenarios presupuestarios, teniendo como primer escenario las prácticas actuales, el segundo, para un mantenimiento según políticas mínimo de las vías y luego con otros resultados con mayores asignaciones presupuestales, presentando la presupuestación basada en resultados, con el fin de conducir a mejores condiciones viales y posteriormente, mejorar el enfoque de asignación presupuestal.

Continuar con el apoyo al desarrollo.

La introducción y el desarrollo de un SGAV y su integración provechosa en los procedimientos de toma de decisiones toma entre 5 a 10 años incluso más. Es necesario proporcionar apoyo técnico y financiamiento durante ese periodo también coordinación para garantizar que los diferentes proyectos se complementen entre sí. Para garantizar un apoyo coordinado y continuo al desarrollo de SGAV, se requiere un apoyo gradual a través de una serie de proyectos consecutivos los cuales con anticipación aclaran su aporte como también sus logros y el cómo se basarán en los logros de los proyectos anteriores. Según experiencias CAREC, se requerirán al menos 3 proyectos consecutivos para llegar a incorporar un SGAV.

Pilotaje del SGAV y sensibilización sobre su potencial.

Fortalecimiento del SGAV y desarrollo de capacidades.

Incorporación del SGAV e integración en la toma de decisiones.

Para el caso de Lima Metropolitana, se pretende dividir estos sistemas de gestión por municipalidades y subdivisiones según la complejidad de vías. En cada caso, proponer mínimamente los 3 proyectos consecutivos mencionados por el CAREC.

Desarrollar la capacidad de ejecución de obras

Una vez implementado el SGAV resulta en un cambio en los mantenimientos y la rehabilitación, con mayor atención al mantenimiento periódico preventivo en condiciones buenas a regulares. Esto pretende el desarrollo de tecnologías y capacidades adecuadas por parte de la implementación (contratistas) para garantizar la calidad y eficiencia, se puede desarrollar a través de la capacitación y el apoyo a los contratistas. La introducción de arreglos de contratación alternativos, como la contratación basada en el desempeño, a menudo con contratos plurianuales, puede conducir a mejores resultados a un costo menor. Dichos contratos también se vinculan bien con un SGAV, y ambos se enfocan en el rendimiento. Los datos del sistema de gestión también se pueden usar para monitorear el desempeño del contratista.

Para Lima Metropolitana se propondrá que todo contratista demuestre su capacidad para mantenimientos especialmente periódicos y tener las herramientas necesarias como también introducir contratos basados en el desempeño.

De estas prácticas que se recomiendan por el CAREC, en la Figura 57 se presenta una propuesta de cómo se puede aplicar para Lima Metropolitana a modo de resumen.

	Consejos CAREC	Aplicación Lima Metropolitana
1	Limitar los datos a recopilar	Requisitos mínimos de datos en las vías urbanas: PCI
2	Base de datos fácil de usar	Iniciar con una base de datos en Excel donde contenga: inventario datos históricos del pavimento, así como información de las condiciones funcionales y estructurales con su correcta identificación.
3	Comenzar con un software simple	Iniciar con hojas de cálculo simples en Excel en lo referente a base de datos y políticas de conservación, según nuestro árbol de decisiones.
4	Institucionalizar desde el principio	Capacitar al personal encargado de los mantenimientos en los programas de gestión que se utilicen en el momento, también corroborar que el programa presupuestal para vías urbanas, análisis y gestión de datos para el mantenimiento se esté utilizando de manera acorde.
5	Publicar estadísticas de rendimiento anual	Se recomienda la publicación de datos de manera anual de los sectores evaluados para su seguimiento con el fin de utilizarlos para las decisiones de mantenimiento, tener una base de datos y realizar las estadísticas necesarias.
6	Integración en los procesos de toma de decisiones	Se propone establecer niveles de intervención de vías con tres escenarios: si no se hace mantenimiento, mantenimiento base y mantenimiento óptimo y con estos criterios priorizar el presupuesto y la elección de las vías a intervenir y a qué nivel llegan en los planes anuales de mantenimiento.
7	Proporcionar financiación suficiente y predecible	Al establecer y pretender conservar las vías urbanas, por lo menos, con un mantenimiento base, si los fondos no fueran suficientes, se optimizaría la asignación, sin garantizar que se logre una condición aceptable para toda la red vial, aun así, es un paso inicial importante.
8	Separar la gestión de la implementación	Enfocar el sistema de gestión en la fase de planificación y presupuestación, comparando posibles asignaciones presupuestarias para diferentes tipos de mantenimiento y diferentes secciones con el fin de seleccionar la opción que cumple con las políticas y costos establecidos.
9	Garantizar un soporte de alto nivel	Para lograr apoyo de instituciones de alto nivel, se hará un análisis de vía mostrando como evolucionan bajo diferentes escenarios presupuestarios como se detalló en el 6 con el fin de conducir a mejores condiciones viales y luego de su implementación, mejorar el enfoque de asignación presupuestal.
10	Continuar con el apoyo al desarrollo	Se pretende dividir estos sistemas de gestión por municipalidades y subdivisiones según la complejidad de vías. En cada caso, proponer mínimamente los 3 proyectos consecutivos mencionados por el CAREC: pilotaje, fortalecimiento e incorporación.
11	Desarrollar la capacidad de ejecución de obras	Se propondrá que todo contratista demuestre su capacidad para mantenimientos especialmente periódicos y tener las herramientas necesarias como también incluir contratos basados en el desempeño.

Figura 56. Consejos CAREC aplicados a Lima Metropolitana.
Fuente: Elaboración propia.

Sistemas de gestión vial en Estados Unidos

Sotil (2014) nos dice que en EEUU se encuentran en una transición en tema de gestión de pavimentos de condiciones “a” hacia “b” de la lista propuesta del ítem planificación del mantenimiento del sistema vial e inclusive algunas entidades están intentando dar el salto a métodos mecánicos-empíricos, o condición “c”, con la implementación en los EEUU de la nueva guía de diseño del AASHTO 2008. Mientras tanto, algunos investigadores norteamericanos y europeos, han diferido de los métodos mecánicos-empíricos y han preferido mantenerse en la ruta del diseño puramente mecánicos, basado en conceptos de viscoelasticidad para pavimentos flexibles y elementos finitos para pavimentos rígidos, pero aún se está lejos de llegar a métodos aplicables en la industria.

Carrillo (2020) En su Webinar especifica que la idea detrás de los sistemas de gestión de pavimentos es categorizar la condición de sus caminos y luego tomar decisiones sobre cómo mantenerlos en función a categorías, como, por ejemplo, PCI, del cual la escala original nos da 7 criterios de clasificación, pero pasándolo a una escala simple para las decisiones de mantenimiento, se pueden dividir en 3: aceptables, regulares y pobres.

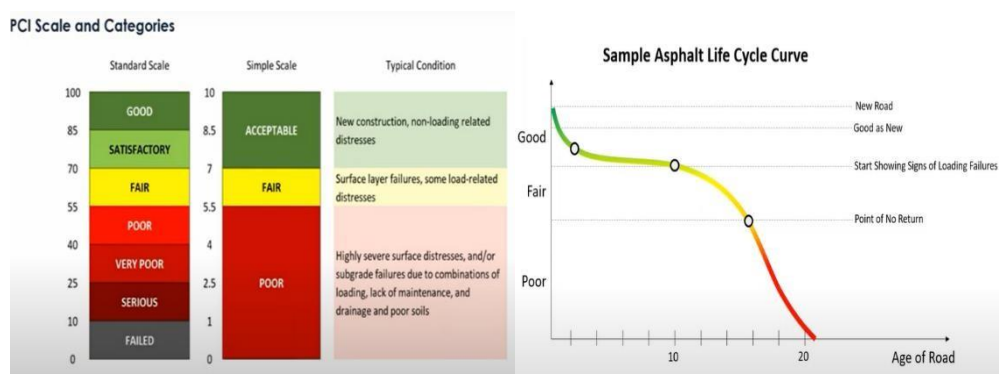


Figura 57. PCI escala, categorías y curva S.

Fuente: Carrillo (2020).

La experiencia sustentada en los puntos de inflexión de la curva S, nos muestra que el mejor momento para intervenir un pavimento es cuando este se encuentre en estado de bueno a regular.

5.2 Comparación de los sistemas de gestión de infraestructura vial

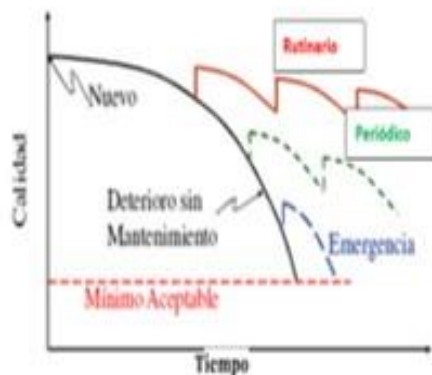
Tabla 14

Comparativa de los sistemas de gestión en países de Latinoamérica

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Fuente	Nieto (2012)	Barajas y Buitrago (2017)	Barajas y Buitrago (2017)	Solminiha et al. (2019)	N.T CE. 010 Pavimentos Urbanos (2010)	Plan de implementación del SGAV de la red vial nacional (2021)	Sotil (2014)	IOARR por MVCS (2020)
Inventario	<ul style="list-style-type: none"> -Características del tramo vial (longitud, ancho, número de carriles, perfil vial y de obras complementarias) -Parámetros superficiales y estructurales: funcionalidad, tipo de estructura de pavimento, superficie, espesores. -Drenaje -Seguridad vial y tránsito -Historial de intervenciones 	<ul style="list-style-type: none"> -Características del tramo vía (nombre de vía, tipo de vía, longitud, año de construcción). - Características geométricas de vía (velocidad específica, intensidad del tráfico, tiempos de reacción y percepción, máximas aceleraciones, coeficientes de rozamiento). -Tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> -Características del tramo vial (funcionalidad, tipo, longitud, carriles, sistema de drenaje y tráfico). -Recopilación de datos (geometría, estructura, funcionamiento, características del material que lo compone). -Datos históricos de mantenimientos 	<ul style="list-style-type: none"> -Inventario (jerarquía de la vía, características geométricas). -Condición de la red (estructura el pavimento) - Información del tráfico y el clima 	<ul style="list-style-type: none"> -Menciona que el inventario es un registro de las características básicas de cada sección vial 	<ul style="list-style-type: none"> -Referencia local y georreferencia (ruta, longitud, altimetría, entidades responsables, geometría, entre otros) -Señalización y accidentes -Tráfico (IMD, carga de vehículos pesados, entre otros) -Estructura de los pavimentos junto con los daños que presentan -Obras complementarias y obras especiales 	<ul style="list-style-type: none"> -Longitud de los caminos en la jurisdicción -Tipos de superficie de rodadura (flexible, rígidos, compuestos u otro). -Importancia de la vía en la jurisdicción (vía expresa, arterial, colectora, local u otra). -Cantidad de tráfico mediante el IMDA por vía 	<ul style="list-style-type: none"> -Característica del tramo vial: tipo (local, expresa, arterial, colectora), nombre, longitud, ancho promedio, área total de la sección vial en m² con o sin pavimento. -Servicios básicos instalados -Identificación y análisis de la unidad productora (UP).

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Inspección del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> -Regularidad superficial: longitudinal (IRI), transversal (reglas fijas o perfilógrafo laser) -Resistencia al deslizamiento (zapata deslizante, medida tipo Grip, medida transversal SCRIM) y textura (círculo de arena o texturómetro laser) -Daños superficiales (inspección visual con cuadrillas y toma de imágenes) -Condición estructural mediante métodos no destructivos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Inspección funcional o daños superficiales (rugosidad, índice de condición). -Inspección estructural (deflexiones: deformaciones de la vía por causa del tránsito, debe quedar explícito todo factor de deformación) -Toma como referencia los manuales de inspección visual de INVIAS para los pavimentos rígidos y flexibles para el soporte visual 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene como soporte visual las normas 062/2004-pro y 008/2003-pro del Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte de Brasil (DNIT) para pavimentos rígidos y flexibles. 	<ul style="list-style-type: none"> -Grietas de fatiga (GF) -Grietas transversales y de reflexión (GTR) -Parches deteriorados (PD) -Ahuellamiento (A) -Baches (B) -IRI -Grietas longitudinales (GL) -Grietas transversales (GT) -Escalonamiento (E) -Grietas de esquina y oblicuas (GEO) -Sellos dañados (SD) 	<ul style="list-style-type: none"> -Menciona que la inspección de pavimento consiste en la auscultación y medición de su condición. 	<ul style="list-style-type: none"> -Puntos críticos de los pavimentos. -Daños en pavimentos flexibles, daños en pavimentos rígidos, daños en pavimentos básicos. -Deflexiones. -Índice de rugosidad internacional IRI, textura, ahuellamiento, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relevamiento visual de daños y subsecuente cálculo del PCI. -Rugosidad, IRI. -Fricción, IFI -Capacidad estructural del pavimento con ensayos no destructivos. -Condición estructural vía ensayos destructivos (calicatas, ensayos de materiales). 	<ul style="list-style-type: none"> - Características técnicas como antigüedad, nivel de operatividad, tipo de pavimentos, plano de ubicación, tipo de falla - Inspección visual para fallas funcionales. - Inspección visual y ensayos destructivos y no destructivos para fallas estructurales.

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Evaluación superficial del pavimento	-Con evaluación PCI junto con umbrales de intervención.	-Con evaluación PCI asignando un color que representa el estado del pavimento, directamente asignado a una acción de mantenimiento.	-Con evaluación PCI y según clasificación se escoge una acción a ejecutar asignando una sigla que represente la estrategia. - Se realiza una evaluación del área afectada, para saber el porcentaje de afectación y la necesidad de intervención.	-Con el Índice de Condición de Pavimentos Urbanos (ICPU) que muestra la forma funcional de la condición del pavimento.	-Mediante método aprobado por la entidad corresponde.	-Evaluación del área afectada (% de afectación y necesidad de intervención) - PCI para tipificar y cuantificar daños -Propuesta de un equipo multifuncional (MFV) con el fin de evaluar daños del pavimento.	-Con evaluación PCI asociado a los mantenimientos de la Norma Técnica CE. 0.10 pavimentos urbanos que a su vez están concomitantes a una acción con excepción de la condición regular puesto que es contraproducente.	-Se determina el porcentaje de deterioro de la vía según tipo de falla, estado del mobiliario urbano y el incremento de la capacidad de producción (Detallado en 5.1.1 Sistema de gestión de infraestructura vial actual en el Perú). Los valores deberán encontrarse dentro de un rango, fuera de ese rango se interviene como proyecto de inversión.



País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú																											
Escala de intervención según evaluación superficial del pavimento	-No intervenir	-Intervalos de PCI con clasificación de actividades por colores	-Clasificación del estado de la vía enlazado a una acción designada	-ICPU para asfalto y hormigón, incluye los factores nombrados en la evaluación y coeficientes de calibración (detallado en 5.1.2.4 Sistema de gestión vial de Chile)	-Mantenimiento rutinario. -Mantenimiento recurrente. -Mantenimiento periódico. -Mantenimiento urgente. -Rehabilitación.	-Conservación: mantenimiento rutinarios y periódicos -Eventos como emergencias viales o accidentes	-(Detallado en 5.1.1 Sistema de gestión de infraestructura vial actual en el Perú)	Proporciona parámetros según fallas y capacidad estructural: -Rehabilitación -Reposición -Ampliación marginal del servicio -Optimización.																											
	-Mantenimiento rutinario y periódico																																		
	-Acción diferida																																		
	-Rehabilitación																																		
-Reconstrucción																																			
-Umbrales de alerta y de intervención óptima (mínimo tolerable y alto nivel de servicio. (detallado en 5.1.2.2 Sistema de gestión vial de Colombia)																																			
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> <th>SIGLA</th> <th>ACCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>86-100</td> <td>Excelente</td> <td>1A</td> <td>NO HACER NADA</td> </tr> <tr> <td>71-85</td> <td>Muy bueno</td> <td>A</td> <td>MANT. RUTINA</td> </tr> <tr> <td>56-70</td> <td>Bueno</td> <td>B</td> <td>MANT. PREVENTIVO</td> </tr> <tr> <td>41-55</td> <td>Regular</td> <td>C</td> <td>ACCION DE EMERGENCIA</td> </tr> <tr> <td>26-40</td> <td>Malo</td> <td>D</td> <td>REHABILITACION</td> </tr> <tr> <td>0-25</td> <td>Muy malo</td> <td>E</td> <td>RECONSTRUCCION</td> </tr> </tbody> </table>	RANGO	CLASIFICACIÓN	SIGLA	ACCIÓN	86-100	Excelente	1A	NO HACER NADA	71-85	Muy bueno	A	MANT. RUTINA	56-70	Bueno	B	MANT. PREVENTIVO	41-55	Regular	C	ACCION DE EMERGENCIA	26-40	Malo	D	REHABILITACION	0-25	Muy malo	E	RECONSTRUCCION					
RANGO	CLASIFICACIÓN	SIGLA	ACCIÓN																																
86-100	Excelente	1A	NO HACER NADA																																
71-85	Muy bueno	A	MANT. RUTINA																																
56-70	Bueno	B	MANT. PREVENTIVO																																
41-55	Regular	C	ACCION DE EMERGENCIA																																
26-40	Malo	D	REHABILITACION																																
0-25	Muy malo	E	RECONSTRUCCION																																

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Modelo de gestión de pavimentos	Mediante modelo HDM4, calibrado y ajustado a condiciones locales.	Mediante modelo HDM4	Mediante modelo Tavakoli	Mediante modelo de comportamiento SGPUC en base al índice ICPU que incluye modelos markovianos.	n/p	Mediante modelo HDM4	-Para la condición a, métodos estocásticos. -Para la condición b, modelos markovianos. -Para la condición c, las curvas maestras del PCI.	Modelo IOARR
Dirección del tipo de modelo	Modelo direccionado por el Banco Mundial, calibrado empleando el método de curvas de deterioro.	Modelo direccionado por el Banco Mundial.	Empírico	-Modelo SGPUC -Modelos de deterioro probabilístico. -Modelos decisionales de optimización y priorización con capacidad analítica en SIG.	n/p	-PCI, NT CE. 0.10 pavimentos urbanos -Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras por el MTC.	- Modelos estocásticos -Modelos probabilístico -Modelos calibrados	Empírico

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Actualización de inventario y monitoreo	<p>-La periodicidad y actualización de la información cada cinco años con planes de mantenimiento anuales.</p> <p>-Pavimentos recientemente construidos o rehabilitados cada dos años conveniente, estructuras</p> <p>-Pavimentos con intervenciones superficiales, seguimientos menores que un año, así mismo para estructuras que lleven un periodo prolongado de haber sido construidas o rehabilitadas.</p>	Anual, respecto a vías ya intervenidas.	Cada 5 años, sobre el total de vías de la malla vial,	Anual	Se planean programas anuales, incluyendo la previsión de los recursos y el presupuesto necesarios.	<p>-Prioridad inventarios de los corredores con data más antigua luego inventario total de la red vial.</p> <p>-Actualización anual de inventario y auscultación de pavimentos.</p> <p>-Actualizar cada 3 años el 100% la red vial</p> <p>-Se considerado cada 5 años efectuar reajustes y balances necesarios, se hace un seguimiento físico como financiero dende se evalúa las metas conseguidas y la calibración de modelos de deterioro.</p>	<p>-Realizados los trabajos de mantenimiento, se efectúa una nueva medición.</p> <p>-Para sectores críticos, de PCI entre 70 - 25, monitoreo 2 veces al año (una antes del invierno y después del mismo).</p> <p>-Para pavimentos muy pobres o colapsados, monitoreo 1 vez cada 2 años.</p> <p>- Para pavimentos en condiciones muy buenas y excelentes, monitoreo de forma anual.</p>	n/p

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Políticas de gestión según criterios de priorización	-Los elementos económicos, sociales y ambientales, son los que aportan mayor peso en la toma de decisión al estar asociados a los costos de usuarios: tiempos de viajes, congestión, tiempos de espera, entre otros.	-La priorización de las vías se realiza respecto a resultados PCI y parámetros. -Espacios públicos: Consideran la demanda de movilidad que reciben las vías sabiendo que a mayor demanda más necesidad de tener la vía en condición excelente. -Importancia de las vías para situaciones de emergencia.	Se soporta el cálculo del PCI con un índice de prioridades (PI) de manera cuantitativa con el fin de detectar las vías en estado más crítico para intervenir. Los parámetros son: Índice de Condición del Pavimento (PCI), factor de tráfico (TF), factor de clasificación funcional (FC), factor de ruta (TR) y factor de mantenimiento (MF). Los cuales se encuentran sustentados en el punto 5.1.2.2	-Criterios socio-políticos: cercanía a infraestructura pública, percepción social, infraestructura crítica, población beneficiada, presencia de vías alternas y selección discrecional (FPSP). -Puntuación técnica-económica-ambiental: se cuantifica a partir del incremento en la condición del pavimento en términos ICPU ponderando con la longitud y el tránsito.	-Se decide el orden de prelación en función de recursos limitados. -No profundiza en la planificación, sustentación y toma de decisiones. -La experiencia demuestra que se priorizan vías con PCI muy pobre y colapsadas. -Decisiones sociopolíticas más que análisis técnico-económico.	-Se establecen políticas de conservación diferenciadas de acuerdo con la clasificación de las vías, criterios de priorización y presupuesto asignado, determinando parámetros técnicos y económicos para el análisis a nivel de red.	-Mantenimiento de pavimentos en estado bueno, muy bueno y excelente. -La toma de decisiones sobre cuáles avenidas y calles mantener son según los conceptos de preservación (PCI alto) y cuáles secciones reparar y reconstruir y también cuáles vías requerirían pavimentación, así como la estimación de recursos.	-Se realiza a través del porcentaje de intervención del IOARR -Se requiere analizar el porcentaje basado en el deterioro de la vía según fallas (funcionales y/o estructurales), cuyos resultados permiten identificar lo que se va a intervenir.

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Fórmulas de priorización	-Referente a parámetros técnicos. Condición superficial mediante PCI y estructural con el índice estructural (Ie). $Ie = \frac{\text{Número estructural efectivo (SNe fec)}}{\text{Número estructural requerido (SN req)}}$	n/p	$PI = \frac{1}{PCI} X TF X FC X TR X MF$	-Fórmulas FPSP y FPTE (detallado en 5.1.2.4 Sistema de gestión vial de Chile)	n/p	n/p	n/p	-% de deterioro de la vía según tipo de falla -Valor de la dimensión física de la UP (%). -Incremento de la capacidad de producción (%)

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Madurez modelos de deterioro	b - c	b	b	b - c	0 - a	a - b	a - b	a

Madurez modelos de deterioro	Criterios evaluados
0	Mantenimientos realizados en su mayoría por decisiones sociopolíticas.
a	Punto de partida de análisis técnico-económico con condiciones de deterioro desconocidos para la localidad.
b	Cuenta con base de datos a la cual se puede aplicar métodos empíricos de predicción de modelos de deterioro.
c	Cuenta con información de campo y laboratorio, se puede aplicar métodos mecanísticos-empíricos calibrados para condiciones locales.
d	Para los mantenimientos se aplican decisiones puramente mecanísticas basados por ejemplo en conceptos de viscoelasticidad para pavimentos flexibles y elementos finitos para pavimentos rígidos.

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Criterios de selección recursos económicos	<p>-Los indicadores de gestión controlan los recursos económicos que apoyados las curvas de deterioro logran un punto de equilibrio en el cual la inversión es la óptima teniendo en cuenta los actores que intervienen en el análisis: la agencia vial y los usuarios, buscando minimizar los costos asociados a estos:</p> <p><i>costos de la sociedad</i> = <i>costos de usuarios</i> + <i>costos de la agencia</i></p> <p>-Tasa interna de retorno (TIR). -Evaluación de la relación costo – beneficio y la disponibilidad de recursos.</p>	n/p	n/p	<p>-Con la estimación del presupuesto para cumplir con los objetivos estratégicos de mantenimiento surgen 2 escenarios: -Cuando el presupuesto es insuficiente y se debe hacer un ajuste presupuestal. -Cuando el presupuesto es suficiente y se inicia la priorización. -Se definen 3 estándares de deterioro (base, óptimo y subóptimo) y se realiza una evaluación técnico - económica para comparar las alternativas en términos monetarios (costo-efectividad).</p> $CE_{unitaria} = \frac{ABC}{VAN_{costo}}$ <p>Donde la efectividad de las acciones de conservación es representada por ABC.</p>	<p>-Estimación de recursos según planeamiento de programa anual.</p>	<p>-En el marco de la Ley N° 31084, Ley de Presupuesto del Sector Público para el año fiscal 2021 se asignó recursos para el MTC hasta por la suma de S/ 15'000,000.00 por la fuente de financiamiento Recursos Ordinarios, destinados, exclusivamente al financiamiento de la implementación de un Sistema de Gestión de Activos de la Red Vial Nacional.</p>	<p>-Cada jurisdicción determina sus costos unitarios por m2 de pavimento clasificándolo según gráfica evolución del PCI vs. tiempo vs. gastos de intervención por m2.</p>	<p>-Sujeto al tamaño y tipo de intervención, incluye costos de los activos (infraestructura, mobiliario urbano), gastos generales, IGV y utilidad según modalidad de ejecución, así como también costo de expediente técnico, de supervisión y de liquidación.</p>

País	Colombia	Colombia	Brasil	Chile	Perú	Perú	Perú	Perú
Otras recomendaciones	<p>-Indica que son diferentes los sistemas urbanos e interurbanos en cuatro aspectos fundamentales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estructura organizacional (urbano: vías, ciclovías, señales de tránsito, redes de servicio y espacios públicos). - Impacto sobre los habitantes que se ven afectados por las intervenciones. - Parámetros de relevancia (red urbana: disminución de tiempos de viaje, calidad del aire y tiempos de espera en los semáforos). - Limitaciones de intervención (drenajes, accesos a predios y elementos de servicios públicos). 	n/p	n/p	<p>-Refiere no utilizar un sistema de gestión basado en sistemas interurbanos debido a las características del sistema de actividades, del sistema de transporte y el patrón de flujo. En zonas urbanas, esto se manifiesta en las solicitudes de carga sobre el pavimento, la concentración de elementos de infraestructura urbana que coexisten en un espacio reducido y los impactos sobre el sistema de actividades, patrón de flujos y usuarios del espacio vial urbano.</p>	n/p	<p>-Los lineamientos de este plan corresponden a un sistema de gestión de activos viales enfocado en las vías interurbanas del país por ello solo sirven como referencia en la forma de gestión que está implementando el estado peruano.</p>	<p>-El sistema de gestión de pavimentos tiene como base teórica los conceptos de las especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras del MTC y desarrolla los conceptos presentados en la NT CE. 010 pavimentos urbanos.</p>	n/p

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Presentación de resultados

Análisis lógico de la exploración y comparación de los sistemas de gestión de pavimentos urbanos para la aplicación a Lima Metropolitana

Basándonos en el protocolo AMAAC PA-MA 01/2013 propuesto por el sistema de gestión vial de México (véase capítulo 5.1.2.3) donde se identifican prácticas de gestión con diferentes niveles de madurez: básico, intermedio o avanzado, proponemos para la preservación de las vías urbanas de Lima Metropolitana un nivel de madurez intermedio (Tabla 15) respecto a la gestión del patrimonio vial.

Tabla 15

Propuesta de SGPU para Lima Metropolitana según protocolo AMAAC

Nivel de madurez	Concepto			
	Inventario	Herramientas	Programas	Estrategia o política de gestión
Intermedio	-Se han definido procedimientos para la actualización de la información. -Los datos están almacenados centralmente y comprenden información de los principales activos.	-Existen herramientas de análisis para pavimentos y otros activos que se aplican sistemáticamente para la obtención de los programas. -No todas las herramientas han sido calibradas.	-Los programas se basan en análisis del ciclo de vida de los activos más importante y consideran el algún caso riesgos y periodicidades anuales y plurianuales.	-Se han definido objetivo de desempeño para la infraestructura vial, alineados con las políticas nacionales o locales de transporte, así como planes para el logro de esos objetivos en plazos y con recursos determinados.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 veremos: En el inventario el detalle de los ítems que comprende el mismo y el historial de intervenciones que deberá tener para la creación de una base de datos histórica. En las herramientas, lo referente a la inspección de fallas, la escala y umbrales de intervención para la preservación. En el programa, el cómo, cuándo y de qué vías actualizar la información de su estado. En la estrategia o política de gestión, el cómo priorizar las vías según estado de las mismas, decisiones de la agencia vial y presupuesto.

Tabla 16

Aplicabilidad de la propuesta de SGPU para Lima Metropolitana

Concepto				
Nivel de madurez	Inventario	Herramientas	Programa	Estrategia o políticas de gestión
Aplicabilidad para la preservación de las vías de Lima Metropolitana	<p>El inventario comprende:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Características básicas del tramo vial (nombre distintivo de vía, longitud, ancho) georreferenciada. -Tipo de vía (local, expresa, arterial o colectora) y tráfico. -Tipo de superficie de rodadura y estado de las mismas. -Obras complementarias (drenaje, coexistencia de redes, ciclovías, puentes, pasos peatonales, otros) y estado de los mismas -Historial de intervenciones donde se actualiza el inventario con las nuevas condiciones de las vías intervenidas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Inspección visual para determinar fallas funcionales y estructurales tomando como referencia el IOARR (véase Figura 33) y con escala de intervención según intervalos del PCI ASTM-11 asociado a acciones a ejecutar y umbrales de intervención. -La escala de intervención (85-100) para pavimentos valoración buena será no hacer nada. -Los umbrales de intervención base y óptimo para la preservación estarán entre el rango (85-55) para pavimentos de valoración satisfactoria y justa y el orden de prioridad será dada por la agencia vial según criterios de costos de usuarios y congestión vehicular. -La escala de intervención (55-0) para pavimentos valoración pobre, muy pobre y serio tendrá evaluación estructural destructiva y no destructiva asociada a acciones de rehabilitación y reconstrucción. El orden de prioridad será dado por la agencia vial según criterios de demanda de movilidad de vías, importancia de vías para acciones de emergencia, percepción social, seguridad vial y población beneficiada. 	<ul style="list-style-type: none"> -La actualización de información de las vías intervenidas es una vez terminada la intervención. -La actualización de la información de las vías no intervenidas del total de la malla vial son cada cuatro años con planes de mantenimiento anuales asociados a la política de conservación de la agencia vial. -Se recomienda hacer la inspección de cuatro años dividiendo la malla o zona en cuadrantes, un primer cuadrante se inspecciona en el año uno y el último en el año cuatro. -La actualización de la información de las vías que lleven un periodo prolongado de haber sido construidas o rehabilitadas debe ser anual, así como para las vías locales y expresas que sufren carga pesada y más tráfico. 	<ul style="list-style-type: none"> -La priorización de las vías se realiza según los resultados del PCI donde los mayores esfuerzos son enfocados en el rango (85-55) pues ahí es el momento óptimo de intervención para los usuarios y la agencia vial (Detallado en Figura 41 y Figura 42 y la curva S del PCI). - Mínimamente el presupuesto deberá alcanzar un estado base de las vías urbanas, se presentará para cada vía seleccionada para intervenir su estado subbase, base y óptimo para que la agencia vial tome sus decisiones de mantenimiento y preservación. -Si los fondos no fueran suficientes, se optimizará la asignación sin garantizar que se logre una condición aceptable para toda la red vial, aun así, es un paso inicial importante donde los elementos económicos, sociales y ambientales, son los que aportan mayor peso en la toma de decisiones.

Fuente: Elaboración propia.

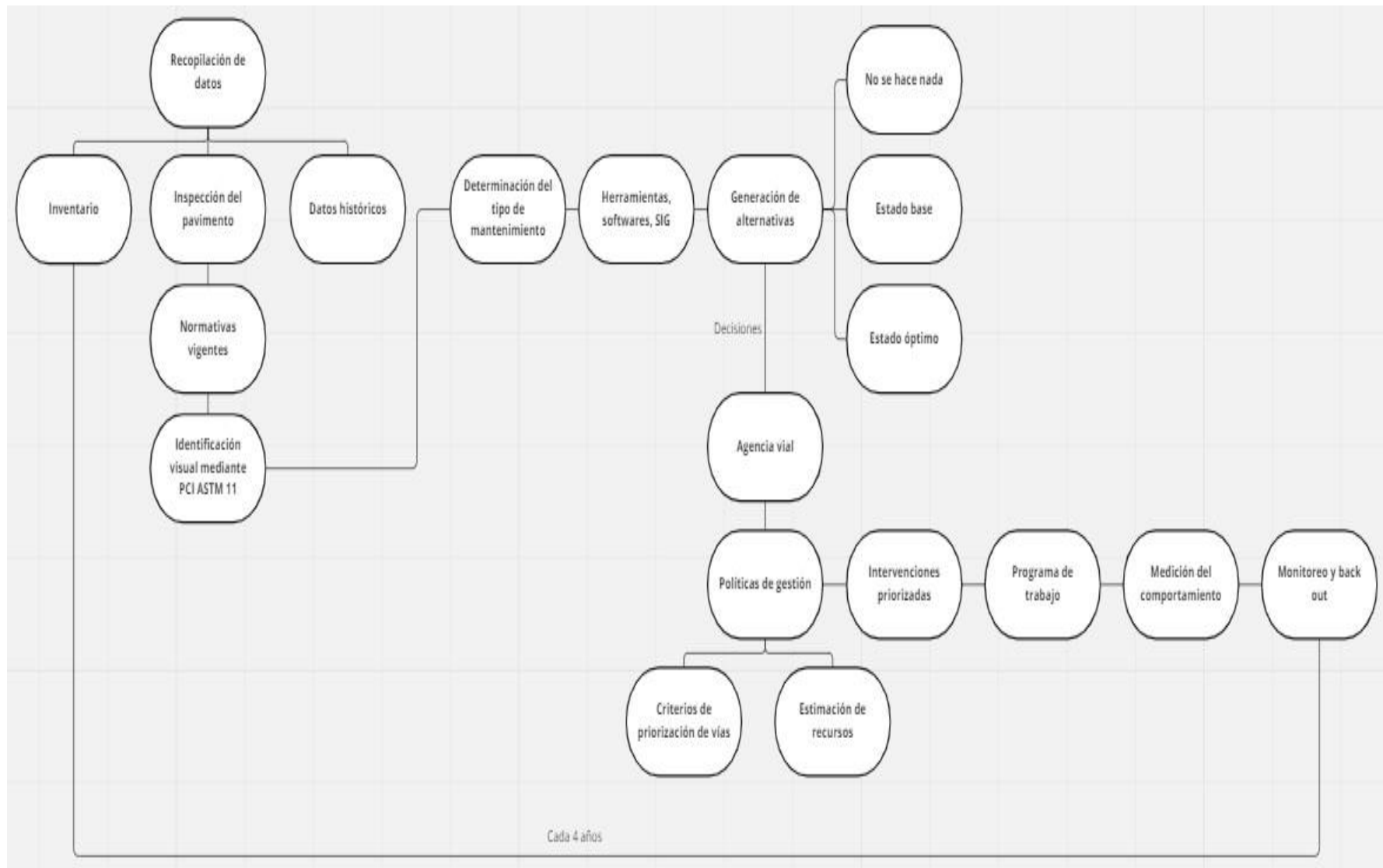


Figura 58. Árbol del SGPU propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Para el inventario, vimos que es necesario para cada vía un nombre distintivo, diferenciar que tipo de vía es (local, expresa, arterial o colectora) pues de eso depende sus solicitaciones de carga y su tráfico y como subsecuencia, la periodicidad de sus intervenciones. También de las experiencias de Chile, Nieto (2012) para Colombia y el IOARR podemos afirmar que es necesario tener identificadas la coexistencia de obras complementarias que tiene la vía como las redes de agua, drenaje, gas, entre otros pues involucran un estudio más detallado y para empezar a tener una base de datos histórica se debe tener el historial de intervenciones detallado.

Para tener calibradas las herramientas a las condiciones locales, tomamos como referencia los criterios de inspección visual del IOARR para determinar fallas funcionales y estructurales con su posterior clasificación. En lo referente a la evaluación superficial del pavimento, nos basamos en el método PCI ASTM-11 altamente estudiado y efectivo. Para la escala y umbrales de intervención, como nos estamos enfocando en la preservación. Las experiencias de Nieto (2012) en Colombia, Sotil (2014) en Perú y la curva S del PCI en E.E.U.U. muestra que el momento óptimo de intervención es cuando el pavimento se encuentra en un estado satisfactorio o justo, criterio que conviene a los factores involucrados: la agencia vial y el usuario, explicado en las siguientes gráficas de la Figura 60.

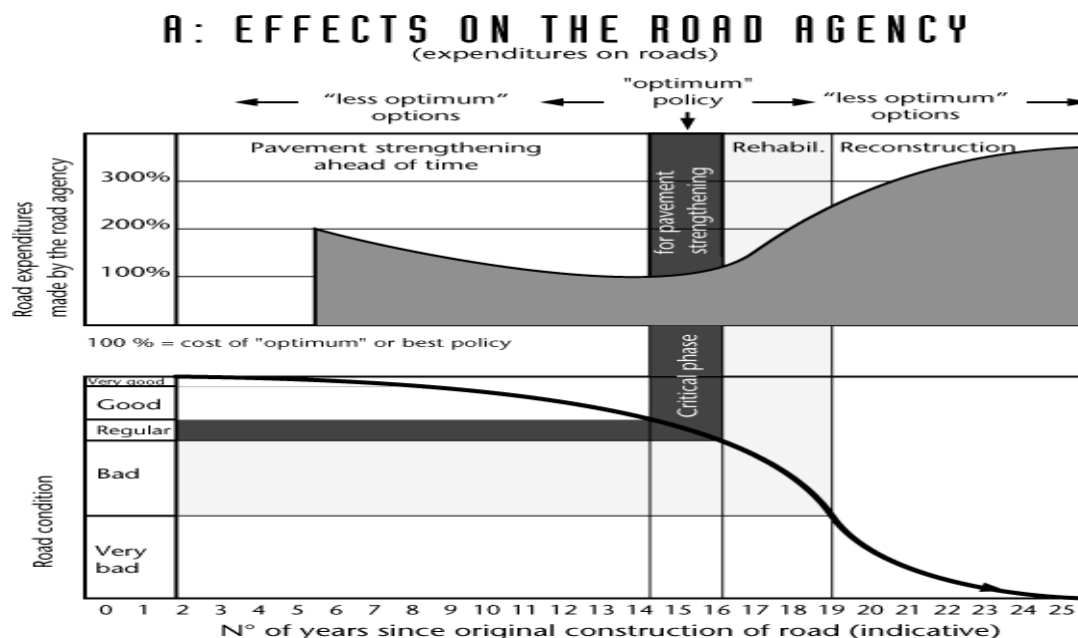


Figura 59. Momento óptimo de intervención para preservar los pavimentos.

Fuente: Nieto (2012, p.26-27).

Un segundo sustento para proponer el mantenimiento prioritario de estas vías, es la siguiente curva adaptada del libro de Solminihac et al. Donde se presentó un gráfico que representa la forma general en que se deterioran los pavimentos, en él se puede observar que en los primeros años el deterioro es lento y solo necesita restauración; sin embargo, existe un umbral en el cual el deterioro es acelerado hasta llegar al término de la vida útil de la vía.

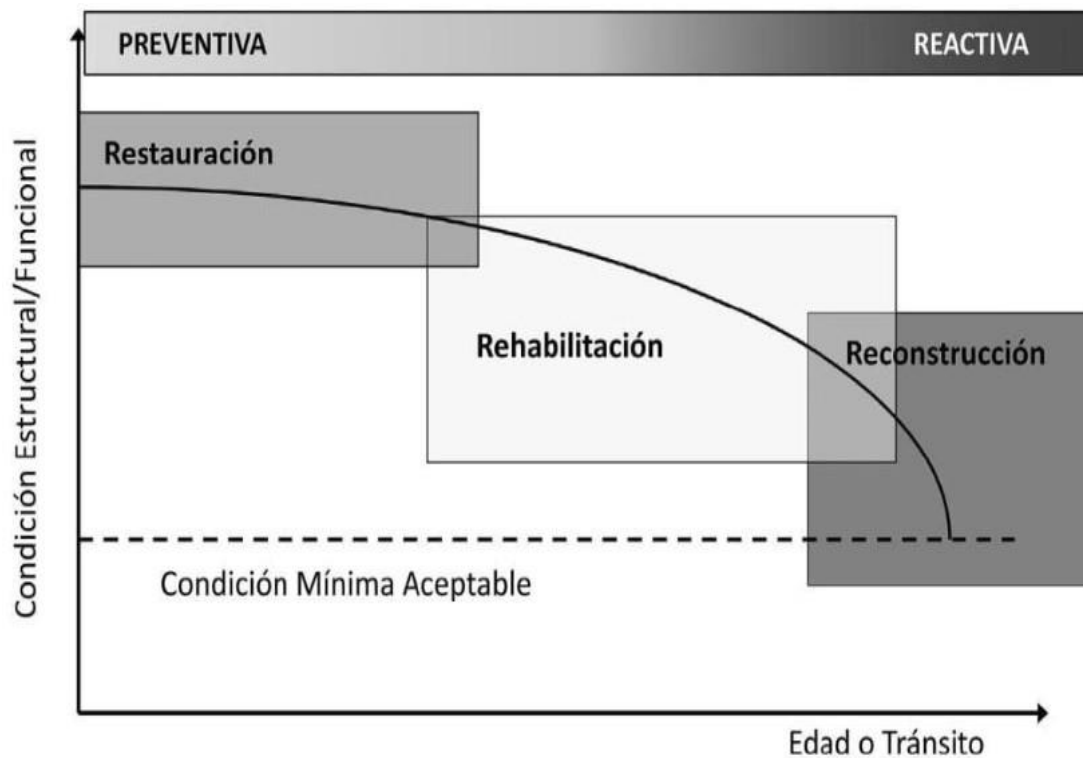


Figura 60. Esquema de deterioro de un pavimento a través del tiempo.
Fuente: Martínez (2015, p.5).

En el programa, basándonos en el tiempo de gestión municipal de cuatro años, es que se decide realizar la actualización de la malla vial para ese tiempo y para que ésta sea ordenada, se recomienda dividirla por cuadrantes que deben ser inspeccionados de forma anual. Para que los datos estén actualizados es que se propone una vez terminada las intervenciones en las vías, volver a realizar un inventario con las nuevas características de esa sección. Basándonos en las recomendaciones internacionales es que mayor prioridad de inspección tienen las vías que reciben mayor carga y tráfico (locales y expresas) como también las vías en estado muy pobre, serio o justo pues son las que se deterioran de manera más acelerada. Las vías en estado satisfactorio y justo son las que tiene prioridad de intervenir para mantener

una política de gestión de preservación con umbrales de intervención cuando el PCI esté en los valores límites (85 y 55), siendo el PCI 55 el umbral mínimo para mantener un estado base de nivel de madurez intermedio de gestión.

Referente a la política de gestión, se sabe por lo estudiado que las decisiones de prioridad de mantenimiento lo brindan las agencias viales en base al presupuesto asignado, la realidad nacional es que los fondos no son suficientes. Aun así, se recomienda mantener las vías en un estado mínimamente base para su preservación priorizando este presupuesto con el fundamento de los beneficios que trae el mantener la vía en este estado. Hasta que no ocurra, se optimizará la asignación sin garantizar que se logre una condición aceptable para toda la red vial, aun así, es un paso inicial.

Para los pavimentos valoración pobre, muy pobre y serio tendrá evaluación estructural destructiva y no destructiva asociados a acciones de rehabilitación y reconstrucción y el orden de prioridad será dada por criterios de demanda de movilidad de vías, importancia de vías para acciones de emergencia, percepción social, seguridad vial y población beneficiada, criterios que son los recomendados para las vías urbanas.

Otras recomendaciones a tomar en cuenta es que la gestión de pavimentos en redes viales urbanas difiere de las rurales debido a las características del sistema de actividades, del sistema de transporte y el patrón de flujo en zonas urbanas, manifestado en las solicitudes de carga sobre el pavimento, la concentración de elementos de infraestructura urbana que coexisten en un espacio reducido y los impactos sobre el sistema de actividades, patrón de flujos y usuarios del espacio vial urbano. En el caso de intervenciones en vías urbanas el entorno en el cual se ejecutan corresponde a zonas densamente habitadas, con influencia de comercio, zonas dotacionales, peatones, ciclo usuarios y diferentes actores que se ven afectados de alguna u otra manera por las intervenciones, no solo de las obras sino también del paso de vehículos por zonas donde antes no pasaban, reducción en la movilidad (velocidad de operación, tiempos de desplazamiento entre otros) y problemas ambientales como ruido y polución.

Propuesta de sistema de gestión vial para preservar los pavimentos urbanos de Lima Metropolitana

Luego de la exploración y la comparativa los diferentes sistemas de gestión vial tanto de América Latina como otras partes del mundo, se lista los componentes del Sistema de Gestión Vial para preservar los Pavimentos Urbanos (SGVPPU) que serán usados para Lima Metropolitana.

1) Inventario vial

Se propone verificar en campo la composición de la vía, diseño geométrico, función de diseño, pavimento de construcción y tráfico presente en la vía. El Sistema de Gestión Vial de Bogotá – Colombia, realiza actualizaciones anuales de las vías intervenidas y cada 5 años del total de la malla vial urbana para generar un "banco de datos". Lo cual en la propuesta se tomará dicha consideración, pero con un periodo de 4 años para la malla vial porque es el tiempo de gestión municipal. En la Tabla 17, se propone realizar el inventario vial de pavimentos urbanos con los siguientes componentes que integran los sistemas estudiados.

Tabla 17

Inventario del SGVPPU

Inventario del SGVPPU	
Características básicas del tramo vial (georrefenciado)	- Nombre de la vía, longitud, ancho - Anexar fotografías y video
Tipo de la vía	- Expresa, arterial, colectora, local
Importancia de vía	- Residencial, comercio o servicios
Características de tráfico	- Velocidad específica de vehículos - Índice medio diario anual (IMD)
Tipo de superficie de la vía	- P. flexible, rígido, mixto o adoquín
Año de construcción de la vía y/o dato histórico	- Año de operación y/o fechas de mantenimiento
Obras complementarias	- Drenaje, coexistencia de redes (agua, luz, teléfono, gas, etc.), ciclovías, puentes, paso peatonal, etc.
Visualización previa de fallas	- Describir fallas - Anexar fotografías y video - PCI

Fuente: Elaboración propia.

2) Criterios de priorización

Se propone estudiar 2 clases de modelos, el primero Tavakoli corroborará el segundo que son umbrales de intervención según PCI, el cual llega a tener más peso por ser el modelo más estudiado encontrado en la exploración.

a) Modelo de priorización de Tavakoli

Se propone usar el criterio empírico usado por el Sistema de Gestión de Pavimentos de Sao Paulo, Brasil, basado en el modelo de priorización de Tavakoli, en la cual se realiza por medio de un índice de prioridades, siendo de manera cuantitativa nos dará claridad de cual vía o sección de vía es totalmente urgente intervenir, ya que en este análisis cuantitativo representado por una ecuación evalúa factores determinantes como lo son: índice de condición del pavimento, factor del tráfico, factor de la clasificación funcional, factor de ruta y factor de mantenimiento.

El índice de prioridad es calculado con la ayuda de la ecuación:

Ecuación 12:

$$PI = \frac{1}{PCI} \times TF \times FC \times TR \times MF$$

Dónde:

PI = el índice de prioridad

PCI = Índice de condición del pavimento

TF = factor de tráfico

FC = factor de clasificación funcional

TR = factor de ruta

MF = factor de mantenimiento

Nota: Para el factor ruta (TR), si la importancia de la vía es de comercio y/o servicio el factor TR, es igual a 1.1, para el factor mantenimiento (FM), se usa el rango de 0 para poco o ningún costo de mantenimiento a 5 para altos costos de mantenimiento.

Factor	Datos
PCI	PCI=100-total de puntos de defecto
TF	Tráfico Diario Medio (TDM) TDM = 0-99 TF= 10; TDM =100-499 TF= 20; TDM =500-999 TF= 30; TDM =1000-1999 TF= 40; TDM =2000-4999 TF= 50; TDM ≥ 5000 TF= 100;
FC	Arterial = 1,2 Colectora =1,1 Local = 1,0
TR	Tráfico= 1,0 Escolar=1,1
MF	$MF = \frac{1 + \text{índice de mantenimiento}}{10}$

Figura 61. Factores para el índice de prioridades.

Fuente: Gueller (2012).

b) Evaluación de fallas en el pavimento

Para desarrollar la evaluación, se toman las 19 fallas propuestas por el PCI y se usará el IOARR del MVCS solo para la clasificación de dichas fallas entre funcional y estructural, y de tal forma también se irá evaluando la credibilidad del método propuesto por el MVCS.

FALLA N°	TIPO - NOMBRE	UNIDAD
1	GRIETA PIEL DE COCODRILO	m^2
2	EXUDACIÓN DE ASFALTO	m^2
3	GRIETAS DE CONTRACCIÓN (BLOQUE)	m^2
4	ELEVACIONES-HUNDIMIENTO	m
5	CORRUGACIONES	m^2
6	DEPRESIONES	m^2
7	GRIETAS DE BORDE	m
8	GRIETAS DE REFLEXIÓN DE JUNTAS	m
9	DESNIVEL CALZADA-HOMBRILLO	m
10	GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	m
11	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	m^2
12	AGREGADOS PULIDOS	m^2
13	HUECOS	Nº
14	CRUECE DE RIELES ^(*)	m^2
15	AHUELLAMIENTO	m^2
16	DEFORMACIÓN POR EMPUJE	m^2
17	GRIETAS DESLIZAMIENTO	m^2
18	HINCHAMIENTO	m^2
19	DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN	m^2

Figura 62. Fallas consideradas por el método PCI.

Fuente: Cuerpo de Ingenieros de la Armada de E.U.A. (1978).

Para continuar con la aplicación del PCI se procede a clasificar por su severidad, estas pueden ser baja (L), media (M) y alta (H) el criterio de evaluación varía según el tipo de falla en análisis.

3) Herramientas

Software de uso – Microsoft Excel

Se usa el software Excel en el SGVPPU lo cual permite recabar datos y almacenarlos de una forma sencilla y practica de tal forma que, si se manejan de una manera adecuada, ordena y limpia incrementa la productividad en el tratamiento de los datos con funciones como los filtros, la búsqueda, etc. Es ampliamente utilizado en el reporte de datos para facilitar información de utilidad para la toma de decisiones. Teniendo presente la recomendación que hace los países asiáticos miembros del CAREC, donde tienen por objetivo inicial optimizar los beneficios económicos minimizando los costos de mantenimiento y los costos de los usuarios de la vía. Brindan 11 prácticas indispensables, de los cuales una de ellas es comenzar con un software sencillo, simple y económico para apoyar la sostenibilidad en el desarrollo del sistema de gestión vial lo cual gradualmente se irán viendo y probando nuevas herramientas a medida que aumenten las necesidades, para Lima Metropolitana se propone usar el software Microsoft Excel e iniciar con hojas de cálculo simples en lo referente a base de datos con un orden que sea de entendimiento entre los profesionales capacitados para dicha tarea.

Tramificación y sectorización

Para desarrollar la sectorización y tramificación, para la toma de muestras se usará lo recomendado en el PCI, en lo cual se subdividirá la vía en tramos y para la priorización en sectores este procesamiento similar se realizó en la ciudad de Concepción, Chile para la evaluación de sus pavimentos para su Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (SIGMAP).

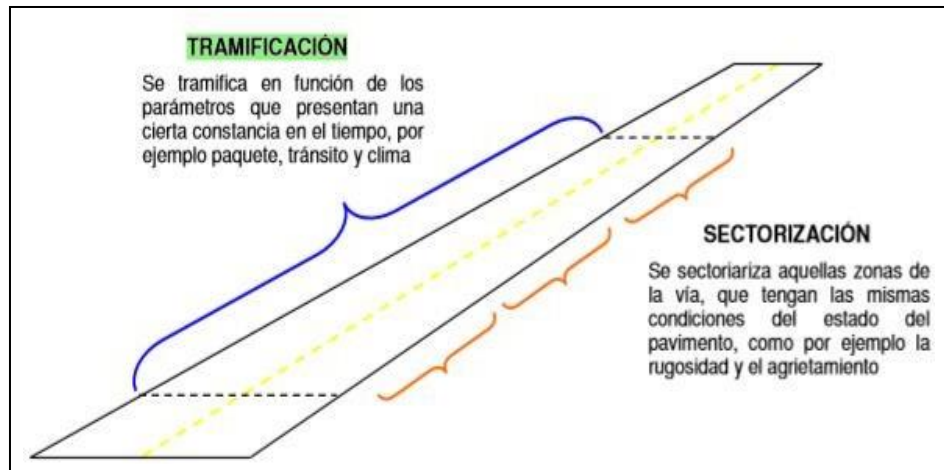


Figura 63. Tramificación y sectorización para evaluación de pavimentos.

Fuente: Fernández et al. (2013).

Las dimensiones de las unidades de muestreo varían de acuerdo al tipo de vía y de la capa de rodadura.

Vías con capa de rodadura asfáltica y ancho menor a 7.30 m, el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango de 230 ± 93 m², conforme se indica en la siguiente Figura.

Ancho de calzada (m)	Longitud de la Unidad de muestreo (m)
5.00	46.00
5.50	41.80
6.00	38.30
6.50	35.40
7.30 max.	31.50

Figura 64. Longitudes de unidades de muestreo asfálticas.

Fuente: Fernández et al. (2013)

Vías con capa de rodadura de losas de concreto, con longitud inferior a 7.60 m, se establece que el área de la unidad de muestreo, debe estar en el rango de 20 ± 8 losas.

Inspección visual para desarrollar el inventario

Se realizará mediante un procedimiento basado en la inspección visual como recomienda el estudio de posgrado que realizaron para la ciudad de Concepción,

Chile planteando para su Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (SIGMAP), que permite identificar y caracterizar los defectos superficiales en pavimentos flexibles y rígidos, siendo una metodología de bajo costo y de rápida ejecución, debido a esta situación y según se adapta a nuestro criterio y medio. La inspección visual de manera general desarrolla un procedimiento de calificación en tres etapas, que considera la identificación, medición y calificación de la severidad de los deterioros.

Umbral de intervención

Realizado el análisis en el capítulo anterior se plantea:

Escala de (85-100): para pavimentos con valoración buena, hacer mantenimiento preventivo según presupuesto.

Escala de (55-85): es el foco óptimo para la preservación, para pavimentos de valoración satisfactoria y justa, se realiza mantenimiento correctivo.

Escala de (0-55): para pavimentos valoración pobre, muy pobre, tendrá una evaluación destructiva, asociadas a rehabilitación y/o reconstrucción.

Rango	Valoración PCI	Color
85 - 100	Satisfactorio	
70 - 85	Óptimo a preservar	
55 - 70		
0 - 55	Pobre	

Figura 65. Umbral de intervención propuesto.

Fuente: Elaboración propia. Nota (detallado en

Tabla 18).

4) Alternativas (Escenarios de acción)

Para plantear los escenarios de acción para realizar las actividades de preservación se tomaron las sugerencias de Sotil (2014) la cual se basa en las experiencias

norteamericanas relacionando la categorización del PCI con una estandarización con los tipos de mantenimiento usados en el Perú por la N.T CE. 010 pavimentos urbanos (2010), de ello se propuso la

Tabla 18:

Tabla 18

Propuesta SGVPPU

PROPUESTA SGVPPU ESCALA					
PCI	CATEGORÍA	ACCIÓN	ESCENARIO DE ACCIÓN	MANTENIMIENTO	
100-85	SATISFACTORIO	No hacer nada o mantenimiento periódico	No hacer nada o si existe un exceso de fondos monetarios después de priorizar lo óptimo se puede realizar un mantenimiento preventivo	PREVENTIVO	
55-85	ÓPTIMO A PRESERVAR	Realizar el SGVPPU, con la coordinación de la agencia vial	Cuantificar fallas para opciones de reparación (Low), (Medium) y (High)	CORRECTIVO MENOR	
			70 a 85		Pavimento en condición buena, con fallas incipientes que requieren acciones de mantenimiento correctivas inmediatas y/o en el corto plazo
			55 a 70	Pavimento en condición dudosa o regular, con fallas evidentes que requieren acciones de mantenimiento correctivo frecuentes y probablemente una rehabilitación a mediano plazo: 1. Condición dudosa mantenimiento correctivo mayor. 2. Sellado de superficie 3. Re-encajonado , delgado	CORRECTIVO MENOR
0-55	POBRE	Poca probabilidad de priorizar e intervenir, se deja a la agencia vial	Rehabilitación y/o reconstrucción con evaluación estructural destructiva y no destructiva	REHABILITACIÓN	
			La agencia vial si es de prioridad según criterios de demanda de movilidad de vías, vías para acciones de emergencia, percepción social, seguridad vial y población beneficiada.	RECONSTRUCCION	

Fuente: Elaboración propia

5) Intervención (Priorizada)

Una vez evaluado los criterios de priorización, el umbral de intervención y sectorización de intervención, se acude a intervenir la vía brindando soluciones en mantenimiento de la vía para preservar e incrementar su vida útil y maximizar

el ahorro en el futuro. Se presenta la Tabla 19 para brindar el mantenimiento de las fallas identificadas por la ASTM-11.

Tabla 19

Opciones de reparación de tipos de fallas según ASTM-11

Tipo de falla	Opción de reparación
Piel de cocodrilo – estructural	Low: No se hace nada, sello superficial. Sobre carpeta. Medium: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobre carpeta. Reconstrucción. High: Parcheo parcial o Full Depth. Sobre carpeta. Reconstrucción.
Exudación – funcional	Low: No se hace nada. Medium: Se aplica arena / agregados y compactado. Lavado. y compactado. Lavado. High: Se aplica arena / agregados y compactado (precalentando si fuera necesario). Lavado. Fresado.
Fisura o grieta de bloque - estructural	Low: Sellado de grietas con ancho mayor a 3.0 mm. Riego de sello. Medium: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobre carpeta. caliente y sobre carpeta. High: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobre carpeta.
Hundimiento – estructural	Low: No se hace nada. Medium: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial. High: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobre carpeta.
Corrugación – estructural	Low: No se hace nada. Medium: Reconstrucción. High: Reconstrucción
Depresión – estructural	Low: No se hace nada. Medium: Parcheo superficial, parcial o profundo. High: Parcheo superficial, parcial o profundo.
Fisura o grietas de borde - estructural	Low: No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm. Medium: Sellado de grietas. Parcheo -parcial High: Parcheo parcial –profundo.
Fisura o grieta de reflexión de junta - estructural	Low: Sellado para anchos superiores a 3.00 mm. Medium: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

	High: Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.
Desnivel entre calzada y berma – estructural	L, M, H: Relleno de la berma para ajustar al nivel del canal.
Fisuras o grietas longitudinales o transversales	Low: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm Medium: Sellado de grietas. High: Sellado de grietas. Parcheo parcial.
Baches – funcionales	Low: No se hace nada. Medium: No se hace nada. Sustitución del bache. High: Sustitución del bache.
Desprendimiento de agregados- funcional	L, M, H: No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobre carpeta. Fresado y sobre carpeta.
Huecos -estructural	Low: Parcheo parcial o profundo. Medium: Parcheo parcial o profundo. High: Parcheo profundo.
Ahuellamientos - estructural	Low: No se hace nada. Fresado y sobre carpeta. M: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobre carpeta. High: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobre carpeta.
Desplazamiento - estructural	Low: No se hace nada. Fresado. Medium: Fresado. Parcheo parcial o profundo. High: Fresado. Parcheo parcial o profundo.
Fisura o grieta de desplazamiento - estructural	Low: No se hace nada. Parcheo parcial. Medium: Parcheo parcial. High: Parcheo parcial.
Hinchamientos - estructural	Low: No se hace nada. Medium: No se hace nada. Reconstrucción. High: Reconstrucción.

Fuente: ASTM (2011).

6) Back up – Reportes

Las secciones con baja prioridad reciben la condición de no abastecidas debido a la falta de fondos. Estas secciones se deterioran, lo que coloca a las secciones sin recursos en la parte superior de la lista de prioridades al año siguiente. De los cual, para las secciones con recursos para el mantenimiento en el año en curso, se asignará una estrategia de no hacer nada el año siguiente, más que solo reportes anuales. Siendo un bucle de retroalimentación el Sistema de Gestión Vial para

Preservar los Pavimentos Urbanos (SGVPPU) en Lima Metropolitana, sabiendo el manejo de datos es de suma importancia.

De tal modo que el SGVPPU propuesto para Lima Metropolitana, se presenta de la siguiente manera en la

Figura 66, la cual da un sentido ordenado a lo estipulado en la Tabla 16:

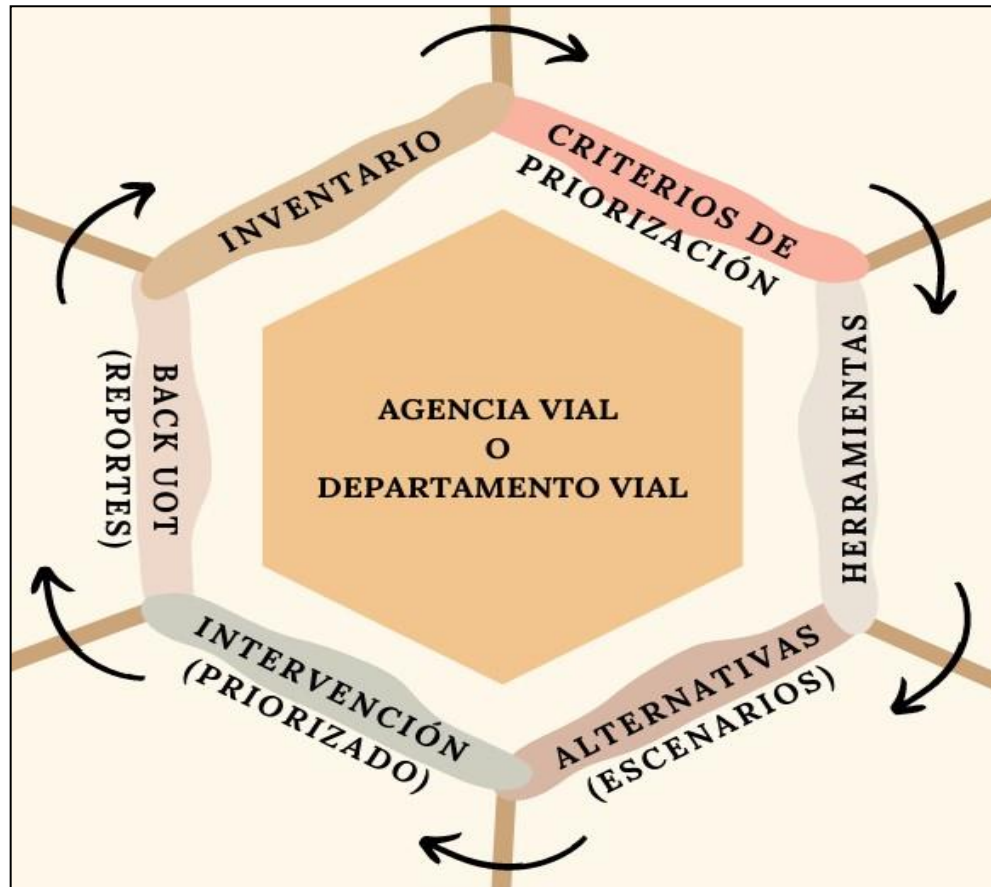


Figura 66. SGVPPU en Lima Metropolitana.
Fuente: Elaboración propia.

Aplicación del SGVPPU a una vía de Lima Metropolitana

Para desarrollar la aplicación al SGVPP, se realizó mediante el uso de la bibliografía denominada: Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado de los autores Tacza y Rodríguez en la cual desarrolla el método del PCI para la vía de estudio, con el objetivo de proponer alternativas que permitan mejorar la condición operacional o estado del pavimento que presenta el carril segregado del corredor Javier Prado. La

vía seleccionada para el estudio es la Avenida Javier Prado Este que está ubicado entre la Avenidas Los Frutales y la Avenida la molina, que pertenece al distrito de la Molina en Lima Metropolitana. De lo cual para el presente estudio se analizó el carril segregado de tránsito de Este Oeste de uso exclusivo del corredor de transporte público, que tiene por nombre corredor Javier Prado, el cual usa el carril interno. Dicha vía se amplió hace 6 años de 3 a 4 carriles como vemos en la Figura 68.



Figura 67. Sentido de tránsito del tramo de estudio.

Fuente: Tacza y Rodríguez (2018, p.64).

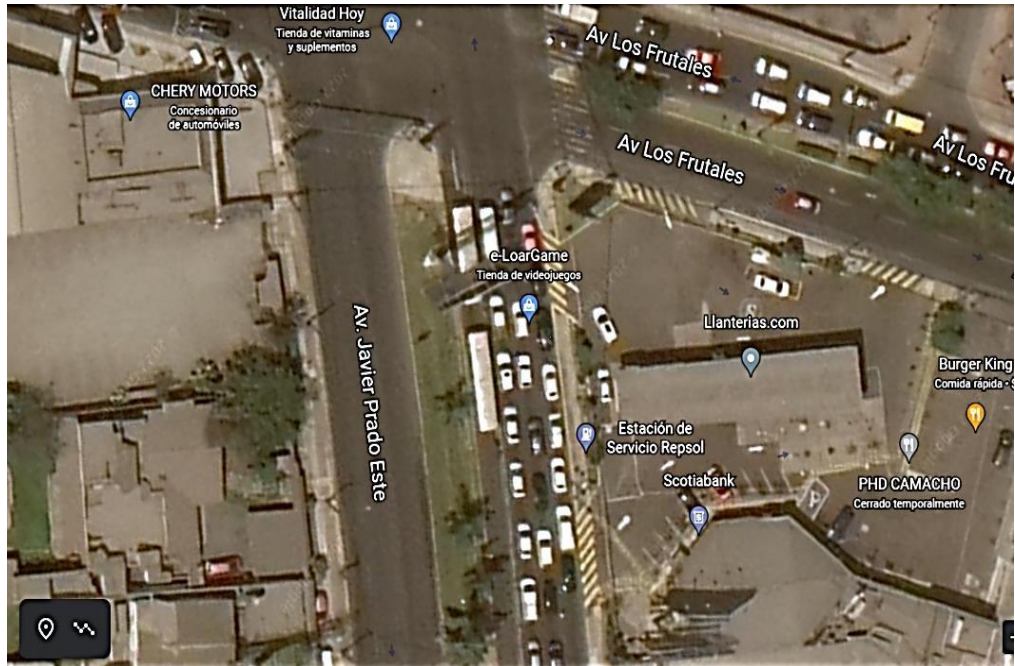


Figura 68. Carril interno de estudio la Av. Javier Prado Este.

Fuente: Elaboración propia. Nota: el sentido de flujo de tránsito es de Este a Oeste.



Figura 69. Fotografía de la vía en estudio.

Fuente: Tacza y Rodríguez (2018, p.67).

1. Inventario

Tabla 1 muestra en la

Tabla 20 el inventario del SGVPPU de la Av. Javier Prado Este entre la Av. Los Frutales y la Av. la molina.

Tabla 20

Inventario del SGVPPU estudiado

Inventario del SGVPPU		
Características básicas del tramo vial (georrefenciado)	Nombre de la vía	Av. Javier Prado Este, entre la Av. Los Frutales y la Av. En el distrito de la Molina vía que va de Oeste a Este

	Longitud	828 metros
	Ancho	3.5 metros (se estudia el carril interno) 4 carriles
Tipo de la vía	Expresa – Metropolitana	Es una vía que permite conexiones interurbanas con fluidez alta, con circulación a alta velocidad, no es permitido el estacionamiento.
Importancia de vía	Comercio y servicios	Zona comercial y de servicios
Características de tráfico	Velocidad específica de vehículos Índice medio diario anual (IMD)	La Municipalidad de Lima ha establecido en los trazos rectos y curvos una máxima de 60 km/h Mayor a 5000 vehículos
Tipo de superficie de la vía	Pavimento Flexible	En todo el tramo de estudio
Año de construcción de la vía y/o dato histórico	Año de operación y/o fechas de mantenimiento	Tiene 06 años de construido(ampliación) n/p datos de mantenimiento
Obras complementarias	Drenaje Coexistencia de redes (agua, luz, teléfono, gas, etc.) Ciclovías Puentes Paso peatonal	Si presenta sistema de agua, luz y gas por debajo de la superficie del pavimento n/p ciclovías en el tramo de estudio n/p puentes Si presenta pasos peatonales de cruce
Visualización previa de fallas	Describir fallas	Piel de cocodrilo Fisuras longitudinales y transversales Huecos Ahuellamiento Desplazamiento Desprendimientos de agregados Depresión Agrietamiento en bloque

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras se efectuaron cada 46 metros a lo largo de los 828 metros obteniendo 18 unidades que se les aplicó el PCI para conocer la condición en que se encuentran.

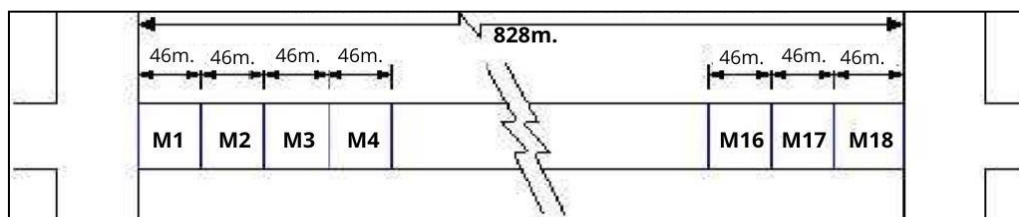


Figura 70. Sección de muestras para el PCI.

Fuente: Elaboración propia.

El rango para el área de muestra para el PCI no debe superar a 230 ± 93 m² como nos dice la ASTM-11 y las longitudes de unidades de muestreo se tomaron según la Figura 65. Con este criterio se seccionaron muestras de 46 metros, ya que la vía en estudio tiene un ancho de 3.5 metros, hallando el área de estudio de muestra nos da 161 m² (véase Tabla 21).

Tabla 21

PCI entre la Av. Los Frutales y la Av. la Molina

Unidad muestral	Longitud (km)		Evaluación PCI	
	Inicio	Fin	PCI	Condición
UM-01	00+00	00+46	26	Muy Pobre
UM-02	00+46	00+92	57	Justo
UM-03	00+92	00+138	15	Serio
UM-04	00+138	00+184	82	Satisfactorio
UM-05	00+184	00+230	100	Bueno
UM-06	00+230	00+276	74	Satisfactorio
UM-07	00+276	00+322	100	Bueno
UM-08	00+322	00+368	77	Satisfactorio
UM-09	00+368	00+414	100	Bueno
UM-10	00+414	00+460	68	Justo
UM-11	00+460	00+506	27	Muy Pobre
UM-12	00+506	00+552	15	Serio
UM-13	00+552	00+598	60	Justo
UM-14	00+598	00+644	70	Satisfactorio
UM-15	00+644	00+690	40	Pobre
UM-16	00+690	00+736	50	Pobre
UM-17	00+736	00+782	14	Serio
UM-18	00+782	00+828	56	Justo

Fuente: Elaboración propia.

Después de realizar el inventario se propone realizar el PCI para dejar registrado de manera cuantificable el estado de las vías, como también identificar fallas.

2. Criterios de Priorización

Modelo de priorización de Tavakoli

Para desarrollar los criterios de priorización se usó el Sistema de Gestión de Pavimentos de Sao Paulo, Brasil, el cual a través del Índice de Prioridad (IP) nos ayudó a reconocer el estado actual de la vía y otros conceptos de tráfico

relacionados para de esta manera comprobar las tasas de deterioro y grados de mantenimiento para optimizar los fondos de mantenimiento.

En la siguiente Tabla 22 se muestra el Índice de Prioridad para las 18 muestras tomadas a lo largo de la vía de estudio, así como el valor de su PCI para luego dividir el tramo en 2 calles de forma hipotética y priorizar el que más se adapte a nuestra propuesta.

Tabla 22

PCI entre la Av. Los Frutales y la Av. la Molina

UNIDAD MUESTRAL	PCI	INDICE DE PRIORIDAD (IP) - TAVAKOLI SAO PAULO					
		1/PCI	TF	FC	TR	(1+I.MANT)/10	IP
UM-01	26	0.0385	100	1.2	1.1	0.5	2.54
UM-02	57	0.0175	100	1.2	1.1	0.3	0.69
UM-03	15	0.0667	100	1.2	1.1	0.6	5.28
UM-04	82	0.0122	100	1.2	1.1	0.2	0.32
UM-05	100	0.0100	100	1.2	1.1	0.1	0.13
UM-06	74	0.0135	100	1.2	1.1	0.2	0.36
UM-07	100	0.0100	100	1.2	1.1	0.1	0.13
UM-08	77	0.0130	100	1.2	1.1	0.2	0.34
UM-09	100	0.0100	100	1.2	1.1	0.1	0.13
UM-10	68	0.0147	100	1.2	1.1	0.3	0.58
UM-11	27	0.0370	100	1.2	1.1	0.5	2.44
UM-12	15	0.0667	100	1.2	1.1	0.6	5.28
UM-13	60	0.0167	100	1.2	1.1	0.3	0.66
UM-14	70	0.0143	100	1.2	1.1	0.2	0.38
UM-15	40	0.0250	100	1.2	1.1	0.4	1.32
UM-16	50	0.0200	100	1.2	1.1	0.4	1.06
UM-17	14	0.0714	100	1.2	1.1	0.6	5.66
UM-18	56	0.0179	100	1.2	1.1	0.3	0.71

Fuente: Elaboración propia.

La IP, cuando se encuentre más cercano al cero en valor numérico requerirá poco o nada de mantenimiento de tal forma que no generara costo, mientras que si el valor del IP, sobrepase de 1 y se incremente en valor, el mantenimiento recurre a ser más crítico y costoso.

Con el IP se puede corroborar el método del PCI, de esta manera pasar a priorizar usando la escala propuesta SGVPPU.

Evaluación de fallas en el pavimento con el método PCI y clasificación IOARR

Este tramo presenta 8 tipos de fallas de los 19 que define el método del PCI a lo largo de los 828 metros del tramo de estudio, en la cual para afianzar dicha clasificación se usó el Anexo N°2 del IOARR del MVCS, para clasificar las fallas funcionales o estructurales de los pavimentos flexibles.

Tabla 23

Cantidad de fallas presentes

N°	TIPO DE FALLA	CANTIDAD	UND.	Clasificación de fallas – IOARR
1	Piel de cocodrilo	84.9	m2	Estructural
2	Fisuras longitudinales y transversales	46.9	m	Estructural
3	Huecos	20	und.	Estructural
4	Ahuellamiento	104.5	m2	Estructural
5	Desplazamiento	72.5	m2	Estructural
6	Desprendimientos de agregados	34.8	m2	Funcional
7	Depresión	21.2	m2	Estructural
8	Agrietamiento en bloque	10.5	m2	Estructural

Fuente: Elaboración propia.

Los tramos que presentan más incidencias de fallas, a lo largo del tramo de estudio se presentan en la Figura 72 a continuación:

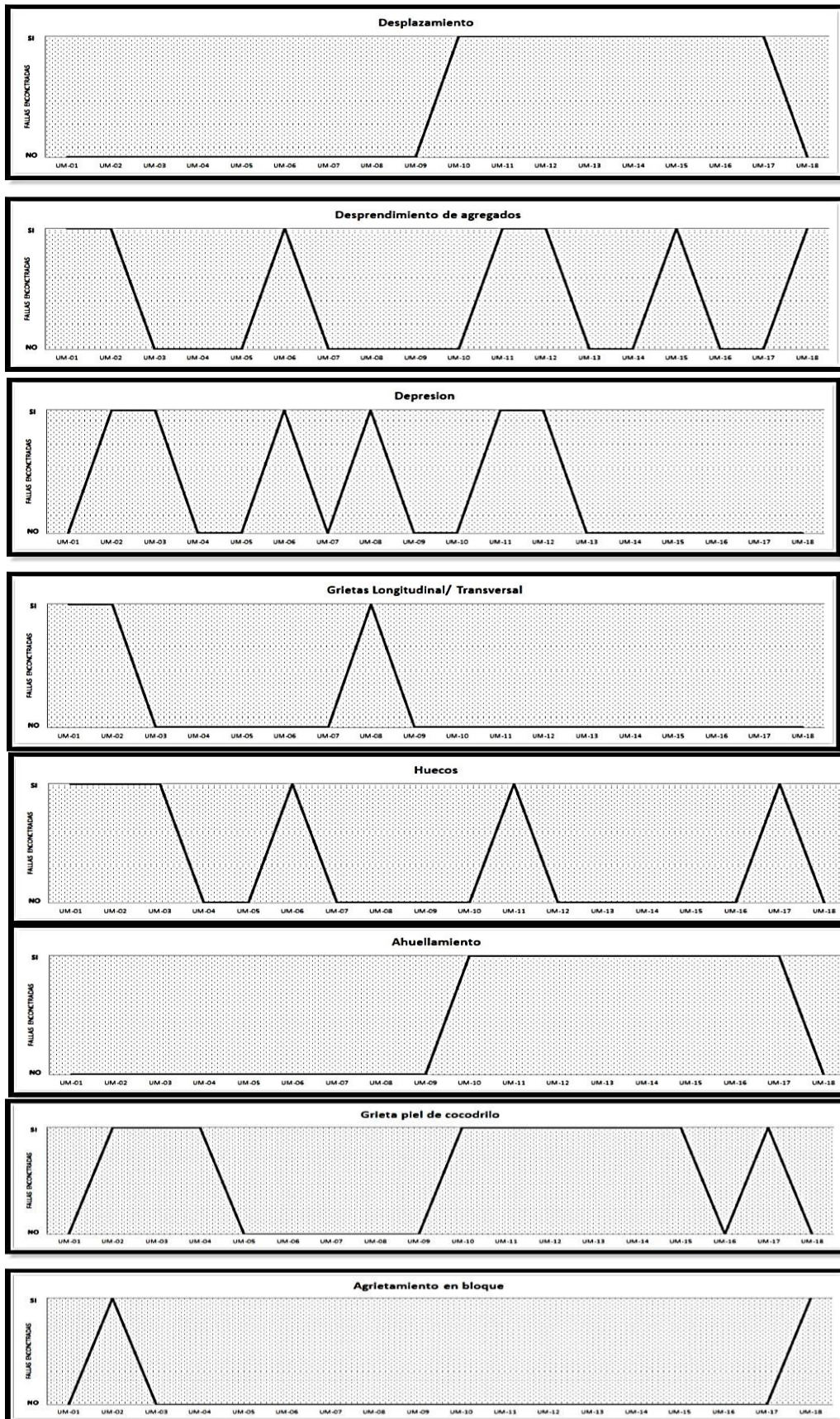


Figura 71. Localización de fallas.
 Fuente: Taza y Rodríguez, (2018, p.80).

Se evalúa la severidad por cada falla presentada en la Tabla 24:

Tabla 24

Severidad de fallas

N°	TIPO DE FALLA	SEVERIDAD DE FALLA		
		L	M	H
1	Piel de cocodrilo	16	5	-
2	Fisuras longitudinales y transversales	10	9	-
3	Huecos	7	8	3
4	Ahuellamiento	7	6	2
5	Desplazamiento	9	5	1
6	Desprendimientos de agregados	2	5	3
7	Depresión	-	6	1
8	Agrietamiento en bloque	1	1	-

Fuente: Tacza y Rodríguez (2018, p.82).

3. Herramientas

Las herramientas están inmersas en los procedimientos anteriores.

4. Alternativas (Escenarios de acción)

Se pasó a priorizar las muestras del 1 al 9 simulando que se trataron de 2 cuadras o tramos diferentes para el estudio (del 1-9 y del 10-18). Este primer tramo cuenta con PCI en un estado justo, satisfactorio y bueno según lo valorado con el método del PCI, como se muestra en la Figura 73, de manera que también se pudo comprobar el modelo de priorización de Tavakoli, brindando este, valores por debajo del cero en el primer tramo. La escala SGVPPU que se propone menciona realizar las siguientes actividades ya que está en el rango de PCI de 68, como muestra en la Figura 75.

UNIDAD MUESTRAL	PCI	PCI PROMEDIO	INDICE DE PRIORIDAD (IP) - TAVAKOLI SAO PAULO
			IP
UM-01	26	68	2.54
UM-02	57		0.69
UM-03	15		5.28
UM-04	82		0.32
UM-05	100		0.13
UM-06	74		0.36
UM-07	100		0.13
UM-08	77		0.34
UM-09	100		0.13

Figura 72. Tramo 01 – priorizado.
Fuente: Elaboración propia.

UNIDAD MUESTRAL	PCI	PCI PROMEDIO	INDICE DE PRIORIDAD (IP) - TAVAKOLI SAO PAULO
			IP
UM-10	68	44	0.58
UM-11	27		2.44
UM-12	15		5.28
UM-13	60		0.66
UM-14	70		0.38
UM-15	40		1.32
UM-16	50		1.06
UM-17	14		5.66
UM-18	56		0.71

Figura 73. Tramo 02 – no priorizado.

Fuente: Elaboración propia. Nota: Apreciando el valor que sale del promedio del tramo 2, lo cual está por debajo del umbral de priorización, tiene poca probabilidad de priorizar e intervenir.

5. Intervención (Priorizado)

Se priorizará el tramo 1, lo cual para las fallas incidentes se propuso opciones de reparación sabiendo que se necesita un mantenimiento correctivo preventivo como vemos en la Figura 75.

fallas incidentes	Piel de cocodrilo	Agrietamiento en bloque	Depresión	Fisuras longitudinales	Huecos	Ahuellamiento	Desplazamiento	Desprendimientos de agregados
Muestra 01	no	no	si	si	si	no	no	si
Muestra 02	si	si	si	si	si	no	no	si
Muestra 03	si	si	si	no	si	no	no	no
Muestra 04	si	no	no	no	no	no	no	no
Muestra 05	no	no	no	no	no	no	no	no
Muestra 06	no	no	si	no	si	no	no	si
Muestra 07	no	no	no	no	no	no	no	no
Muestra 08	no	no	si	si	no	no	no	no
Muestra 09	no	no	no	no	no	no	no	no
Opciones de reparación	parchado en toda la profundidad	Escarificado en caliente	parchado parcial	sellado de grietas	parchado en toda la profundidad	n/p	n/p	Tratamiento superficial

Figura 74. Solución a las fallas incidentes.
Fuente: Elaboración propia.

6. Back up – reportes (anuales)

Para realizar la preservación de pavimentos hay que tener actualizado los datos de ingreso, de esta forma se propuso realizar los reportes anuales para identificar las fallas que se produzcan, acudir con el sistema y analizar si se prioriza para intervenir.

En la Figura 75 se muestra el tramo 1, realizando una priorización con el objetivo de preservar, ya que se encuentra en la condición óptimo a preservar.

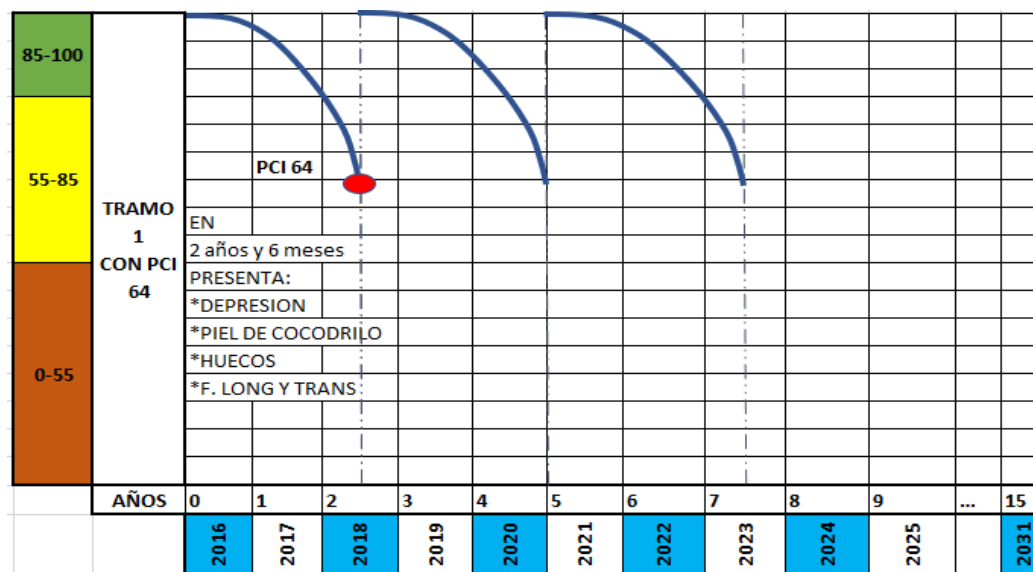


Figura 75. Preservación del Tramo 01.
Fuente: Elaboración propia.

El carril de estudio fue ampliado en el año 2016 y desde esa fecha se contabilizó como el año cero. A la fecha que realizaron la metodología del PCI, año 2018, se identificaron fallas como depresión, piel de cocodrilo, huecos, fallas longitudinales y transversales siendo presentadas después de dos años y medio. Por lo que, hipotéticamente, se puede decir que estas fallas pueden presentarse cada 2 años y medio a 3 (afecto a condiciones de tráfico y clima) para ese tráfico, pero con una base sólida de datos se puede reducir el sesgo de años de condiciones del pavimento, es por ello que la actualización de la base de datos es un paso principal muy importante para las decisiones de mantenimiento. Partiendo de lo identificado, si se realiza el SGVPPU, y se interviene el tramo 1, en el mismo año 2018 después de realizar el PCI, esta puede recuperar sus condiciones a satisfactorio como veremos a continuación y es más económica que el tramo 2.

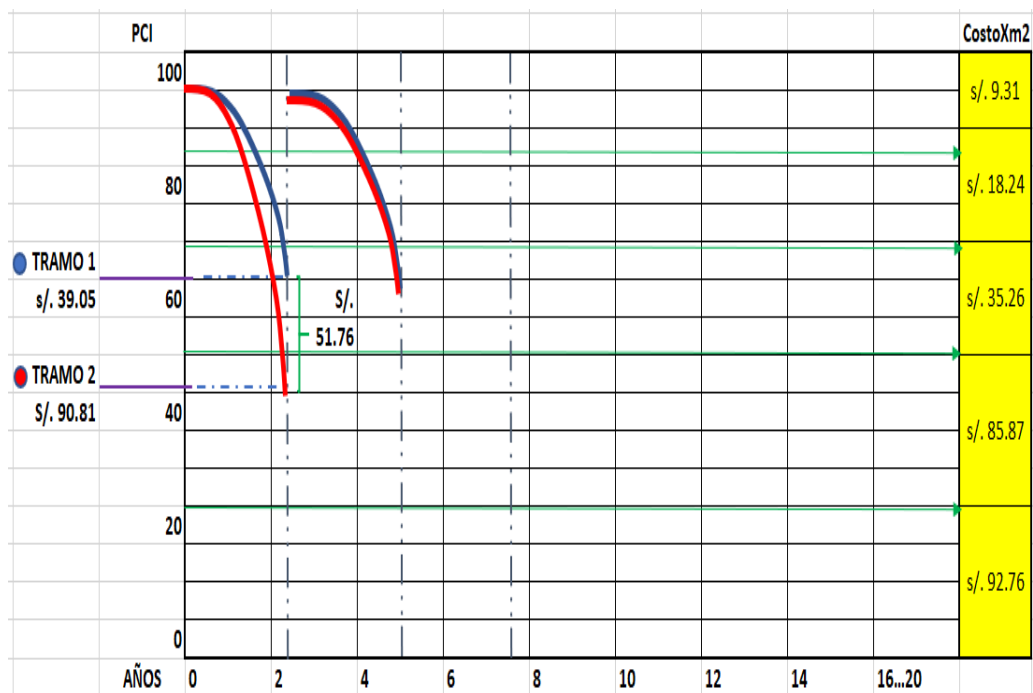


Figura 76. Comparativa de costos del tramo 1 y 2.
Fuente: Elaboración propia.

Usando la escala de costos de Nieto (2012), se afirma que realizando el SGVPP, priorizando en el momento oportuno se puede realizar un ahorro por metro cuadrado, ya que si el ciclo de vida del tramo 2, sigue perdiendo vida útil, hacer un mantenimiento genera un mayor costo, de tal manera que ya no sería productivo realizar una preservación y no sería económicamente rentable. Cabe

resaltar que un pavimento descuidado no cumple con su ciclo de vida diseñada, perdiendo todas sus condiciones de utilidad, llegando a la condición de pobre y para lo cual se cataloga para una reconstrucción, lo cual genera costo de demolición y pavimentado siendo no rentable en el tiempo de vida que dura (vida útil corta), por lo cual los reportes o actualización de base de datos, tienen una gran importancia para mapear las vías urbanas a ser atendidas, por lo cual Nieto (2012) también nos dice que para la estructuración, implementación y operación del sistema recomienda un indicador que permita controlarla, para el análisis de desempeño, un indicador de evolución de la malla vial, en cuanto a la inversión, para destinar los fondos al cuadrante respectivo e iniciar con el SGVPPU, lo cual se propone una malla vial a criterio visual que puede ser mejorado dividido en 4 cuadrantes con el fin de inspeccionar 1 por año, así, a término del periodo municipal a todas las vías se les conoce correctamente su estado de condición. La preservación de las vías urbanas es mejor atendida dividida en cuadrantes y de igual manera la asignación de fondos.



Figura 77. Malla vial propuesta, para el distrito de la Molina.

Fuente: Elaboración propia.

Contrastación de hipótesis

Hipótesis específica 1

H1-1: Con la exploración de los sistemas de gestión vial se induce a proponer un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

H1-0: Con la exploración de los sistemas de gestión vial no se induce a proponer un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

En el Capítulo 5.1 se exploró los sistemas de gestión vial para vías urbanas de distintos países. En el 5.1.1 la gestión vial urbana de Perú para conocer la realidad nacional. En el 5.1.2 de América Latina por lo que tienen condiciones parecidas a las nuestras y en el 5.1.3 de Asia Central para reconocer los beneficios a largo plazo de aplicar un sistema de gestión vial. En la Figura 49 se observa la estructura del sistema de gestión para vías urbanas propuesta por Nieto (2012) para Colombia, en la Figura 55 se observa el proceso lógico de sistema de gestión para vías urbanas propuesta por de Solminihac et al. (2019) para Chile, en la Figura 55 se muestra cómo opera el sistema de gestión vial en los países de Asia desarrollado por el Banco Asiático de Desarrollo (2018). De las 11 prácticas indispensables que da el CAREC en base a su experiencia sobre como introducir e integrar un sistema de gestión, pudimos adaptar los consejos a las condiciones locales en la Figura 57.

-Solorio et al. (2017) comenta que existe una amplia experiencia internacional con respecto a la evaluación de la madurez en la gestión del patrimonio vial que va más allá del protocolo propuesto por ellos para México y que con esa información se puede construir una guía para las organizaciones viales del país según sus necesidades.

-Nieto (2012) estructuró e implementó un sistema de gestión vial para pavimentos urbanos en Colombia apoyándose de experiencias locales e internacionales sustentándose en que por medio de la exploración de SGPU internacionales se puede calibrar y adaptar a condiciones locales.

Con la exploración y posterior análisis pudimos realizar nuestra propuesta de sistema de gestión vial para pavimentos urbanas calibrado a condiciones locales como vemos en la Tabla 16 y nuestro análisis de árbol estructurado para dicho sistema de gestión como vemos en la Figura 59.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H1-1 y se rechaza la hipótesis H1-0.

Hipótesis específica 2

H2-1: Al comparar los sistemas de gestión vial se induce a proponer un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

H2-0: Al comparar los sistemas de gestión vial no se induce a proponer un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

En el Capítulo 5.2 se compararon los sistemas de gestión vial para vías urbanas de países latinoamericanos incluyendo el nuestro, esta comparativa se ve reflejado en la donde vemos los criterios utilizados en los sistemas, siendo estos: inventario, inspección y evaluación del pavimento, los modelos de gestión que utilizan, los criterios de actualización y monitoreo de la información y sus políticas de gestión en base a criterios de priorización y recursos económicos. De acuerdo con la información comparada y analizada en la Tabla 14, se pudo proponer un sistema de gestión dividido en inventario, herramientas, programas y estrategias o políticas de gestión.

-Barajas y Buitrago (2017) compararon los planes existentes para la gestión de mantenimiento de los pavimentos en Bogotá, Colombia y Sao Pablo, Brasil para encontrar los aspectos de los sistemas que manejan en común y así analizar sus prácticas partiendo de la premisa de que, aunque un sistema de gestión sea teóricamente el indicado, no garantiza que no haya partes de su proceder que se puedan modificar.

-Montañez (2018) comparó el estado de deterioro del ciclo de vida de un pavimento urbano en Cusco y su análisis de costos para un periodo de 50 años considerando dos escenarios: uno donde se realizan actividades de mantenimiento periódico y rutinario y otro donde no se realizan mantenimiento, con dicho análisis demostraron que la aplicación de actividades de mantenimiento y en general un sistema de gestión de pavimentos urbanos es más ventajoso que no hacer nada con beneficios económicos, de calidad del servicio y seguridad a los usuarios.

Con la comparativa de los distintos ítems que corresponden a los sistemas de gestión vial pudimos realizar nuestra propuesta de SGVPPU calibrado a condiciones locales como vemos en la Tabla 16 y nuestro análisis de árbol estructurado para dicho sistema de gestión como vemos en la Figura 59.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H2-1 y se rechaza la hipótesis H2-0.

Hipótesis específica 3

H3-1: La propuesta de implementación de un sistema de gestión vial preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

H3-0: La propuesta de implementación de un sistema de gestión vial no preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

En el Capítulo 5.3 se desarrolló la propuesta de sistema de gestión para preservar los pavimentos urbanos de Lima Metropolitana tomando como ejemplo aplicativo una vía de La Molina, propuesta que consistió en priorizar las vías encontradas dentro del umbral (55-85) para preservar los pavimentos en un estado óptimo.

-Sotil (2014) indica que la tendencia global en gestión de pavimentos urbanos se orienta a tratamientos preventivos en vez de correctivos y a la vez comprueba que atendiendo prioritariamente a los pavimentos en mejores condiciones (85-100) evitando que estos se deterioren, mejora el sistema en beneficio de los ciudadanos.

- Cerna y Palacios (2020) concluyen en su tesis que un SGPU para los distritos de la provincia de Lima, conformado por el estado vial, estado de condición y políticas de gestión, que en conjunto permiten determinar el índice de condición basado en las metodologías del cálculo del PCI y en función de las políticas de gestión de bueno y satisfactorio (70-100) permite conservar el patrimonio vial de las vías urbanas y la serviciabilidad de tránsito a través de mantenimientos preventivos o correctivos.

Con la propuesta que hemos determinado para Lima Metropolitana que prioriza las vías encontradas dentro del umbral (55-85) como principal prioridad para preservar los pavimentos en un estado óptimo demostrado por su preservación a través del tiempo.

Confirma la hipótesis H3-1 y rechaza la hipótesis H3-0.

Habiéndose validado las hipótesis H1-1, H2-1 y H3-1 se valida la hipótesis general planteada. Se valida que, con la determinación de los sistemas de gestión vial se propone la implementación de un sistema que preserva los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.

CONCLUSIONES

1. Mediante la exploración de diferentes fuentes bibliográficas, se recopiló y reordenó los diferentes sistemas de gestión vial internacionales de países latinoamericanos y países de Asia Central donde ya vienen desarrollándose los sistemas, valiéndonos de sus experiencias y de la realidad peruana como se ve en el subcapítulo 5.1, se indujo a proponer un sistema de gestión vial que preserva los pavimentos urbanos de Lima Metropolitana.
2. La comparación de los distintos sistemas de gestión vial nacionales e internacionales ayudó a visualizar los patrones similares que tienen estos sistemas, siendo estos puntos en común: inventario, inspección del pavimento, evaluación superficial del pavimento con su escala de intervención, modelo de gestión del pavimento, dirección del tipo de modelo, actualización de inventario y monitoreo, políticas de gestión según criterios de priorización, fórmulas de priorización, madurez de modelo de deterioro, criterios de selección de recursos económicos y otras recomendaciones (ver Tabla 14). Lo cual indujo a proponer un sistema de gestión vial que preserva los pavimentos urbanos de Lima Metropolitana.
3. El Sistema de Gestión Vial para Preservar Pavimentos Urbanos (SGVPPU) en Lima Metropolitana tuvo como propuesta realizar inventario, herramientas, programas y políticas de gestión como se aprecia en la Tabla 16 y para guía del desarrollo se puede observar el capítulo 5.3.2 donde se observó como puntos más importantes que, el inventario vial es el primer paso de todo sistema de gestión vial pues, a partir de ahí, se crea la base de datos. Otro punto importante fue el criterio de priorización, donde las políticas de gestión nos llevan a mantener las vías dentro del umbral ($PCI= 55-85$) permitiendo preservar las vías urbanas y su valor patrimonial. Las vías que se encuentran en un estado satisfactorio ($PCI= 85-100$) no son prioridad y las decisiones de rehabilitación de las vías con un $PCI < 55$ son dejadas a la agencia vial.
4. Con la determinación de los distintos sistemas de gestión vial se pudo proponer la implementación de un sistema de gestión vial para preservar los pavimentos urbanos de Lima Metropolitana (véase el capítulo 5.3.3) donde se aprecia el desarrollo del sistema propuesto.

RECOMENDACIONES

1. Los futuros investigadores deberán seguir con el estudio y monitoreo para obtener resultados abarcando todo Lima Metropolitana y a modo de retroalimentación, formar una sistematización que pueda incluir las variabilidades en el tiempo, así como otros factores importantes que no se consideraron como son el tráfico y el medio ambiente. Se podría iniciar la propuesta en los distritos más pudientes y con vías ordenados que pueden invertir en estudios y nuevas propuestas de gestión.
2. Se recomienda promover el desarrollo de la investigación a las vías urbanas en los gobiernos locales.
3. La universidad Ricardo Palma podría sugerir a sus próximos tesisistas seguir con la investigación en distintas vías de Lima Metropolitana para ver si las condiciones se cumplen en todos los distritos o ver las variabilidades y así mejorar cada vez más el sistema de gestión y crear una base de datos unificada.
4. Para evitar en lo posible el deterioro de los pavimentos urbanos, se recomienda a las municipalidades determinar desde el día uno de la terminación del proyecto de construcción o mantenimiento, en qué tiempo se tendría que mantener la vía según políticas de gestión.
5. Se recomienda con la implementación de este sistema de gestión, prudencia en el umbral de priorización (PCI= 55-85) para no dejar decaer el estado de la vía más de ese rango que viene a ser el foco para intervenir ya que la atención por debajo de ella, tiene un incremento monetario, volviendo contraproducente llegar a la preservación.
6. Se recomienda generar una cultura de preservación vial donde apoye la comunidad a la pronta detección de fallas haciendo que si el usuario identificar fallas, llama inmediatamente a la central de la agencia vial para que hagan inspecciones en ella, se recomienda la iniciativa de poner el número telefónico de la agencia vial encargada en los bordes de la vereda o sardineles y que tenga una central de llamadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almenara, C. (2015). *Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en lima. (tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *AASHTO Guide for design of pavement structures*. Obtenido de <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>
- Araya, K., & Tobar, E. (2010). *Calibración de los modelos de grietas y baches de pavimentos flexibles del programa HDM-4 para El Salvador. (Tesis de pregrado)*. Universidad del Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Asian Development Bank. (2018). *Compendium of best practices in road asset management*. Metro Manila, Philippines: ADB. Obtenido de <https://www.adb.org/publications/compendium-best-practices-road-asset-management>
- ASTM D6433 - 11. (2011). *Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys*. Obtenido de https://www.academia.edu/33505232/ASTM_D6433_11_Roads_and_parking_lots_PCI_surveys
- Baltodano, W. (2017). *Modelo de gestión de conservación vial basado en criterios de sostenibilidad para reducir los costos de mantenimiento vial en la carretera desvío Salaverry - Santa. (Tesis de maestría)*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Banco Mundial. (1988). *El deterioro de los caminos en los países en desarrollo. Causas y soluciones*. Washington, D.C, Estados Unidos. Obtenido de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/381701468166159423/pdf/133700PUB0SPANISH0Box74484B01PUBLIC1.pdf>
- Barajas, E., & Buitrago, B. (2017). *Análisis comparativo del sistema de gestión de los pavimentos o mantenimiento vial de la ciudad de Bogotá con la ciudad de Sao Paulo. (Trabajo de grado)*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Bocangel, K. (2016). *Gestión de la conservación por niveles de servicio en la calidad de las concesiones viales del tramo v de la carretera vía interoceánica. (Tesis de*

- maestría*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Burneo, L. (2013). *Mejora de la productividad en el mantenimiento rutinario de una carretera aplicando filosofía lean construction. (Tesis de pregrado)*. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Carrillo, A. (12 de Setiembre de 2020). *Webinar Pavement Condition Index* . Obtenido de youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=Vs9Q4mNcP-4>
- Chang, C. (2007). *Pavimentos : un enfoque al futuro. Evaluación, diseño, construcción, gestión* (Segunda ed.). Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Cuerpo de Ingenieros de la Armada de E.U.A. (1978). *Método de Evaluación de Pavimentos PCI. Reporte Técnico M-268*. Obtenido de <https://xdoc.mx/preview/fallas-en-pavimentos-605abb9d39ca2>
- De Solminihaç, H., Echaveguren, T., & Chamorro, A. (2019). *Gestión de infraestructura vial* (Tercera ed.). Bogotá, Colombia: Alfaomega Colombiana S.A.
- Fernández, C., Mojica, J., & Martines, J. (2013). *Sistemas de gestión de pavimentos urbanos. (Tesis de maestría)*. Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Flintsch, G. (2019). *Estado de la gestión de activos viales en América Latina y el Caribe*. doi:<http://dx.doi.org/10.18235/0001785>
- Gueller, V. (2012). *Aplicación del modelo Tavakoli para la gestión del mantenimiento de pavimentos en ciudades medianas. (Tesis de maestría)*. Universidad de Passo Fundo, Sao Paulo, Brasil.
- Gutierrez, L. (23 de Octubre de 2020). *¿Cómo optimizar los recursos para mejorar las vías urbanas?* Obtenido de CAF Banco de desarrollo de América Latina: <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2020/10/como-optimizar-los-recursos-para-mejorar-las-vias-urbanas/>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México DF, México: McGraw-Hill.
- Hidalgo, J. (2006). *Evaluación del sistema de gestión de pavimentos flexibles en el Perú. (Proyecto profesional)*. Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Hudson, W., Elkins, G., Uddin, W., & Reilley, K. (1987). *Improved methods and equipment to conduct pavement distress surveys*. Virginia, United States : Federal Highway Administration.
- Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). (2010). *Norma Técnica CE. 010*

- Pavimentos Urbanos*. Obtenido de https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Pavimentos_Urbanos.pdf
- Instituto Metropolitano de Planificación. (2020). *Sistema vial metropolitano*. Obtenido de <https://www.imp.gob.pe/>
- Martínez, C. (2015). *Análisis del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos (trabajo de postgrado)*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Menéndez, J. (2003). *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas - manual técnico*. Lima, Perú: Oficina Internacional del Trabajo (OIT).
- Menéndez, J. (2009). *Ingeniería de pavimentos, materiales, diseño y conservación*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia ICG.
- Menéndez, J. (2 de Setiembre de 2016). *Sistemas de Gestión de Infraestructura Vial*. Obtenido de youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=kRf1rgoJUmE>
- Menéndez, J. (Octubre del 2019). *Pavimentos Urbanos. II Congreso Nacional de Pavimentos*. Congreso llevado a cabo por el Instituto Latinoamericano Investigaciones y Estudios Viales (ILIEV), Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2007). *Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras*. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2951.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de inventarios viales*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_8%20IV-2014_2015.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (26 de Febrero de 2021). *Resolución Ministerial N° 144-2021-MTC/01*. Obtenido de [gob.pe: https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/1722186-144-2021-mtc-01](https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/1722186-144-2021-mtc-01)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2021). *Plan de implementación del sistema de gestión de activos viales de la red vial nacional*. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_public/documentacion/Plan_Implementacion.pdf

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *Pautas para la identificación de inversiones de optimización, ampliación marginal, reposición y rehabilitación (IOARR) del servicio de movilidad urbana (vias urbanas)*. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/metodologia_sectorial/PAUTAS_IOARR_MVCS.PDF
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento e Instituto Metropolitano de Planificación. (2021). *Visión estratégica movilidad urbana PLAN MET Lima al 2040*. Obtenido de <https://www.imp.gob.pe/wp-content/uploads/2021/04/MOVILIDAD-URBANA.pdf>
- Miranda, R. (2010). *Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos. (Tesis de pregrado)*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Montañez, A. (2018). *Sistema de gestión de mantenimiento vial para las vías urbanas de la ciudad del Cusco - caso estudio Av. de la Cultura. (Tesis de pregrado)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Montejo, A. (2020). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Moyano, M. (2020). *Procedimiento para determinar el índice de rugosidad internacional con una aplicación móvil en Piura. (Tesis de pregrado)*. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Naciones Unidas. (1994). *Caminos: un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales*. Santiago de Chile, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Nieto, J. (2012). *Conceptualización para la estructuración implementación y operación del sistema de gestión de pavimentos de vías urbanas (SGPU). (Tesis de maestría)*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Peñaloza, S., & Calle, G. (2017). *Sistema de gestión sostenible de pavimentos aplicado a las vías y parqueaderos de la Universidad de Cuenca. (Tesis de pregrado)*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Rodríguez, E. (2009). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla. (Tesis de pregrado)*. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Rodríguez, R. (2011). *Modelo de gestión de conservación vial para reducir los costos de*

- mantenimiento vial y operación vehicular en los caminos rurales de las poblaciones de Riobamba, San Luis, Punín, Flores, Cebadas de la provincia de Chimborazo. (Tesis de maestría).* Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Salomón, E., & González, M. (2003). *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas - manual de promoción.* Lima, Perú: Oficina Internacional del Trabajo (OIT).
- Sierra, C., & Rivas, A. (2016). *Aplicación y comparación de las diferentes metodologías de diagnóstico para la conservación y mantenimiento del tramo PR 00+000 – PR 01+020 de la vía al llano (DG 78 BIS Sur – Calle 84 Sur) en la UPZ Yomasa. (Tesis de pregrado).* Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Simón, L. (2019). *Modelo de gestión de conservación vial para optimizar los costos de mantenimiento en la carretera Dv. Rio Seco – Oyón, Año-2019. (Tesis de maestría).* Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Solorio, R., Garnica, P., & Hernández, R. (agosto del 2017). *Un protocolo para la gestión del patrimonio vial en México. Congreso Mexicano del Asfalto.* Congreso llevado a cabo en la Expo-Asfalto 2017, Cancún, México.
- Sotil, A. (8 de Agosto de 2014). Propuesta de sistema de gestión de pavimentos para municipalidades y gobiernos locales. *Infraestructura Vial.* Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/14582/15637>
- Tacza, E., & Rodriguez, B. (2018). *Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado. (Tesis de pregrado).* Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas , Lima, Perú.
- Thenoux, G., & Gaete, R. (Jul-Dic de 1995). Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico. *Ingeniería de Construcción.* Obtenido de <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/10204>
- Vivar, G., & Gutierrez, W. (1996). *Pavimentos de concreto y asfalto mantenimiento y reparación.* Lima, Perú: American Concrete Institute (ACI).
- Washington State Department of Transportation. (1994). *A guide for local agency pavement managers.* Obtenido de <https://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/m3103/streetwiseguide>

.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Propuesta de un sistema de gestión vial para la preservación de los pavimentos urbanos en Lima metropolitana

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿De qué modo la determinación de los sistemas de gestión vial propone la implementación de un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana?	Determinar los sistemas de gestión vial para proponer la implementación de un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.	Con la determinación de los sistemas de gestión vial se propone la implementación de un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.			Inventario Herramientas	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN Método: Deductivo. Orientación: Aplicada. Enfoque: Mixto. Recolección de datos: Retrolectivo.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	V.I. Sistema de Gestión Vial	Sistemas de Gestión Vial		
a) ¿De qué manera la exploración de los sistemas de gestión vial induce a proponer un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana?	a) Explorar los sistemas de gestión vial para inducir a proponer un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.	Con la exploración de los sistemas de gestión vial se induce a proponer un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.			Programas Estrategias o políticas de gestión	TIPO DE INVESTIGACIÓN Descriptivo NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo - correlacional DISEÑO DE INVESTIGACIÓN No experimental, prospectivo y transversal.
b) ¿En qué medida la comparación de los sistemas de gestión vial induce a proponer un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana?	b) Comparar los sistemas de gestión vial para inducir a proponer un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.	Al comparar los sistemas de gestión vial se induce a proponer un sistema que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.			No hacer nada Satisfactorio Mantenimiento preventivo Mantenimiento correctivo menor	POBLACIÓN Pavimentos urbanos regulados por gobiernos locales de Lima Metropolitana. MUESTRA No paramétrica. Vía pavimentada del distrito de La Molina, Lima, Perú.
c) ¿Cuál es la propuesta de sistema de gestión vial que implementada preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana?	c) Proponer la implementación de un sistema de gestión vial que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.	La propuesta de implementación de un sistema de gestión vial que preserve los pavimentos urbanos en Lima Metropolitana.	V.D. Preservación de pavimentos urbanos	Óptimo a preservar	Mantenimiento correctivo mayor Rehabilitación Pobre Reconstrucción	TÉCNICA Recopilación, clasificación y análisis de la información. INSTRUMENTO Investigaciones, papers y tesis realizadas de los últimos años, manuales y normas vigentes. ESTADÍSTICA A APLICAR Descriptiva.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Activos estratégicos en vías urbanas

SERVICIO	UNIDAD PRODUCTORA	COMPONENTE	ACTIVO	DIMENSIÓN FÍSICA	TIPO DE ACTIVO	FACTOR PRODUCTIVO
SERVICIO DE MOVILIDAD URBANA						
SERVICIO DE MOVILIDAD URBANA	VIAS EXPRESAS, ARTERIALES, COLECTORAS Y LOCALES	Pista				
		Pista	Berna	m2	Estratégico	Infraestructura
			Calzada	m2	Estratégico	Infraestructura
			Estacionamiento	m2	Estratégico	Infraestructura
			Área verde	m2	Estratégico	Infraestructura
			Sardinél	m	Estratégico	Infraestructura
			Separador central o lateral	m2	Estratégico	Infraestructura
			Talud	m	Estratégico	Infraestructura
			Alcantarillas	m3	Estratégico	Infraestructura
			Cuneta	m	Estratégico	Infraestructura
			Badén	m2	Estratégico	Infraestructura
			Muro de contención	m3	Estratégico	Infraestructura
			Giba	m2	Estratégico	Infraestructura
			Camellón	m2	Estratégico	Infraestructura
			Señalización vertical	und	Estratégico	Mobiliario
		Semáforo (solo reposición)	und	Estratégico	Mobiliario	
		Veredas				
		Veredas	Rampas	m2	Estratégico	Infraestructura
			Vereda	m2	Estratégico	Infraestructura
			Rejillas en alcorque	und	No Estratégico	Mobiliario
			Señalización vertical	und	Estratégico	Mobiliario
			Área verde	m2	Estratégico	Infraestructura
			Sardinél	m	Estratégico	Infraestructura
			Baldosas podo táctiles	m2	Estratégico	Infraestructura
			Tachos de basura	und	No estratégico	Mobiliario
			Paraderos urbanos	und	Estratégico	Mobiliario
			Estacionamiento para bicicletas	m2	No estratégico	Mobiliario
			Alcantarilla	m3	Estratégico	Infraestructura
			Bolardos	und	No estratégico	Mobiliario
		Muro de contención	m2	Estratégico	Infraestructura	
		Ciclo vías				
		Ciclo vías	Señalización vertical	und	Estratégico	Mobiliario
			Calzada	m2	Estratégico	Infraestructura
Tachones reflectivos	und		No estratégico	Mobiliario		
Camellón	m2		Estratégico	Infraestructura		

VÍAS LOCALES	Ciclo vías	Camellón	m2	Estratégico	Infraestructura
		Ciclo paraderos	m2	Estratégico	Mobiliario
		Sardineles	m	Estratégico	Infraestructura
	Puentes peatonales	Puentes peatonales			
		Plataforma	m2	Estratégico	Infraestructura
		Señalización vertical	und	Estratégico	Infraestructura
		Barandas	m2	Estratégico	Infraestructura
		Rampa	m2	Estratégico	Infraestructura
		Escalera de acceso	m2	Estratégico	Infraestructura
	Puentes vehiculares urbanos	Puentes vehiculares urbanos			
		Losa de aproximación	m2	Estratégico	Infraestructura
		Plataforma	m2	Estratégico	Infraestructura
		Luminarias	und	Estratégico	Mobiliario
		Barandas	m2	Estratégico	Infraestructura
		Vereda	m2	Estratégico	Infraestructura
VÍAS LOCALES					
VÍAS LOCALES	Pasajes peatonales	Pasajes peatonales			
		Rampas	m2	Estratégico	Infraestructura
		Pavimento	m2	Estratégico	Infraestructura
		Señalización vertical	und	Estratégico	Mobiliario
		Cuneta	m	Estratégico	Infraestructura
		Sardinel	m	Estratégico	Infraestructura
		Rejilla en alcorque	und	Estratégico	Mobiliario
		Baldosas podo táctiles	m2	Estratégico	Infraestructura
		Tachos de basura	und	No Estratégico	Mobiliario
		Luminarias / faroles	und	Estratégico	Mobiliario
Área verde	m2	Estratégico	Infraestructura		

Fuente: IOARR (2020, p.8).