



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL PROGRAMA HDM-4
EN LA GESTIÓN DE ESTRATEGIAS PARA EL
MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA JULIACA – SAN
ANTONIO DE PUTINA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JORGE RAUL MULLISACA AGUIRRE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL PROGRAMA HDM-4 EN LA GESTIÓN DE ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA JULIACA – SAN ANTONIO DE PUTINA

AUTOR

JORGE RAUL MULLISACA AGUIRRE

RECuento DE PALABRAS

37511 Words

RECuento DE CARACTERES

211502 Characters

RECuento DE PÁGINAS

218 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.4MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 12, 2024 2:43 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 12, 2024 2:45 PM GMT-5

● 12% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Ing. Samuel Huayllita Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007537

VºBº

11/08/2024
Ing. Jaime Mejía Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910545
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACION
EPIC

Resumen



DEDICATORIA

A mi madre, Juana Francisca Aguirre Mullisaca, cuyo recuerdo llevo siempre en mi corazón. Aunque su ausencia deja un vacío inmenso, siento su presencia en cada momento de mi vida. Con profunda gratitud y amor, reconozco su luz desde el cielo, que ilumina mis pasos y guía mis metas. Doy gracias al Todopoderoso por haberme dado el privilegio de ser su hijo y por mantener su espíritu vivo en cada logro y desafío que enfrento.

A mi padre y mis queridos hermanos, quienes generosamente me apoyaron para hacer realidad mi aspiración profesional.

Jorge Raul Mullisaca Aguirre



AGRADECIMIENTOS

A los profesores de Ingeniería Civil de la UNAP por impartir su saber y orientación, he podido potenciar mi desarrollo en mi carrera.

A mi director de la tesis, Dr. Sc. Ing. Samuel Huaquisto Caceres, cuya orientación ha sido esencial para el avance de mi trabajo.

A los miembros del jurado: Dr. Sc. Ing. Félix Rojas Chahuares, Dr. Sc. Ing. César Edwin Guerra Ramos y M. Sc. Ing. Zenon Mellado Vargas por su exigente revisión, acertadas enmiendas y consideración mostrada en el proceso de valoración de esta investigación.

Jorge Raul Mullisaca Aguirre



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1.1. Problema general.....	22
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.2.1. Objetivo general	22
1.2.2. Objetivos específicos	23
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	23
CAPÍTULO II	
REVISION DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	25
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional.....	25
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional	27
2.1.3. Antecedentes a nivel regional y/o local	29
2.2. MARCO TEÓRICO	30



2.2.1. La Gestión de infraestructura vial	30
2.2.1.1. Concepto	30
2.2.1.2. Características de una buena gestión vial	32
2.2.1.3. Objetivos de la gestión vial	34
2.2.2. Gestión de estrategias de mantenimiento	36
2.2.2.1. Estrategias de mantenimiento	36
2.2.2.2. La Conservación Vial.....	38
2.2.2.3. Niveles de intervención para la conservación vial	44
2.2.2.4. Ciclo deseable para la conservación de un camino.....	48
2.2.2.5. Actividades de conservación rutinaria	50
2.2.2.6. Actividades de conservación periódica.....	60
2.2.2.7. Implementación de una estrategia.....	74
2.2.2.8. Elementos básicos de las estrategias.....	75
2.2.2.9. Indicadores de estado utilizados para la aplicación de las estrategias.....	76
2.2.2.10.indicadores necesarios para la aplicación de estrategias.....	77
2.2.2.11.Los cambios a nivel de la estrategia.....	77
2.2.2.12.Enfoque 3R: restauración, rehabilitación y reconstrucción	79
2.2.2.13.Enfoque centrado en la preservación de pavimentos	83
2.2.2.14.En qué se debe basar una estrategia de gestión de pavimentos	86
2.2.2.15.Técnicas de preservación de pavimentos	86
2.2.3. Índice internacional de regularidad (IRI).....	91
2.2.3.1. Concepto	91
2.2.3.2. Características del modelo del cuarto de carro	92
2.2.3.3. Cálculo del IRI.....	95



2.2.3.4. Escala y características del IRI	97
2.2.3.5. Equipos para medir el IRI	98
2.2.4. Metodología del PCI	110
2.2.4.1. Introducción	110
2.2.4.2. Fallas en pavimentos flexibles	111
2.2.4.3. Razones para utilizar la Metodología PCI en el Programa HDM-4.....	129
2.2.5. El programa HDM-4	131
2.2.5.1. Características Software HDM4	132
2.2.5.2. Requisitos necesarios para la implantación del software HDM-4	133
2.2.5.3. El papel de HDM-4 en la Gestión de Carreteras.....	134
2.2.5.4. El ciclo de gestión vial	137
2.2.5.5. Marco analítico HDM-4.....	138
2.2.5.6. Análisis de estrategias del HDM-4	142
2.2.5.7. Análisis de programa del HDM-4	143
2.2.5.8. Análisis de Proyecto del HDM-4	144
2.2.5.9. Comparaciones económicas entre las distintas alternativas del proyecto.....	144
2.2.5.10.Módulos del HDM-4.....	145
2.2.5.11.Gestión de la infraestructura vial con HDM-4.....	147
2.2.6. Formulación teórica sobre evaluación económica de pavimentos	148
2.2.6.1. Valor Actual Neto (VAN).....	149
2.2.6.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	151
2.2.6.3. Relación Beneficio Costo (RBC).....	152



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	154
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	155
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	155
3.3.1. Enfoque de investigación	155
3.3.2. Tipo de investigación	155
3.3.3. Nivel de investigación.....	156
3.3.4. Diseño de investigación	156
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	156
3.4.1. Población.....	156
3.4.2. Muestra.....	156
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	158
3.5.1. Técnicas de recolección de datos:	158
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos:	159
3.5.2.1. programa Hdm-4 V 1.3	160
3.5.2.2. Metodología PCI.....	163
3.5.2.3. Índice de Regularidad Internacional (IRI): Roadroid Pro3 versión 3.0.8.....	172
3.5.2.4. Técnica de estudio de tráfico y su uso en el HDM-4.....	175
3.5.2.5. Recopilación de datos económicos y características de vehículos	176

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS.....	183
-----------------------------	------------



4.1.1.	Índice medio diario semanal	183
4.1.2.	Determinación del tránsito promedio diario semanal TPDS.....	183
4.1.3.	Cálculo del factor de corrección por eje (f.c.e).....	184
4.1.4.	Determinación del tránsito promedio diario anual TPDA	185
4.1.5.	Resultados del estado actual de la carretera Juliaca - San Antonio de Putina con el método PCI.....	188
4.1.6.	Resultados de índice rugosidad (IRI) con el método Roadroid (Ambos carriles).....	191
4.1.7.	Propuesta de la mejor estrategia de conservación.....	192
4.1.7.1.	Costos de mantenimiento.....	192
4.1.7.2.	Alternativas planteadas	193
4.1.7.3.	Situación “SIN PROYECTO”	193
4.1.7.4.	Situación “CON PROYECTO”	194
4.1.8.	Resultados de la evaluación económica y técnica.....	196
4.1.8.1.	Indicadores económicos del proyecto	196
4.1.8.2.	Evolución de la regularidad por tramos	199
4.1.8.3.	Evolución de la regularidad por alternativa de proyecto	199
4.1.8.4.	Costos económicos del mantenimiento periódico y rutinario.	200
4.1.9.	Evaluación económica	201
4.1.10.	Evaluación técnica	202
4.2.	DISCUSIÓN	203
V.	CONCLUSIONES.....	206
VI.	RECOMENDACIONES.....	208
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	209
ANEXOS.....	216



ÁREA: Transportes

TEMA: Gestión y Mantenimiento Vial

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y Gestión Vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26-08-2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Resultados esperados de la aplicación de estrategias 3R.....	82
Tabla 2 Resultados esperados de la aplicación de estrategias bajo el enfoque de la FHWA	84
Tabla 3 Rugosidad admisible IRI (m/km) según tipo de carretera	101
Tabla 4 Estado de rugosidad IRI (m/km).....	102
Tabla 5 Condición de la vía según Roadroid.	108
Tabla 6 Rangos de calificación del PCI.....	110
Tabla 7 Niveles de severidad para huecos.	123
Tabla 8 Interpretación del VAN	150
Tabla 9 Criterio de decisión sobre la conveniencia de un proyecto	151
Tabla 10 Formato de inspección de daños.....	166
Tabla 11 Inventario de fallas existentes y valores deducidos de fallas existentes.....	167
Tabla 12 Valores deducidos de fallas existentes.....	167
Tabla 13 Tabla de valores deducidos de piel cocodrilo	168
Tabla 14 Calculo de valor deducido corregido	169
Tabla 15 cálculo del PCI y determinación de la condición	169
Tabla 16 Tabla de valor deducido corregido	170
Tabla 17 Vehículos de equivalencia en HDM-4.....	176
Tabla 18 Clases y características básicas de los vehículos representativos predefinidos	177
Tabla 19 Vehículos Automotores	178
Tabla 20 Características principales de la flota vehicular	180
Tabla 21 Características técnicas de la vía Juliaca- Putina al año 2023	181



Tabla 22 Alternativas de inversión publica	182
Tabla 23 Indicadores de la inversión publica	182
Tabla 24 Tráfico vehicular promedio diario semanal	183
Tabla 25 Calculo del factor de corrección por eje (f.c.e).....	184
Tabla 26 Valores del nivel de confianza R, de acuerdo al tipo de camino	186
Tabla 27 Factores de desviación normal.....	186
Tabla 28 Resultados de los ensayos del PCI- Tramo I	189
Tabla 29 Resultados de los ensayos del PCI- Tramo II.....	189
Tabla 30 Resultados de los ensayos del PCI- Tramo III.....	190
Tabla 31 Promedio de PCI por tramos.....	190
Tabla 32 IRI promedio por tramos.....	191
Tabla 33 Costos de trabajos de mantenimiento.	193
Tabla 34 Intervenciones mantenimiento periódico y rutinario –alternativa 1	195
Tabla 35 Intervenciones mantenimiento periódico y rutinario –alternativa 1	195
Tabla 36 Resumen del informe de los beneficios económicos totales.....	197
Tabla 37 Beneficio – costo de las alternativas.....	198
Tabla 38 Costos económicos totales anuales de mantenimiento (US\$)	201



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Clasificador de Rutas del SINAC.....	32
Figura 2 Curva de deterioro de los caminos en el transcurso del tiempo	41
Figura 3 Ciclo fatal de los caminos	43
Figura 4 Curvas comparativas del ciclo fatal y deseable de los caminos	48
Figura 5 Ciclo deseable de la conservación vial.....	49
Figura 6 Cambio hacia una cultura preventiva en el mantenimiento vial	50
Figura 7 Estrategias RRR según condición del pavimento.	81
Figura 8 Efecto de las estrategias 3R sobre la serviciabilidad de un pavimento.	81
Figura 9 Curva de deterioro de los pavimentos flexibles y los costos relativos.....	90
Figura 10 Modelo del cuarto de carro.....	92
Figura 11 Regularidad IRI en diferentes tipos de pavimentos	97
Figura 12 Velocidad máxima según rugosidad de las vías.....	98
Figura 13 Modo de empleo del Rugosímetro III durante la recolección de datos.....	99
Figura 14 Equipo Tipo respuesta Response Type Rousness Meters (RTRRM).....	100
Figura 15 Los porcentajes de condición del tramo de la carretera perteneciente al área seleccionada.....	103
Figura 16 Reporte de los cambios de condiciones ocurridos en una carretera usando R	103
Figura 17 Coeficiente de determinación(R ²)	104
Figura 18 De un recorrido de prueba de 72 km en Sudáfrica.....	106
Figura 19 Comparación entre el Austrade Aran IRI (verde) versus el cIRI (Rojo)	107
Figura 20 Importancia del IRI en el esquema general de análisis del HDM-4.....	109
Figura 21 Piel de cocodrilo niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	112



Figura 22 Exudación niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	113
Figura 23 Agrietamiento en bloque niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).	114
Figura 24 Abultamientos y hundimientos niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c). ..	115
Figura 25 Corrugación niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	116
Figura 26 Depresión niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).	117
Figura 27 Fisura de borde niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	118
Figura 28 Desnivel carril/berma, niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).	119
Figura 29 Fisuras longitudinales y transversales, niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	120
Figura 30 Parches de cortes utilitarios niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	121
Figura 31 Pulimento de agregados	122
Figura 32 Huecos niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	124
Figura 33 Ahuellamiento niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	125
Figura 34 Desplazamiento niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	126
Figura 35 Fisuras parabólicas niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).....	127
Figura 36 Hinchamientos.....	128
Figura 37 Peladura/desprendimiento niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).	129
Figura 38 Ciclo de gestión de carreteras.....	138
Figura 39 Concepto de análisis del ciclo de vida en HDM-4	140
Figura 40 Efecto del estado de la carretera sobre los costes de operación de vehículos	141
Figura 41 Arquitectura del sistema HDM-4	147
Figura 42 Sistema de gestión de infraestructura vial.....	148
Figura 43 Diagrama de flujos económico del proyecto.....	150
Figura 44 Mapa de la carretera San Antonio de putna – Desvio Huancane	154



Figura 45 Tramos de estudio de la carretera Juliaca – San Antonio de Putina	158
Figura 46 Generalidades de acceso y procesamiento del hdm4	161
Figura 47 Diagrama de valores deducidos de grietas longitudinales y transversales	171
Figura 48 Diagrama de curva de valores deducidos corregidos	171
Figura 49 Vehículo utilizado en el estudio del método Roadroid.	172
Figura 50 Instalación del móvil en el vehículo.....	173
Figura 51. Calibración de móvil	174
Figura 52 Evolución de regularidad por tramos	199
Figura 53 Regularidad media por proyecto	200



ACRÓNIMOS

AASHTO:	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes
AIPCR:	Asociación Mundial de la Carretera.
FHWA:	Administración Federal de Carreteras.
HDM-4:	Modelo de Desarrollo y Gestión de Carreteras versión 4
IMD:	Índice medio diario.
IMDA:	Índice medio diario anual.
IRI:	Índice internacional de rugosidad
MEF:	Ministerio de Economía y Finanzas.
MnDOT:	Departamento de Transportes de Minnesota.
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
OPS:	Oficina de Servicios para Proyectos.
PCI:	Índice de condición del pavimento (Present Serviceability Index).
SINAC:	Sistema Nacional de Carreteras.
TIR:	Tasa interna de retorno.
VAN:	Valor actual neto.
WEF:	World Economic Forum (Foro Económico Mundial).



RESUMEN

La presente indagación se llevó a cabo con el fin de evaluar la “efectividad del programa HDM-4 en la gestión de estrategias para el mantenimiento de la carretera Juliaca – San Antonio de Putina”, situada en la región Puno, para efectuar un mantenimiento preciso y oportuno que asegure la preservación de las propiedades fundamentales del pavimento asfáltico en la Ruta Nacional 34H. La investigación se caracteriza por un enfoque mixto de tipo aplicada, con un nivel descriptivo y un diseño no experimental. Este análisis se llevó a cabo en dos fases. La primera fase consistió en un estudio de campo, el cual abarcó la evaluación del tráfico vehicular, y la evaluación del estado actual del pavimento los cuales se sometieron a un análisis y procesamiento en gabinete. La segunda fase se centró en el procesamiento y evaluación con el programa HDM-4, planteando una alternativa base sin intervenciones de proyecto más allá del mantenimiento rutinario y dos alternativas distintas: la alternativa 1 implica un refuerzo asfáltico de 25 mm, y la alternativa 2 el fresado y reemplazo del pavimento. La opción más rentable resultó ser la alternativa 1, con un VAN superior en comparación con la alternativa 2. Los parámetros económicos asociados con esta opción incluyen un VAN de 0.841 millones de dólares y un TIR del 77.9% en relación con la opción base. El costo total estimado para llevar a cabo esta opción durante un período de 20 años es de US\$ 910,008.05. Se concluye que el “programa HDM-4” es una herramienta valiosa para la gestión de pavimentos; su principal función es pronosticar el deterioro del pavimento, lo que simplifica el proceso de toma de decisiones, sobre la conservación vial. Sin embargo, el programa no constituye un sistema integral de gestión de pavimentos, sino que se limita a ser una herramienta de apoyo dentro de este ámbito.

Palabras Clave: Gestión vial, HDM-4, IRI, Mantenimiento, PCI, Roadroid.



ABSTRACT

The present investigation was carried out in order to evaluate the "effectiveness of the HDM-4 program in the management of strategies for the maintenance of the Juliaca - San Antonio de Putina highway", located in the Puno region, to carry out precise maintenance and timely to ensure the preservation of the fundamental properties of the asphalt pavement on National Route 34H. The research is characterized by a mixed applied approach, with a descriptive level and a non-experimental design. This analysis was carried out in two phases. The first phase consisted of a field study, which included the evaluation of vehicular traffic. and the evaluation of the current state of the pavement, which were subjected to analysis and processing in the office. The second phase focused on processing and evaluation with the HDM-4 program, proposing a base alternative without project interventions beyond routine maintenance and two different alternatives: alternative 1 involves a 25 mm asphalt reinforcement, and alternative 2 pavement milling and replacement. The most profitable option turned out to be alternative 1, with a higher NPV compared to alternative 2. The economic parameters associated with this option include an NPV of \$0.841 million and an IRR of 77.9% relative to the base option. The total estimated cost to carry out this option over a 20-year period is US\$910,008.05. It is concluded that the "HDM-4 program" is a valuable tool for pavement management; Its main function is to predict pavement deterioration, which simplifies the decision-making process. on road conservation. However, the program does not constitute a comprehensive pavement management system, but is limited to being a support tool within this area.

Keywords: Road management, HDM-4, IRI, Maintenance, PCI, Roadroid.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Según el informe de competitividad emitido por el WEF del año 2018, se evaluó la infraestructura del Perú con un puntaje de 62.4 en una escala del 1 al 100, mientras que nuestro país vecino de Chile obtuvo un puntaje de 75.2, en cuanto a la calidad de las carreteras, Perú obtuvo una calificación de 3.2 y Chile de 5.2 en una escala del 1 a 7. El principal desafío actual en la infraestructura vial peruana radica en el deterioro prematuro de los pavimentos asfálticos, siendo la carretera Juliaca-Putina un ejemplo de esto, con notables índices de deterioro en su pavimento, Por lo que se sugiere establecer estrategias de mantenimiento para prevenir daños futuros y planificar acciones preventivas, también evalúa la viabilidad económica y analiza la modalidad de intervención más conveniente. Se incorporan parámetros técnicos como el IRI y el PCI, más los indicadores económicos como el VAN y el TIR para garantizar la viabilidad del proyecto.

La tesis está compuesta por siete capítulos, los cuales están organizados de la manera que se indica a continuación: el “capítulo I” comprende la sección introductoria, enfatiza la relevancia de las vías de comunicación en el progreso del país, plantea interrogantes, explica el propósito del estudio y enfatiza su relevancia, el “Capítulo II” proporciona una revisión bibliográfica, recopilando información importante sobre los antecedentes a nivel internacional, nacional y regional, así como aspectos teóricos relacionados con la gestión vial, el “Capítulo III” presenta los materiales y métodos, describiendo los métodos utilizados, el enfoque del estudio, la muestra poblacional, los métodos y herramientas empleadas para la recopilación de datos, la secuencia de uso del programa HDM -4, el uso del método PCI y finalmente el uso de la aplicación Roadroid, en el “Capítulo IV” se dan los resultados y discusiones además se presentan los resultados



procesados y muestran gráficas que permiten evaluar las vías de la carretera Juliaca-San Antonio de Putina tomando en cuenta indicadores económicos como VAN y TIR para elegir la mejor alternativa, este capítulo concluye con una discusión de los antecedentes de los trabajos realizados, el “Capítulo V” expone las conclusiones derivadas de los objetivos y preguntas de investigación, mientras que el “Capítulo VI” propone recomendaciones específicas fundamentadas en cada uno de estos elementos y finalmente el “capítulo VII” detalla todas las bibliografías utilizadas en el estudio.

En síntesis, esta investigación aporta evidencia concreta sobre la utilidad del HDM-4 como un programa de apoyo fundamental para las entidades encargadas de administrar la infraestructura vial, permitiéndoles optimizar la toma de decisiones en materia de rehabilitación y conservación de carreteras, de esta manera alcanzar una gestión más eficiente de los recursos existentes.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito mundial., la falta de mantenimiento adecuado de infraestructuras viales es un desafío común. Según el “Informe Global de Competitividad 2019 del WEF”, la calidad de la infraestructura vial varía significativamente entre países, con naciones desarrolladas liderando los rankings, mientras que muchos países en desarrollo enfrentan problemas similares a los del Perú (WEF, 2019). “La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos” estima que, globalmente, se necesita una inversión anual de alrededor del 2.5% del PIB mundial en infraestructura de transporte hasta 2030 para mantener las redes existentes y satisfacer la demanda futura (OECD, 2017).

En el contexto latinoamericano, la situación es particularmente crítica. Según el Banco Interamericano de Desarrollo, la región invierte solo alrededor del 3% de su PIB en infraestructura, muy por debajo del 5-6% recomendado para cerrar la brecha de



infraestructura (BID, 2020). Un estudio de la “Comisión Económica para América Latina y el Caribe” señala que el 60% de las carreteras en la región están en mal estado, lo que resulta en mayores costos de transporte y menor competitividad económica (CEPAL, 2018).

En nuestro país, la viabilidad de los proyectos de infraestructura se evalúa únicamente en base a los costos iniciales, sin considerar los costos futuros de mantenimiento. Entre las inversiones en el Perú, las relacionadas con el transporte son las más caras, con un promedio de 1,2 millones de dólares por kilómetro pavimentado (Vilchez,2021). Por ello, es esencial enfocarse más en la conservación de la infraestructura vial. Actualmente existe un deterioro significativo en la carretera Juliaca-Putina debido a la falta de conservación vial y estrategias adecuadas de mantenimiento. Este deterioro está afectando negativamente los tiempos de desplazamiento, la fluidez del tránsito, la funcionalidad de la carretera y la seguridad de los usuarios. Además, la falta de mantenimiento oportuno genera un ciclo vicioso donde las vías se deterioran completamente antes de cumplir su vida útil, lo que implica mayores costos de rehabilitación o reconstrucción.

La situación indica que, si no se toman medidas correctivas y se continúa con la falta de conservación vial en la carretera Juliaca-Putina, el deterioro seguirá avanzando, lo que podría llevar a un estado de intransitabilidad parcial o total en algunas secciones de la vía. Esto tendría consecuencias negativas. Esto tendría consecuencias negativas para la interconexión y el progreso económico y social de la región, al dificultar el desplazamiento de personas y bienes. Además, los costos de rehabilitación o reconstrucción serían significativamente más elevados que si se implementaran medidas de mantenimiento preventivo y oportuno.



Para controlar y evitar un mayor deterioro de la carretera Juliaca-Putina, se propone desarrollar una estrategia de conservación vial que incluya un programa de conservación preventivo y periódico de la vía, con actividades de bacheo, sellado de grietas, nivelación de la superficie, entre otras. Para este propósito, se utilizará el programa HDM-4, el cual permitirá evaluar y optimizar las estrategias de mantenimiento vial, asegurando una conservación adecuada de la infraestructura y evitando el ciclo de deterioro prematuro.

1.1.1. Problema general

¿Cuál es la efectividad del programa HDM 4 para la gestión de estrategias de mantenimiento en la carretera Juliaca - San Antonio de Putina?

- ¿Cuál es el estado actual de la carretera Juliaca - San Antonio de Putina con el método PCI?
- ¿Cuál es el índice de rugosidad (IRI) del tramo de carretera Juliaca – San Antonio de Putina?
- ¿Cuál es la mejor estrategia de mantenimiento para la conservación de la superficie de rodadura de la carretera Juliaca – San Antonio de Putina?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la efectividad del programa HDM 4 en la gestión de estrategias para el mantenimiento de la carretera Juliaca – San Antonio de Putina.



1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el estado actual del pavimento de la carretera Juliaca – San Antonio de Putina, con el método PCI.
- Determinar el índice de rugosidad (IRI) del tramo de carretera Juliaca – San Antonio de Putina.
- Proponer la mejor estrategia de conservación para una adecuada gestión de conservación vial en la carretera Juliaca – San Antonio de Putina.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Actualmente, la región de Puno enfrenta una gestión inadecuada de su red vial, evidenciada por un ciclo recurrente de deterioro en sus carreteras. Este patrón de construcción, seguido de abandono o mantenimiento inadecuado y posterior destrucción, no solo afecta la infraestructura vial, sino también impacta negativamente en la economía y la seguridad regional. Problemas comunes como fisuras, grietas y baches, al no ser atendidos oportunamente, comprometen la integridad estructural del pavimento. Esto no solo aumenta los costos de reparación a largo plazo, sino que también interrumpe el flujo de transporte, obstaculizando el comercio de productos y servicios, así como limitando la movilidad de las personas. Durante su vida útil, el pavimento inevitablemente sufre deformaciones y erosión. La falta de mantenimiento adecuado acelera este deterioro, esto requiere la aplicación de estrategias eficaces para extender la vida útil de las vías terrestres.

Bajo esas circunstancias, el estudio busca realizar contribuciones significativas a la conservación vial en la región de Puno. Se propone optimizar las estrategias de conservación vial para aumentar la durabilidad del camino mediante el análisis proporcionado por el programa HDM-4. Este enfoque permitirá una mejor utilización de



los recursos económicos, reduciendo los costos de mantenimiento a través de un programa de gestión vial eficiente y maximizando el uso de los recursos estatales asignados. Esta optimización es crucial en un escenario de presupuestos limitados y alta demanda de infraestructura de calidad.

Una red vial bien mantenida y gestionada es fundamental para el progreso económico y social. Facilita el acceso a mercados, servicios y oportunidades, fomentando de este modo el crecimiento equilibrado tanto a nivel local como nacional.



CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes a nivel internacional

López (2016), su investigación se centró en definir integralmente las alternativas de mantenimiento con base a los resultados conseguidos del uso de la metodología HDM-4, en los tramos carreteros que comprende el CPCC de la región de Zamora, México. La situación problemática que presenta es el incremento en los gastos hacia los usuarios y la dificultad de obtener recursos económicos para ejecutar las acciones de conservación requeridas, reflejan la gran problemática que se tiene para mantener nuestras carreteras en un nivel de servicio adecuado. La investigación fue descriptivo y explicativo de enfoque cualitativo. A raíz de este estudio según los resultados se concluyó que, emplear la herramienta de análisis de estrategia en los casos en los que sea más adecuado utilizar la herramienta de análisis de programa, para evaluar el desempeño de los activos y no sólo la rentabilidad de la inversión, la inadecuada distribución de fondos para la conservación de vías ha constituido uno de los obstáculos más arduos de superar, esto acarrea que el funcionamiento de los sistemas de gestión se merme y se utilicen acciones de conservación que no sean las idóneas, esto conlleva a que los objetivos planificados no se alcancen.

Jarrin (2019). En su estudio realizado se examinó opciones para el cuidado del asfalto flexible en una avenida importante de Quito, Ecuador. La investigación, de carácter descriptivo y cuantitativo, empleó el sistema HDM-4



para su análisis. Al comparar dos estrategias de reconstrucción - una sobre base granular y otra sobre base estabilizada - se determinó que la segunda ofrecía ventajas técnicas. Esta opción mantenía índices de rugosidad internacional (IRI) más bajos, lo que resulta en un incremento en la comodidad y seguridad para las personas. Desde la perspectiva económica, el análisis de costos y beneficios reveló que la opción con base granular presentaba una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior, indicando una mayor rentabilidad. El investigador destacó la versatilidad del modelo HDM-4, que permite incorporar diversos factores como drenaje, condiciones ambientales, flujo vehicular, características geométricas de la carretera, estado de la superficie y costos asociados. Esta capacidad proporciona un análisis más preciso y cercano a las condiciones reales del proyecto.

Vergara (2021) su finalidad primordial fue “determinar la viabilidad de implementar un sistema de gestión vial apoyado en el programa HDM-4 en una ciudad como Medellín”, estudiando las intervenciones necesarias para mantener un adecuado nivel de servicio en una vía con pavimento asfáltico de la ciudad. La situación problemática que plantea se puede considerar que el sistema de administración de pavimentos es necesario para hacer un buen uso de los recursos disponibles. Su nivel de investigación es exploratorio con un enfoque mixta. Según los resultados de su investigación se llegó a concluir que implementar un sistema de gestión vial puede ser costoso, pero recolectar información sobre las vías es esencial para distribuir el presupuesto de manera objetiva. Dado que obtener los datos para el software de simulación es caro, es crucial estudiar la sensibilidad de los modelos del HDM-4 para priorizar las variables importantes. Es fundamental actualizar continuamente las características de las vías para evitar errores en las simulaciones. El software de gestión vial debe complementarse con



inspecciones de campo para asegurar que las intervenciones recomendadas sean adecuadas y precisas.

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

Yvala (2019), su estudio planteó como propósito realizar una “evaluación económica del ciclo de vida entre pavimentos rígidos y flexibles en vías colectoras y arteriales de Ayacucho”, mediante indicadores de rentabilidad para determinar cuál otorga mayor serviciabilidad con menor costo. Su enfoque fue cuantitativo de diseño no experimental, basado en observación, descripción y recolección de datos sobre los factores influyentes en el costo de vida de ambos pavimentos. En su estudio se afirma que el análisis del Valor Actual Neto (VAN) de los diferentes tipos de pavimentos propuestos para las vías estudiadas arroja una conclusión significativa: en un amplio porcentaje de los ejemplos estudiados, específicamente el 87.5%, la opción de construir un pavimento rígido (considerada como la primera alternativa) demuestra ser económicamente más ventajosa que la implementación de un pavimento flexible (contemplada como la segunda alternativa). Esta observación se aplica a las vías arteriales y colectoras ubicadas en el distrito de Ayacucho.

Vargas (2017), su intención primordial era determinar la alternativa más idónea en términos técnicos y económicos para garantizar una adecuada conservación de la vía Tacna-Tarata. En su investigación emplea el modelo HDM-4 para evaluar diversas estrategias de preservación de la vía analizada. Este proceso implica calcular tanto los gastos de inversión inicial como los costos de conservación continuo, contrastándolos con los beneficios que se obtienen al utilizar la carretera. El objetivo de este estudio comparativo es identificar la opción



de mantenimiento que ofrezca el mejor equilibrio entre viabilidad técnica y rentabilidad económica. El estudio se basa en un enfoque cuantitativo, con un nivel descriptivo y explicativo, y presenta un diseño no experimental, el autor según sus reportes infirió que dicha ruta requiere una intervención inmediata para evitar un mayor deterioro, ya que en su estado actual y sin un esquema de preservación tanto a corto como a largo plazo, dejaría de desempeñar su papel. debido al tránsito continuo, incluso de vehículos pesados, y a los efectos climáticos adversos estacionales. Ello conllevaría a que el costo posterior de su rehabilitación sea mucho mayor que acometer acciones preventivas y establecer una estrategia de gestión vial sostenible. Así, demostró que los sistemas de gestión de pavimentos, como el modelo HDM-4 para el análisis de datos levantados en campo, se relacionan directamente para definir las intervenciones más rentables que mejoren la transitabilidad y seguridad vial.

Velazquez (2021), Su estudio busca validar el método Roadroid como una alternativa eficiente y económica para calcular el IRI en carreteras concesionadas. Este enfoque promete mejorar la gestión de pavimentos, optimizando recursos y ofreciendo una evaluación funcional más accesible. Además, se propone analizar la relación entre los valores cIRI y eIRI proporcionados por Roadroid. La problemática surge de los altos costos asociados a los métodos tradicionales de cálculo del IRI, lo que dificulta a los gobiernos municipales mantener información actualizada sobre el estado de sus vías y planificar adecuadamente el mantenimiento. La investigación, de carácter correlacional y enfoque cuantitativo, reveló que Roadroid ofrece dos índices: cIRI (basado en la simulación del cuarto de carro) y eIRI (que cuantifica la textura superficial del pavimento). El análisis comparativo de estos índices en tres subtramos mostró correlaciones positivas



altas (0.662 y 0.630) en dos subtramos y muy alta (0.864) en otro, según los criterios de Pearson. Generalmente, se observó una relación directa entre cIRI y eIRI. El estudio concluye que Roadroid puede representar un ahorro significativo del 88.29% en comparación con el uso de un perfilómetro láser, reduciendo sustancialmente los costos de evaluación y ofreciendo una alternativa viable a la gestión de pavimentos.

2.1.3. Antecedentes a nivel regional y/o local

Chambi (2021), su tesis se abordó principalmente en “desarrollar un modelo de gestión de conservación vial con el software HDM-4 para disminuir los costos de mantenimiento y operación vehicular en la vía Juliaca-Lampa.” Explica que en Puno las entidades responsables priorizan la construcción de nuevos caminos sobre conservar adecuadamente los existentes. Su investigación fue descriptivo, no experimental, detallando inicialmente las condiciones actuales de dicha carretera para luego aplicar HDM-4 a fin de evaluar la reducción de costos bajo tres alternativas de mantenimiento. Concluye que la mejor, según ese modelo, es el fresado del asfalto y reposición con mezcla polimérica (alternativa 3) en etapas: sector 3 en 2020, sector 2 en 2022 y sector 1 en 2024, complementado con mantenimiento rutinario. Así presenta un modelo de gestión vial enfocado en disminuir gastos de preservación y usuarios.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. La Gestión de infraestructura vial

2.2.1.1. Concepto

Según Salomón (2003), tradicionalmente la gestión vial ha consistido en que las agencias de caminos reparen y amplíen las carreteras cuando surgen problemas. Actúan de manera reactiva en lugar de preventiva. Los conceptos modernos sugieren que la gestión vial debería involucrar que las agencias establezcan metas y objetivos a largo plazo. Deberían planificar mejor cómo usar los recursos, tomar acciones preventivas para evitar el deterioro de las vías, y desarrollar la capacidad para tomar decisiones oportunas (pág. 3).

El “D. S. N° 034-2008-MTC”, promulgado en 2008, establece que la gestión de la infraestructura vial se refiere a la administración de las carreteras dentro del Sistema Nacional de Carreteras. Esto incluye diversas funciones que abarcan desde la planificación y ejecución hasta el mantenimiento y operación, así como la conservación del derecho de vía. Este proceso se organiza en fases que incluyen la planificación, estudios de preinversión, estudios definitivos, construcción de obras viales, mantenimiento y operación, tal como se detalla en el reglamento nacional sobre la gestión de infraestructura vial, modificado posteriormente por el “D. S. N° 021-2016-MTC”.

El artículo 4 del mencionado reglamento señala las autoridades competentes en este ámbito. El MTC es la entidad encargada de emitir normativas relacionadas con la gestión de las infraestructuras viales,

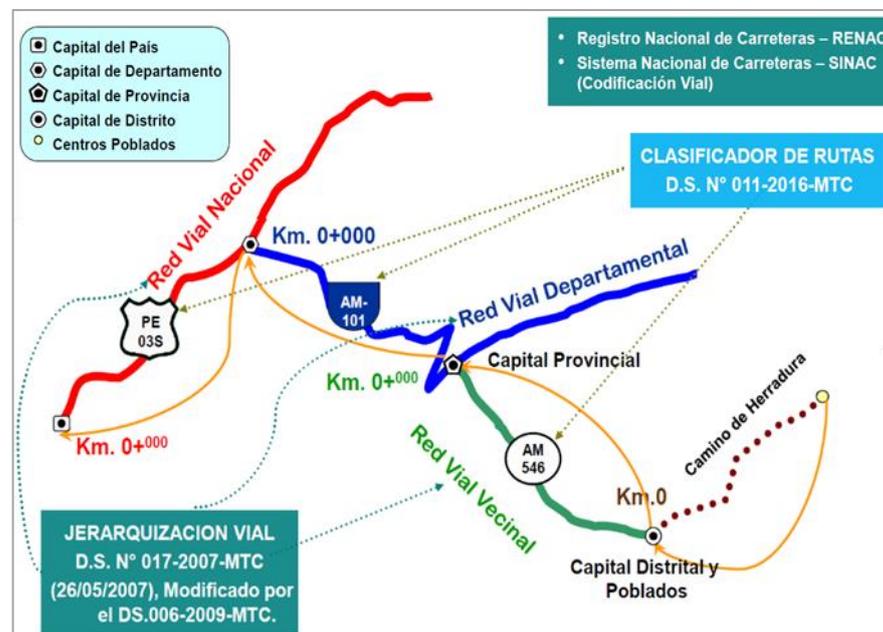


supervisar que se cumplan e interpretación de dichas las normas técnicas del reglamento. Además, se establece que las autoridades competentes para aplicar este reglamento son: “Gobierno Nacional gestiona la Red Vial Nacional, Gobiernos Regionales administran la Red Vial Departamental y los Gobiernos Locales (Municipalidades provinciales y distritales) manejan la Red Vial Vecinal o Rural”. Cada nivel es responsable de su respectiva red, asegurando una gestión descentralizada y adaptada a las necesidades específicas de cada ámbito territorial.

En relación con los aspectos normativos de la gestión de la infraestructura vial, se menciona el Clasificador de Rutas del SINAC, establecido en el “D.S. N° 011-2016-MTC”. Este documento oficial, emitido por el MTC, proporciona un desglose de las carreteras tanto existentes como en desarrollo, clasificándolas en red vial nacional, red vial regional y red vial vecinal o rural, como se ve en la figura siguiente:

Figura 1

Clasificador de Rutas del SINAC



Nota: Elaboración adaptada de (D.S. N°011-2016-MTC)

2.2.1.2. Características de una buena gestión vial

No se limita solo al área de competencia inmediata (construir o mantener caminos), sino que busca integrar todas las áreas relacionadas para contribuir al bien común y aminorar los efectos negativos. Eso significa:

- Tomar conciencia de cómo las vías afectan el progreso económico y social.
- La iniciativa de conectar en la administración vial a quienes se benefician y utilizan las carreteras, siendo estos los receptores finales de la labor en infraestructura.
- Considere la seguridad vial como un esfuerzo por reducir los accidentes y salvar vidas.



- Comprender el impacto negativo de las vías de comunicación para minimizar su huella ecológica y fomentar la preservación del entorno natural
- Determinar la vulnerabilidad de la infraestructura a los desafíos naturales para reducir sus efectos. (Salomón, 2003, pág. 5).

Haas et al. (2015), los autores abordan múltiples aspectos de una buena gestión vial. algunas de las características que los autores destacan incluyen:

- Enfoque sistemático: Los autores enfatizan la esencia de un enfoque total y sistemático para la gestión vial.
- Evaluación del estado del pavimento: Describen métodos para evaluar y monitorear la condición de las vías.
- Planificación a largo plazo: Discuten la esencia de la planificación estratégica en la gestión vial.
- Análisis del ciclo de vida: Ofrecen métodos para evaluar los costos y beneficios durante el tiempo de vida de la infraestructura vial.
- Optimización de recursos: Ofrecen estrategias para la asignación eficiente de recursos limitados.
- Uso de tecnología: Exploran el papel de los sistemas computarizados en la gestión vial.
- Consideraciones económicas: Analizan los aspectos económicos de las decisiones en la gestión de pavimentos.



- Nuevas tecnologías: Incorpora información sobre el uso de tecnologías más modernas en la evaluación y gestión de pavimentos.
- Sostenibilidad: Incluye consideraciones más amplias sobre la sostenibilidad en la administración de infraestructuras viales.
- Gestión de activos: Expande el concepto de la administración de pavimentos a una visión más integral de gestión de activos viales.
- Casos de estudio actualizados: Presenta ejemplos más recientes de implementación de sistemas de gestión vial.
- Tendencias globales: Refleja las tendencias internacionales en prácticas de gestión de pavimentos.

2.2.1.3. Objetivos de la gestión vial

La finalidad de cualquier entidad encargada de administrar la infraestructura vial es desarrollar y mantener una red de carreteras que sea sostenible en términos técnicos, financieros y ambientales. Esta red debe garantizar a quienes la utilizan condiciones de fiabilidad, seguridad y accesibilidad constante, sin importar la temporada del año.

Las entidades responsables de la gestión vial también persiguen una serie de objetivos específicos, que incluyen:

- Construir, rehabilitar y realizar un mantenimiento adecuado de la red vial bajo su jurisdicción.
- Preservar la inversión en infraestructura vial mediante políticas y acciones apropiadas de preservación de vías.



- Mejorar las condiciones deficientes de los caminos y puentes a través de los proyectos de mejoramiento y rehabilitación.
- Ampliar la red vial considerando las necesidades y prioridades de la población.
- Mantener en óptimas condiciones la red vial es esencial para preservar la flota vehicular. Cuando las carreteras están en buen estado, los gastos asociados al funcionamiento de los vehículos disminuyen significativamente. Esta reducción en los costos operativos permite que las tarifas de transporte sean más económicas, lo cual beneficia directamente a los usuarios de estos servicios (Salomón, 2003, pág. 6).

MTC (2016), afirma que el fin de implementar la política de mantenimiento vial establecida, se plantean los siguientes objetivos de mantenimiento para garantizar la calidad del servicio en la red vial:

- Salvaguardar y preservar el patrimonio de la infraestructura vial.
- Asegurar tránsito continuo y seguro.
- Proporcionar comodidad y protección a los usuarios.
- Maximizar la eficiencia económica de las acciones venideras.
- Prevenir deterioro de infraestructura por incumplimiento de normas.

Solminihac et al. (2019), el objetivo principal de la gestión de infraestructura vial es coordinar diversos elementos a través de actividades que aseguren un funcionamiento eficiente. Por ejemplo, un camino no puede tener un pavimento en óptimas condiciones si las bermas están gravemente deterioradas o si hay baches en las entradas y salidas de los



puentes. Así, la gestión integral de la infraestructura vial debe iniciar con el pavimento, pero debe evolucionar para incluir herramientas que permitan mantener de manera adecuada todos los componentes, garantizando así una operación segura y económica para los usuarios.

2.2.2. Gestión de estrategias de mantenimiento

2.2.2.1. Estrategias de mantenimiento

AIPCR (2013) describe la estrategia como un elemento dinámico que requiere adaptación constante a los cambios en su entorno, ya sean políticos, presupuestarios o tecnológicos. Se enfatiza la importancia de revisiones periódicas basadas en indicadores para asegurar su eficacia en el logro de objetivos organizacionales. Además, se destaca la importancia de establecer un sistema que respalde la gestión estratégica, como elemento clave para lograr los objetivos planteados.

Según Solminihac et al. (2019), “una estrategia de mantenimiento se entiende como un conjunto de acciones diseñadas para mejorar el rendimiento estructural y funcional de la infraestructura, especialmente del pavimento”. La elección de esta estrategia se basa en varios factores, incluyendo los tipos de deterioro que se buscan corregir el grado de deterioro de la infraestructura vial, el estándar de mantenimiento establecido a los niveles de red y proyecto, la política de conservación a aplicar y los resultados que se pretenden lograr.

Según CAF (2010), “hay dos estrategias extremas relacionadas con la ejecución del mantenimiento vial”:



a. Mantenimiento correctivo

Esta estrategia se basa en la reparación inmediata de los daños conforme se van presentando.

b. Mantenimiento preventivo

Esta estrategia se enfoca en implementar medidas preventivas que retrasen o impidan la aparición de determinados daños.

Según MTC (2014), el mantenimiento de las vías tiene como finalidad principal la prevención, abarcando diversas tareas esenciales:

- Impedir la penetración de agua en el pavimento mediante la aplicación de capas de sello asfáltico, sellado de fisuras y grietas, capas asfálticas delgadas, etc.
- Extraer el agua acumulada en la estructura del pavimento a través de sistemas de subdrenaje o la restauración del sistema de drenaje.
- Mejorar la uniformidad de la superficie vial utilizando técnicas como el perfilado y el fresado.
- Preservar la integridad de los puentes mediante limpieza, pintado, protección contra erosión, reparación de tableros y conservación de los sistemas de drenaje.

La finalidad preventiva del mantenimiento de carreteras se resume en:

- Asegurar la transitabilidad continua en todas las condiciones climáticas.



- Mantener los niveles de servicios óptimos en término de seguridad y comodidad hacia los usuarios.

La evaluación del nivel de servicio se realiza tomando en cuenta la adherencia y el estado de la capa de rodadura, así como la calidad de la señalización y los dispositivos de seguridad.

Aunque no se contemplan cambios geométricos extensos, sí se incluyen mejoras puntuales para aumentar la seguridad, como la ampliación de curvas o la mejora de visibilidad en ciertas zonas.

Es importante destacar que muchos problemas de pavimento se deben a factores como la inclinación inadecuada o el mal estado de los sistemas de drenaje, más que a la estructura misma del pavimento. El mantenimiento vial aborda estos aspectos.

La conservación de puentes es otro elemento crucial, incluyendo la limpieza de drenajes, reparación de juntas y prevención de socavación.

Finalmente, se considera la adaptación de los pavimentos al aumento del tráfico pesado mediante recapados o refuerzos, sin alterar el ancho de la vía.

2.2.2.2. La Conservación Vial

a. concepto

Salomón (2003), son actividades técnicas periódicas y rutinarias que realizan los administradores de gestión vial para cuidar las vías y conservarlas en buen estado. El objetivo es asegurar un tránsito vehicular fluido durante todo el año, proporcionando bienestar y seguridad a las



personas, así como proteger las inversiones realizadas en la construcción y rehabilitación de carreteras.

“La conservación vial comprende las actividades realizadas para mantener en buen estado los distintos elementos de la infraestructura, garantizando así un tránsito cómodo, seguro, fluido y económico para los usuarios, tal como se establece en la” (R. D. N° 051-2007-MTC.)

“Conservación vial implica el conjunto de obras de ingeniería vial que deben efectuarse de manera inmediata ante cualquier deterioro detectado en el camino, con el fin de solucionarlo en el menor tiempo posible desde el momento que es identificado” (R.D. N° 17-2013-MTC).

b. Esquema de conservación vial sano

- Un esquema adecuado de conservación vial funciona cumpliendo las siguientes condiciones fundamentales:
- El mantenimiento de la red debe ser permanente y preventivo, no sólo ocasional, bajo una perspectiva de largo plazo para que se conserve en buen estado.
- La conservación vial debe planificarse optimizando la relación costo-beneficio a un nivel razonable.
- Es imperativo maximizar la eficiencia en el empleo de los recursos humanos y materiales disponibles
- Se deben minimizar los impactos ambientales negativos.

(Salomón, 2003, pág. 7).

Este trabajo de Haas et al (2009), presenta un esquema comprehensivo para la conservación vial sana, abordando varios aspectos clave:



- Indicadores de desempeño: Proponen un grupo de indicadores medibles para analizar la condición y el rendimiento de las carreteras.
- Gestión basada en activos: Describen un enfoque que considera las carreteras como activos a largo plazo.
- Planificación estratégica: Ofrecen un marco para el plan a largo plazo de la conservación vial.
- Optimización de recursos: Discuten métodos para asignar eficientemente los recursos limitados.
- Prácticas internacionales: Comparan prácticas de conservación vial de diferentes países, proporcionando una perspectiva global.
- Sostenibilidad: Incorporan consideraciones de sostenibilidad en la gestión vial.
- Tecnología e innovación: Abordan el uso de tecnologías modernas en la conservación de carreteras.

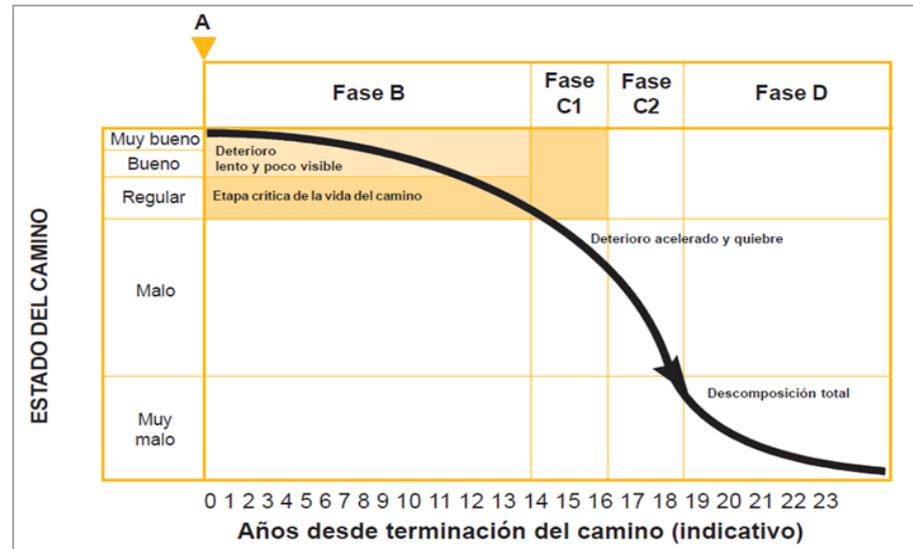
c. Caminos que no operan bajo un esquema sano de conservación

Salomón (2003), las instituciones a cargo del mantenimiento vial que no cuentan con un sistema efectivo, sólo reparan los daños más evidentes o atienden emergencias, con presupuestos limitados. Esto conlleva a la acumulación de trabajos pendientes y en el mediano plazo provoca el deterioro total de las vías, requiriendo su rehabilitación o reconstrucción. Se genera un ciclo nocivo debido a que la falta de un adecuado plan de conservación propicia un acelerado desgaste de los caminos. Es crucial implementar estrategias preventivas de conservación periódica para ampliar la vida útil de las carreteras y evitar su

reconstrucción prematura, que implica una gran inversión. Esos caminos se ven atrapados en un ciclo perjudicial con cuatro fases.

Figura 2

Curva de deterioro de los caminos en el transcurso del tiempo



Nota: José Rafael Menéndez, 2003.

d. Fase A: Construcción

Salomón (2003), una carretera, tanto si es de construcción excelente como si presenta ciertos defectos, entra en funcionamiento y está disponible para los usuarios tan pronto culmina, el mismo día de su inauguración (Punto A en la Figura 2). En ese momento inicial, la vía se halla en condiciones óptimas para satisfacer las necesidades de quienes transitan por ella.

e. Fase B: Deterioro lento y poco visible:

Salomón (2003), los caminos sufren desgaste y debilitamiento gradual con el uso, especialmente en la superficie de rodadura. El daño



depende del tráfico, clima y otros factores. La rapidez del deterioro también depende de la calidad original.

Para frenar el desgaste se requiere mantenimiento y reparaciones periódicas de la superficie y el drenaje. Si no se hace, la vida útil se acorta rápidamente.

Muchas veces no se conservan bien por falta de recursos o priorizar caminos en mal estado. También por la errónea idea de un "diseño para X años". El mantenimiento es necesario durante toda la vida útil.

Inicialmente el camino luce bien, pero las fallas aumentan sin que el usuario lo note. El mantenimiento oportuno alarga la vida útil y evita reconstrucciones costosas.

En la fase B, la vía luce en un óptimo estado y el pasajero no nota el desgaste gradual ni fallas aisladas. El camino sigue funcionando bien, está en condiciones de ser conservado adecuadamente y conviene hacerlo para prolongar su vida útil.

f. Fase C: Deterioro acelerado

Salomón (2003), en la fase C, luego de años de utilización, el área de rodadura y demás elementos del camino presentan un deterioro severo. La carretera empieza un proceso acelerado de daño y soporta menos tráfico. Si bien inicialmente luce bastante sólida, en realidad ya no lo está.

Avanzada esta fase, los deterioros superficiales son más evidentes y comienzan fallas en la estructura básica, no visibles. Cuando hay fallas graves notorias en la superficie, la estructura tiene un serio compromiso.

Estos daños progresan afectando gran parte del camino. Es una fase corta pues, al generalizarse los desperfectos, la destrucción se acelera.

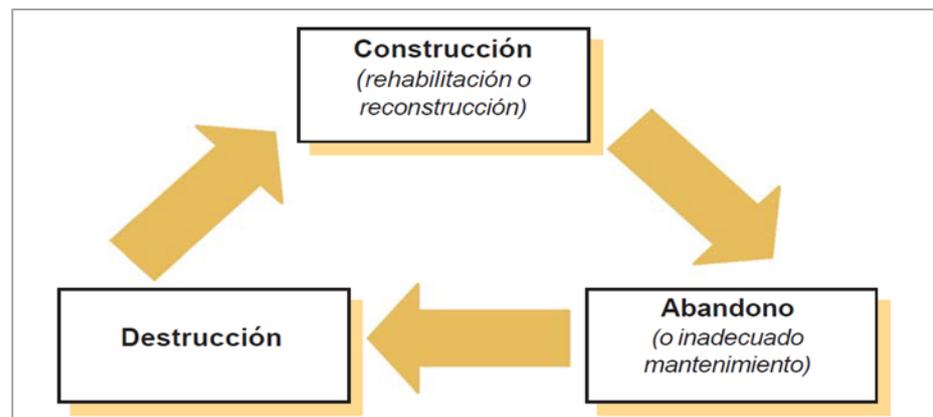
g. Fase D: Descomposición total

Salomón (2003), en la última fase, el deterioro total dificulta mucho el tránsito, reduce la velocidad y capacidad del camino. Los vehículos sufren daños. Los costos operativos y accidentes graves aumentan. Solo circulan camiones y vehículos especiales.

Desgraciadamente hay ejemplos en Latinoamérica de carreteras vitales que han llegado a este estado, requiriendo costosas reconstrucciones. Esto pudo evitarse con mantenimiento preventivo oportuno. Muchos países aprendieron la lección a un alto costo. Debemos asimilarla y no olvidarla.

Figura 3

Ciclo fatal de los caminos



Nota: Emilio Salomón, 2003.



2.2.2.3. Niveles de intervención para la conservación vial

a. Mantenimiento rutinario

Implica reparar de manera localizada pequeños deterioros en el área de rodadura, nivelarla y las bermas, mantener el drenaje, taludes, bordes y elementos accesorios, controlar el polvo y vegetación, limpiar las zonas de descanso y señalización. Se realiza regularmente una o más veces al año, de acuerdo a las características de la vía y el clima. (Salomón, 2003, pág.11).

El mantenimiento rutinario, según el MTC (R.D. N° 051-2007-MTC/14), incluye actividades diarias en los tramos de carretera para conservar los elementos viales con el menor daño posible y mantener las condiciones tras la construcción o rehabilitación. Este mantenimiento preventivo abarca tareas como la limpieza de la calzada, el drenaje, el desbroce de los vegetales en el derecho de vía y reparaciones específicas en la plataforma. Su finalidad es conservar la vía en óptimas condiciones mediante acciones continuas de mantenimiento diario. Estas actividades son:

- Limpieza de la vía y remoción de pequeños derrumbes.
- Reparación puntual de imperfecciones menores en la capa rodadura.
- Conservación de los sistemas de drenaje.
- Control de la vegetación y la conservación de la señalización.



b. Mantenimiento periódico

“Se realiza cada cierto año para tratar y renovar la superficie de la vía, preservando sus características sin reforzar la estructura, con el fin de mantener la integridad del camino y prevenir su deterioro” (Salomón, 2003, pág.12).

El MTC (R.D. N° 051-2007-MTC/14), “define como un conjunto de actividades que se realizan cada más de un año, con el objetivo de prevenir o mitigar fallas mayores, preservar las características superficiales, mantener la integridad estructural de la vía y corregir defectos puntuales significativos.” Ejemplos de estas actividades incluyen la aplicación de capas de refuerzo, recapeos y reparaciones de diversos componentes del camino. Estas acciones se pueden clasificar en diferentes grupos:

- Restitución de las propiedades superficiales de rodadura.
- Reparación de estructuras complementarias de la vía.
- Reparación del sistema de evacuación de aguas.

c. Rehabilitación

La rehabilitación de carreteras se basa en la reparación y el refuerzo estructural después de la destrucción parcial de las estructuras existentes. Se lleva a cabo cuando la carretera está muy deteriorada para resistir el tráfico y mejorar el drenaje y la contención. La reparación de la capacidad portante y la calidad superficial del camino es el objetivo principal. Por lo general, debido a la falta de conservación adecuada, se requiere



rehabilitación, pero en un plan de conservación efectivo, solo debería ser ocasional (Salomón, 2003, pág.12).

MTC (2018), la rehabilitación vial implica ejecutar obras que restauran las características originales de la infraestructura y la adaptan para un nuevo ciclo de servicio. Esto incluye principalmente renovar pavimentos, puentes, túneles y sistemas de drenaje, así como realizar movimientos de tierra localizados cuando sea necesario. Esta definición implica que la rehabilitación es un nivel de intervención más profundo que la conservación rutinaria o periódica, orientado a restaurar la infraestructura vial a sus condiciones originales de diseño, considerando las necesidades actuales y posteriores de la carretera.

d. Mejoramiento

La mejora de caminos incluye la renovación y rehabilitación de la superficie, así como cambios en ancho, alineamiento, curvatura y pendiente. Objetivo: aumentar la capacidad, la velocidad y la seguridad de los automóviles (Salomón, 2003, pág. 12).

MTC (2018), el mejoramiento vial comprende la realización de trabajos para elevar la calidad de la carretera. Esto implica cambios significativos en su geometría y estructura, incluyendo la modificación o construcción de elementos como puentes, túneles, sistemas de drenaje, muros de contención y señalización. Esta definición implica que el mejoramiento es un nivel de intervención que va más allá de la rehabilitación, buscando no solo restaurar las condiciones originales de la vía, sino mejorarlas significativamente. Esto puede incluir cambios en el



diseño geométrico, fortalecimiento de la estructura de la calzada, y mejoras en otros componentes de la infraestructura vial.

e. Reparaciones de emergencia

Reparaciones de emergencia se compone de dos aspectos: la atención a situaciones de desastres naturales para restaurar la transitabilidad de los caminos rápidamente, asegurando el flujo de usuarios y productos; y la realización de actividades para devolver la transitabilidad mínima a caminos en mal estado o intransitables debido a descuido prolongado, cuando no hay recursos para reconstrucción o rehabilitación. Aunque estas reparaciones no solucionan las fallas estructurales, permiten un flujo regular de vehículos durante un período de tiempo limitado, dejando el camino generalmente en un estado de funcionamiento regular (Salomón, 2003, pág. 12).

De acuerdo con el “Manual de conservación de carreteras aprobado (RD N° 17-2013-MTC/14)”, las emergencias viales no se consideran parte del mantenimiento de carreteras. Estas emergencias son imprevisibles y demandan recursos adicionales.

MTC (2018), atención de emergencias son acciones que se hacen para recuperar la transitabilidad de un sector de la carretera que se ha visto afectado por un evento extraordinario o de fuerza mayor, por ejemplo: inundaciones, derrumbes, deslizamientos, accidentes, etc., que obstruyen la vía o afectan la seguridad de los usuarios. Esta definición implica que la Atención de Emergencias es una intervención reactiva y urgente, diseñada

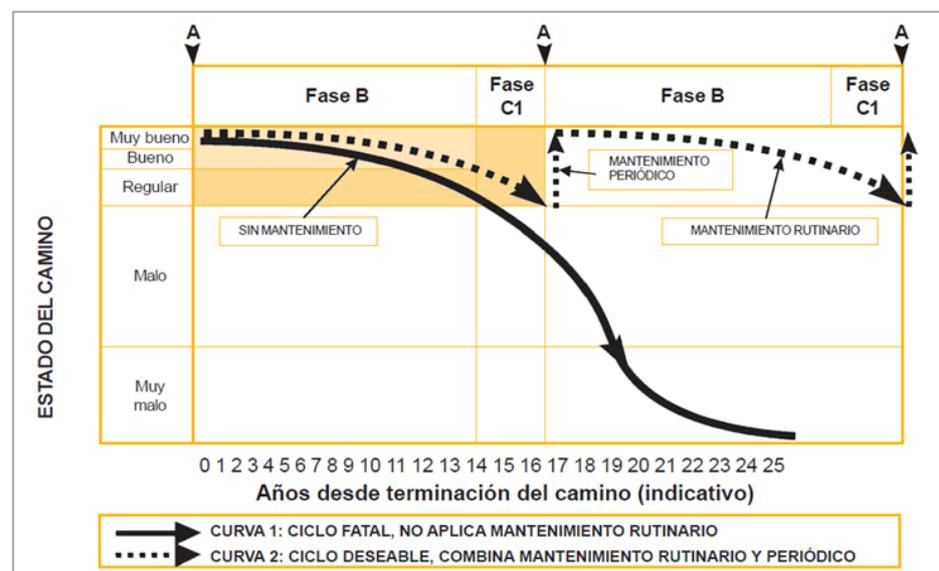
para restablecer rápidamente el tránsito en situaciones imprevistas que afectan la normal operación de la vía.

2.2.2.4. Ciclo deseable para la conservación de un camino

“Se propone establecer un ciclo de vida para la conservación vial, comenzando con caminos nuevos o recién rehabilitados. Sin un mantenimiento adecuado, el deterioro del camino ocurre rápidamente, afectando su estado y funcionalidad” (Salomón, 2003, pág.12).

Figura 4

Curvas comparativas del ciclo fatal y deseable de los caminos



Nota: Emilio Salomón, 2003.

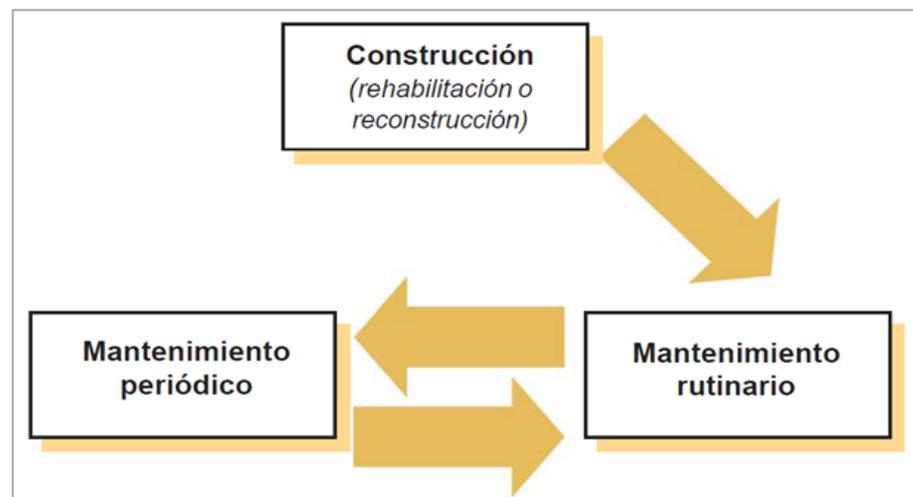
Un sistema de mantenimiento rutinario y preventivo por parte de la autoridad vial puede ralentizar el desgaste del camino, según la curva 2 de la figura 4. Esto extiende la necesidad de intervenciones periódicas, como reponer capas de grava en caminos afirmados o asfalto en pavimentados. Con una conservación sostenida, el camino podría evitar requerir

rehabilitación o reconstrucción completa en el futuro (Salomón, 2003, pág. 13).

Salomón (2003), en caminos asfaltados, el mantenimiento rutinario puede prolongar el buen estado de conservación de dos a tres años sin mantenimiento, y hasta cuatro o cinco años con mantenimiento regular. Cuando la carretera alcanza un estado regular, es crucial realizar un mantenimiento periódico para reponer la capa de grava. La combinación de los mantenimientos rutinario y periódico permite mantener el camino en óptimas condiciones, resultando en beneficios para el transporte, como disminución del tiempo de tránsito, ahorro de costos operativos, y tarifas más económicas. Caminos bien conservados facilitan el acceso a vehículos livianos, mejorando la competitividad y favoreciendo el desarrollo local. La figura 5 ilustra el cambio hacia un ciclo de mantenimiento deseable.

Figura 5

Ciclo deseable de la conservación vial



Nota: Emilio Salomón, 2003.

“Desde una perspectiva técnico-económica, para brindar una adecuada atención a la infraestructura vial se plantea adoptar una visión

preventiva mediante intervenciones rutinarias que impidan un deterioro prematuro, y también medidas periódicas para restaurar las condiciones deterioradas por el uso” (R.D. N° 051-2007-MTC/14).

En lo práctico, ello implica ejecutar labores continuas como: mantener limpios los drenajes, sellar fisuras, despejar cauces para conservar capacidad hidráulica, estabilizar taludes, reponer afirmados y añadir refuerzos en capas asfálticas, entre otras medidas.

“La Figura 6 ilustra cómo "un cambio en la cultura organizacional de las entidades viales" puede tener un impacto significativo. Este cambio implica pasar de una mentalidad tradicional centrada en reparar daños a una proactiva que busca prevenir daños” (R.D. N° 051-2007-MTC/14).

Figura 6

Cambio hacia una cultura preventiva en el mantenimiento vial



Nota: Normas técnicas generales para el mantenimiento de carreteras MTC (2007).

2.2.2.5. Actividades de conservación rutinaria

a. Sellado de fisuras y grietas en calzada

El sellado de fisuras (hasta 3 mm) y grietas (más de 3 mm) en pavimentos consiste en aplicar materiales especiales para evitar la entrada



de agua y materiales incompresibles. Su objetivo es prevenir el deterioro grave y la formación de baches. Esta actividad debe realizarse rápidamente tras la aparición de fisuras y grietas, con inspecciones regulares, especialmente antes de la temporada de lluvias, según lo establecido en las resoluciones del MTC “R.D. N° 08-2014 MTC/14 y R.D. N° 05-2016 MTC/14”.

AASHTO (2020), el sellado de fisuras y grietas en calzadas es un mantenimiento preventivo que consiste en aplicar materiales especializados en aberturas de pavimentos asfálticos o de concreto. Su objetivo es prevenir la entrada de agua y materiales incompresibles, lo que puede debilitar la estructura del pavimento. Este proceso se realiza en grietas de 5 mm a 20 mm de ancho para extender la vida útil del pavimento y reducir la infiltración.

b. Parchado superficial en calzada

Se centra en reparar los de baches en la superficie vial, incluyendo túneles y puentes. Esta actividad, ampliamente difundida, involucra la reparación y reemplazo de áreas deterioradas que afectan solo área de la rodadura, manteniendo en buen estado la base granular y otras capas de suelo. El fin es restablecer las condiciones para la circulación vehicular y prevenir daños más graves en el pavimento. Se recomienda realizar el parchado en el menor tiempo posible después de la aparición de baches, con inspecciones regulares, especialmente antes de las estaciones lluviosas “R.D. N° 08-2014 MTC/14 - R.D. N° 05-2016 MTC/14”.



De acuerdo con la definición de AASHTO (2020), el parchado superficial en calzada se refiere a: una técnica de mantenimiento vial que consiste en reparar áreas localizadas de deterioro en el área del pavimento. Este proceso implica la remoción del material dañado y su reemplazo con nuevo material, generalmente asfalto, para restaurar la integridad estructural y la calidad de rodadura del área. El parchado superficial se utiliza principalmente para:

- Reparar baches
- Corregir desprendimientos de material
- Sellar grietas de mayor tamaño
- Nivelar irregularidades menores en la superficie

Esta técnica es considerada una medida de mantenimiento preventivo y correctivo que ayuda a extender la vida útil del pavimento y mejorar las condiciones de seguridad para los usuarios de la vía.

c. Parchado profundo en calzada

Se refiere al reemplazo de partes gravemente deterioradas en la estructura del pavimento, incluyendo capas asfálticas, base y/o subbase. Su fin es restablecer las condiciones estructurales y superficiales necesarias para garantizar una circulación vehicular adecuada, reduciendo así el riesgo de daños más graves en el pavimento. Se recomienda realizar este trabajo rápidamente después de la aparición de baches, con inspecciones regulares, especialmente antes de las estaciones lluviosas (R.D. N° 08-2014 MTC/14 - R.D. N° 05-2016 MTC/14).



De acuerdo a AASHTO (2020), el parchado profundo en calzada se refiere a: una técnica de reparación vial más extensa que el parchado superficial, diseñada para corregir defectos que se extienden más allá de la capa superficial del pavimento. Este método implica la remoción y reemplazo de capas más profundas del pavimento, incluyendo potencialmente la base y sub-base.

El parchado profundo se caracteriza por:

- Abordar problemas estructurales del pavimento
- Requerir excavación más profunda que el parchado superficial
- Involucrar la reparación de múltiples capas del pavimento
- Ser utilizado para corregir fallas más severas o recurrentes

Esta técnica se emplea cuando los daños en el pavimento son demasiado extensos o profundos para ser tratados adecuadamente con un parchado superficial. El fin es restaurar la integridad estructural del pavimento y proporcionar una solución más duradera para problemas de deterioro significativos.

d. Bacheo de bermas con material granular

Esta acción implica la reparación de las bermas granulares sin pavimentar con desniveles, deformaciones o geometría irregular en relación con el borde del pavimento. Su objetivo es restablecer condiciones seguras para los usuarios, ya que desniveles superiores a 40 mm pueden comprometer la estabilidad de los vehículos y causar grietas en el pavimento. Se recomienda realizar estas reparaciones de manera rápida tras detectar desniveles inaceptables para prevenir accidentes y reducir la



formación de grietas (“R.D. N° 08-2014 MTC/14 - R.D. N° 05-2016 MTC/14”).

AASHTO (2020), se refiere a: una técnica de mantenimiento vial que implica la reparación de áreas dañadas o deterioradas en las bermas (también conocidas como acotamientos o banquetas) utilizando material granular. Este proceso está diseñado para restaurar la integridad y funcionalidad de las bermas, que son las áreas adyacentes a los carriles de circulación en una carretera.

Las características principales de este tipo de bacheo incluyen:

- Uso de material granular: Generalmente se emplea grava, arena gruesa o una mezcla de agregados.
- Aplicación en bermas no pavimentadas: Es común en carreteras donde las bermas no están asfaltadas o pavimentadas.
- Objetivo de nivelación: Busca corregir desniveles, hundimientos o erosiones en las bermas.
- Mejora de drenaje: Ayuda a mantener un drenaje adecuado de la superficie de la carretera.
- Seguridad vial: Contribuye a mantener un área segura para que los vehículos puedan salir de la calzada en caso de emergencia.

Este tipo de mantenimiento es importante para preservar la estructura de la carretera, mejorar la seguridad vial y extender la vida útil de la infraestructura.

e. Nivelación de bermas con material granular

“Consiste en uniformizar mediante relleno aquellas superficies granulares no pavimentadas contiguas al borde de la vía, que presenten irregularidades o una geometría inadecuada sin la pendiente lisa requerida, ya sea con o sin agregado de material” (R.D. N° 05-2016 MTC/14).

Según AASHTO (2020), nivelación de bermas con material granular se refiere a:

Una técnica de mantenimiento vial que se basa en la adición, distribución y compactación de material granular en las bermas (también conocidas como acotamientos o banquetas) para restablecer su nivel adecuado con respecto a la capa de rodadura de la carretera. Este proceso está diseñado para corregir desniveles y mejorar la condición general de las bermas no pavimentadas.

Las características principales de esta actividad incluyen:

- Uso de material granular: Típicamente se utiliza grava, arena gruesa o una mezcla de agregados seleccionados.
- Aplicación en toda la longitud de la berma: A diferencia del bacheo, que se centra en áreas específicas, la nivelación suele aplicarse a secciones más extensas o a toda la longitud de la berma.
- Restablecimiento del perfil: Busca restaurar la pendiente transversal correcta de la berma para facilitar el drenaje.
- Eliminación de irregularidades: Corrige hundimientos, erosiones y otras deformaciones a lo largo de la berma.



- Mejora de la seguridad vial: Proporciona una área más uniforme y estable para los vehículos que necesiten utilizar la berma.
- Preservación de la capa de rodadura: Ayuda a prevenir la infiltración del agua en los bordes del pavimento, protegiendo así la integridad de la vía.

Esta actividad es crucial para mantener la funcionalidad y seguridad de las bermas, contribuyendo a la durabilidad general de la infraestructura vial.

f. Parchado superficial de bermas con tratamiento asfáltico

El bacheo superficial implica reparar baches y reemplazar áreas deterioradas en la capa asfáltica, siempre que la base esté en buen estado. Se aplica a grietas interconectadas y baches poco profundos (menos de 50 mm), excluyendo hundimientos. Esta técnica refuerza estructuras débiles y previene la infiltración de agua, aunque puede afectar el IRI. No se recomienda en zonas con hundimientos, donde se debe optar por bacheo profundo. Los trabajos pueden realizarse manualmente o con maquinaria, según (“R.D. N° 08-2014 MTC/14 - R.D. N° 05-2016 MTC/14”).

AASHTO (2020), se refiere a: una técnica de mantenimiento vial que implica la reparación localizada de áreas deterioradas en bermas (acotamientos o banquetas) que tienen un tratamiento superficial asfáltico. Este proceso está diseñado para restaurar la integridad y funcionalidad de las bermas pavimentadas.

Las características principales de esta actividad incluyen:



- Aplicación en bermas pavimentadas: Se utiliza en bermas que tienen una capa de rodadura asfáltica.
- Reparación localizada: Se enfoca en áreas específicas de daño o deterioro, no en toda la extensión de la berma.
- Uso de materiales asfálticos: Emplea mezclas asfálticas en frío o en caliente para la reparación.
- Proceso de reparación:
 - Limpieza del área dañada
 - Remoción del material deteriorado
 - Aplicación de una capa de adherencia
 - Colocación y compactación del nuevo material asfáltico
- Objetivos:
 - Corregir defectos superficiales como baches, desprendimientos o agrietamientos
 - Restaurar la uniformidad de la superficie de la berma
 - Prevenir daños mayores en la estructura de la berma y del pavimento adyacente
- Mejora de la seguridad: proporciona una superficie más uniforme y segura para los vehículos que necesiten utilizar la berma.
- Preservación de la infraestructura: ayuda a prevenir la infiltración de agua y el deterioro progresivo de la berma y el borde del pavimento.

Esta técnica es importante para mantener la integridad estructural de las bermas pavimentadas, mejorar la seguridad vial y extender la vida útil de la infraestructura de la carretera.



g. Parchado profundo de bermas con tratamiento asfáltico

Esta actividad consta en reparar baches y reemplazar secciones deterioradas, abordando daños en la capa asfáltica, así como en la base y subbase granular, e incluyendo túneles, puentes y otros elementos viales. Las fallas comunes que se tratan en esta operación incluyen áreas agrietadas por fatiga estructural, baches poco profundos (menos de 50 mm), zonas deformadas por hundimientos o el tránsito, áreas con filtraciones de agua y/o partículas finas, y grietas severas en los bordes que afectan más del 10% de su longitud (“R.D. N° 08-2014 MTC/14 - R.D. N° 05-2016 MTC/14”).

AASHTO (2020), se refiere a: una técnica de reparación vial más exhaustiva que el parchado superficial, diseñada para corregir defectos que se extienden más allá de la capa superficial de las bermas (acotamientos o banquetas) que tienen un tratamiento asfáltico. Este método implica la remoción y reemplazo de capas más profundas de la estructura de la berma.

Las características principales de esta actividad incluyen:

- Aplicación en bermas pavimentadas: Se utiliza en bermas que tienen una capa de rodadura asfáltica y presentan daños significativos.
- Reparación profunda: Aborda problemas que afectan las capas subyacentes de la berma, no solo la superficie.
- Proceso de reparación:
 - Delimitación del área a reparar
 - Corte y remoción del pavimento dañado



- Excavación de las capas inferiores afectadas (base y/o subbase)
- Reemplazo y compactación de las capas de base y subbase si es necesario
- Aplicación de una capa de adherencia
- Colocación y compactación de la nueva mezcla asfáltica
- Uso de materiales:
 - Material granular para la reconfiguración de base y subbase
 - Mezclas asfálticas en caliente o en frío para la capa de rodadura
- Objetivos:
 - Corregir fallas estructurales en la berma
 - Restaurar la capacidad de soporte de carga
 - Prevenir la recurrencia de daños superficiales
- Mejora de la durabilidad: Proporciona una solución más duradera que el parchado superficial para problemas severos o recurrentes.
- Preservación de la infraestructura: Ayuda a mantener la integridad estructural de la berma y protege el lado extremo del pavimento principal.

Esta técnica se emplea cuando los daños en la berma son demasiado extensos o profundos para ser tratados adecuadamente con un parchado superficial. El objetivo es restaurar completamente la sección de la berma afectada, asegurando una reparación más duradera y efectiva.

2.2.2.6. Actividades de conservación periódica

a. Sellos asfálticos

Esta actividad se centra en aplicar los de riegos asfálticos en la superficie de la vía, incluidos túneles y puentes. Se utilizan técnicas como emulsiones, lechadas asfálticas y sellos de arena-asfalto para restaurar calzadas desgastadas, mejorar la circulación vehicular y prevenir daños mayores. Estas técnicas abordan problemas como la falta de adherencia y el desgaste, rejuveneciendo superficies envejecidas y sellando fisuras. El tamaño del agregado se determina según los objetivos y especificaciones técnicas (R.D. N° 08-2014 MTC/14 - R.D. N° 05-2016 MTC/14).

AASHTO (2020), los sellos asfálticos se refieren a: una técnica de mantenimiento preventivo que consiste en la aplicación de una capa delgada de material asfáltico sobre la superficie existente del pavimento. Esta técnica está diseñada para proteger y prolongar la vida útil del pavimento.

Las características principales de los sellos asfálticos incluyen:

- Tipos de sellos: Pueden incluir tratamientos superficiales simples o múltiples, lechadas asfálticas (slurry seal), micropavimentos, y sellos de niebla (fog seal).
- Materiales utilizados: Generalmente consisten en una combinación de emulsión asfáltica o asfalto rebajado con o sin agregados finos.



- **Aplicación:** Se realiza sobre pavimentos existentes que están en condiciones relativamente buenas pero que muestran signos de envejecimiento o desgaste menor.
- **Objetivos principales:**
 - Sellar grietas superficiales pequeñas
 - Impermeabilizar la superficie del pavimento
 - Mejorar la resistencia al deslizamiento
 - Retardar el proceso de oxidación y envejecimiento del asfalto
 - Proporcionar una nueva superficie de desgaste
- **Espesor:** Generalmente tienen un espesor muy reducido, desde una fina capa de emulsión hasta unos pocos milímetros dependiendo del tipo de sello.
- **Durabilidad:** Dependiendo del tipo de sello y las condiciones de tráfico, pueden durar entre 3 y 7 años.
- **Costo-efectividad:** Son considerados una solución económica para extender la vida útil del pavimento cuando se aplican en el momento adecuado.
- **Limitaciones:** No corrigen problemas estructurales del pavimento ni defectos superficiales significativos.

Los sellos asfálticos son una herramienta importante en el mantenimiento preventivo de pavimentos, ayudando a preservar la inversión en infraestructura vial y a mantener una superficie de rodadura en buenas condiciones por más tiempo.

b. Recapeos asfálticos

“El recapado consiste en aplicar capas de mezcla asfáltica sobre el pavimento para restaurar su estructura y superficie cuando se encuentra en estado regular (IRI entre 2.8-4.0 m/km), asegurando una circulación segura”. (R.D. N° 05-2016 MTC/14).

AASHTO (2020), los recapeos asfálticos se refieren a: Una técnica de rehabilitación de pavimentos que se basa en aplicar una nueva capa de mezcla asfáltica en el área existente del pavimento. Esta técnica está diseñada para restaurar o mejorar la funcionalidad y estructura del pavimento.

Las características principales de los recapeos asfálticos incluyen:

- **Espesor:** Generalmente son más gruesos que los sellos asfálticos, con espesores que pueden variar desde 2.5 cm hasta 10 cm o más, dependiendo de las necesidades específicas.
- **Materiales:** Utilizan mezclas asfálticas en caliente (HMA), mezclas tibias (WMA) o, en algunos casos, mezclas en frío.
- **Preparación de la superficie:** Puede incluir fresado (remoción de una parte de la superficie existente), reparación de áreas dañadas, y aplicación de una capa de adherencia.
- **Objetivos:**
 - Mejorar la capacidad estructural del pavimento
 - Corregir irregularidades superficiales
 - Mejorar la calidad de rodadura
 - Aumentar la resistencia al deslizamiento



- Extender significativamente la vida útil del pavimento
- Aplicación: Se utiliza en pavimentos que muestran un deterioro moderado a severo, pero que aún mantienen una estructura base adecuada.
- Durabilidad: Dependiendo del espesor, las condiciones de tráfico y el mantenimiento, pueden durar entre 8 y 15 años o más.
- Tipos de recapeos:
 - Recapeo simple: Aplicación directa sobre la superficie existente
 - Recapeo con fresado previo: Se remueve una parte de la superficie existente antes de aplicar la nueva capa
 - Recapeo con refuerzo: Incluye la colocación de una capa intermedia (como geotextiles) para mejorar el desempeño
- Consideraciones de diseño: El espesor y tipo de mezcla se determinan basándose en factores como el tráfico esperado, las condiciones climáticas y el estado del pavimento existente.

Los recapeos asfálticos son una solución efectiva para extender la vida útil de pavimentos que han sufrido un deterioro significativo, proporcionando una nueva capa de rodadura y mejorando la capacidad estructural del pavimento.

c. Fresado de carpeta asfáltica

“Esta operación implica remover total o parcialmente la capa de rodamiento del pavimento. El fresado tiene como finalidad restablecer las condiciones estructurales y superficiales del pavimento, asegurando así



una circulación vehicular segura y confortable para los usuarios”. (R.D. N° 05-2016 MTC/14).

AASHTO (2020), el fresado de la capa asfáltica se define como un método de conservación y rehabilitación de la capa de rodadura que consiste en la eliminación controlada de una porción de la superficie del pavimento asfáltico existente, utilizando una máquina especializada conocida como fresadora.

Las características principales del fresado de carpeta asfáltica incluyen:

- Proceso: Se basa en el corte y remoción de una capa específica del pavimento asfáltico existente.
- Equipo: Se utiliza una máquina fresadora equipada con un tambor rotatorio con dientes o puntas de carburo que cortan y remueven el material.
- Profundidad: Puede variar desde unos pocos milímetros (fresado superficial) hasta la remoción de capas completas del pavimento (fresado profundo).
- Objetivos:
 - Corregir irregularidades en la capa de rodamiento
 - Restaurar el perfil transversal y longitudinal de la vía
 - Mejorar la textura superficial y la resistencia al deslizamiento
 - Preparar la superficie para la aplicación de un recapeo
 - Mantener las elevaciones existentes en áreas urbanas (bordillos, aceras, etc.)



- Aplicaciones:
 - Como paso previo a un recapeo asfáltico
 - Para eliminar capas deterioradas del pavimento
 - Para corregir problemas de drenaje superficial
 - Para remover marcas viales o texturizaciones antiguas
- Material removido: El material fresado (RAP - Reclaimed Asphalt Pavement) puede ser reutilizado en nuevas mezclas asfálticas o como material de base, contribuyendo a la sostenibilidad.
- Control de calidad: Se requiere un control preciso de la profundidad y uniformidad del fresado para asegurar los resultados deseados.
- Consideraciones adicionales:
 - Puede generar polvo y ruido durante la operación
 - Requiere una planificación cuidadosa para minimizar el impacto en el tráfico
 - Debe ser seguido por una limpieza minuciosa de la superficie antes de cualquier tratamiento posterior

El fresado de carpeta rodadura es una técnica versátil que permite preparar eficazmente la superficie del pavimento para su rehabilitación, mejorando su condición y extendiendo su vida útil.

d. Microfresado de carpeta asfáltica

Consiste en llevar a cabo un corte en la capa de rodamiento del pavimento, abarcando túneles, puentes y otras estructuras, de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto. También denominado cepillado



superficial, su propósito es corregir las imperfecciones en la superficie (R.D. N° 05-2016 MTC/14).

AASHTO (2020), el microfresado de carpeta asfáltica se refiere a: una técnica especializada de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos que implica la remoción superficial y de precisión de una capa muy delgada del pavimento asfáltico existente utilizando un equipo de fresado con tambor de corte de dientes más finos y más juntos que en el fresado convencional.

- Las características principales del microfresado de carpeta asfáltica incluyen:
 - Profundidad de corte: Generalmente muy superficial, típicamente entre 3 mm y 10 mm.
 - Equipo: Utiliza una fresadora especial con un tambor de corte que tiene una mayor densidad de dientes, más pequeños y más cercanos entre sí que en el fresado convencional.
 - Textura resultante: Produce una textura más fina y uniforme en comparación con el fresado estándar.
 - Objetivos principales:
 - Mejorar la textura y la resistencia al deslizamiento
 - Eliminar irregularidades menores en la superficie
 - Corregir problemas de drenaje superficial
 - Preparar la superficie para tratamientos ultrafinos o sellos
 - Aplicaciones:
 - Corrección de ondulaciones o deformaciones superficiales menores



- Eliminación de marcas viales o texturizaciones antiguas
- Mejora de la macrotextura en pavimentos pulidos
- Preparación para la aplicación de capas delgadas o ultrafinas
- Ventajas:
 - Menor remoción de material en comparación con el fresado convencional
 - Menor impacto en las elevaciones existentes del pavimento
 - Puede extender la durabilidad del pavimento sin necesidad de recapeos gruesos
- Limitaciones:
 - No corrige problemas estructurales del pavimento
 - No es adecuado para pavimentos con deterioro severo o profundo
- Consideraciones operativas:
 - Requiere un control muy preciso de la profundidad de corte
 - Generalmente se realiza a velocidades más bajas que el fresado convencional para lograr una textura más fina

El microfresado es particularmente útil en situaciones donde se requiere una mejora de la textura superficial o una corrección menor del perfil sin alterar significativamente la elevación del pavimento existente.

e. Reconformación de base granular en bermas

“Consiste en escarificar, dar forma, nivelar y compactar la base granular existente, ya sea incorporando nuevo material o no. Su finalidad es restablecer las dimensiones y alineaciones de la berma para garantizar



un tránsito vehicular apropiado”. (R.D. N° 08-2014 MTC/14 - R.D. N° 05-2016 MTC/14).

Según la definición de AASHTO (2020), se refiere a: una técnica de mantenimiento y rehabilitación de carreteras que implica la restauración y mejora de la capa de base granular en las bermas (también conocidas como acotamientos o banquetas) de la vía. Esta actividad se realiza en bermas no pavimentadas o en aquellas donde se ha removido la capa de rodadura.

Las características principales de la reconformación de base granular en bermas incluyen:

- Objetivo: Restablecer el perfil adecuado de la berma y mejorar sus propiedades estructurales.
- Proceso:
 - Escarificación de la superficie existente
 - Adición de material granular nuevo si es necesario
 - Nivelación y conformación del material
 - Compactación para lograr la densidad requerida
- Materiales: Utiliza material granular de calidad adecuada, generalmente similar al utilizado en la base del pavimento principal.
- Equipo: Puede incluir motoniveladoras, rodillos compactadores, camiones de agua y, en algunos casos, recicladoras de pavimento.
- Propósitos:
 - Corregir deformaciones y asentamientos en las bermas



- Mejorar el drenaje superficial
- Restaurar la pendiente transversal adecuada
- Proporcionar soporte lateral al pavimento de la calzada
- Consideraciones de diseño:
 - La pendiente transversal debe ser adecuada para facilitar el drenaje
 - El material debe ser compatible con el suelo subyacente y la base del pavimento adyacente
- Beneficios:
 - Mejora la seguridad vial al proporcionar una superficie de berma más uniforme
 - Previene la erosión y el deterioro de los bordes del pavimento
 - Facilita el mantenimiento futuro de las bermas
- Seguimiento: Puede requerir la aplicación posterior de un tratamiento superficial o la colocación de una capa de rodadura, dependiendo del diseño y las necesidades de la vía.

Esta actividad es crucial para mantener la integridad estructural de las bermas y, por extensión, del pavimento de la calzada principal. Ayuda a prevenir daños por infiltración de agua y proporciona un área segura para que los vehículos se detengan en caso de emergencia.

f. Imprimación reforzada en bermas con material granular

“Implica la aplicación de un riego asfáltico, seguido de una capa de arena, sobre la superficie de la berma que ha sido preparada, con el fin de resguardar la base granular de la berma” (R.D. N° 05-2016 MTC/14).



AASHTO (2020), se refiere a: una técnica de tratamiento superficial aplicada a bermas (acotamientos o banquetas) con superficie granular, diseñada para mejorar su resistencia y durabilidad. Esta técnica combina la aplicación de un ligante asfáltico con la adición de material granular fino.

Las características principales de la imprimación reforzada en bermas con material granular incluyen:

- Proceso:
 - Preparación y limpieza de la superficie granular existente
 - Aplicación de un ligante asfáltico (generalmente emulsión asfáltica o asfalto rebajado)
 - Distribución de una capa delgada de material granular fino
 - Compactación del conjunto
- Materiales:
 - Ligante asfáltico: Típicamente una emulsión asfáltica de rotura lenta o un asfalto rebajado
 - Material granular: Arena fina o agregado triturado de pequeño tamaño
- Objetivos:
 - Estabilizar la superficie granular de la berma
 - Reducir la permeabilidad de la superficie
 - Mejorar la resistencia a la erosión y al desgaste
 - Proporcionar una superficie más uniforme y durable
- Beneficios:
 - Aumenta el ciclo de vida de las bermas granulares



- Mejora la transitabilidad y seguridad en las bermas
- Reduce la necesidad de mantenimiento frecuente
- Previene la erosión y la formación de surcos
- Aplicación:
 - Ideal para bermas de carreteras secundarias o de bajo volumen de tráfico.
 - Puede ser una solución intermedia antes de la pavimentación completa de las bermas.
- Consideraciones de diseño:
 - La tasa de aplicación del ligante y la cantidad de material granular deben ser cuidadosamente calculadas
 - Se debe asegurar una buena adherencia entre el ligante y el material granular.
- Durabilidad:
 - Proporciona una superficie más durable que una berma granular sin tratar.
 - Ciclo de vida depende de las condiciones de tráfico y clima, pero generalmente es mayor que la de una berma granular simple.

Esta técnica combina los beneficios de la imprimación (sellado y estabilización) con los de una capa granular (resistencia y drenaje), proporcionando una solución más robusta para el tratamiento de bermas granulares.



g. Nivelación de bermas con mezcla asfáltica

“Consiste en nivelar las bermas con mezclas asfálticas para corregir desniveles, deformaciones o irregularidades en relación con el borde del pavimento. Su objetivo es restaurar la seguridad para los usuarios y se realiza también en túneles, puentes” (R.D. N° 05-2016 MTC/14).

AASHTO (2020), se refiere a: una técnica de mantenimiento y rehabilitación vial que consta en aplicar de una capa de mezcla asfáltica sobre las bermas (acotamientos o banquetas) existentes para restablecer su nivel y perfil adecuados con respecto a la capa de rodamiento de la vía. Esta técnica se usa principalmente en bermas que ya tienen una superficie pavimentada o como parte de un proceso de mejora de bermas granulares.

Las características principales incluyen:

- **Objetivo:** Restablecer la elevación correcta de las bermas en relación con el pavimento de la calzada y mejorar sus condiciones generales.
- **Materiales:** Utiliza mezclas asfálticas en caliente (HMA) o, en algunos casos, mezclas tibias (WMA) o frías.
- **Proceso:**
 - Preparación de la superficie existente (limpieza, reparaciones menores si es necesario).
 - Aplicación de una capa de adherencia (si es requerida).
 - Colocación y extensión de la mezcla asfáltica.
 - Compactación para lograr la densidad adecuada.



- Equipo: Puede incluir pavimentadoras asfálticas, rodillos compactadores, y equipo de transporte de mezcla asfáltica.
- Propósitos:
 - Corregir diferencias de nivel entre la berma y el carril de circulación.
 - Mejorar el drenaje superficial
 - Proporcionar una superficie de berma más uniforme y duradera.
 - Aumentar la seguridad para los usuarios de la vía
- Consideraciones de diseño:
 - La pendiente transversal debe ser adecuada para facilitar el drenaje.
 - El espesor de la capa asfáltica debe ser suficiente para lograr la nivelación deseada y proporcionar durabilidad.
- Beneficios:
 - Mejora la seguridad vial al eliminar desniveles peligrosos entre la calzada y la berma.
 - Previene la erosión y el deterioro de los bordes del pavimento
 - Proporciona una superficie de berma más resistente y duradera.
- Aplicación:
 - Puede realizarse en toda la longitud de la berma o en secciones específicas según sea necesario.
 - Es común en proyectos de rehabilitación de carreteras o como parte del mantenimiento periódico.



Esta técnica es importante para mantener la integridad estructural de las bermas pavimentadas, mejorar la seguridad vial y extender la vida útil de la infraestructura de la carretera.

2.2.2.7. Implementación de una estrategia

AIPCR (2013), para que una estrategia sea relevante y viable, es necesario contar con dos categorías de información. La primera categoría se relaciona con la dirección o administración de la organización, lo que conlleva el establecimiento de pautas precisas. Por ejemplo, una entidad podría seleccionar una o varias de las siguientes orientaciones para administrar las acciones de conservación en su red de vías:

- Peor caso primero (atención prioritaria a los segmentos más deteriorados)
- Enfoque preventivo
- Información estructural de la calzada
- Datos funcionales del estado de la calzada
- Acuerdos de mantenimiento (totales o parciales)
- Contratos basados en rendimiento
- Costo inicial más bajo
- Coste del ciclo de vida más bajo
- Etc.

La segunda categoría de información consiste en un conjunto de datos descriptivos de alta calidad que, en su totalidad, sean representativos de toda la red vial. Algunos ejemplos son:



- Información funcional de la carretera (flujo de tráfico, clasificación vial, tipo de sobre capa, índices de accidentalidad, etc.)
- Datos sobre la condición del pavimento (irregularidad, deformación, adherencia, agrietamiento, etc.)

Para monitorear el progreso de la estrategia a lo largo del tiempo, se implementan y definen uno o más indicadores globales. El seguimiento de estos índices debe permitir la verificación y, si fuera necesario, el ajuste de la estrategia.

Las administraciones viales han desarrollado estrategias de intervención basadas en principios y directrices organizacionales para gestionar eficazmente sus redes de carreteras. Utilizan sistemas de gestión de pavimentos (SGP) y escenarios de intervención que monitorean indicadores de estado para supervisar la estrategia. Las estrategias se modifican según la evolución de la red, evidenciada por índices de condición, y pueden ajustarse al contexto económico. También pueden adaptarse si se decide revitalizar la red, incorporando acciones a corto plazo, como capas delgadas, y a largo plazo, como reconstrucción.

2.2.2.8. Elementos básicos de las estrategias.

AIPCR (2013), elementos básicos de las estrategias de conservación de carreteras:

- El caso peor primero.
- Acción preventiva.
- Datos estructurales.



- Datos de funcionamiento.
- A juicio del Ingeniero.
- Studio de costo de ciclo de vida LCC.
- Costos iniciales más bajos.
- Medidas objetivas.
- Datos funcionales.
- Acción correctiva.
- Trabajos pesados/reconstrucción principal.
- Trabajo de emergencia.
- Quejas de usuarios de red vial.
- Asuntos de seguridad.

2.2.2.9. Indicadores de estado utilizados para la aplicación de las estrategias

AIPCR (2013), las estrategias efectivas se fundamentan en información objetiva y confiable. Para minimizar la subjetividad, los organismos viales recurren cada vez más a instrumentos de medición automatizados y precisos. La calidad de los datos se asegura mediante la implantación de protocolos de control y el manejo experto de los equipos. Es vital obtener información suficiente y actualizada regularmente para monitorear adecuadamente las estrategias. La actualización frecuente de datos cualitativos es esencial para generar tendencias precisas de los indicadores. Estas tendencias son la base para diseñar planes de intervención óptimos, permitiendo actuar en el lugar y momento adecuados con acciones que maximicen los retornos de la inversión.



2.2.2.10. indicadores necesarios para la aplicación de estrategias

- Perfil longitudinal (IRI).
- Formación de ahuellamiento.
- Inspección visual.
- Trafico o circulación.
- Capacidad de soporte.
- Textura, adherencia, resistencia antideslizamientos.
- Clasificación funcional.
- Agrietamiento.
- Ruido.
- Sobreelevación.
- Desprendimiento Obligatorio Datos estructurales (GPR), AIPCR (2013).

2.2.2.11. Los cambios a nivel de la estrategia

AIPCR (2013), el estudio realizado nos permitió reconocer cuatro categorías principales de modificaciones en las estrategias de intervención.

En resumen, las alteraciones más significativas son:

- La cantidad de indicadores empleados
- La mejora de los sistemas de gestión
- Los componentes fundamentales de los escenarios de intervención
- Las modificaciones en el enfoque por parte de la alta dirección

a. La cantidad de indicadores empleados

AIPCR (2013), el avance tecnológico ha introducido equipos más sofisticados y exactos para la inspección vial. Esto simplifica el proceso



de evaluación, permitiendo recopilar información altamente confiable en una sola pasada. La incorporación de estos datos en los sistemas de gestión de pavimentos implica modificar los modelos de deterioro. Más relevante aún, esta nueva información mejora significativamente las propuestas de solución generadas por el sistema en sus diferentes escenarios.

b. La mejora de los sistemas de gestión

AIPCR (2013), recientemente, una de las entidades encuestadas transformó su enfoque de gestión de las vías, pasando de proyecto a una perspectiva de red vial completa. Como resultado, su sistema ahora genera propuestas más integrales, alineadas con los objetivos generales de la administración vial. Este cambio permite que las decisiones técnicas específicas queden en manos de los ingenieros durante la fase de proyecto.

c. Los componentes fundamentales de los escenarios de intervención

AIPCR (2013), en el pasado, los planes de acción se centraban en las necesidades de reparación inmediatas, en lugar de considerar el impacto a largo plazo de las intervenciones. Este nuevo enfoque orientado a resultados ofrece mayor flexibilidad en la toma de decisiones. Además, permite optimizar las inversiones en mantenimiento, buscando maximizar los beneficios para toda la red vial. Finalmente, facilita la definición de metas basadas en indicadores de gestión específicos.

d. Las modificaciones en el enfoque por parte de la alta dirección

AIPCR (2013), tras años de mantenimiento insuficiente, una administración vial se propuso mejorar significativamente la condición de



su red en un corto plazo. Esta nueva estrategia prioriza intervenciones económicas y rápidas, como capas asfálticas delgadas, aplicables simultáneamente en múltiples lugares. El objetivo es ganar tiempo para futuras rehabilitaciones mayores, mientras se mantiene un nivel aceptable de servicio.

Este enfoque demandó la creación de un nuevo indicador de gestión que complementara el IRI, ya que este último mostraba mejoras artificiales al no reflejar la postergación de obras más duraderas. El nuevo indicador se basa en la vida útil residual de las vías.

Aunque el IRI sigue siendo el indicador más común, la tecnología de medición automática permite incluir más parámetros. Los contratos basados en esta estrategia se aplican principalmente en vías de tráfico medio a alto y requieren personal altamente calificado.

Las estrategias deben fundamentarse en datos confiables y planes de calidad sólidos. La actualización bienal de datos es común, y muchas organizaciones incorporan nuevos indicadores conforme se dispone de tecnología para medirlos a nivel de red.

La optimización de los sistemas de gestión de pavimentos para su análisis a nivel de red proporciona un método para maximizar el beneficio de las inversiones en mantenimiento.

2.2.2.12. Enfoque 3R: restauración, rehabilitación y reconstrucción

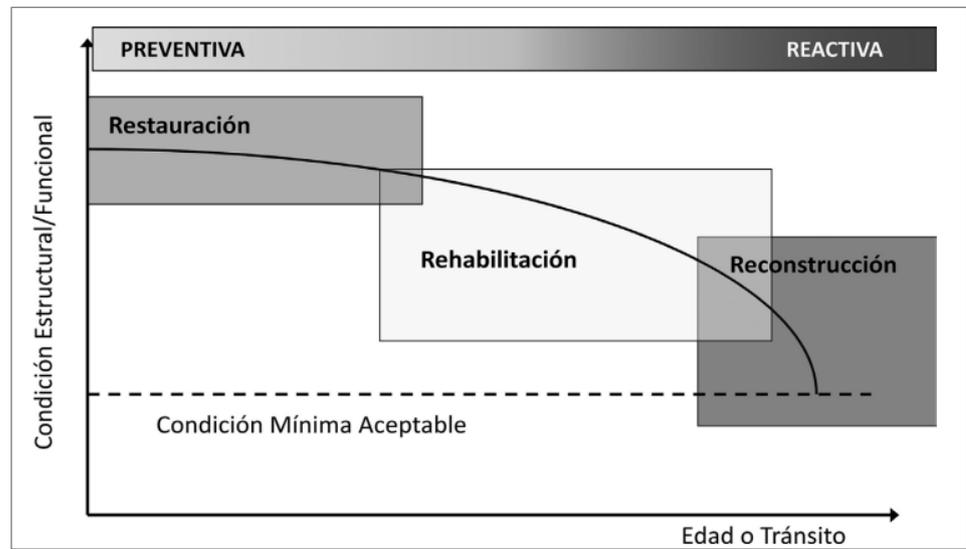
Solminihaç et al. (2019), las estrategias de mantenimiento se pueden sistematizar de distinta manera en función de sus propósitos. En el



ámbito de los pavimentos, la estrategia más común se divide en tres categorías: restauración, rehabilitación y reconstrucción, conocidas como las 3R. Como se ilustra en la Figura 7, las medidas de restauración se implementan en las fases iniciales del ciclo vital del pavimento, con el fin de extender su durabilidad, actuando así de manera preventiva. Por otro lado, las intervenciones de rehabilitación se llevan a cabo cuando el estado del pavimento indica la necesidad de recuperar su funcionalidad. Estas pueden ser preventivas o reactivas, según la magnitud de la intervención, pero en ambos casos buscan mejorar notablemente la calidad de servicio. Por último, la reconstrucción implica el reemplazo total o parcial del pavimento cuando este ha llegado al final de su ciclo de vida y es necesario sustituirlo para restablecer su capacidad de servicio. La Figura 8 ilustra el impacto de las estrategias 3R en la serviciabilidad de un pavimento, mientras que la Tabla 1 presenta los resultados esperados de cada estrategia. Se observa que la estrategia de restauración extiende la vida útil del pavimento, pero no mejora su serviciabilidad en el momento de la aplicación. En contraste, las estrategias de rehabilitación o reconstrucción, al realizar operaciones de mantenimiento, buscan recuperar o mejorar la serviciabilidad de inmediato, lo que también prolonga la vida útil, aunque requiere una inversión significativamente mayor.

Figura 7

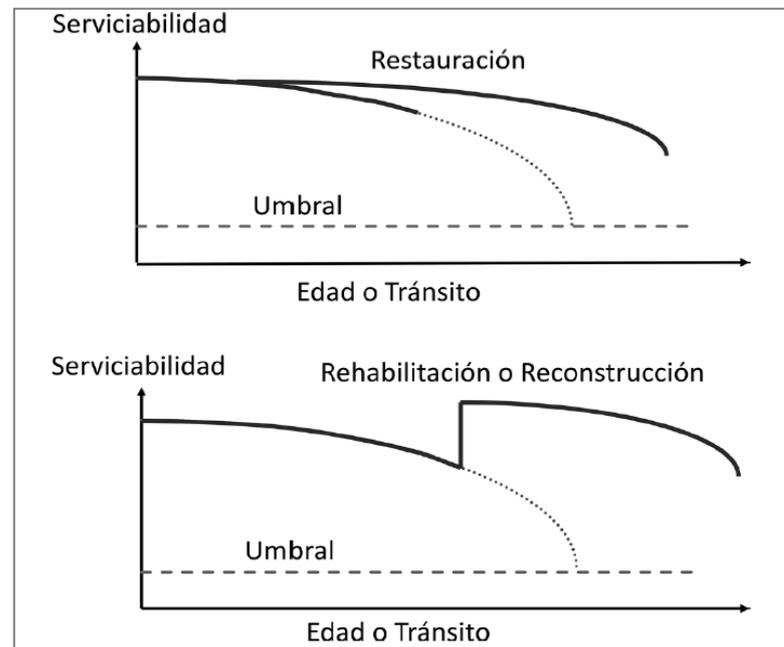
Estrategias RRR según condición del pavimento.



Nota: Solminihac et al. (2019)

Figura 8

Efecto de las estrategias 3R sobre la serviciabilidad de un pavimento.



Nota: Solminihac et al. (2019)

Tabla 1

Resultados esperados de la aplicación de estrategias 3R.

Estrategia	Aumento de capacidad	Aumento de resistencia	Reducción del envejecimiento	Restauración de deterioro
Restauración			X	X
Rehabilitación		X	X	X
Reconstrucción	X	X	X	X

Nota: Solminihac et al. (2019)

Solminihac et al. (2019), la restauración busca renovar la superficie de rodadura al primer signo de deterioro, abarcando tanto el pavimento como sus componentes auxiliares. Es un proceso continuo que requiere evaluación constante de la infraestructura. Sus operaciones son económicas en comparación con otras estrategias y previenen el deterioro acelerado, reduciendo costos futuros. Por otro lado, la rehabilitación ofrece una nueva superficie de rodado, mejorando la comodidad, seguridad y resistencia al deslizamiento. Corrige defectos en la sección transversal y superficie, además de incrementar la capacidad estructural del pavimento, extendiendo su vida útil. Generalmente implica la aplicación de nuevas capas de asfalto o hormigón sobre el pavimento existente, previa preparación adecuada. Necesariamente implica un cambio de cota por lo cual en algunos casos es necesario revisar el diseño geométrico y el sistema de colección de aguas lluvias. La reconstrucción considera la reposición total del pavimento, cuando este ha quedado estructural y funcionalmente obsoleto, por lo cual permite redefinir totalmente sus propiedades. Puede realizarse totalmente o en capas. La reconstrucción en capas consiste en reemplazar parte o la totalidad de las capas del pavimento sin aumentar en forma significativa la cota. También puede realizarse mediante reciclado,



que consiste en utilizar los materiales del pavimento existente como materia prima para el nuevo pavimento.

2.2.2.13. Enfoque centrado en la preservación de pavimentos

Solminihac et al. (2019), la definición de estrategias bajo el enfoque 3R se puede precisar expandiéndolas a ocho grandes estrategias, bajo el enfoque de AASHTO y FHWA con lo cual surgen nuevas estrategias y una definición más precisa de cada una: mantención catastrófica, mantención correctiva, mantención rutinaria, mantención preventiva, rehabilitación menor, recapado estructural, rehabilitación mayor, reconstrucción total o parcial. Particularmente, la mantención rutinaria, la mantención preventiva y la rehabilitación menor, forman parte de la estrategia de preservación de pavimentos, la cual focaliza la inversión en mantenimiento en operaciones de bajo costo, de carácter preventivo, orientadas a aumentar la vida de servicio del pavimento. La Tabla 2 resume los resultados esperados de cada una de las estrategias antes mencionadas.

Tabla 2

Resultados esperados de la aplicación de estrategias bajo el enfoque de la FHWA

Estrategia	Aumento de capacidad	Aumento de resistencia	Reducción del envejecimiento	Restauración de serviciabilidad
Mantenión catastrófica				X
Mantenión correctiva				X
Mantenión rutinaria				X
Mantenión preventiva			X	X
Rehabilitación menor			X	X
Rehabilitación mayor		X	X	X
Reconstrucción total o parcial	X	X	X	X

Nota: Solminihac et al. (2019)

Solminihac et al. (2019), la mantención catastrófica corresponde a las actividades de mantenimiento necesarias para llevar el pavimento a una serviciabilidad mínima mientras se diseña y programa una restauración permanente. Ejemplos de este tipo de actividades son las obras de emergencias producto de inundaciones, deslizamientos, avalanchas, etc. La mantención correctiva corresponde a aquellas operaciones de mantenimiento que se aplican como respuesta a deterioros que impactan la vida de servicio, seguridad o comprometen la integridad del pavimento. Es de naturaleza reactiva y tiene por función llevar la serviciabilidad a un nivel aceptable ante la presencia de deterioros imprevistos. Considera tratamiento de baches, colocación de parches, corrección de separación de junta berma-pavimento, reparación de juntas y reemplazo de losas en todo



su espesor en lugares específicos. La mantención rutinaria se refiere a las actividades de mantenimiento del día a día para mantener la serviciabilidad en niveles adecuados. Entre estas actividades se cuentan, la limpieza de canaletas longitudinales, mantención de demarcaciones, bacheo, sellado de grietas y recapados en lugares específicos. Generalmente se realizan por administración directa. La mantención preventiva corresponde a una estrategia planificada destinada a retardar la aparición de deterioros y mantener o mejorar la serviciabilidad sin un aumento significativo de la capacidad estructural del pavimento. Generalmente se aplica a pavimentos en buenas condiciones que aún cuentan con una vida de servicio remanente importante. Dentro de las operaciones asociadas a esta estrategia se cuentan: sellado de grietas, tratamientos superficiales, recapados ultradelgados, cepillado, reparación de barras de traspaso de cargas, reparación aislada de losas en todo su espesor, reparación de grietas de esquinas y desconches. La rehabilitación corresponde a mejoras en la capacidad estructural que prolongan la vida de servicio del pavimento. Se clasifica en rehabilitación menor y rehabilitación mayor. La rehabilitación menor corresponde a mejoras no estructurales destinadas a retardar el envejecimiento y en el caso de pavimentos asfálticos el agrietamiento de arriba-abajo. La rehabilitación mayor consiste en mejoras estructurales que generalmente consisten en recapados estructurales. La reconstrucción tiene el mismo significado descrito en la sección anterior.

2.2.2.14. En qué se debe basar una estrategia de gestión de pavimentos

Loría Salazar (2017), básicamente se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Lugar adecuado: La sección de la ruta que lo necesita.
- Momento adecuado: Antes de que avance en la curva de deterioro.
- Con el tratamiento adecuado: Solo así obtendrá resultados óptimos.

2.2.2.15. Técnicas de preservación de pavimentos

FHWA (2019), las técnicas de preservación de pavimentos son un conjunto de estrategias y métodos aplicados de manera planificada y oportuna para mantener o mejorar las condiciones de un pavimento existente, con el fin de extender su vida útil, retrasar la necesidad de rehabilitación mayor o reconstrucción, y mantener o mejorar su funcionalidad y seguridad de manera costo-efectiva. Estas técnicas se centran en pavimentos que están en buenas condiciones o con deterioro incipiente, y no están diseñadas para abordar deficiencias estructurales significativas. Las técnicas de preservación incluyen una variedad de tratamientos superficiales y acciones de mantenimiento preventivo que se aplican antes de que el pavimento presente un deterioro sustancial.

De acuerdo con el Departamento de Transportes de Minnesota (MnDOT, 2020), las técnicas de preservación de pavimentos se



seleccionan en función de la condición actual del pavimento y los tipos de deterioro presentes. El proceso de selección incluye los siguientes pasos:

- Recopilar información sobre el pavimento.
- Evaluar su condición.
- Analizar los datos recopilados.
- Identificar técnicas de preservación adecuadas.
- Elegir la mejor técnica.

A continuación, se describirán brevemente estos pasos.:

a. Recopilación información sobre el pavimento

Según MnDOT (2020), la selección de técnicas de preservación de pavimentos implica recopilar información sobre el historial de construcción, el rendimiento, la vida útil del diseño, las condiciones actuales, el tráfico y el diseño estructural. Conocer la estructura y propiedades de los materiales es fundamental para elegir las técnicas adecuadas y prever el rendimiento futuro del pavimento.

FHWA (2019), “es un proceso sistemático y continuo de obtención, almacenamiento y análisis de datos relacionados con las condiciones y el rendimiento del pavimento. Este proceso es fundamental para la gestión efectiva y la preservación de los sistemas de pavimentos”

b. Evaluar su condición

FHWA (2019), es un proceso sistemático de medición y análisis de las características físicas y funcionales de un pavimento para disponer su estado actual y predecir su rendimiento futuro.



Las características principales incluyen:

- Aspectos evaluados:
 - Condición superficial (grietas, baches, deformaciones, etc.)
 - Rugosidad (regularidad superficial)
 - Resistencia al deslizamiento
 - Capacidad estructural
 - Drenaje
- Métodos de evaluación:
 - Inspecciones visuales detalladas
 - Mediciones automatizadas (perfilómetros, deflectómetros, etc.)
 - Ensayos no destructivos
 - Análisis de muestras de materiales (cuando es necesario)
- Índices y parámetros utilizados:
 - Índice de Condición del Pavimento
 - Índice de Regularidad Internacional
 - Número Estructural
 - Coeficiente de fricción

Según MnDOT (2020), además de recopilar datos históricos del pavimento, es fundamental evaluar su estado actual para definir las estrategias de preservación adecuadas. Se recomienda utilizar un proceso estandarizado para calificar la condición del pavimento, que describa los tipos, severidad y cantidad de deterioros presentes. La elección de tratamientos debe centrarse en corregir o mejorar el deterioro del pavimento.

c. analizar los datos recopilados

Según MnDOT (2020), en esta etapa se evalúa si un área de pavimento es adecuada para métodos de preservación, considerando la cantidad y gravedad de los daños, posibles problemas estructurales en las capas subyacentes y el historial de daños en las mismas áreas. Es importante destacar que solo los proyectos con buenas condiciones estructurales son elegibles para la preservación de pavimentos.

d. Identificar técnicas de preservación adecuadas

MnDOT (2020), las secciones de pavimento que son adecuadas para la preservación deben ser identificadas observando y analizando los tipos y severidades de los deterioros presentes, así como otras características particulares de cada proyecto. Se basa principalmente en la relación entre una técnica y un deterioro específico, el uso de herramientas de decisión es esencial. En casos de deterioros múltiples, se examina la idoneidad de la técnica para cada tipo o se emplea una combinación de técnicas basada en criterios técnicos para tomar decisiones finales sobre la preservación.

e. Elegir la mejor técnica

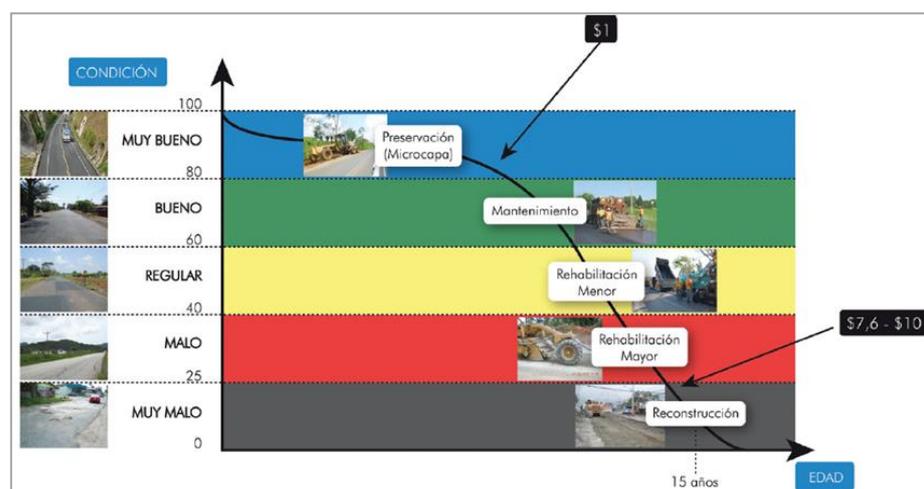
MnDOT (2020), la mejor técnica de conservación es aquella que cumple con los objetivos del proyecto y ofrece la mejor relación costo-beneficio a lo largo del tiempo. Esta selección se hace entre técnicas de preservación viables, y su análisis se integra con frecuencia en sistemas de gestión de pavimentos. Idealmente, la decisión se guiará por la optimización, lo que significa maximizar los beneficios. Sin embargo,

también se puede lograr mediante una evaluación manual de los beneficios de la técnica en comparación con los costos previstos.

Herra (2018), la atención temprana a un sistema de carreteras es crucial en la gestión de pavimentos. Abordar deterioros en etapas iniciales, como grietas y pequeños baches, ayuda a prevenir un deterioro rápido de la estructura del pavimento, lo que a su vez evita la necesidad de realizar inversiones mayores para restaurar la vía a su condición original. Este patrón se representa en la Fig. 9, que muestra una curva teórica de degradación del pavimento. Esta gráfica ilustra los costos relativos de inversión necesarios para restaurar el estado de la vía, como en las etapas iniciales del deterioro, así como cuando su condición exige una rehabilitación completa. La curva evidencia que, en un lapso comparativamente breve, los gastos de mantenimiento de una carretera pueden incrementarse de manera sustancial.

Figura 9

Curva de deterioro de los pavimentos flexibles y los costos relativos



Nota: Rodríguez, 2014



Los datos obtenidos de las evaluaciones de pavimentos son fundamentales para la gestión de un sistema de carreteras, que proporcionan la base para la toma de decisiones (Rodríguez, 2014).

2.2.3. Índice internacional de regularidad (IRI)

2.2.3.1. Concepto

“El IRI es la unidad estándar para medir la rugosidad de carreteras, calculándose a partir de los desplazamientos verticales de un vehículo en relación con su suspensión, se expresa en unidades de longitud sobre longitud, como mm/m o m/km”. (IMT, 1998).

“El IRI representa el pendiente promedio ajustada del perfil longitudinal de una carretera, reflejando las vibraciones que experimenta un automóvil de pasajeros estándar. Este valor se calcula simulando un modelo de suspensión a una velocidad de 80 km/h” (Badilla, 2009).

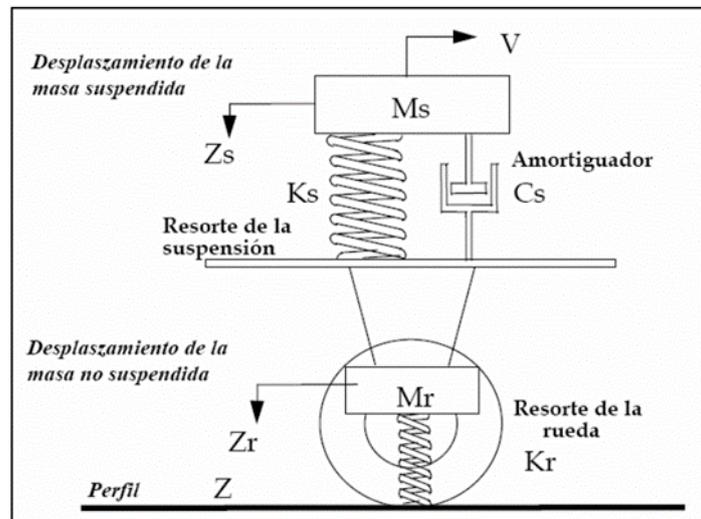
En Perú, la norma CE.010 del RNE trata sobre los pavimentos urbanos y establece normas para su regularidad. La medición se lleva a cabo en vías expresas utilizando unidades IRI con una tolerancia máxima de 2.5 m/km en vías expresas o a solicitud del personal de la obra. Se permite el uso de cualquier método que sea técnicamente aceptable después de que la supervisión lo haya aprobado. La regularidad debe medirse en ambas huellas vehiculares y en toda la longitud de la superficie de rodadura. La medición se lleva a cabo al finalizar el trabajo como control y aprobación final de la calidad.

2.2.3.2. Características del modelo del cuarto de carro

Según Badilla (2009), los algoritmos emplean un modelo que simula un cuarto de carro, utilizando valores estándar de masa y amortiguamiento a una velocidad de 80 km/h. Este modelo incluye masas amortiguadas (M_s) y no amortiguadas (M_r), con el sistema de suspensión representado por resortes (K_s) y amortiguadores (C_s), mientras que la llanta se modela como un resorte (K_r). El objetivo es “calcular los desplazamientos de la masa amortiguada (Z_s) en comparación con la masa no amortiguada (Z_r).”

Figura 10

Modelo del cuarto de carro



Nota: (Badilla, 2009).

Este prototipo utiliza los parámetros del cuarto de carro, que se detallan en lo que sigue:

$$K_2 = \frac{K_s}{M_s} = 63.3 \dots\dots\dots (1) \quad K_1 = \frac{K_s}{M_s} = 653 \dots\dots\dots (2)$$

$$C = \frac{C_s}{M_s} = 6 \dots\dots\dots (3) \quad \mu = \frac{K_r}{M_s} = 0.15 \dots\dots\dots (4)$$



En donde:

K_s : “Rigidez del sistema de suspensión.”

M_s : “Masa que está sujeta a amortiguamiento.”

K_r : “Rigidez del resorte que simula el comportamiento del neumático.”

C_s : “Nivel de amortiguamiento del sistema de suspensión.”

M_r : “Masa que no está sujeta a amortiguamiento.”

Este modelo se fundamenta en cuatro ecuaciones diferenciales derivadas de la 2da ley de Newton, establece que la fuerza es proporcional a la masa multiplicada por la aceleración. Estas ecuaciones describen el movimiento vertical, así como la velocidad y las aceleraciones del sistema, y se obtienen a partir de las ecuaciones 4 y 5.

Para el sistema amortiguado:

$$M_s \ddot{z}_s = K_s(z_r - z_s) + C_s(\dot{z}_r - \dot{z}_s) \dots\dots\dots (4)$$

Para el sistema no amortiguado:

$$M_r \ddot{z}_r = K_r(h_{ps} - z_r) - K_s(z_r - z_s) - C_s(\dot{z}_r - \dot{z}_s) \dots\dots\dots (5)$$

De las ecuaciones 4 y 5 se derivan las cuatro ecuaciones diferenciales que definen el modelo del cuarto de carro. Este sistema de ecuaciones se puede representar en forma matricial.

$$\dot{X} = AX + Bh_{ps} \dots\dots\dots (6)$$

$$X = (z_s, \dot{z}_s, z_r, \dot{z}_r)^t \dots\dots\dots (7)$$



$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -K2 & -C & K2 & C \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K2}{\mu} & \frac{C}{\mu} & -\frac{K1+K2}{\mu} & -\frac{C}{\mu} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

$$B = \left(0 \quad 0 \quad 0 \quad \frac{K1}{\mu}\right)^t \dots\dots\dots (9)$$

En donde:

Zs: “Coordenada vertical de la masa amortiguada”.

Zr: “Coordenada vertical de la masa sin amortiguamiento”.

hps: “Elevación del perfil suavizado”.

La matriz X contiene los valores que representan el sistema simulado, incluyendo las derivadas de “Zr, Zs y X” respecto al “t”. Para la ecuación 6, es crucial conocer o estimar las condiciones iniciales: Zs y Zr se consideran equivalentes a la altitud del perfil, mientras que \dot{Z}_r y \dot{Z}_s se suponen iguales a la variación del perfil por segundo a 80 km/h. Esto permite una transición fluida entre los valores iniciales y la respuesta del perfil. Por lo tanto, se recomienda recolectar datos del perfil a lo largo de una longitud L, comenzando 20 metros antes, lo que ayuda a minimizar el impacto de la transición y a mejorar el cálculo del IRI. La definición del tiempo es la siguiente:

$$t = \frac{X}{v} \dots\dots\dots (10)$$

En donde:

X: “distancia longitudinal”.



V: “velocidad, en este caso definida como 80 Km/H.”

La unidad de velocidad es longitud entre segundo, por lo cual, si la unidad de medida utilizada para la longitud debe ser consistente con la unidad empleada para el valor X. En cuanto al modelo del cuarto de carro, las ecuaciones dinámicas toman como datos de entrada las características del perfil del terreno. De manera similar, el desplazamiento vertical del eje en función a la masa amortiguada se acumula gradualmente, el resultado final expresa el valor del IRI en (m/km). Este indicador se calcula sumando el desplazamiento vertical entre la masa con amortiguación y la que carece de ella, y luego normalizando este total respecto a la distancia L del perfil analizado. La fórmula que representa este cálculo se presenta a continuación.

$$IRI = \int_0^{L/V} \frac{|\dot{z}_s - \dot{z}_r|}{L} dt \dots \dots \dots (11)$$

2.2.3.3. Cálculo del IRI

El cálculo del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) se realiza mediante fórmulas similares a las ya mencionadas. Estas ecuaciones pueden ser implementadas en lenguajes de programación o adaptadas a programas informáticos como Excel o MATLAB, permitiendo así la determinación de este índice.

El proceso inicia considerando la inclinación de los primeros 11 metros del tramo (lo que equivale aproximadamente a 0.5 segundos



cuando se viaja a 80 km/h) como punto de partida para el sistema de ecuaciones.

$$Z_1' = Z_3' = \frac{Y_a - Y_1}{11} \dots\dots\dots (12)$$

$$Z_2' = Z_4' \dots\dots\dots (13)$$

En donde “Ya” representa la cota a los 11 primeros metros.

Asimismo, a partir del segundo punto de medición (que corresponde a los primeros 0.25 metros si el intervalo de muestreo es de 0.25 m), se aplican cuatro ecuaciones adicionales. Estas fórmulas se emplean para todos los puntos subsiguientes del perfil.

$$Z_1 = Z_1' \cdot ST_{11} + Z_2' \cdot ST_{12} + Z_3' \cdot ST_{13} + Z_4' \cdot ST_{14} + Y' \cdot PR_1 \dots\dots\dots (14)$$

$$Z_2 = Z_1' \cdot ST_{21} + Z_2' \cdot ST_{22} + Z_3' \cdot ST_{23} + Z_4' \cdot ST_{24} + Y' \cdot PR_2 \dots\dots\dots (15)$$

$$Z_3 = Z_1' \cdot ST_{31} + Z_2' \cdot ST_{32} + Z_3' \cdot ST_{33} + Z_4' \cdot ST_{34} + Y' \cdot PR_3 \dots\dots\dots (16)$$

$$Z_4 = Z_1' \cdot ST_{41} + Z_2' \cdot ST_{42} + Z_3' \cdot ST_{43} + Z_4' \cdot ST_{44} + Y' \cdot PR_4 \dots\dots\dots (17)$$

En donde:

$$Z_j' = Z_j \text{ de la anterior posición} \dots\dots (18)$$

$$Y' = Z_3' = \frac{Y(i) - Y(i-1)}{0.25} \dots\dots\dots (19)$$

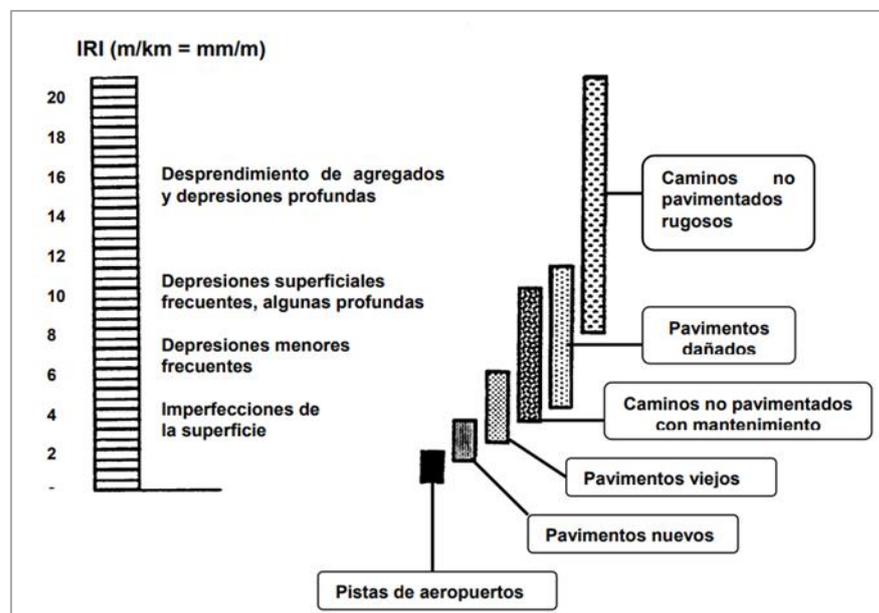
Es importante destacar que las matrices ST y PR se derivan de los cálculos realizados con las ecuaciones 6, 7, 8 y 9. Los valores de estas matrices no son constantes, sino que varían en función del intervalo de recolección de datos utilizado.

2.2.3.4. Escala y características del IRI

El IRI se expresa en unidades de milímetros/metro o metro/kilometro, con valores que van desde 0 hasta 20 m/km. Un valor de 0 m/km representa una vía perfectamente uniforme, mientras que 20 m/km indica un terreno casi impracticable. La imagen 11 ilustra la regularidad para distintos tipos de pavimentos.

Figura 11

Regularidad IRI en diferentes tipos de pavimentos



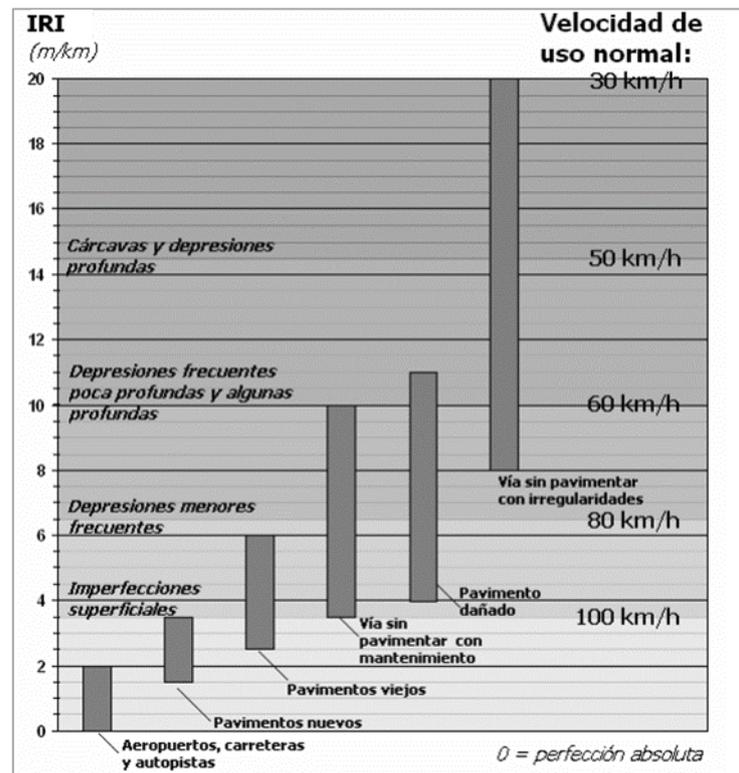
Nota: (IMT, 1998)

Tras realizar muestreos con diversas regularidades en distintos tipos de pavimentos, “el departamento de transporte de la Universidad de Michigan” elaboró en 1998 una tabla que establece la velocidad máxima permitida según la regularidad de la vía. Esta tabla es fundamental para calcular los márgenes de regularidad en varios proyectos, como la norma peruana que establece un límite de IRI de 2.5 m/km para vías expresas,

relacionándolo con una velocidad máxima de diseño de 80 a 100 km/h
(Almenara, 2015).

Figura 12

Velocidad máxima según rugosidad de las vías



Nota: (Sayers, Gillespie, & Queiroz, 1986)

2.2.3.5. Equipos para medir el IRI

a. El Rugosímetro III

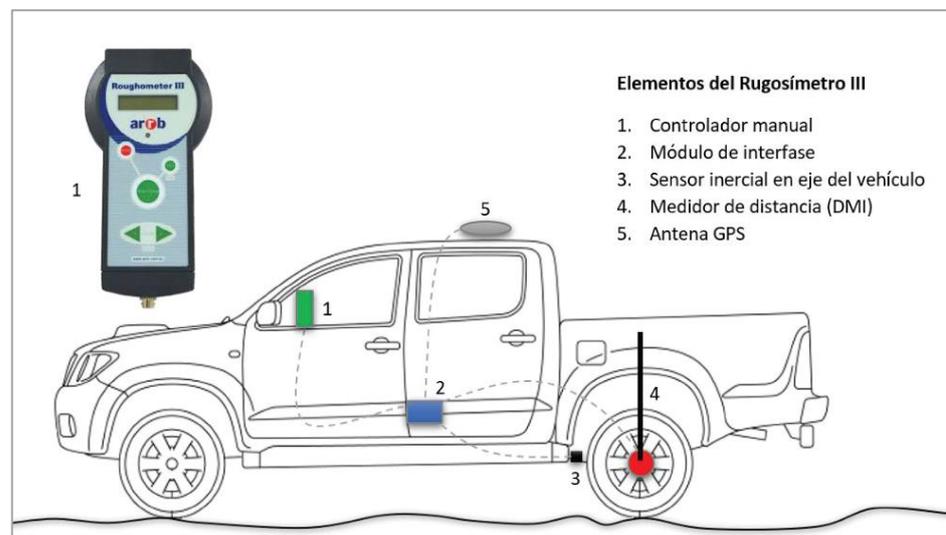
Este dispositivo analiza la regularidad de la superficie de las vías, basándose en la dinámica de suspensión y amortiguamiento de un vehículo estándar a velocidades de entre 40 y 60 km/h. Es económico, de tamaño reducido, fácil de operar y apto para detectar irregularidades en superficies tanto pavimentadas como no pavimentadas. Las mediciones obtenidas pueden ser utilizadas para múltiples propósitos, tales como:

- Proporcionar datos objetivos para la evaluación funcional de las vías.
- Comparar y analizar medidas de intervención o conservación.
- Monitorear el deterioro o desempeño de las medidas de intervención. (Vargas & Ulate, 2014).

“El dispositivo se compone de varios componentes básicos: un controlador manual, una antena GPS con base metálica, un medidor de distancias (DMI), un sensor de rugosidad (acelerómetro) y un software especializado para procesar la información recolectada en el campo” (Vargas & Ulate, 2014).

Figura 13

Modo de empleo del Rugosímetro III durante la recolección de datos.



Nota: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [Laname] (2020)

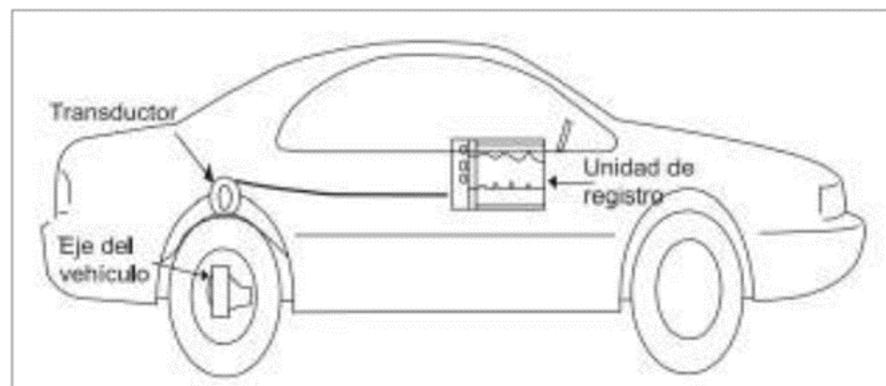
b. Equipos Tipo Respuesta (RTRRM)

Para recopilar datos de regularidad, se emplean equipos denominados Response Type Road Roughness Meters (RTRRM), conocidos como "medidores de vías". Estos dispositivos son considerados

ideales para el monitoreo rutinario de carreteras pavimentadas, proporcionando una observación global del estado del camino y facilitando una conservación oportuna. Los RTRRM miden los desplazamientos verticales del eje trasero del vehículo, utilizando registradores instalados en el vehículo con un transductor de recorrido entre el eje y el cuerpo del automóvil. Sin embargo, presentan desventajas, como la falta de permanencia en el tiempo de las mediciones, la falta de comparabilidad entre mediciones recientes y anteriores, y la variabilidad de las medidas de rugosidad según la dinámica del vehículo y la velocidad de desplazamiento (Vargas & Ulate, 2014).

Figura 14

Equipo Tipo respuesta Response Type Roughness Meters (RTRRM).



Nota: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [Laname] (2009)

c. Escala de valores del IRI en el Perú.

Los manuales del MTC incluyen información sobre el IRI. “El Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” muestra la rugosidad inicial de un pavimento nuevo y uno existente reforzado. También se sugieren los valores de rugosidad durante el período de servicio.

Tabla 3

Rugosidad admisible IRI (m/km) según tipo de carretera

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI(m/Km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI(m/Km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de servicio IRI(m/Km)	Observación
-Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 95%
-Carrteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 95%
-Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 95%
-Carrteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles	2.50	3.00	4.00	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 90%
-Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 90%
-Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad Característica, para una Confiabilidad de 85%

Nota: "Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, 2013."

El documento oficial ratificado mediante la Disposición Directiva N°051-2007-MTC/14, que establece los Criterios Técnicos Generales para el Mantenimiento de Vías, presenta en su Sección 1.5, denominada "Fundamentos Conceptuales del Mantenimiento Vial", un cuadro informativo que detalla lo siguiente:

Tabla 4*Estado de rugosidad IRI (m/km)*

ESTADO	PAVIMENTADAS	NO PAVIMENTADAS
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6.0$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6 < IRI \leq 8$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy Malo	$5 < IRI$	$10 < IRI$

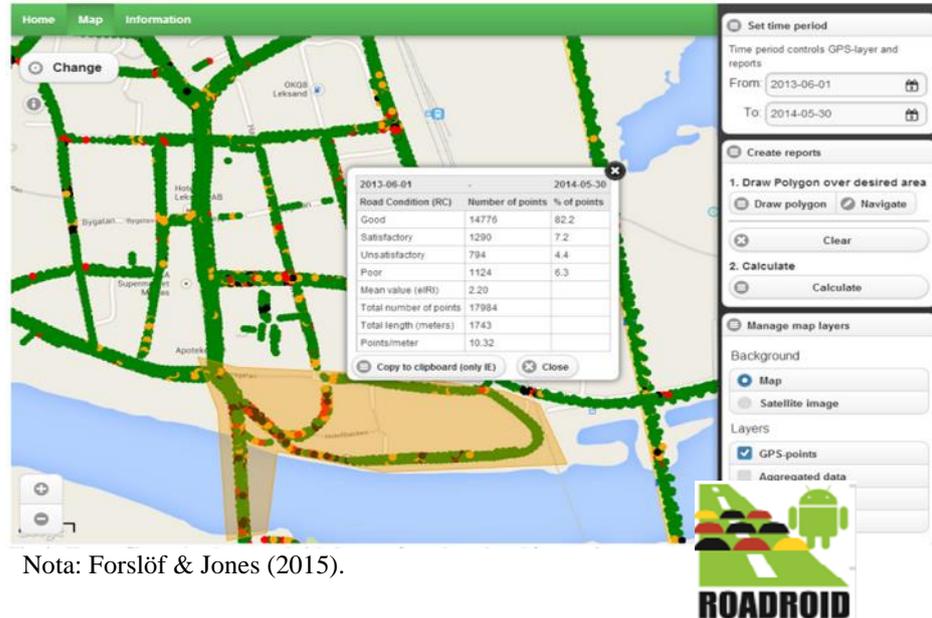
Nota: “Especificaciones Técnicas para la Conservación de Carreteras MTC, 2007”

d. Roadroid en la medición del IRI

El modelado del cuarto de carro y la fórmula de correlación del programa permiten obtener el IRI del Roadroid. Sin embargo, el objetivo principal era facilitar comparaciones sobre la calidad de diferentes tramos de carretera a lo largo del tiempo, así como evaluar la calidad del pavimento en áreas que van desde pequeños tramos hasta ciudades completas. Para ello, se optó por utilizar un porcentaje de cada categoría de calidad de pavimento: “buena, satisfactoria, no satisfactoria y pobre, representadas por los colores verde, amarillo, rojo y negro, respectivamente” en el área seleccionada (Fig. 15). Los datos recolectados con Roadroid se emplearon para esta evaluación. El índice Roadroid (RI) es un nuevo parámetro aplicable tanto a pequeños tramos como a toda una ciudad (Roadroid, 2014).

Figura 15

Los porcentajes de condición del tramo de la carretera perteneciente al área seleccionada



Nota: Forsl f & Jones (2015).

Además, comparar la calidad del pavimento a lo largo del tiempo es factible gracias a que se pueden hacer mediciones frecuentes, ya que recolectar datos con esta app es relativamente sencillo (figura 16).

Figura 16

Reporte de los cambios de condiciones ocurridos en una carretera usando R

Road condition change report Q4-2012														
G�vleborg														
Hudiksvall		Contractor		NCC	69.40%	15.50%	7.40%	7.80%	65.8%	114%	8.50%	11%		
1089	km	phone 010-476 14 07		Q4-2012					Helar-2012					
Road No.	Traffic	Class	Length	Comments	Good	Sat	Usat	Poor	Trend	Good	Sat	usat	Poor	eIRI avg
E4	14,000	1	143		93.9%	4.6%	0.9%	0.5%	-3.4%	97.4%	2.0%	0.4%	0.3%	1.8
83	8,300	2	167	Salt road	88.9%	7.4%	2.2%	1.5%	3.3%	85.6%	8.0%	3.2%	3.2%	2.6
84	7,500	2	210	Salt road	90.9%	6.1%	1.7%	1.3%	-1.6%	92.5%	4.8%	1.6%	1.1%	2.9
305	1,200	3	105		76.7%	14.4%	5.3%	3.6%	-0.6%	77.3%	13.3%	5.2%	4.1%	4.5
307	900	3	75		93.7%	5.2%	0.7%	0.4%	0.4%	93.3%	5.5%	0.8%	0.4%	3.7
539	300	3	33	Gravel road						9.1%	23.2%	24.2%	43.4%	7.5
583	1,700	3	89		96.9%	2.6%	0.2%	0.3%	0.0%	96.9%	2.0%	0.6%	0.5%	2.3
660	1,850	3	64		88.6%	8.3%	0.6%	2.5%	9.1%	79.5%	9.7%	4.5%	5.3%	6.7

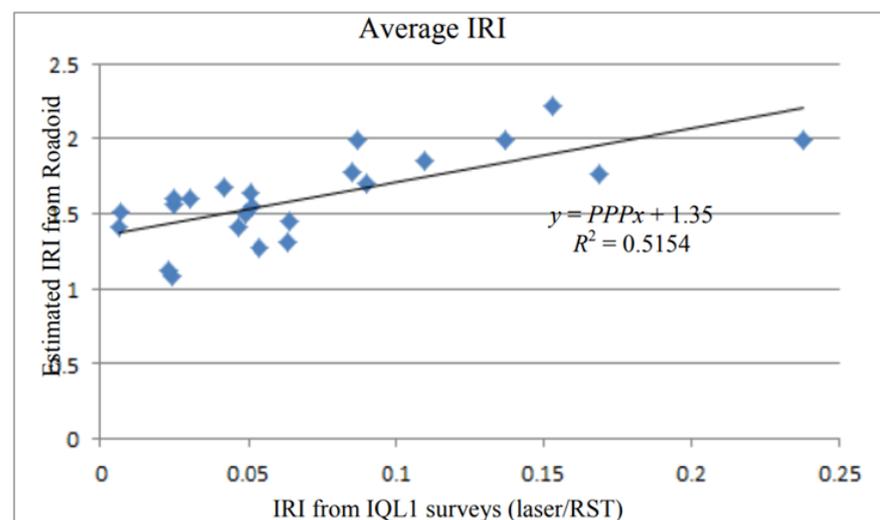
Nota: Forsl f & Jones (2015)

e. IRI estimado (eIRI)

A pesar de contar con el índice Roadroid para evaluar la calidad de las vías, se buscaba establecer una relación con el IRI, ampliamente utilizado en la actualidad. Para lograrlo, se realizaron mediciones de alta precisión con instrumentos de clase 1 en tramos de 20 metros y se promediaron los valores obtenidos en distintas secciones de vías. Además, se utilizaron datos de la aplicación Roadroid en tramos de 20 metros, promediando los valores en diversas secciones. Al comparar cientos de tramos de enlaces de carretera, se determinó un factor de relación que permitió la estimación de un valor IRI (eIRI). El eIRI puede utilizarse desde puntos individuales muestreados con una resolución de 1 Hz hasta el promedio completo de enlaces de carretera. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0,5 (fig. 17), indicando una correlación moderada (Forslöf & Jones .2015).

Figura 17

Coeficiente de determinación(R^2)



Nota: Forslöf & Jones (2015).



Investigaciones de diversas universidades e institutos a nivel mundial, como el “Banco Mundial, la Universidad de Pretoria y la Universidad de Auckland”, indican que el eIRI se correlaciona con el IRI en un 80%.

Los estudios han revelado que los minicoches presentan una sensibilidad notablemente mayor en comparación con el coche pequeño que se utiliza como referencia. Además, se han identificado ciertas limitaciones en su capacidad de adaptación a diferentes velocidades. Es importante destacar que diversas entidades internacionales continúan llevando a cabo investigaciones en este campo. Entre ellas se encuentran el Banco Mundial, la “Oficina de Servicios para Proyectos” (OPS) de las Naciones Unidas, universidades especializadas y empresas ferroviarias de renombre como Spea Autostrade. Los hallazgos de estas investigaciones serán comunicados al departamento de desarrollo con el objetivo de perfeccionar la solución actual. Esta información se basa en los estudios de (Forsslöf & Jones ,2015).

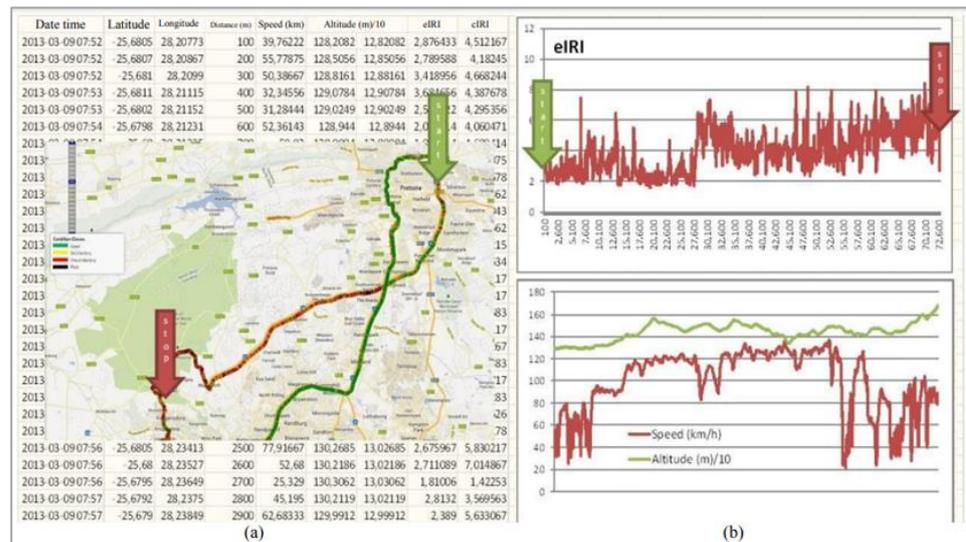
La investigación de la Universidad de Pretoria en 2013 se centró en evaluar la consistencia de la aplicación Roadroid para medir el IRI bajo diversas condiciones del vehículo, como velocidad, trayectoria, cargas y presión de neumáticos. Los resultados mostraron que Roadroid puede proporcionar mediciones confiables al normalizar estos factores.

Otra investigación de la Universidad de Auckland en 2013 se centró en la capacidad de la aplicación Roadroid para representar la aspereza percibida por los automovilistas. Ambos informes confirmaron

que Roadroid respondía de manera semejante a los sistemas aceptados por la industria en relación con las características de las carreteras de la red de Auckland. Para ser precisos, Roadroid mostró una correlación del 81% con sistemas de medición láser (Forslöf & Jones (2015)).

Figura 18

De un recorrido de prueba de 72 km en Sudáfrica



Nota: Forslöf & Jones (2015).

De un recorrido de prueba de 72 km en Sudáfrica: (a) los datos de medición obtenidos que se muestrean en un segundo nivel se promedian y se agregan en trozos de 100 m; (b) los datos resultantes se representan en diagramas de eIRI, velocidad y altitud (Forslöf & Jones ,2015).

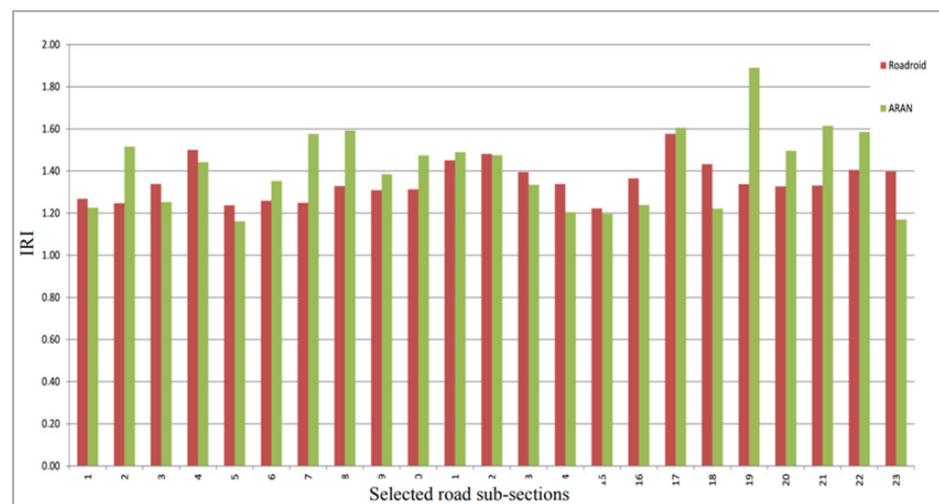
f. IRI calculado (cIRI)

Se ha creado un nuevo parámetro denominado IRI calculado (cIRI) a partir de investigaciones. Las pruebas muestran que, si se hace la calibración correcta, el cIRI puede ser muy efectivo, aunque los valores deben recolectarse a velocidades entre 60 y 80 km/h. El modelo del cuarto de carro simula las masas amortiguadas y no amortiguadas, así como el

movimiento del vehículo, como datos de entrada. El comportamiento del chasis y la carrocería se estima utilizando datos del acelerómetro, y el usuario puede realizar la calibración fácilmente. Un estudio con la herramienta ProVal determinó que, en superficies rugosas, el cIRI no era muy preciso, mientras que en carreteras de grava, los resultados eran excelentes y generaban altas expectativas (Forsslöf & Jones, 2015).

Figura 19

Comparación entre el Austrade Aran IRI (verde) versus el cIRI (Rojo)



Nota: Forsslöf & Jones (2015).

Actualmente, es necesario llevar a cabo más investigaciones para establecer un cIRI que cumpla con todas las expectativas. Sin embargo, los estudios realizados hasta ahora muestran que el cIRI ofrece una mayor precisión en comparación con el eIRI. (Forsslöf & Jones ,2015).

g. Condición de la vía según Roadroid.

Roadroid creó una herramienta que presenta la calidad de los pavimentos mediante la codificación de colores para cuatro categorías (pobres, no satisfactorios, satisfactorios o buenos) en las que cada tramo

se pueda clasificar una vez calculados los valores de regularidad estimada en IRI (Roadroid, 2014).

Tabla 5

Condición de la vía según Roadroid.

CONDICIÓN VÍA	eIRI	COLOR	
Buena	<2.2	VERDE	
Satisfactorio	2.2-3.6	AMARILLO	
No satisfactorio	3.6 - 5.4	ROJO	
Pobre	>5.4	NEGRO	

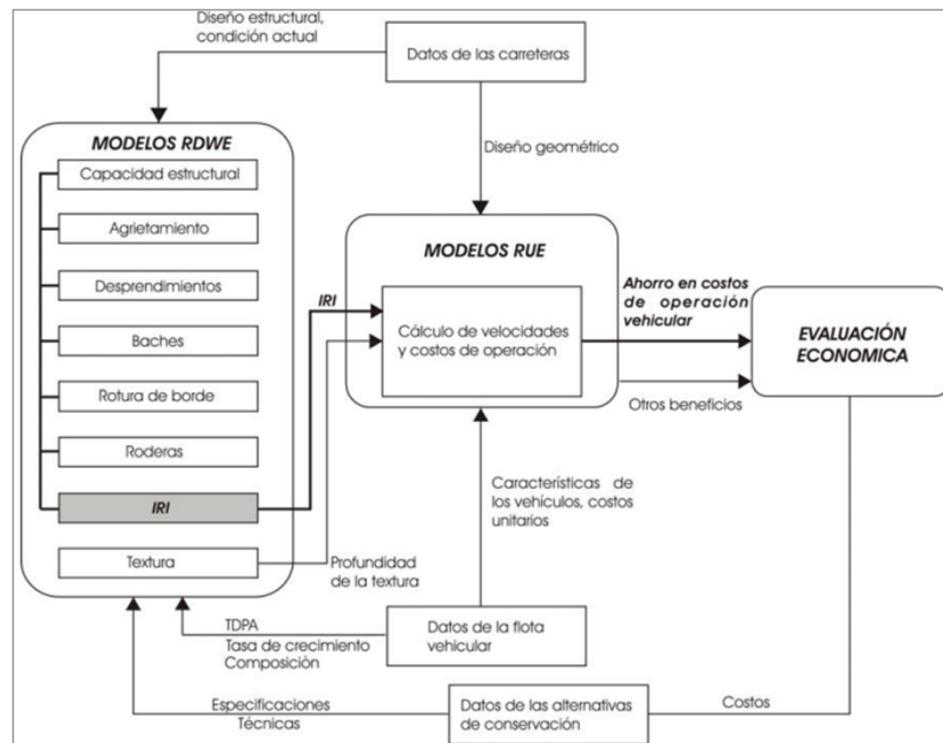
Nota: Adaptada de (Roadroid, 2014).

h. Importancia del IRI en la metodología de análisis del HDM-4

El IRI es fundamental en el HDM-4 para evaluar inversiones en carreteras, ya que la irregularidad de la superficie afecta la velocidad, costos operativos, seguridad y satisfacción de los usuarios. Este índice, expresado en m/km o mm/m, mide la rugosidad y se utiliza como referencia principal en el análisis del HDM-4. La relación entre el IRI, velocidad y costos operativos simplifica el estudio de los efectos de la condición del pavimento en la dinámica vehicular, justificando su relevancia. En la evaluación de inversiones, el HDM-4 compara costos de mejoras con beneficios, principalmente ahorros en gastos operativos, destacando la importancia del IRI en este proceso (Solorio & Hernández, 2004).

Figura 20

Importancia del IRI en el esquema general de análisis del HDM-4



Nota: Solorio & Hernández, 2004

i. Razones para Utilizar el IRI en Programa el HDM-4

La uniformidad del pavimento, medida por el IRI, es crucial para el HDM-4 en la evaluación de inversiones en infraestructura vial. Este índice permite a ingenieros modelar el impacto de escenarios de conservación y rehabilitación, facilitando decisiones sobre la gestión de activos y la asignación de recursos. El análisis del IRI diagnostica la condición del pavimento, respaldando decisiones objetivas sobre conservación y optimizando el uso de recursos, lo que genera beneficios económicos y sociales. Su aplicación, junto con otras herramientas de gestión, mejora sosteniblemente el estado y la funcionalidad de las carreteras. (Solorio & Hernández, 2004).

2.2.4. Metodología del PCI

2.2.4.1. Introducción

El PCI es una metodología integral para evaluar pavimentos flexibles y rígidos en la gestión vial, fácil de implementar y sin necesidad de herramientas sofisticadas. Considera diversos daños y utiliza "valores deducidos" para ponderar el impacto de tipo, severidad y densidad de los daños en la condición del pavimento, que varía de 0 (mal estado) a 100 (óptimas condiciones). La Tabla 6 muestra los rangos del PCI con descripciones cualitativas de la condición del pavimento. (Vásquez, 2002).

Tabla 6

Rangos de calificación del PCI

Rango PCI%	Clasificación	Simbología
100 – 85	Excelente	
85 – 70	Muy Bueno	
70 – 55	Bueno	
55 – 40	Regular	
40 – 25	Malo	
25 – 10	Muy Malo	
10 – 0	Fallado	

Nota: Adaptado de PCI, Vazquez, 2002.

El PCI se determina a través de un inventario visual que documenta el tipo, la severidad y la cantidad de fallas en el pavimento. Su finalidad es proporcionar un índice que refleje la integridad estructural y el estado operativo de la superficie, así como ayudar a identificar las causas de los daños y su relación con las cargas o las condiciones climáticas (Vásquez, 2002).



2.2.4.2. Fallas en pavimentos flexibles

a. Piel de cocodrilo

Son fisuras interconectadas en la capa asfáltica causadas por cargas de tráfico repetitivas. Inician en la base de la capa y se propagan hacia la superficie, formando inicialmente líneas paralelas que luego se conectan en polígonos angulares, estas grietas suelen limitarse a áreas de menos de 0.60 m de lado Shahin (2005),

Niveles de gravedad

Bajo (L): No presenta descascaramientos, ni desprendimientos presenta una interconexión baja.

Medio (M): No presenta desprendimientos, puede presentar un ligero descascaramiento y una interconexión definida.

Alto (H): Implica una red o patrón de grietas que ha evolucionado hasta tener piezas bien definidas y bordes descascarados. Algunas piezas pueden desplazarse bajo el tráfico.

Unidad de medida: m²

Acción recomendada

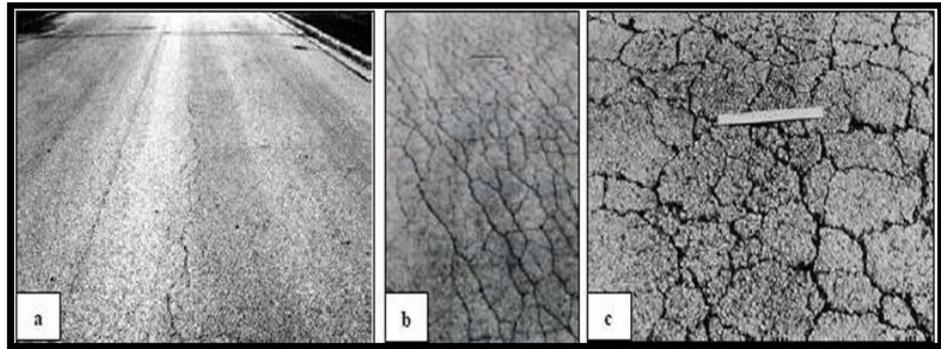
Bajo (L): simplemente un sellado de grietas

Medio (M): Parcheo parcial

Alto (H): Reconstrucción, Shahin (2005).

Figura 21

Piel de cocodrilo niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

b. Exudación

“La exudación es la formación de una capa brillante y pegajosa de material bituminoso en la superficie, provocada por exceso de asfalto, uso excesivo de sellantes o baja cantidad de vacíos de aire, acumulándose al expandirse a altas temperaturas” (Vásquez, 2002).

Niveles de gravedad

- **L:** Presenta en un grado de exudación muy leve, el asfalto se pega a las ruedas de vehículos y zapatos pocos días del año.
- **M:** Presenta en un grado de exudación medio, el asfalto se pega a las ruedas de vehículos y zapatos pocas semanas al año.
- **H:** Presenta en un grado de exudación intenso, el asfalto se pega a las ruedas de vehículos y zapatos varias semanas al año.

Unidad de medida: m^2 , (Vásquez, 2002).

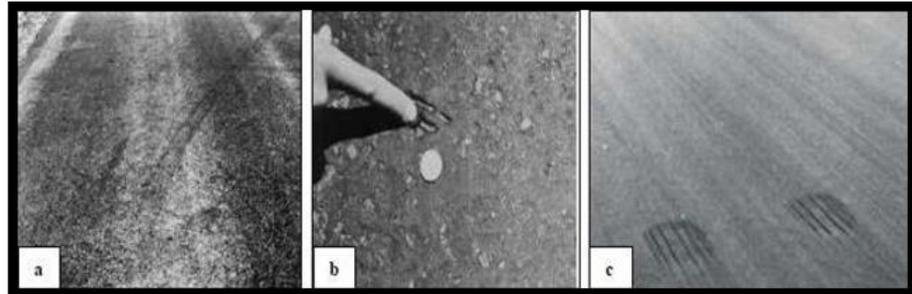
Acción recomendada

- **L:** Ninguna intervención.
- **M:** Aplicación de arena y se compacta.

- **H:** Fresado y sobrecarpeta (precalentados si es necesario),
(Vásquez, 2002).

Figura 22

Exudación niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

c. Agrietamiento en bloque

Según Shahin (2005), son grietas rectangulares de entre 0.30 m x 0.30 m y 3.0 m x 3.0 m., estas grietas son ocasionadas por la contracción del asfalto y los cambios diarios de temperatura, en lugar de por cargas vehiculares. Indican un endurecimiento del asfalto y pueden aparecer en zonas sin tráfico. Se diferencian de la piel de cocodrilo porque forman piezas más grandes y no están directamente relacionadas con el tránsito.

Niveles de gravedad

- **L:** Se refiere a bloques definidos por grietas de baja severidad($s < 10\text{mm}$)
- **M:** Hace referencia a severidad de grietas que definen los bloques ($10\text{mm} < s < 76\text{mm}$)
- **H:** Hace referencia a severidad de grietas que definen los bloques ($S > 76\text{mm}$)

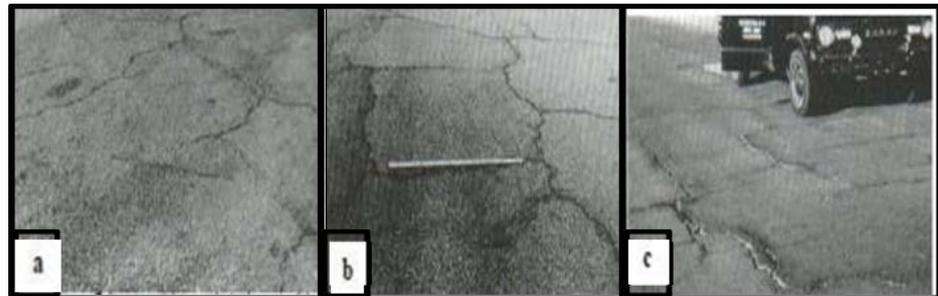
Unidad de medida: m², Shahin (2005).

Acción recomendada

- **L:** Consiste en el sellado de grietas con un ancho superior a 3.0m,
- **M:** Involucra el sellado de grietas y el reciclado superficial, mediante escarificación en caliente y aplicación de sobrecarpeta.
- **H:** Incluye el sellado de grietas y el reciclado superficial, mediante escarificación en caliente y aplicación de sobrecarpeta, Shahin (2005).

Figura 23

Agrietamiento en bloque niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

d. Abultamientos (BUMPS) y hundimientos (SAGS)

Según Vásquez (2002), “los abultamientos son elevaciones localizadas y los hundimientos depresiones abruptas en la superficie. Cuando afectan áreas extensas, se denominan ondulaciones o hinchamientos, distinguiéndose de desplazamientos por pavimentos inestables, con diversas causas.”

Niveles de gravedad

- **L:** Severidad de tránsito baja
- **M:** Severidad de tránsito moderada.
- **H:** Severidad de tránsito alta

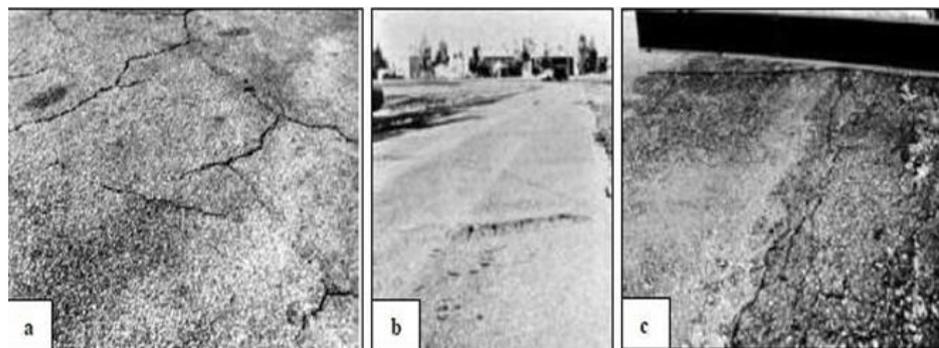
Unidad de medida: m, (Vásquez, 2002).

Acción recomendada

- **L:** Ninguna intervención.
- **M:** Implica reciclado en frío, parcheo.
- **H:** fresado y aplicación de sobrecarpeta, (Vásquez, 2002).

Figura 24

Abultamientos y hundimientos niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

e. Corrugación

“La corrugación se caracteriza por crestas y depresiones regulares, perpendiculares al tráfico, con intervalos menores a 3.0 metros. Es causada por el tránsito sobre una capa asfáltica o base inestable, independientemente de su origen” Shahin (2005).

Niveles de gravedad

- **L:** Severidad de tránsito baja
- **M:** Severidad de tránsito moderada.
- **H:** Severidad de tránsito alta

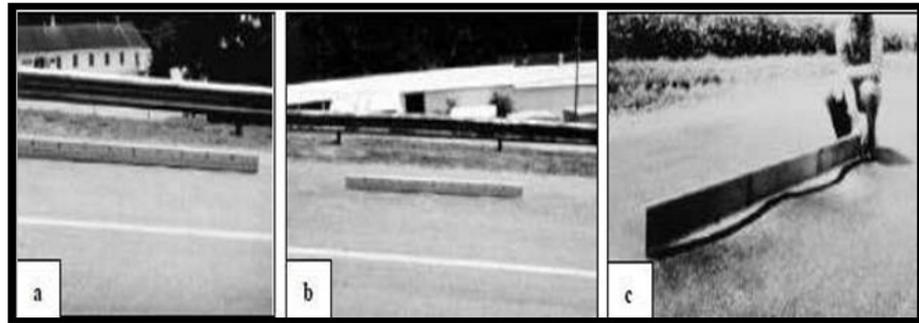
Unidad de medida: m², Shahin (2005).

Acción recomendada

- **L:** Ninguna intervención.
- **M:** Implica parcheo.
- **H:** Involucra reconstruir el pavimento. Shahin (2005).

Figura 25

Corrugación niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

f. Depresión

“Las depresiones son áreas del pavimento con niveles más bajos que su entorno, visibles tras la lluvia como manchas de agua. Se originan por asentamientos de la subrasante o mala construcción y pueden causar hidroplaneo si son profunda” Shahin (2005)

Niveles de severidad

Profundidad máxima de la depresión:

- **L:** Rango de 13.0mm a 25.0 mm.
- **M:** Rango de 25.0mm a 51.0 mm.
- **H:** Más de 51.0 mm.

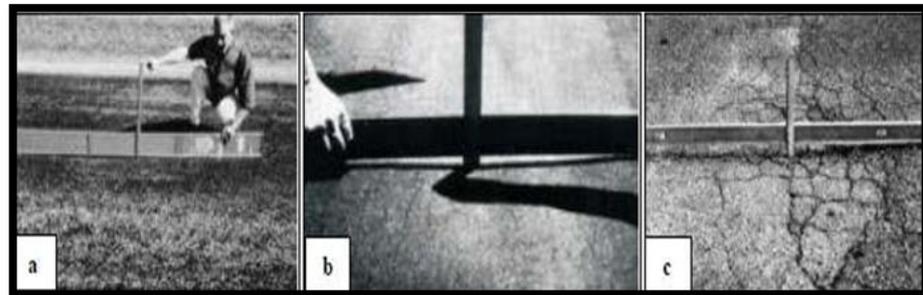
Medida: m², Shahin (2005).

Acción recomendada

- **L:** No se hace nada.
- **M:** Implica parcheo
- **H:** Reconstrucción , Shahin (2005).

Figura 26

Depresión niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

g. Fisura de borde

Según Vásquez (2002), “son paralelas y se ubican a 0.30-0.60 m del borde externo del pavimento. Se agravan por el tráfico y pueden ser causadas por el debilitamiento de la base o subrasante debido a a los fenómenos climáticos.”

Niveles de gravedad

- **L:** No presenta fragmentación o desprendimiento, agrietamiento bajo, severidad($s < 10\text{mm}$).
- **M:** Fragmentación o desprendimiento poco definido, severidad($10 < s < 76\text{mm}$).

- **H:** Fragmentación o desprendimiento bien definido, severidad($s > 76\text{mm}$).

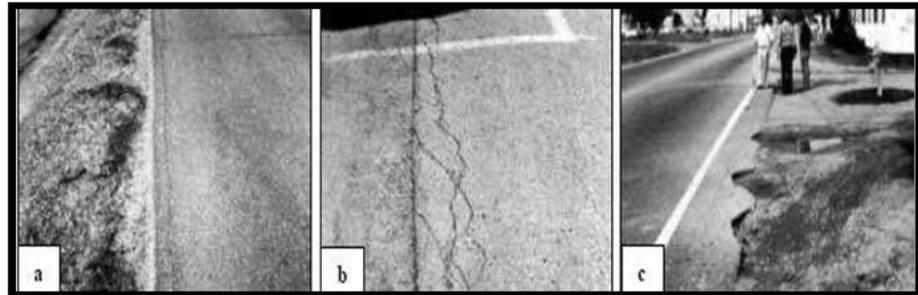
Unidad de medida: m, (Vásquez, 2002).

Acción recomendada

- **L:** Sellar las grietas con un espesor mayor a 3 mm.
- **M:** Implica sellado de grietas y parcheo
- **H:** Reconstrucción del borde, (Vásquez, 2002).

Figura 27

Fisura de borde niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

h. Desnivel carril / berma

El desnivel entre el carril y la berma se refiere a la disparidad de alturas entre el borde del pavimento y la berma. Este tipo de deterioro se origina debido a la erosión de la berma o a la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma, Shahin (2005).

Niveles de gravedad

- **L:** Elevación entre el borde del pavimento y la berma $25.0 < h < 51.0$ mm.

- **M:** Elevación entre el borde del pavimento y la berma 51.0
<math>h < 102.0</math> mm.
- **H:** Elevación entre el borde del pavimento y la berma, $h > 102.0$
mm.

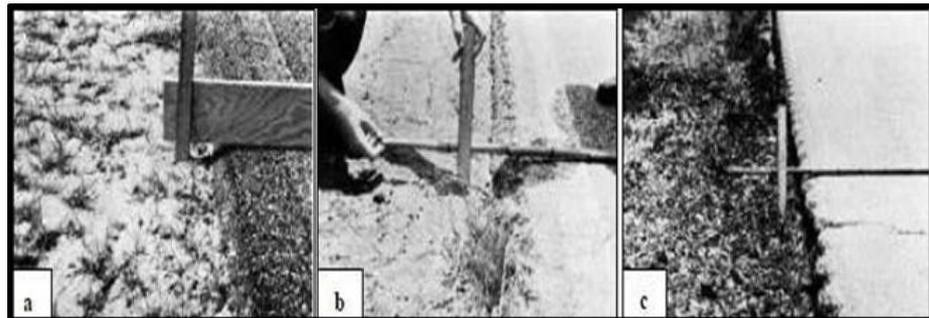
Unidad de medida: m, Shahin (2005).

Acción recomendada

- **L, M y H:** Consiste en la nivelación de las bermas para ajustarlas a la elevación del carril.

Figura 28

Desnivel carril/berma, niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

i. Fisuras longitudinales y transversales

Según Shahin (2005), “las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento, causadas por juntas mal construidas, contracción del asfalto o reflexión de grietas subyacentes. Las transversales cruzan el pavimento perpendicularmente, generalmente no relacionadas con cargas. Difieren en orientación y causas.”

Niveles de severidad

- **L:** Severidad de las grietas ($s < 10\text{mm}$)

- **M:** Severidad de las grietas $10\text{mm} < s < 76\text{mm}$ rodeado o no por grietas aleatorias.
- **H:** Severidad de las grietas, $s > 76\text{mm}$ rodeado por grietas aleatorias de severidad M o H

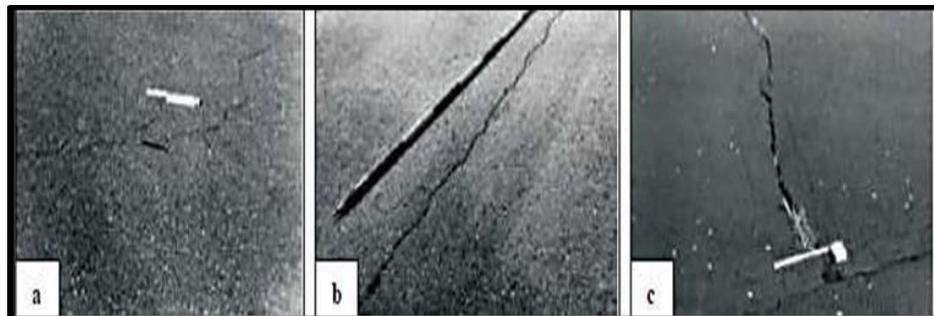
Unidad de medida: m, Shahin (2005).

Acción recomendada

- **L:** Sellar grietas con un espesor mayor a 3.0 mm.
- **M:** Implica sellado de grietas, parcheo
- **H:** Involucra parcheo o sobrecarpeta ,Shahin (2005).

Figura 29

Fisuras longitudinales y transversales, niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005)

j. Parches

Según Vásquez (2002), “Un parche es un área del pavimento reparada con material nuevo. Aunque puede ser funcional, a menudo es menos eficiente que el pavimento original y suele presentar irregularidades en la superficie circundante.”

Niveles de gravedad

- **L:** Parches en buenas condiciones, severidad del tránsito bajo
- **M:** Parches moderadamente deterioradas, severidad del tránsito media
- **H:** Parches muy deterioradas, severidad del tránsito alta

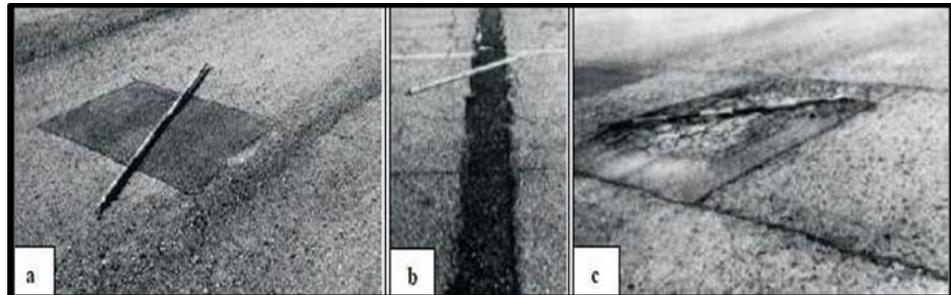
Unidad de medida: m², (Vásquez, 2002).

Acción recomendada

- **L:** Ninguna intervención.
- **M:** Rehabilitación local
- **H:** Requiere reconstrucción del parche

Figura 30

Parches de cortes utilitarios niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

k. Pulimentos de agregados

Según Shahin (2005), “El pulimento de agregados, causado por tráfico repetitivo, suaviza los agregados superficiales, disminuyendo la adherencia. Se identifica por una superficie suave y agregados degradados, con bajos valores de resistencia al deslizamiento, sin contribuir significativamente a disminuir la velocidad vehicular cuando el agregado expuesto es escaso.”

Niveles de gravedad

No se establece un nivel específico de gravedad. No obstante, el grado de pulimento debe ser notable antes de considerarse en una evaluación de la condición y registrarse como un defecto.

Unidad de medida: m²

Si se considera la exudación, el pulimento de agregados no será tomado en cuenta, Shahin (2005).

Acción recomendada

L, M y H: No se realiza ninguna intervención. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta, Shahin (2005).

Figura 31

Pulimento de agregados



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

1. Huecos

Según Vásquez (2002), “son depresiones mínimas (<0.90 m) en forma de tazón, con bordes agudos, originadas por desprendimiento de la superficie agravado por agua. Los derivados de piel de cocodrilo severa se clasifican como huecos.”

Niveles de severidad.

Los huecos con un diámetro menor a 762 mm, los niveles de severidad se determinan según la profundidad y diámetro, como se indica en la tabla 7. Si el diámetro supera los 762 mm, se mide la superficie en ft² o m² y se divide entre 5 pies cuadrados (0.47 m²) para obtener el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es ≤ 25.0 mm, se considera una severidad media; si es > 25.0 mm, la severidad se clasifica como alta, (Vásquez, 2002).

Tabla 7

Niveles de severidad para huecos.

Prof. Máxima del Hueco	Diámetro medio(mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762mm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
>25.4 a 50.8 mm	L	M	H
>50.8 mm	M	M	H

Nota: Pavement Condition Index, Vásquez -2002.

Medida: unidad.

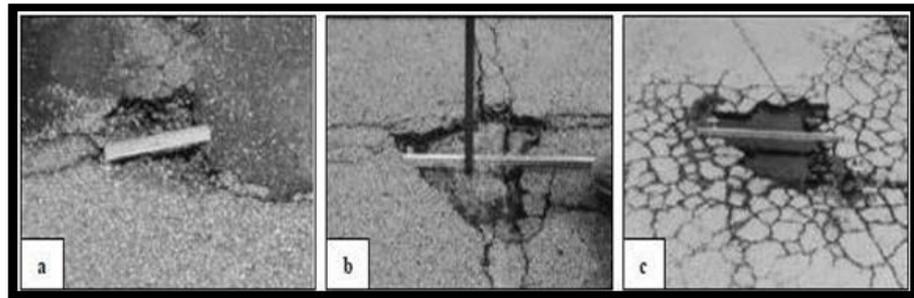
La medición de los baches implica contar aquellos que presenten severidades baja, media y alta, y registrarlos por separado, (Vásquez, 2002).

Acción recomendada:

- **L:** Parcheo parcial profundo.
- **M:** Implica parcheo profundo.
- **H:** Reconstrucción, (Vásquez, 2002).

Figura 32

Huecos niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

m. Ahuellamiento

“Son hendiduras en las huellas de las ruedas, a menudo con levantamiento en los bordes, visibles tras la lluvia. Resultan de la consolidación de materiales por la carga del tráfico y pueden causar fallas estructurales en el pavimento” (Shahin, 2005).

Niveles de gravedad

Profundidad promedio:

- **L:** Entre $6\text{mm} < h < 13\text{ mm}$.
- **M:** Entre $13\text{mm} < h < 25\text{ mm}$.
- **H:** Entre $h > 25\text{ mm}$.

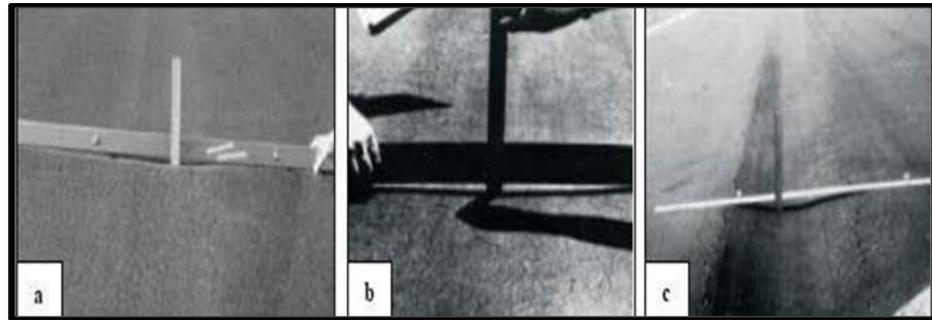
Unidad de medida: m².

Acción recomendada

- **L:** Ninguna intervención.
- **M:** Implica y sobrecarpeta.
- **H:** Reconstrucción Shahin (2005).

Figura 33

Ahuellamiento niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

n. Desplazamiento

Según Vásquez (2002), “es un movimiento longitudinal permanente en un área específica del pavimento, causado por cargas de tránsito. Se presenta como una onda corta y abrupta, siendo más frecuente en mezclas asfálticas inestables o cuando pavimentos asfálticos colindan con concreto”

Niveles de gravedad

- **L:** Resulta en una calidad de tránsito de baja severidad.
- **M:** Cuando provoca una calidad de tránsito de severidad media.
- **H:** Cuando ocasiona una calidad de tránsito de alta severidad.

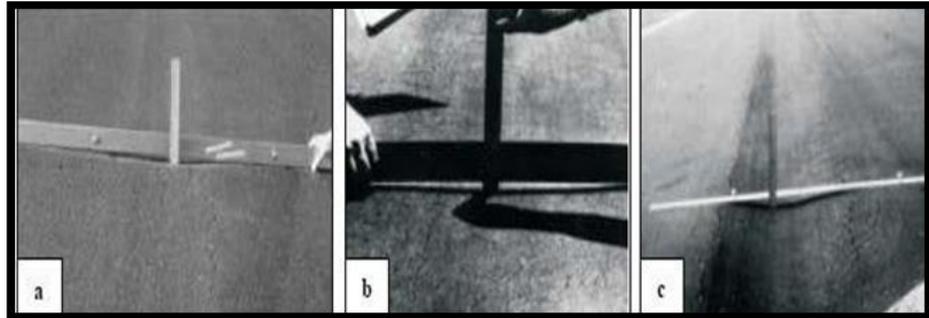
Unidad de medida: m², (Vásquez, 2002).

Acción recomendada

- **L:** Ninguna intervención.
- **M:** Parcheo parcial.
- **H:** Involucra fresado y parcheo profundo, (Vásquez, 2002).

Figura 34

Desplazamiento niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

o. Grietas parabólicas (Slippage).

Según Shahin (2005), “Las grietas parabólicas por deslizamiento, con forma de media luna, son causadas por el frenado o giro de las ruedas, afectando pavimentos de mezclas asfálticas de baja resistencia o con uniones deficientes entre capas, sin relación con inestabilidad geotécnica.”

Niveles de gravedad.

- **L:** severidad de la grieta ($s < 10.0$ mm.) área alrededor de la grieta normal.
- **M:** severidad de la grieta ($10\text{mm} < s < 38$ mm). área alrededor de la grieta fracturada levemente.
- **H:** severidad de la grieta ($38\text{mm} > s$) área alrededor de la grieta fracturada severamente.

Medida: m², Shahin (2005).

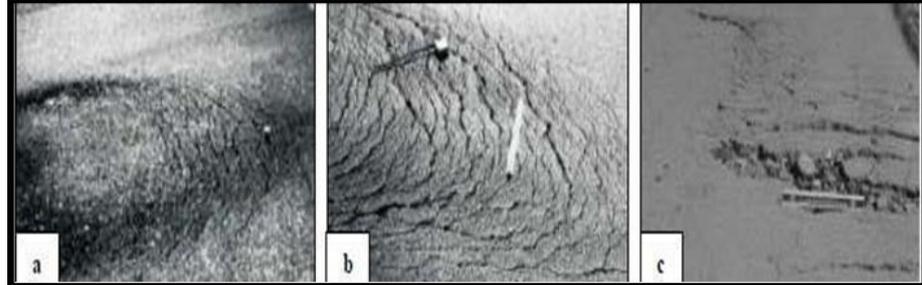
Acción recomendada

- **L:** No se hace nada
- **M:** Parcheo parcial.

- **H:** Reconstrucción

Figura 35

Fisuras parabólicas niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

p. Hinchamiento

“El hinchamiento hacia arriba del área del pavimento es una onda larga y gradual que supera los 3,0 m. El agrietamiento superficial puede acompañar el hinchamiento. Este daño causado por congelamiento del subrasante o por suelos que pueden expandirse” (Vásquez, 2002).

Grados de severidad

- **L:** severidad de tránsito baja.
- **M:** severidad de tránsito media.
- **H:** severidad de tránsito alta

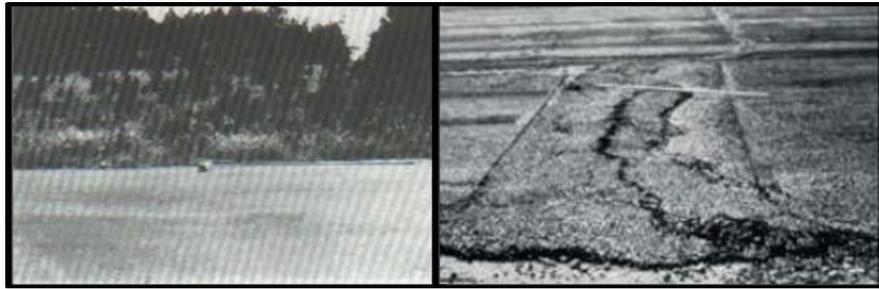
Medida: m², (Vásquez, 2002).

Acción recomendada

- **L:** Ninguna medida.
- **M:** Ninguna acción o se lleva a cabo una reconstrucción.
- **H:** Se requiere una reconstrucción (Vásquez, 2002).

Figura 36

Hinchamientos



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M. Shahin (2005).

q. Peladura / desprendimiento de agregados.

Según Shahin (2005), la meteorización y el desprendimiento implican la pérdida de superficie del pavimento por degradación del ligante asfáltico y liberación de agregados. Indican endurecimiento del ligante o mezcla de baja calidad. Pueden ser causados por tráfico específico (como vehículos de orugas) o derrames de aceite que ablandan la superficie. Este daño se caracteriza por la pérdida de material superficial del pavimento.

Niveles de gravedad.

- **L:** desprendimiento bajo, textura superficial normal (no puede penetrarse con una moneda).
- **M:** desprendimiento regular, textura superficial moderadamente rugosa y ahuecada (puede penetrarse con una moneda.)
- **H:** desprendimiento considerable, textura superficial muy rugosa y severamente ahuecada (puede penetrarse con una moneda).

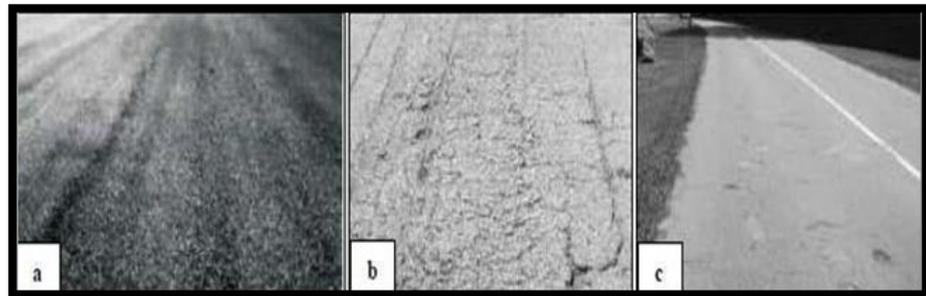
Unidad de medida: m², según Shahin (2005)

Acción recomendada:

- **L:** Ninguna intervención.
- **M:** Tratamiento superficial
- **H:** Sobrecarpeta.
- Para los niveles M y H, si el daño está localizado, como en el caso de un derrame de aceite, se realiza un parcheo parcial, Shahin (2005).

Figura 37

Peladura/desprendimiento niveles de gravedad L(a), M (b) y H(c).



Nota: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots, M Shahin (2005).

2.2.4.3. Razones para utilizar la Metodología PCI en el Programa

HDM-4

Integrar el PCI en el uso del HDM-4 es esencial para evaluar adecuadamente los tramos de carretera. Se deben considerar aspectos como el porcentaje de área fisurada, desprendimiento de áridos, baches y roturas de bordes. La metodología PCI es una herramienta reconocida que, al combinarse con HDM-4, mejora la gestión vial en la zona de estudio, por las siguientes razones:



- El PCI proporciona una evaluación objetiva y estandarizada de la condición del pavimento, considerando diversos tipos de deterioro. Esto permite identificar y cuantificar los daños presentes en la superficie del pavimento de manera sistemática.
- Los resultados del PCI sirven como datos de entrada fundamentales para el HDM-4. El software requiere información precisa sobre el estado actual del pavimento para realizar proyecciones confiables del deterioro futuro y evaluar diferentes estrategias de mantenimiento.
- Al combinar el PCI con el HDM-4, se puede hacer un análisis más completo de la durabilidad del pavimento. El PCI brinda una visión del estado actual, mientras que el HDM-4 permite simular el comportamiento futuro del pavimento bajo diferentes escenarios de mantenimiento, considerando factores como el tráfico, el clima y las políticas de intervención.
- La integración del PCI y el HDM-4 facilita la toma de decisiones informadas en la gestión vial. Los resultados del PCI ayudan a identificar los tramos de carretera que requieren atención prioritaria, mientras que el HDM-4 permite evaluar la efectividad y la rentabilidad de diferentes estrategias de mantenimiento a largo plazo.
- El uso conjunto del PCI y el HDM-4 promueve una gestión vial más proactiva y eficiente. Al detectar y abordar los problemas del pavimento en una etapa temprana, se pueden implementar



- medidas de mantenimiento oportunas y rentables, evitando así un mayor deterioro y costos más elevados en el futuro.
- La aplicación de esta metodología en la zona de estudio específica permite adaptar las estrategias de mantenimiento a las condiciones locales. El PCI proporciona una evaluación precisa del estado del pavimento en la carretera Juliaca - San Antonio de Putina, mientras que el HDM-4 permite evaluar diferentes opciones de intervención considerando los recursos disponibles y las prioridades de la región.
 - El uso de la metodología PCI en conjunto con el software HDM-4 mejora significativamente la efectividad de la gestión vial en la zona de estudio. Nos da una base firme para la toma de decisiones informadas, permite optimizar los recursos disponibles y contribuye a mantener la carretera en condiciones óptimas de servicio para los usuarios. Esta metodología integrada representa un enfoque moderno y eficiente para la gestión del mantenimiento vía (González & Martínez, 2015).

2.2.5. El programa HDM-4

“El HDM-4 es un programa que facilita la toma de decisiones en la gestión de redes viales, centrado en la conservación y mejora de infraestructuras, abarcando planificación estratégica, programación de intervenciones y evaluación económica de proyectos viales” (Salgado, 2020).

El software HDM-4 constituye una herramienta para:



- La evaluación técnica y económica de proyectos viales a través de una comparación objetiva de diferentes alternativas.
- La planificación y asignación de recursos para la construcción y conservación de proyectos de infraestructura vial.
- La programación de actividades de mantenimiento y la optimización de los recursos disponibles, teniendo en cuenta las limitaciones presupuestarias.
- El monitoreo y control de la efectividad de los trabajos de conservación, así como la evaluación general del deterioro del pavimento (Salgado, 2014).

2.2.5.1. Características Software HDM4

- Microsoft Windows.
- Múltiples lenguajes (inglés, francés, español).
- Se baja desde Internet (requiere claves de activación).
- Contiene ejemplos sobre casos de estudio.
- Documentación on-line.
- Soporte técnico.
- Es un software desarrollado por el “Banco Mundial” para evaluar proyectos de inversión y analizar estrategias de mantenimiento y rehabilitación de carreteras.
- Distribuido por HDM-Global (www.hdmglobal.com)Bustos (2023).



2.2.5.2. Requisitos necesarios para la implantación del software

HDM-4

Bustos (2023), los requisitos necesarios para la implantación del software HDM-4 pueden variar según la versión específica del software y las necesidades del usuario, pero típicamente incluyen lo siguiente:

- Hardware adecuado: El software HDM-4 puede requerir un hardware específico en términos de capacidad de procesamiento, memoria RAM y espacio de almacenamiento disponible para ejecutar eficientemente el programa y almacenar los datos necesarios.
- Sistema operativo compatible: El software HDM-4 generalmente es compatible con sistemas operativos específicos, como Windows. Es importante verificar la compatibilidad del software con el sistema operativo de la computadora en la que se planea instalar.
- Licencia del software: Se necesita una licencia válida del software HDM-4 para su instalación y uso. Esto puede implicar la adquisición de una licencia individual o de grupo, dependiendo de la cantidad de usuarios y el uso previsto.
- Instalación adecuada del software: Se requiere seguir los procedimientos de instalación proporcionados por el proveedor del software para asegurar una instalación correcta y funcional del programa en el sistema.
- Datos de entrada necesarios: Para utilizar el software HDM-4 de manera efectiva, se necesitan datos de entrada relevantes, como



información sobre la red vial, características del pavimento, tráfico, condiciones climáticas, costos de mantenimiento y rehabilitación, entre otros.

- Capacitación y conocimiento del usuario: Los usuarios que trabajan con el software HDM-4 deben recibir la capacitación adecuada para comprender su funcionamiento y utilizar todas sus características de manera efectiva. Esto puede implicar la participación en cursos de capacitación ofrecidos por el proveedor del software o la adquisición de conocimientos a través de otros recursos.

El HDM-4 es una potente herramienta para el análisis técnico-económico de proyectos viales, pero requiere una implementación cuidadosa, con información de calidad y personal calificado, para aprovechar al máximo sus capacidades y obtener resultados confiables que soporten la toma de decisiones.

2.2.5.3. El papel de HDM-4 en la Gestión de Carreteras

Al analizar las aplicaciones del HDM-4, es importante tener en cuenta las diferentes funciones que abarca el proceso de gestión de carreteras:

- Planificación.
- Programación.
- Preparación.
- Operaciones.



Cada una de estas funciones se lleva a cabo a través de una serie de actividades que se conocen como el ciclo de gestión (Kerali, 2000.).

a. Planificación

La planificación de carreteras implica el análisis completo del sistema de carreteras, incluida la preparación de presupuestos a corto y largo plazo, estimaciones de gastos de desarrollo y conservación bajo diferentes escenarios económicos. Se toman en cuenta factores como la jerarquía de las carreteras, el flujo de tráfico, los tipos de carreteras y el estado del firme para proyectar las condiciones de la red vial y los costos necesarios en función de los niveles de financiamiento. Los resultados suelen llevarse a cabo por una unidad de planificación y son cruciales para quienes establecen políticas en el ámbito político y profesional (kerali, 2000).

Bennett & Paterson (2000), subrayan que la eficacia del HDM-4 en la planificación depende en gran medida de la calidad de los datos de entrada y de la correcta calibración de los modelos para las condiciones locales. También enfatiza que los resultados del HDM-4 deben ser interpretados en el contexto más amplio de las prioridades sociales, ambientales y políticas que pueden no estar completamente capturadas en el modelo.

b. Programación

La programación vial implica la preparación de programas de gastos y obras a varios años, considerando restricciones presupuestarias y analizando tramos de la red que requieren conservación, mejora o



construcción nueva. Este ejercicio táctico incluye idealmente un análisis de costos-beneficios para evaluar la viabilidad económica de cada conjunto de obras. En la programación, la red se examina itinerario por itinerario, con tramos de firme homogéneos caracterizados por atributos físicos. Se generan estimaciones de gasto anual para diferentes tipos de obras y tramos de carreteras, priorizando para utilizar de manera óptima el presupuesto limitado. Las aplicaciones comunes incluyen la preparación de presupuestos para programas anuales o plurianuales en una red o subred de carreteras (kerali, 2000).

Bennett & Paterson (2000), enfatizan que la programación en HDM-4 no es un proceso automático, sino que requiere el juicio experto de los ingenieros y planificadores para interpretar los resultados y ajustarlos a las realidades operativas y políticas de cada agencia vial.

c. Preparación

La fase de ejecución de la planificación vial a corto plazo implica la agrupación y refinamiento de los planes de carreteras aprobados para su implementación. En este paso, se detallan los diseños, se crean listas precisas de cantidades y costos, y se elaboran guías para las obras y los contratos. Se pueden crear especificaciones y costos detallados, y se puede realizar un análisis detallado de costos-beneficios para confirmar la viabilidad del plan final. Para una ejecución más económica, las obras en carreteras cercanas pueden combinarse en paquetes (kerali, 2000).

Bennett & Paterson (2000), destacan que una preparación adecuada es crucial para el éxito en la implementación y uso del HDM-4.



Argumentan que invertir tiempo y recursos en esta fase preparatoria puede mejorar significativamente la calidad y utilidad de los resultados obtenidos con el modelo

d. Operaciones

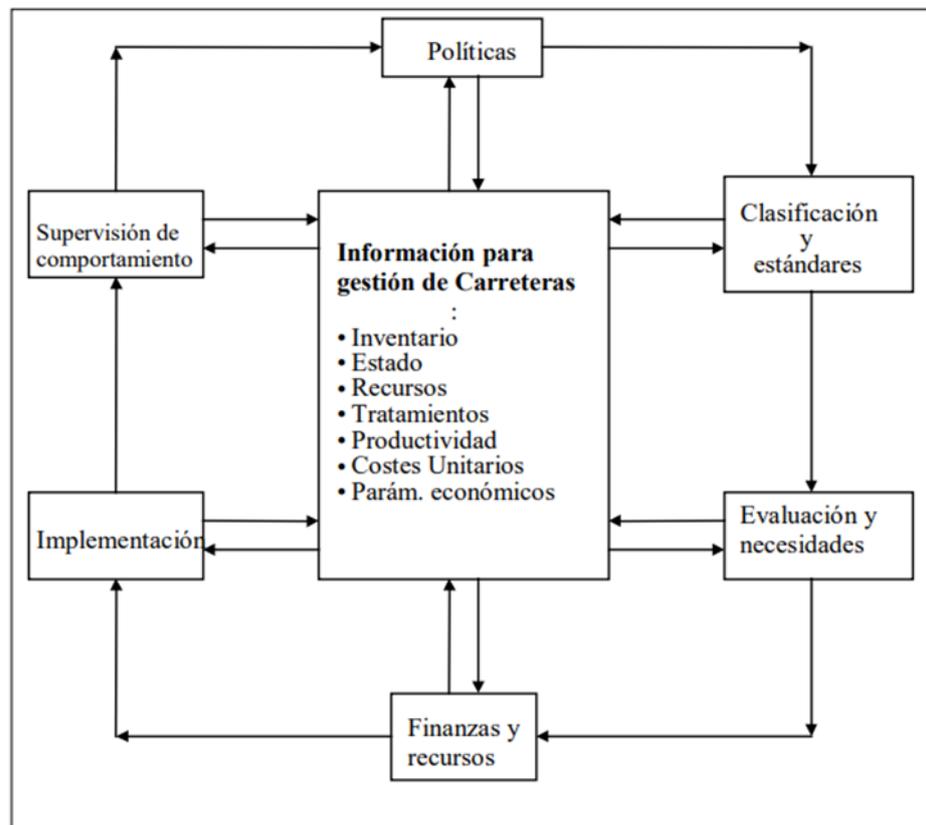
La gestión de operaciones incluye la operación diaria de una organización vial. La programación de las obras, la supervisión de la mano de obra, los equipos y los materiales, y el registro de las obras completadas son decisiones que se toman con frecuencia de manera diaria o semanal. Estas acciones se enfocan generalmente en tramos específicos de una carretera con mediciones detalladas y son dirigidas por personal profesional, como supervisores, técnicos y encargados (kerali, 2000).

2.2.5.4. El ciclo de gestión vial

Tradicionalmente, los presupuestos y programas de las organizaciones viales se han fundamentado en una estructura histórica, ajustando el presupuesto anual según el del año anterior y considerando la inflación. Este enfoque carece de objetividad al evaluar la adecuación del financiamiento y la asignación de recursos. Por ello, es crucial adoptar un enfoque basado en necesidades, que utilice información sobre el contenido, la estructura y el estado de las carreteras. Se propone un marco que integre las funciones de planificación, programación, preparación y operaciones a través de un análisis sistemático. Para facilitar la toma de decisiones en la gestión, se sugiere implementar un ciclo de gestión anual (Robinson et al., 1998).

Figura 38

Ciclo de gestión de carreteras



Nota: Robinson et al (1998)

2.2.5.5. Marco analítico HDM-4

Kerali (2000), el marco analítico de HDM-4 se fundamenta en el análisis del ciclo de vida de la capa de rodadura, que abarca un período típico de 15 a 40 años. Su objetivo es prever diversos aspectos a lo largo de este ciclo, tales como:

- Deterioro de los caminos.
- Los efectos de las reparaciones.
- Consecuencias para los usuarios
- Los impactos socio-económicos y medio-ambientales.

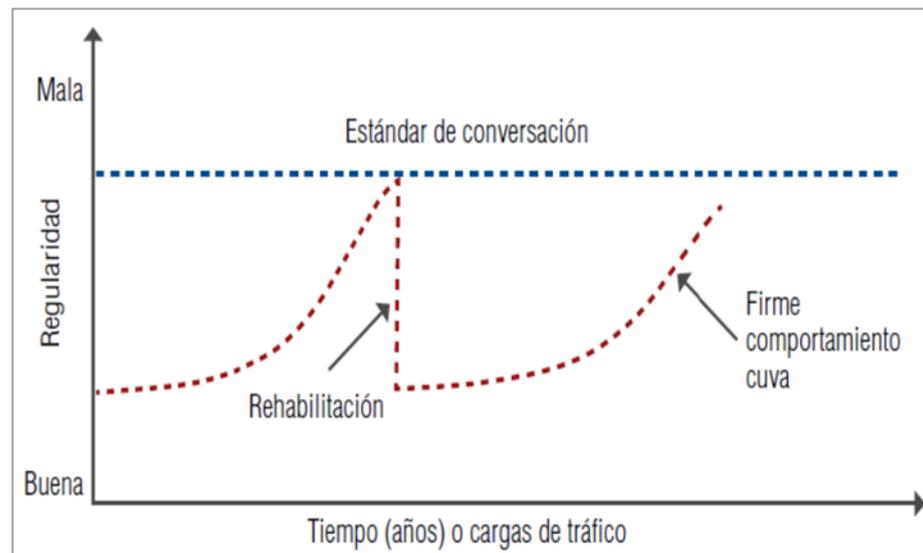


- Los caminos construidos sufren deterioro debido a una variedad de factores, entre los que se destacan los siguientes:
- Cargas generadas por el tráfico.
- Influencia del entorno medioambiental.
- Efectos provocados por la falta de adecuación en los sistemas de drenaje.

Kerali (2000), corregir defectos superficiales, como fisuras y baches, o para preservar la integridad estructural. Estos estándares influyen en la capacidad de la carretera para soportar el tráfico previsto durante su ciclo de vida (generalmente de 15 a 40 años). La calidad a largo plazo del pavimento está vinculada a los estándares de conservación o mejora implementados. La Figura 39 muestra las tendencias previstas en el rendimiento del pavimento, medido a menudo por el IRI. Establecer un estándar de conservación impone límites al deterioro permitido, afectando así los costos totales incurridos por las entidades responsables, además de los costos de construcción iniciales.

Figura 39

Concepto de análisis del ciclo de vida en HDM-4



Nota: Kerali, Visión general del HDM-4 (2000)

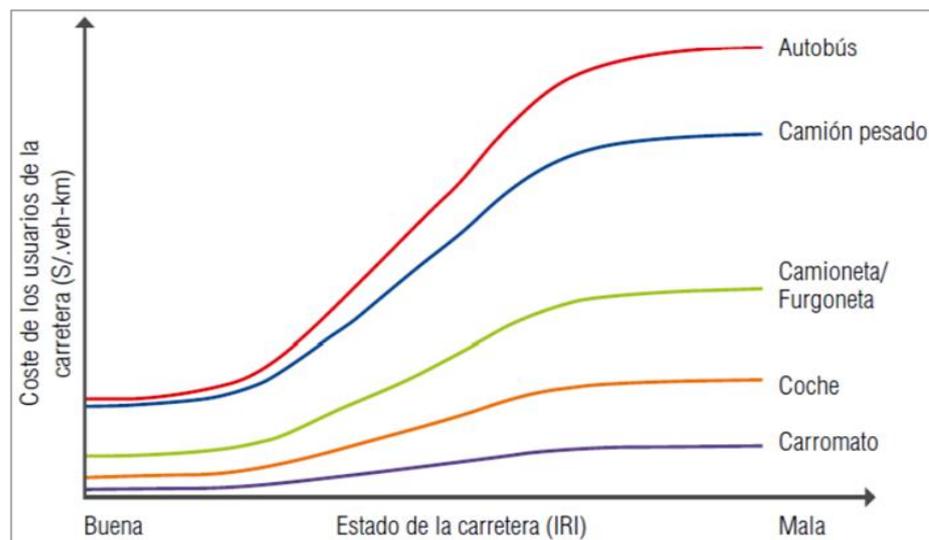
Las causas del estado y diseño de las carreteras en los usuarios se analizan en función de los costos directos y otros efectos sociales y ambientales. Los costos para los usuarios incluyen:

- Costos operativos del vehículo (consumo de combustible, neumáticos, aceite, piezas de recambio; depreciación y utilización del vehículo, etc.)
- Costos del tiempo de viaje, tanto para los pasajeros como para la carga.
- Costos asociados a los accidentes viales para la economía (es decir, pérdida de vidas, lesiones a las carreteras tienen impactos sociales y ambientales que incluyen emisiones vehiculares, consumo de energía, ruido y beneficios para el bienestar de la población. Aunque estos efectos son difíciles de cuantificar monetariamente, el HDM-4 puede incorporarlos en análisis

económicos si se cuantifican externamente. En el HDM-4, se consideran tanto los efectos de los usuarios de transporte motorizado (como autos y camiones) como los no motorizados (como bicicletas y vehículos tirados por animales) (Kerli, 2000).

Figura 40

Efecto del estado de la carretera sobre los costes de operación de vehículos



Nota: Kerli, Visión general del HDM-4 (2000)

El HDM-4 determina los beneficios económicos de las inversiones en carreteras mediante la predicción de la cantidad física de recursos utilizados, multiplicada por los costos unitarios establecidos por los usuarios. Alinear estos valores previstos con los observados en el área de aplicación es crucial. Los flujos totales de costos de varios proyectos se comparan utilizando un caso base que representa el estándar mínimo de conservación. El HDM-4 realiza estimaciones comparativas y análisis económico de diversas opciones de inversión, considerando los costos anuales descontados y requiriendo detalles específicos como programas de inversión, estándares de diseño, alternativas de conservación, costos

unitarios, volúmenes de tráfico proyectados y condiciones ambientales (Kerali, 2000).

2.2.5.6. Análisis de estrategias del HDM-4

Las necesidades de toda la red, ya sea completa o subredes gestionadas por una organización, deben tenerse en cuenta al planificar estratégicamente los gastos de las redes de carreteras a corto y largo plazo. Las carreteras principales, rurales y urbanas son ejemplos de redes. Para predecir las necesidades a largo plazo, HDM-4 utiliza una matriz de redes de carreteras, clasificando las redes según características clave que afectan el comportamiento del firme y los costos de las personas. Aunque se puede modelar segmentos específicos debido al amplio alcance de muchas administraciones, crear modelos para cada segmento resulta difícil. Para describir los factores fundamentales que influyen en los costos de transporte a nivel nacional, los usuarios tienen la opción de elaborar una matriz que represente la red de carreteras, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Volumen de tráfico o carga.
- Tipos de superficie de la carretera.
- Estado de la superficie de la carretera.
- Áreas ambientales o climáticas.
- Clasificación funcional, si es requerida (Kerali, 2000).

Bennett & Greenwood (2001), el contexto del análisis de estrategias del HDM-4 contribuyeron de las siguientes maneras:



- Modelado de velocidad y costos operativos: Estos factores son esenciales para evaluar diferentes estrategias de mantenimiento y mejora de carreteras.
- Efectos del tiempo de viaje: El impacto de diferentes estrategias en los tiempos de viaje es un componente clave en el análisis costo-beneficio.
- Modelado de accidentes: La seguridad vial es un aspecto crítico en la evaluación de estrategias de gestión de carreteras.
- Emisiones y consumo de energía: Estos factores son importantes para evaluar el impacto ambiental de diferentes estrategias.
- Ruido del tráfico: Otro factor ambiental que puede influir en la elección de estrategias, especialmente en áreas urbanas.

2.2.5.7. Análisis de programa del HDM-4

En este contexto se discute cómo priorizar los proyectos de construcción de carreteras en un programa de obras a medio o largo plazo teniendo en cuenta las restricciones presupuestarias. Se compone de una lista extensa de proyectos candidatos que fueron seleccionados por la administración de acuerdo con criterios de conservación, mejora o desarrollo. Los estándares de desarrollo, mejora y conservación son parte de los criterios. La aplicación del análisis de software en HDM-4 compara los costos del ciclo de vida bajo el régimen actual con alternativas de conservación, mejora o desarrollo. Esto sirve como base para calcular las ventajas económicas de incluir los proyectos en el presupuesto. El análisis de estrategias y de programa se diferencia en cómo se identifican físicamente los itinerarios y tramos de carreteras. Ambos enfoques buscan



la combinación óptima de tratamientos en tramos de la red bajo restricciones presupuestarias, por ejemplo, maximizando el Valor Neto Actual (VAN) (kerali, 2000).

2.2.5.8. Análisis de Proyecto del HDM-4

El análisis de proyectos consiste en evaluar uno o más proyectos de carreteras o alternativas de inversión. Este enfoque examina un tramo específico, considerando los tratamientos seleccionados por los usuarios y analizando los costos y beneficios anuales. Las decisiones de inversión influyen en los indicadores económicos, y este análisis es útil para determinar la viabilidad económica o técnica de las inversiones en carreteras, considerando varios factores.:

- Desempeño estructural de las superficies de la carretera.
- Proyecciones del ciclo de vida del deterioro vial.
- Costos y beneficios para los usuarios. (kerali, 2000).

2.2.5.9. Comparaciones económicas entre las distintas alternativas del proyecto.

Los proyectos de análisis de carreteras más comunes se enfocan en la preservación y reparación de vías existentes, expansión del ancho y mejoras a las curvas y geometría, renovación de la superficie de rodadura, y nueva construcción. No hay cambios de gran alcance en la filosofía del sistema, pero se han perfeccionado modelos para pronosticar el deterioro, los cuales ahora cubren más ampliamente los distintos tipos de superficie y el comportamiento de materiales bajo climas templados y fríos. Los



análisis de costo para los usuarios también consideran los impactos sobre la seguridad vial (Kerali, 2000).

2.2.5.10. Módulos del HDM-4

“La estructura general del HDM-4 consta de tres herramientas de análisis (Estrategia, Programa y Proyecto) que operan sobre datos definidos en uno de los cuatro gestores de dato”: (Kerali, 2000)

a. Red de carreteras

“Define las características físicas de tramos de carreteras en una red o subred que se va a analizar” (Kerali, 2000).

b. Parque de vehículos

“Define las características del grupo de vehículos que circulan en la red de carreteras que se está evaluando” (Kerali, 2000).

c. Obras

“Define los criterios para la conservación y mejora, así como los costos unitarios, que se aplicarán a los diferentes tramos de la carretera en estudio” (Kerali, 2000).

d. Configuración del HDM

“HDM-4 permite definir datos predeterminados para aplicaciones, pero los usuarios deben ajustarlos a condiciones locales. El análisis técnico se realiza mediante cuatro modelos: deterioro del pavimento, costos de usuario, efectos ambientales y seguridad vial” (Kerali, 2000)



- RD: “Deterioro de la carretera”

Pronostica la degradación de la superficie en vías asfaltadas, de concreto y no pavimentadas.

- WE: “Efecto de las obras”

Emula los impactos de las obras en el estado de la superficie, determinando los costos asociados.

- RUE: “Efectos para los usuarios”

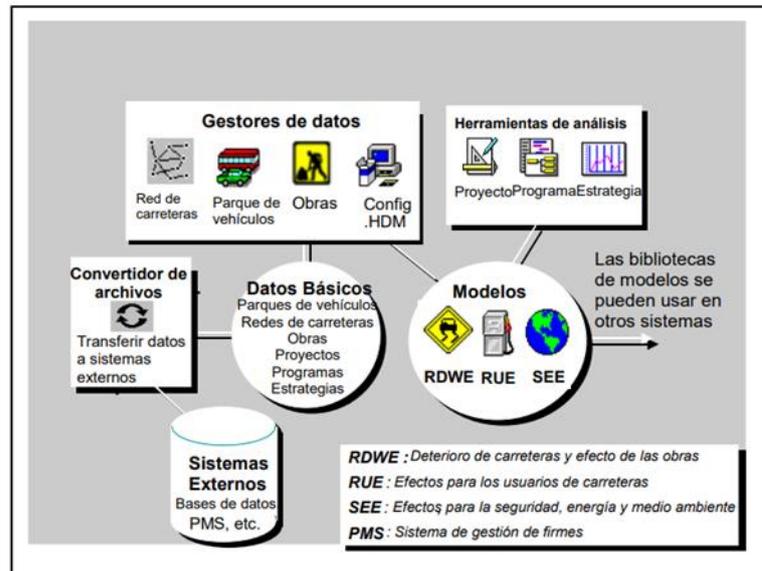
Calcula los costos asociados a la operación de vehículos, accidentes y la duración de los desplazamientos.

- SEE: “Efectos sociales y medioambientales”

El modelo calcula los efectos de las emisiones y el consumo de energía de los vehículos en cada tramo de carretera cada año. Simula las condiciones del camino, los recursos de mantenimiento y las velocidades de los automóviles. Para calcular los costos financieros y económicos, se aplican precios y costos unitarios definidos por los usuarios después de estimar las cantidades físicas necesarias. Se hace el cálculo del valor actual y la tasa de rentabilidad, luego se calculan los beneficios relativos de cada alternativa (Kerali, 2000).

Figura 41

Arquitectura del sistema HDM-4



Nota: Kerali, Visión general del HDM-4 (2000)

2.2.5.11. Gestión de la infraestructura vial con HDM-4

Salgado (2020), para poder hacer gestión de conservación y el de hacer uso del software HDM4 es imposible hacerlo si no se tiene una estructura de sistema de gestión. Y para ello los sistemas de infraestructura vial no son un elemento que se simplifique a solamente al software de hecho para que el software tenga algún sentido en su aplicación y uso debe haber algunos elementos que integrados todos y en un círculo virtuoso me permitan sistema de gestión de infraestructura. En ese sentido hacen el uso del programa HDM-4 desde el personal, las bases de datos, los equipos que contribuyeron a hacer un inventario vial, las especiaciones técnicas, los protocolos y normas las herramientas computacionales que además del software hdm4 que pudieran ser necesarios para el estudio del análisis analítica estadística de los datos medición y ocultación y por sobre todo el recurso más importante es el de los expertos que tengan conocimiento del

sistema que puedan ellos integrarlos en el hdm4. El hdm4 como software tiene sus complejidades, pero no sería nada si no hay un sistema integrado que lo acompañe y soporte.

Figura 42

Sistema de gestión de infraestructura vial



Nota: conferencia virtual software hdm4 para carreteras, I.C. M.Sc.Mauricio Salgado (2020).

2.2.6. Formulación teórica sobre evaluación económica de pavimentos

Desde una perspectiva económica y racional, el objetivo principal de cualquier inversión es la creación de valor. En el contexto específico de los pavimentos y su evaluación económica a través de HDM-4, la unidad básica de análisis es el tramo homogéneo de la carretera. En este proceso, se proyectan las cantidades físicas relacionadas con el consumo de recursos, y luego se multiplican por sus costos unitarios. Esto permite calcular los costos del usuario (COV) y los costos de la administración, que abarcan actividades como mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción. La determinación de si un proyecto de inversión es una decisión financiera acertada se basa en la creación de valor asociada a dichos costos y beneficios (Odoki y Kerali, 2000).



El análisis económico de un pavimento para un periodo específico se lleva a cabo mediante procedimientos matemáticos y financieros. Comienza con un caso básico, generalmente representado por un tramo con una rutina mínima de conservación existente. Se proyectan los flujos de costos en cada año de este caso básico y se comparan con los beneficios de la implementación de otras opciones. La viabilidad económica de un proyecto o la clasificación de alternativas de inversión se evalúan mediante indicadores como el VAN, TIR y la relación beneficio-costo. Un VAN positivo indica una RBC superior a 1 y una TIR mayor a la tasa de descuento seleccionada, que representa la rentabilidad esperada o el costo de capital (UNICON, 2016, pág. 6).

2.2.6.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es el cálculo en soles de hoy que representa la suma de costos y beneficios descontados de un proyecto o inversión. Se obtiene sumando los flujos positivos asociados al proyecto. Se utiliza una tasa de descuento (i %) para calcular el valor equivalente de los flujos en soles en el momento cero. En la comparación del VAN de proyectos evaluados a precios reales, se emplea la Tasa Social de Descuento General, que es del 8%. Para que un proyecto de carreteras sea viable, el VAN debe ser positivo y mayor que 0. La interpretación del VAN se detalla en la tabla 8 (Villareal, 2013).

Tabla 8

Interpretación del VAN

Resultados VAN	Reglas de decisión	Significado
VAN>0	El proyecto debe realizarse	RP>CO
VAN=0	El proyecto es indiferente	RP=CO
VAN<0	El proyecto no es conveniente	RP<CO

Nota: Villareal (2013).

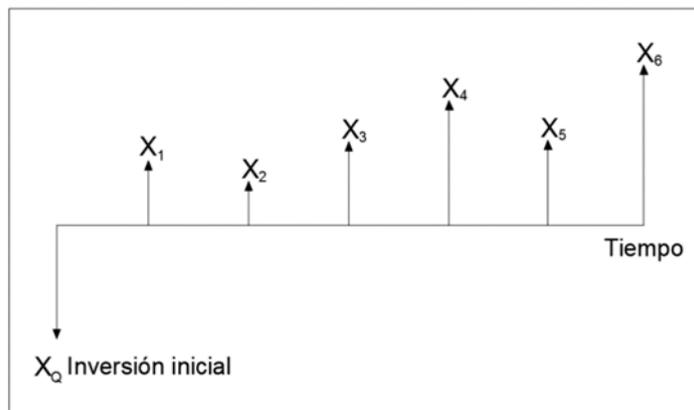
Donde:

RP: Tasa de rendimiento del proyecto (%).

CO: Costo de oportunidad (tasa de descuento).

Figura 43

Diagrama de flujos económico del proyecto



Nota: Villareal (2013)

La ecuación genérica del VAN de la figura 43 se muestra a continuación en la siguiente expresión:

$$VAN_{(D=i\%)} = -X_0 + \frac{X_1}{(1+i\%)^1} + \frac{X_2}{(1+i\%)^2} + \frac{X_3}{(1+i\%)^3} + \frac{X_4}{(1+i\%)^4} + \frac{X_5}{(1+i\%)^5} \dots$$

Y de forma general el VAN se calcula según la fórmula a continuación.

$$VAN_{(D=i \%)} = \sum_{i=0}^n \frac{X_1}{(1 + i \%)^i}$$

Donde:

Xi: “flujo de dinero en cada periodo i.”

%: “tasa de descuento.”

n: “número de periodos de tiempo.”

2.2.6.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

El TIR busca determinar la rentabilidad efectiva periódica de un proyecto o inversión. A diferencia del VAN, la TIR no requiere una estimación del costo de oportunidad o tasa de descuento. Se basa en los flujos de caja del proyecto e indica la rentabilidad que obtienen los fondos invertidos durante su ejecución. La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, reflejando la igualdad entre la tasa de rendimiento del proyecto y la tasa de descuento o costo de oportunidad (Villareal, 2013, pág.89-92). La regla de decisión considerada es la que se muestra en la tabla 9.

Tabla 9

Criterio de decisión sobre la conveniencia de un proyecto

Resultados TIR	Reglas de decisión	Significado
TIR>0	Si, el proyecto es conveniente	Crea valor
TIR=0	El proyecto es indiferente	No crea ni destruye valor
TIR<0	No, el proyecto no es conveniente	Destruye valor

Nota: Villareal (2013).

El TIR del flujo de dinero de la figura N° 43 se muestra en la expresión siguiente

$$\text{TIR} = i\% \rightarrow -X_0 + \frac{X_1}{(1 + i\%)^1} + \frac{X_2}{(1 + i\%)^2} + \frac{X_3}{(1 + i\%)^3} + \frac{X_4}{(1 + i\%)^4} + \frac{X_5}{(1 + i\%)^5} \dots$$

La ecuación genérica del TIR se muestra en la expresión a continuación

$$\text{TIR} = i\% \rightarrow \sum_{i=0}^n \frac{X_i}{(1 + i\%)^i} = 0 = VAN_{(D=i\%)}$$

Donde:

X_i : “flujo de dinero en cada periodo i .”

$i\%$: “tasa interna de retorno.”

n : “número de periodos de tiempo.”

2.2.6.3. Relación Beneficio Costo (RBC)

Villareal (2013), es un indicador ampliamente empleado en el análisis de proyectos, tanto en el sector público como privado. Se basa en la idea de maximizar los resultados con la menor inversión. Matemáticamente, se expresa como la relación entre los beneficios e ingresos del proyecto y sus egresos o costos, después de convertirlos a una unidad monetaria equivalente mediante el Valor Presente (VP) debido al valor del dinero en el tiempo. El criterio de selección se fundamenta en evaluar si la RBC es mayor a uno.



Si la relación Beneficio/Costo (B/C) es superior a 1, el proyecto crea valor y se debe aprobar. Si la relación B/C es igual a 1, no hay preferencia entre aceptar o rechazar el proyecto. Si la relación B/C es inferior a 1, se debe rechazar el proyecto.

$$\frac{B}{C} = \frac{VP(\text{Beneficios o ingresos del proyecto})}{VP(\text{Costos totales del proyecto})}$$
$$= \frac{VP(B)}{1 - VP(VS) + VP(AOM)}$$

Donde:

VP: Valor presente.

B: beneficios del proyecto propuesto.

I: inversión inicial.

VS: valor de salvamento.

AOM: costos de administración, operación y mantenimiento.

CAPÍTULO III

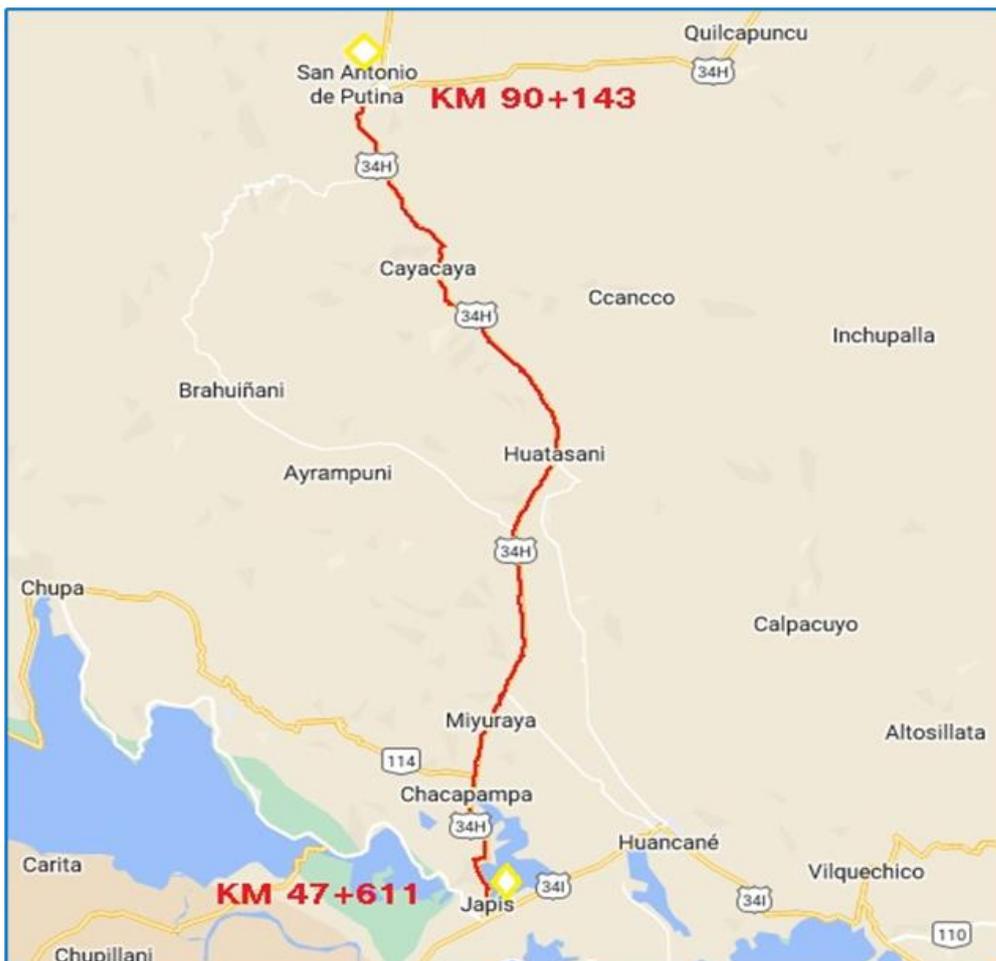
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

La vía que conecta Juliaca con Putina forma parte de la Ruta Nacional 34H, específicamente del Desvío Putina (Km 47+611) hasta el (Km 90+143). ubicada en la región de Puno, Perú. Geográficamente, esta carretera se encuentra en el sureste del país, en la altiplanicie del Collao, como se ilustra en la figura 44.

Figura 44

Mapa de la carretera San Antonio de putna – Desvio Huancane



Nota: Google maps.



Situada a una altitud promedio de 3852 metros sobre el nivel del mar, esta región exhibe un terreno mayormente llano y poco ondulado. En cuanto a su clima y temperaturas, experimenta variaciones estacionales notables: se caracteriza por un clima seco en invierno y un clima húmedo con lluvias durante el verano. Las temperaturas oscilan entre los 21°C como máxima y -5°C como mínima (SENAMHI ,2023).

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

La ejecución del proyecto abarcó aproximadamente 19 meses, comenzando en agosto de 2022 y concluyendo en abril de 2024. A lo largo de la investigación, se recopilaron datos de relevancia primordial con el fin de crear un documento conciso que contenga la información más pertinente y adecuada.

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Enfoque de investigación

El enfoque de este estudio, según Hernández et al. (2018), es mixto, ya que combina procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación. Esto implica la recolección y el análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, con el fin de realizar inferencias que permitan un mejor entendimiento del fenómeno estudiado.

3.3.2. Tipo de investigación

Pertenece a una investigación aplicada, según Borja (2016), este tipo de investigación se enfoca principalmente en resolver problemas concretos y actuales, priorizando soluciones prácticas sobre la generación de teorías o conocimientos de alcance general. La cual busca, conocer, actuar, construir y modificar una realidad.



3.3.3. Nivel de investigación

Es un enfoque descriptivo, ya que se centra en describir y explicar fenómenos, circunstancias y eventos para aclarar sus características y cómo se manifiestan, sin alterar el entorno o a los sujetos de estudio, según Hernández et al. (2018).

3.3.4. Diseño de investigación

Para Borja (2016), el estudio tiene un diseño no experimental porque no se está realizando manipulación como tal de la variable independiente para obtener conclusiones concretas.

Complementando esta idea, Hernández et al. (2018) indican que, en los diseños no experimentales, el investigador se abstiene de modificar intencionalmente las variables independientes con el propósito de analizar su impacto en otras variables. En cambio, se observa el fenómeno tal como se presenta en su contexto natural, para posteriormente analizarlo.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1. Población

La presente indagación aborda como población la “Ruta Nacional 34H de la Carretera Juliaca – San Antonio de Putina”, situada en la región Puno.

3.4.2. Muestra

- En este estudio, se empleó un muestreo no probabilístico basado en conveniencia o intencional. Según Otzen y Manterola (2017), este tipo de



muestreo permite seleccionar casos accesibles que estén dispuestos a participar. Esto se fundamenta en los siguientes criterios:

- Representatividad: Los tramos seleccionados presentan condiciones de transitabilidad que varían de regulares a malas, lo cual es representativo de la problemática que se desea estudiar.
- Accesibilidad: Estos tramos son accesibles para la realización del estudio, permitiendo una recolección de datos eficiente.
- Variabilidad: Al seleccionar tramos en diferentes puntos de la ruta (kilómetros 86, 81 y 54), se busca capturar la variabilidad en las condiciones de la carretera.
- Factibilidad: El tamaño de la muestra (3 tramos que suman 3.5 km) es adecuado para los recursos y el tiempo disponibles para la investigación.

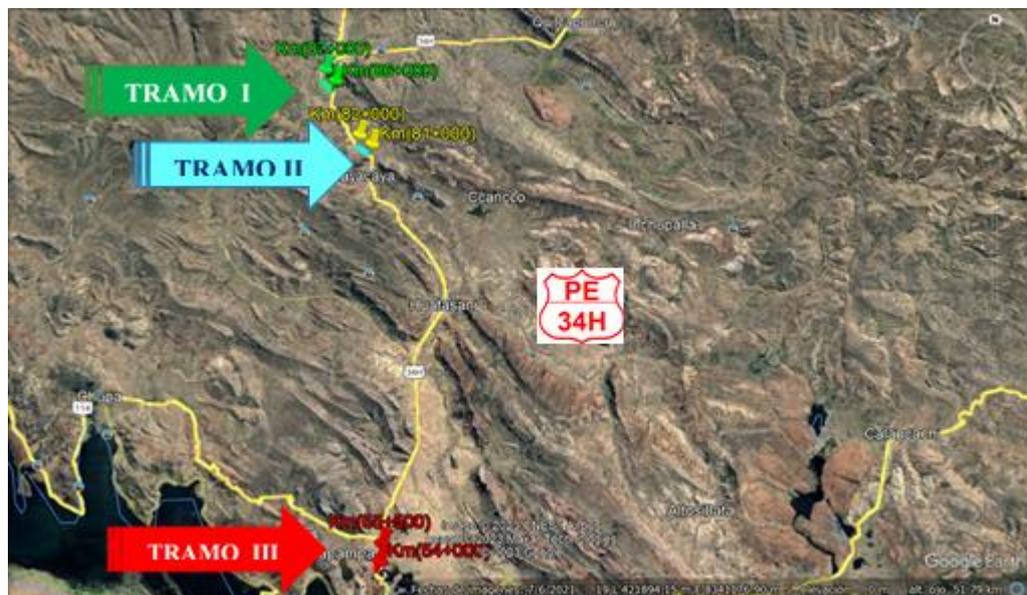
Complementando esta idea, Hernández et al. (2018) indican La muestra, es del tipo no probabilístico porque se selecciona las unidades muestrales para alcanzar el propósito de la investigación. Afirma que la selección de las unidades no está determinada por la probabilidad, sino por factores vinculados a las características y el contexto de la investigación.

La investigación se centró en la carretera “Juliaca – San Antonio de Putina de la ruta nacional(34H)”, la elección de esta vía se debió a sus condiciones de transitabilidad, las cuales varían de regulares a malos. Se ha dividido esta carretera en tres tramos:

- Tramo 01: (86+000 – 87+000) km.
- Tramo 02: (81+000 – 82+000) km.
- Tramo 03: (54+000 – 55+500) km.

3Figura 45

Tramos de estudio de la carretera Juliaca – San Antonio de Putina



Nota: Elaboración propia

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas de recolección de datos:

a) Observación directa: se realizó una inspección visual de los tramos seleccionados de la carretera Juliaca - Putina. La recolección de datos se llevó a cabo mediante trabajo de campo en la carretera objeto de estudio. Este proceso incluyó la documentación detallada de las características físicas de la vía, la realización de un estudio de tráfico para determinar los patrones de circulación vehicular, y la ejecución de una evaluación funcional completa del pavimento. Estas actividades permitieron obtener una visión integral del estado actual y el desempeño de la infraestructura vial en cuestión.

b) Se llevó a cabo un análisis documental que consistió en la revisión de literatura relacionada con la gestión de la conservación vial, los costos de



operación de vehículos y las herramientas para la evaluación económica de proyectos viales.

c) Visita a entidades nacionales y privadas: como la “oficina de Provías Nacional (Unidad Zonal Puno)”, Gobierno Regional de Puno área de gerencia regional de infraestructura. Así como una solicitud de acceso a la información a Provias Nacional del PIP con Código único de inversiones N° 2091468 cuyo nombre de inversión es: “Construcción y Mejoramiento De Infraestructura Vial De La Carretera Desvío Huancane – Putina”.

d) Recopilación de datos económicos: Se realizó consultas sobre costos de construcción vial, costos de mantenimiento de los caminos, costos de conservación de vehículos y de combustibles.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos:

Se han utilizado libretas de campo, fichas de observación, fichas técnicas, formatos de conteo de tráfico, teniendo como medio:

b) Método PCI: Utilizado para evaluar la condición del pavimento, según la norma ASTM D6433-20.

c) Aplicativo Roadroid versión Pro3 V3.0.8: Empleado para medir el IRI.

d) Conteo de tráfico: Realizado para determinar el índice de tráfico. Según la (OGPP-MTC).

Estos instrumentos permitieron la recolección de datos que posteriormente fueron analizados utilizando la herramienta HDM-4 para los análisis económico y técnico de las estrategias de mantenimiento.



3.5.2.1. programa Hdm-4 V 1.3

El acceso al programa HDM-4 se inicia desde la ventana de espacio de trabajo, que es el núcleo del programa y almacena toda la información del proyecto. Se crea una carpeta para el proyecto en estudio. En la sección de redes de carreteras, se establece un nuevo estudio, como el caso de la Ruta Juliaca–Putina, donde se definen los tramos necesarios, generalmente tres en nuestro ejemplo.

Para cada tramo, se ingresan datos específicos. Comenzando con el tramo I, se introducen características como geometría, detalles del pavimento y estado actual de la carretera. Luego se ingresan datos geométricos y detalles del firme. Además, se incluyen datos económicos y financieros de los vehículos, junto con información de tráfico y criterios de mantenimiento.

Posteriormente, se utilizan estos datos para seleccionar la estrategia de proyecto más efectiva mediante el módulo de análisis de proyectos. Esto implica la definición de alternativas base, selección de estándares de conservación, ingreso de la tasa de descuento y finalmente, la ejecución del análisis.

Los informes resultantes proporcionan una evaluación detallada del deterioro de la carretera, el consumo de vehículos y los costos totales ajustados. Los indicadores económicos como el VAN y la Tasa Interna de TIR son utilizados para comparar y seleccionar la opción más rentable, considerando el presupuesto disponible. Además, se puede visualizar la regularidad promedio por alternativa del proyecto mediante una gráfica.

Figura 46

Generalidades de acceso y procesamiento del hdm4

The figure displays the HDM-4 software interface, which is used for highway development and management. The main window shows the title 'HDM - 4 HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT Versión 1.3' and includes logos for AIPCR and PIARC. It also displays user registration information: 'Usuario registrado: 64651', 'Tipo de Licencia: Versión completa - Un solo usuario', and 'Versión: 1.30'.

The interface is divided into several panels:

- File Explorer (Espacio de trabajo):** Shows a directory structure for 'C:\Users\HP\Desktop\BDAT HDM4-CARRETERA JULIACA'. The selected folder is 'RUTA JULIACA-PUTINA'.
- Data Table (Red de carreteras):** Displays a table with columns: ID, Descripción, Fecha últ. modif., Tipo de capa de rodadura, Tipo de firme, and Longitud (km).

ID	Descripción	Fecha últ. modif.	Tipo de capa de rodadura	Tipo de firme	Longitud (km)
T1	TRAMO I	21/10/2023	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr.	1.1
T2	TRAMO II	21/10/2023	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr.	1.1
T3	TRAMO III	21/10/2023	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr.	1.1
- Configuration Panels (Tramo: TRAMO I):**
 - Panel 1 (Definition):** Fields for 'Nombre del tramo: TRAMO I', 'ID del tramo: T1', 'Nombre ruta: TRAMO 1', 'ID de ruta: T1', 'Tipo de vel/cap: TIPO DE VELOCIDAD', 'Modelo de tráfico: VIA CARRETERA JULIACA - SAN', 'Zona climática: PUNO-ALTIPLANO', 'Clase carretera: Secundaria', 'Tipo c.rodadura: Bituminosa', and 'Tipo firme: Mezcla bituminosa sobre base granular'. It also includes traffic parameters like 'Motorizado: 1236 IMD', 'No motorizado: 0 IMD', 'Año: 2022', and 'Sentido: Ambos sentidos'.
 - Panel 2 (Geometry):** Fields for 'Rampas + pendientes: 10 m/km', 'Curvatura horizontal media: 150 #/km', 'Velocidad límite: 90 km/h', 'Altitud: 3825 m', and 'Tipo dren: Poco profundo - blando'.
 - Panel 3 (Material and Support):** Fields for 'Capa de Rodadura' (Tipo material: Mezcla bituminosa, Espesor más reciente: 30 mm, Espesor anterior/antiguo: 0 mm), 'Capacidad de Soporte' (SNP: 2.50, DEF: 1.50 mm), 'Número estructural: 1.45339', 'CBR explanada: 8 %', and 'Base (sólo para bases estabilizadas)' (Espesor base: mm, Módulo Resistente: GPa).
- Panel 4 (Performance):** A table showing performance metrics for the year 2008:

Metric	Value
Estado a final de año	2008
Regularidad (IRI - m/km)	2.50
Área total fisurada (%)	5.65
Área con desp. de áridos (%)	1.00
Número de baches (N#/km)	0.00
Área con rotura de borde (m ² /km)	4.00
Profundidad media de roderas	2.00
Textura (mm)	0.70
Rozamiento (SCRIM 50 km/h)	0.50
Drenaje	Regular

Nota: Aspectos generales del acceso y procesamiento del HDM4

Características del vehículo: AUTO

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

Recursos del vehículo

Vehículo nuevo:	6593.33	Mantenimiento:	2.55	por hora
Neumático repuesto:	31.91	Tripulación:	1.59	por hora
Combustible:	1.53	por litro	Gastos Generales:	659.33
Aceite lubricante:	5.2	por litro	Interés anual:	14 %

Valor del tiempo

Pasajero: tiempo de trabajo:	1.51	por hora	Retraso carga:	0.2	por hora
Pasajero: tiempo de ocio:	0.45	por hora			

Todos los costes deben expresarse en la moneda del parque - US Dollar

Proyecto: PAV JULIACA-SAN ANTONIO DE PUTINA

Definir Proyecto en detalle | General | Selección de tramos | Selección de vehículos | Definir tráfico normal

Mostrar tramos sin seleccionar

Incluir	Descripción	ID
<input checked="" type="checkbox"/>	TRAMO I	T1
<input checked="" type="checkbox"/>	TRAMO II	T2
<input checked="" type="checkbox"/>	TRAMO III	T3

Guardar | Cerrar

Proyecto: PAV JULIACA-SAN ANTONIO DE PUTINA

Definir Proyecto en detalle | General | Selección de tramos | Selección de vehículos | Definir tráfico normal

Descripción: CARRETERA JULIACA-SAN ANTONIO DE PUTINA

Análisis por: Tramo Proyecto

Año comienzo: 2023 | Período análisis: 20 años

Red carpetas: RUTA JULIACA-PUTINA

Parque vehículos: FLOTA 2023

Moneda: Pague: US Dollar x 1 = moneda salida

Trabajos: US Dollar x 1 = moneda salida

Salida: US Dollar

Guardar | Cerrar

Proyecto: CARRETERA JULIACA-SAN ANTONIO DE PUTINA

Definir Proyecto en detalle | General | Selección de tramos | Selección de vehículos | Definir tráfico normal

Mostrar veh. sin seleccionar | Incluir TOD en análisis

Incluir	Vehículos	Categoría
<input checked="" type="checkbox"/>	AUTO	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	BUS 2E	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	CAMION 2E	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	CAMION 3E	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	CAMION 4E	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	COMBI RURAL	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	MICRO	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	PANEL	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	PICK-UP	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	SEMI TRAYLER	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	STATION WAGON	Motorizado

Ver/editar vehículo | Ver/editar parque...

Proyecto: PAV JULIACA-SAN ANTONIO DE PUTINA

Definir Proyecto en detalle | General | Selección de tramos | Selección de vehículos | Definir tráfico normal

Tramo	ID	IMD TM	IMD TNM	Año
TRAMO I	T1	1236.00	60.00	2022
TRAMO II	T2	1236.00	60.00	2023
TRAMO III	T3	1236.00	60.00	2023

Composiciones y periodos de crecimiento

Copiar | Pegar | Editar detalles tráfico tramo...

Proyecto: PAV JULIACA-SAN ANTONIO DE PUTINA

Definir Proyecto en detalle | Alternativas

Alternativas: ALTERNATIVA BASE, ALTERNATIVA 1, ALTERNATIVA 2

Editar alternativa... | Añadir nueva alternat. | Copiar alternativa | Borrar alternativa

Detalles de la alternativa ALTERNATIVA BASE

Tramo	Asignaciones	Año
TRAMO I	M MANT 01 - PAV ASFALTICO - ...	20...
TRAMO II		
TRAMO III		

Ver detalles | Editar estándares...

Proyecto: PAV JULIACA-SAN ANTONIO DE PUTINA

Definir Proyecto en detalle | Alternativas

Alternativas: ALTERNATIVA BASE, ALTERNATIVA 1, ALTERNATIVA 2

Editar alternativa... | Añadir nueva alternat. | Copiar alternativa | Borrar alternativa

Detalles de la alternativa ALTERNATIVA 1

Tramo	Asignaciones	Año
TRAMO I	M MANT 02 MANTENIMIENTO ...	20...
TRAMO II	M MANT 01 - PAV ASFALTICO - ...	20...
TRAMO III	M MANT 03 PAV ASF CON FRES. ...	20...

Ver detalles | Editar estándares...

Proyecto: PAV JULIACA-SAN ANTONIO DE PUTINA

Definir Proyecto en detalle | Configurar ejecución | Ejecutar análisis

Sumario: Años: 20 Vehículos: 10 Tramos: 3 Alternativas de proyecto: 3 Alternativas de

Estado: Opción de tramo 1: TRAMO I, Opción de tramo 2: TRAMO II, Opción de tramo 3: TRAMO III

Análisis económico: Análisis terminado con éxito. Exportando los datos de ejecución para los informes. 1429Kbytes. Terminado: duración total del análisis =00.00.05

Progreso: Total: Alternativas de vehículo: Años:

Proyecto: PAV JULIACA-SAN ANTONIO DE PUTINA

Definir Proyecto en detalle | Configurar ejecución | Ejecutar análisis

Realizar análisis económico

Alternativa de la base: ALTERNATIVA BASE

Tasa de descuento: 9 %

Inclusión en el modelo: Balance de energía, Emissiones, Efectos de la aceleración

Archivo de registro: Escribir archivo de registro

Detalle de exportación de datos de ejecución: Excluir datos anuales de vehículos, Excluir datos de vehículos del periodo

Carpeta de exportación de datos de ejecución: C:\Users\HP\...\BDAT_HDM4-CARRETERA JULIACA-SAN ANTONIO DE PUT

Año	ALTERNATIVA 1 (m/km)	ALTERNATIVA 2 (m/km)	ALTERNATIVA BASE (m/km)
2023	3.5	3.5	3.5
2024	4.0	3.0	4.0
2025	4.5	2.5	4.5
2026	5.0	2.5	5.0
2027	5.5	2.5	5.5
2028	6.0	2.5	6.0
2029	6.5	2.5	6.5
2030	7.0	2.5	7.0
2031	7.5	2.5	7.5
2032	8.0	2.5	8.0
2033	8.5	2.5	8.5
2034	8.0	2.5	8.0
2035	7.5	2.5	7.5
2036	7.0	2.5	7.0
2037	6.5	2.5	6.5
2038	6.0	2.5	6.0
2039	5.5	2.5	5.5
2040	5.0	2.5	5.0
2041	4.5	2.5	4.5
2042	4.0	2.5	4.0

Nota: Aspectos generales del acceso y procesamiento del HDM4

3.5.2.2. Metodología PCI

a. Materiales utilizados

Para la evaluación del pavimento se utilizaron los siguientes materiales:

- Regla y cinta métrica
- Manual del PCI con formatos de evaluación
- Dispositivos de seguridad vial
- Cámara fotográfica

b. Metodología de evaluación

b.1 Determinación de unidades de muestreo

Se dividió la carretera en unidades de muestreo de 230.0 a 93.0 metros cuadrados para superficies asfálticas con ancho inferior a 7.30 metros.

b.2 Cálculo de unidades de muestreo a evaluar

Se utilizó la siguiente fórmula para determinar el número mínimo de unidades de muestreo (n):

$$n = \frac{N x \sigma^2}{\frac{e^2}{4} x (N - 1) + \sigma^2}$$

Dónde: N = “Número total de unidades de muestreo “

e = “Error admisible (5%)”

σ = “Desviación estándar (10 para pavimento asfáltico)”



b.3 Procedimiento de inspección

- Se inspeccionó cada unidad de muestreo seleccionada.
- Se identificaron y registraron los tipos de daños, su cantidad y gravedad.
- La información se registró en el formato PCI específico.

b.4 Cálculo del PCI

El cálculo del PCI se realizó en cuatro etapas:

Etapa 1: “Cálculo de valores deducidos”

Se calculó la densidad de daño para cada tipo y nivel de severidad.

Se determinaron los valores deducidos usando las curvas correspondientes.

Etapa 2: “Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m)”

Se utilizó la fórmula: $m_i = 1.00 + 9/98 (100 - HDV_i)$

Etapa 3: Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV)

Se siguió un proceso iterativo para determinar el CDV máximo.

Etapa 4: Cálculo final del PCI

Se restó de 100 el máximo CDV obtenido en la etapa 3.

Evaluación de tramos específicos

a) Tramos I y II (1000m cada uno)



Longitud de muestra: 40m

Número total de unidades (N): 25

Unidades a evaluar (n): 10

Intervalo de muestreo: 2

b) Tramo III (1500m)

Longitud de muestra: 40m

Número total de unidades (N): 37.5

Unidades a evaluar (n): 11

Intervalo de muestreo: 3

a. Modelo de Cálculo del PCI

Tabla 10

Formato de inspección de daños.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI)						
Evaluated por: Jorge R. Mullisaca Aguirre	PAVIMENTO FLEXIBLE	UNID. DE MUESTRA: C1				
Nombre de la vía: Carretera Juliaca - Putina	TRAMO 3	Área de tramo: m ²				
Fecha: 28 de abril del 2023	SECCION: Ancho de la vía(m): 7.00	280				
	Prog inicial(km): 54+000 - Prog final(km): 54+040					
TIPOS DE FALLAS						
N°	DAÑO	COD	UNIDAD	A	B	C
1	Piel de cocodrilo	PC	m ²			
2	Exudación	EX	m ²			
3	Agrietamiento en bloque	BLO	m ²			
4	Abultamientos y hundimientos	ABH	m			
5	Corrugación	COR	m ²			
6	Depresión	DEP	m ²			
7	Grieta de borde	GB	m			
8	Grieta de reflexión de junta	GR	m			
9	Desnivel carril/Berma	DN	m			
10	Grietas longitudinal y transversal	GLT	m			
11	Parqueo	PA	m ²			
12	Pulimento de agregados	PU	m ²			
13	Huecos	HUE	und			
14	Cruce de vía férrea	CVF	m ²			
15	Ahuellamiento	AHU	m ²			
16	Desplazamiento	DES	m ²			
17	Grietas parabólicas(slippage)	GP	m ²			
18	Hinchamiento	HN	m ²			
19	Desprendimiento de agregados	DAG	m ²			
CLASIFICACION DE SEVERIDAD						
BAJA	Low	L				
MEDIA	Medium	M				
ALTA	High	H				

Nota: Elaboración propia

Tabla 11

Inventario de fallas existentes y valores deducidos de fallas existentes

ITEM	DAÑO	SEVERIDAD	Unidad	INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES							TOTAL
				UBICACIÓN	AREA/PROFUNDIDAD/UNIDAD	CANTIDADES	PARCIALES	TOTAL	PROF. (m)	ANCHO (m)	
				X(m)	Y(m)	LARGO (m)	ANCHO (m)	PROF. (m)	CANTIDADES	PARCIALES	TOTAL
A	BLO	L	m ²		3.5	3.2	3.2		11.2		26.96
B	BLO	L	m ²		1.3	6.2	6.2		8.06		
C	BLO	L	m ²		1.1	7	7		7.7		
D	PA	L	m ²		1.4	2.6	2.6		3.64		6.7
E	PA	L	m ²		0.9	3.4	3.4		3.06		
F	BLO	L	m ²		2.3	4.4	4.4		10.12		10.12
G	PC	L	m ²		3.2	2.2	2.2		3.2		18
H	PC	L	m ²		4.0	3.7	3.7		14.8		
I	PC	H	m ²		1.3	2.6	2.6		3.4		3.38

Nota: elaboración propia

Tabla 12

Valores deducidos de fallas existentes

VALORES DEDUCIDOS DE FALLAS EXISTENTES										
FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD	VD	VDT	q		
BLO	L	m ²	26.96	10.96	37.92	13.54	9.81	4		
PA	L	m ²	6.7	6.70	2.39	5.05	75.11			
PC	L	m ²	18	18.00	6.43	28.25				
PC	H	m ²	3.4	3.40	1.21	32.00				
								m	4.00	

Nota: elaboración propia

Tabla 13*Tabla de valores deducidos de piel cocodrilo*

Densidad	Valor Deducido		
	L	M	H
0.10	3.10	6.40	11.80
0.20	3.80	9.30	15.60
0.30	4.60	11.60	18.40
0.40	5.30	13.50	20.60
0.50	6.10	15.30	22.60
0.60	6.90	16.80	24.30
0.70	7.60	18.30	25.90
0.80	8.40	19.70	27.30
0.90	9.10	20.90	28.60
1.00	9.90	22.00	29.90
2.00	16.70	28.20	40.05
3.00	20.70	32.50	45.50
4.00	23.60	35.60	49.30
5.00	25.60	38.00	52.20
6.00	27.60	39.90	54.60
7.00	29.10	41.60	56.70
8.00	30.50	43.00	58.40
9.00	31.60	44.30	60.00
10.00	33.00	45.60	61.30
20.00	40.80	55.40	70.40
30.00	45.90	60.90	75.80
40.00	49.50	64.80	79.50
50.00	52.40	67.80	82.50
60.00	54.70	70.20	84.90
70.00	56.60	72.30	86.90
80.00	58.30	74.10	88.60
90.00	59.80	75.70	90.20
100.00	61.10	77.10	91.60

Nota: Adaptada de (vasquez,2002).

De la tabla 11, como se muestra se hace una interpolación para así poder obtener el valor deducido para la falla piel de cocodrilo severidad baja que para nuestro caso es 28.25

Luego se calcula del valor deducido corregido para un valor deducido total

Tabla 14

Calculo de valor deducido corregido

CALCULO DE VALOR DEDUCIDO CORREGIDO					
N°	VALORES DEDUCIDOS		CDT	q	CDV
1	32.00	28.25	9.81	5.05	42.07
2	32.00	28.25	9.81	2	45.74
3	32.00	28.25	2	2	46.98
4	32.00	2	2	2	38.00

Nota: elaboración propia

Finalmente se calcula el PCI=100-Max.CDV de ahí se determina la condición

Tabla 15

cálculo del PCI y determinación de la condición

DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN DE PAVIMENTO			HDV	46.98
Rango	Clasificación	Simbología	PCI	53.02
			CLASIFICACIÓN	
100 – 85	Excelente		REGULAR	
85 – 70	Muy Bueno			
70 – 55	Bueno			
55 – 40	Regular			
40 – 25	Malo			
25 – 10	Muy Malo			
10 – 0	Fallado			

Nota: elaboración propia

Tabla 16

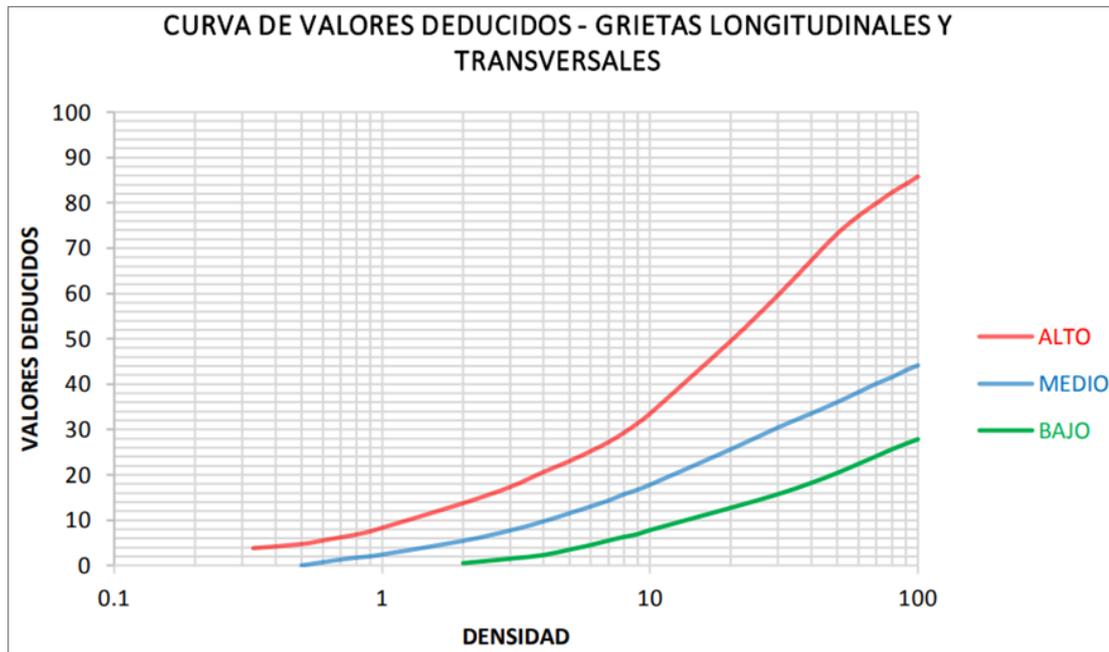
Tabla de valor deducido corregido

TOTAL DE VALORES DEDUCIDOS	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO						
	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7
0.0	0.0						
10.0	10.0						
12.0	12.0	8.0					
18.0	18.0	12.5	8.0				
20.0	20.0	14.0	10.0				
25.0	25.0	18.0	13.5	8.0			
28.0	28.0	20.4	15.6	10.4	8.0		
30.0	30.0	22.0	17.0	12.0	10.0		
140.0	40.0	30.0	24.0	19.0	17.0		
42.0	42.0	31.4	25.4	20.4	18.2	15.0	15.0
50.0	50.0	37.0	31.0	26.0	23.0	20.0	20.0
60.0	60.0	44.0	38.0	33.0	29.0	26.0	26.0
70.0	70.0	51.0	44.5	39.0	35.0	32.0	32.0
80.0	80.0	58.0	50.5	45.0	41.0	38.0	38.0
90.0	90.0	64.0	57.0	51.0	46.0	44.0	44.0
100.0	100.0	71.0	63.0	57.0	52.0	49.0	49.0
110.0		76.0	68.0	62.0	57.0	54.0	54.0
120.0		81.0	73.0	68.0	62.0	59.0	59.0
130.0		86.0	78.5	73.0	67.0	63.0	63.0
135.0		88.5	81.5	75.5	69.5	65.0	65.0
140.0		91.0	84.0	78.0	72.0	68.0	67.0
150.0		94.0	88.0	82.0	76.0	72.0	70.0
160.0		98.0	93.0	86.0	81.0	76.0	74.0
166.0		100.0	94.8	88.4	83.4	79.0	75.2
170.0			96.0	90.0	85.0	81.0	76.0
180.0			99.0	93.0	88.0	84.0	79.0
182.0			100.0	93.6	88.6	84.8	79.6
190.0				96.0	91.0	88.0	82.0
200.0				98.0	94.0	90.0	84.0

Nota: Adaptada de (vasquez,2002).

Figura 47

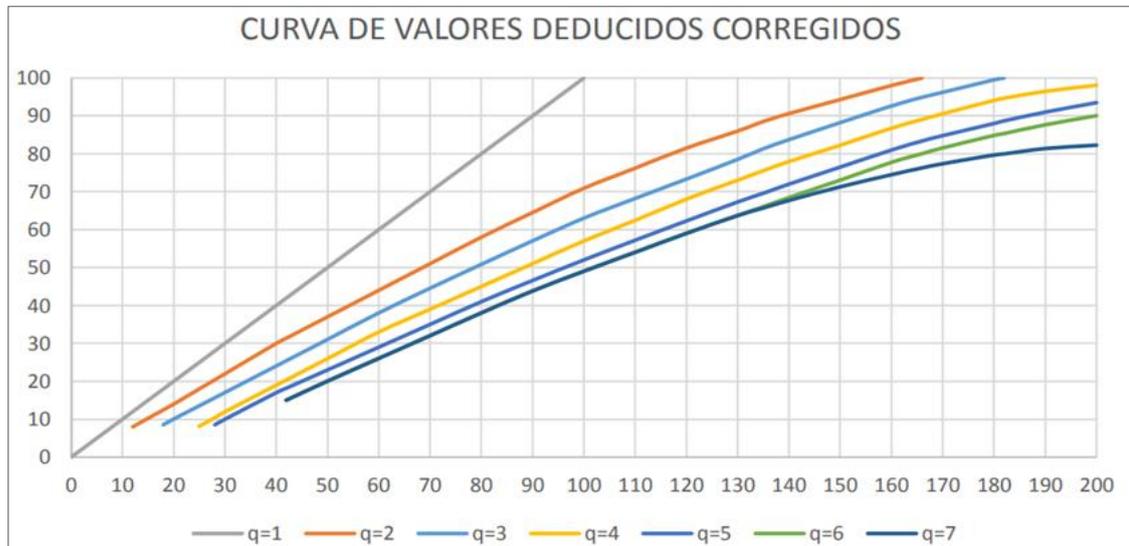
Diagrama de valores deducidos de grietas longitudinales y transversales



Nota: Adaptada de(vasquez,2002).

Figura 48

Diagrama de curva de valores deducidos corregidos



Nota: Adaptada de (vasquez,2002).

3.5.2.3. Índice de Regularidad Internacional (IRI): Roadroid Pro3 versión 3.0.8

a. Equipos y materiales

- Aplicación Roadroid Pro3 versión 3.0.8
- Smartphone modelo MAR-LX3A, marca HUAWEI
- Soporte para smartphone
- Vehículo Toyota Corolla Station Wagon, motor 1500 cc
(clasificado como auto mediano por Roadroid)

Figura 49

Vehículo utilizado en el estudio del método Roadroid.



Nota: Elaboración propia

b. Procedimiento de recolección de datos

b.1 Preparación

- Se planificó la ruta evitando congestiones de tráfico.

- Se programaron dos viajes a las 8:00 a.m.: uno por el carril derecho y otro por el izquierdo.
- Se estableció una velocidad constante de 50 km/h para todo el tramo Juliaca-Putina.

b.2 Configuración del equipo

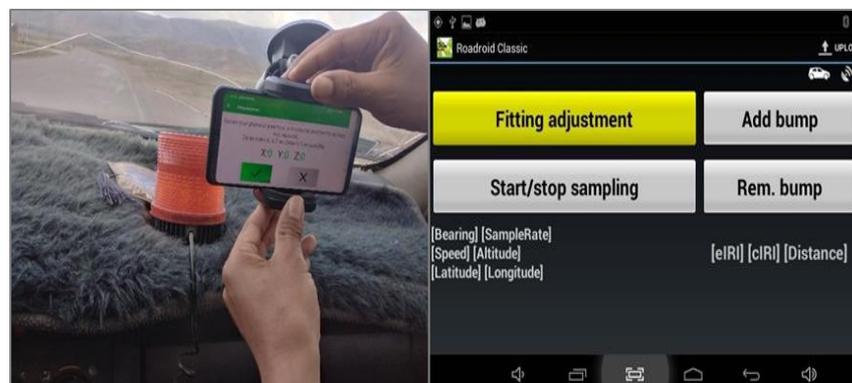
- Se verificó el registro del número IMEI en el sitio web de Roadroid.
- Se configuró la dirección de correo electrónico en la aplicación UseEqID.
- Se seleccionó el modelo de teléfono y tipo de vehículo en la aplicación.

b.3 Instalación del dispositivo

- Se fijó el soporte del teléfono en el parabrisas del vehículo.
- Se aseguró la base firmemente.
- Se colocó el teléfono en posición horizontal para optimizar las funciones de foto y GPS.

Figura 50

Instalación del móvil en el vehículo.



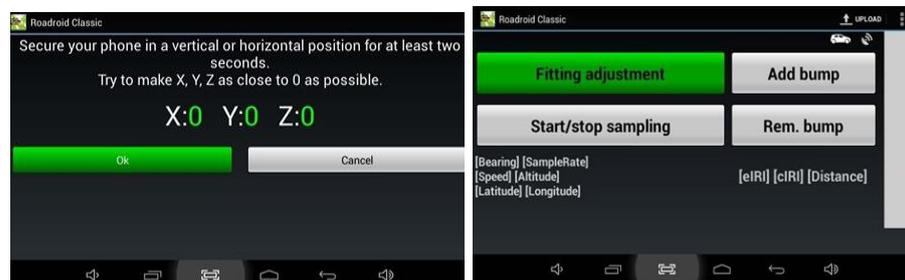
Nota: Elaboración propia

b.4 Calibración y recolección de datos

- Se abrió la aplicación Roadroid y se aceptó la configuración inicial.
- Se calibró la aplicación ajustando la posición del teléfono hasta que los valores X, Y y Z se aproximaran a 0.
- Se inició la recolección de datos presionando "Start/stop sampling".
- Se mantuvo una velocidad constante entre 40 y 60 km/h durante la medición.
- Se detuvo el muestreo al finalizar cada tramo.

Figura 333

Calibración del móvil



Nota: Roadroid

c. Procesamiento de datos

Los datos recolectados incluyen:

- Fecha y hora
- Latitud y longitud
- Distancia recorrida
- Velocidad
- Altitud
- eIRI (IRI estimado)



- cIRI (IRI calculado)

3.5.2.4. Técnica de estudio de tráfico y su uso en el HDM-4.

La técnica de estudio de tráfico es fundamental para obtener los datos de entrada requeridos por el modelo HDM-4 en cuanto a la demanda de tránsito en la carretera. Los pasos principales son:

- **Recolección de datos de tráfico:** Se realiza un conteo vehicular clasificado en estaciones representativas de la vía, registrando el número y tipo de vehículos que circulan. Esto se hace durante un periodo mínimo de 7 días continuos las 24 horas.
- **Cálculo del “Índice Medio Diario Semanal” (IMDS):** Con los datos del conteo, se calcula el promedio diario de vehículos que transitan por tipo de vehículo.
- **Cálculo del “Índice Medio Diario Anual” (IMDA):** A partir del IMDS, se estima el IMDA considerando factores de corrección estacional. El IMDA representa el promedio diario de tránsito que circula por la vía en un año.
- **Proyección del tráfico:** Usando el IMDA del año base y tasas de crecimiento vehicular, se proyecta el tráfico futuro para el periodo de análisis, generalmente 10 o 20 años. Las tasas de crecimiento se estiman en base a datos históricos, PIB, población, etc.
- **Ingreso de datos al HDM-4:** Los datos de tráfico actual y futuro por tipo de vehículo se ingresan al modelo HDM-4 en la sección correspondiente. Esto permite al modelo analizar los efectos del tránsito en el deterioro del pavimento y costos de operación vehicular.

El estudio de tráfico provee los datos de demanda actual y futura necesarios para que el HDM-4 pueda evaluar técnica y económicamente las alternativas de conservación vial. Un buen estudio de tráfico es clave para obtener resultados confiables del modelo que permitan una adecuada toma de decisiones en la gestión del pavimento.

3.5.2.5. Recopilación de datos económicos y características de vehículos

a. Características de los vehículos tipo

De acuerdo con los criterios del programa HDM-4, estos vehículos se clasificaron en ocho categorías según los hallazgos de los estudios.

Tabla 17

Vehículos de equivalencia en HDM-4

Tipo de vehículo en estudio	Vehículo equivalente HDM-4
AUTOS	Coche pequeño
STATION VAGON	Coche pequeño
CAMIONETA PICK UP	vehículo de reparto ligero
PANEL	vehículo de reparto ligero
RURAL(COMBI)	Coche mediano
MICRO	Coche mediano
OMNIBUS 2E	Minibús
CAMION 2E	Camión ligero
CAMION 3E	Camión mediano
CAMION 4E	Camión pesado
SEMI TRAYLER(2S1/2S2)	Camión articulado
SEMI TRAYLER (2S3)	Camión articulado
SEMI TRAYLER (>= 3S3)	Camión articulado

Nota: Elaboración propia

b. Características de los vehículos representativos que usa HDM-4

La clasificación de los vehículos del sistema de transporte que se encuentra en la vía bajo análisis se lleva a cabo tomando en consideración las cualidades de los vehículos representativos detallados en la tabla 11.

Tabla 18

Clases y características básicas de los vehículos representativos predefinidos

Vehículo número	Tipo	Descripción	Abreviatura	Tipo de combustible	Número de ejes	Número de ruedas	Coef. de resistencia aerodinámica	Área frontal definida (m ²)	Tara (T)	Carga (T)
1	Motocicleta	Motocicleta o scooter	MC	P	2	2	0.70	0.8	0.10	2.0
2	Coche pequeño	Coche pequeño de pasajeros	PC-S	P	2	4	0.40	1.8	0.80	1.0
3	Coche mediano	Coche mediano de pasajeros	PC-M	P	2	4	0.42	1.9	1.00	1.2
4	Coche grande	Coche grande de pasajeros	PC-L	P	2	4	0.45	2.0	1.20	1.4
5	Furgoneta de reparto ligera	Furgoneta o pick-up	LDV	P	2	4	0.50	2.0	1.30	1.5
6	furgoneta de reparto mediana	Camión muy ligero para reparto de artículos (4 ruedas)	LGV	P	2	4	0.50	2.8	0.90	1.5
7	Tracción 4 ruedas	Tipo de vehículo Lan Rover/Jeep	4WD	P	2	4	0.50	2.8	1.50	1.8
8	Camión ligero	Camión pequeño de dos ejes rígidos (aprox < 3.5 T)	LT	D	2	4	0.55	4.0	1.80	2.0
9	Camión mediano	Camión mediano de dos ejes rígidos (> 3.5 T)	MT	D	2	6	0.60	5.0	4.50	7.5
10	Camión pesado	Camión de varios ejes rígidos	HT	D	3	10	0.70	8.5	9.00	13.0
11	Camión articulado	Camión articulado o con trailer	AT	D	5	18	0.80	9.0	11.00	28.0
12	Mini-bus	Autobús/furgoneta pequeño (usualmente 4 ruedas)	MNB	P	2	4	0.50	2.9	1.10	1.5
13	Autobús ligero	Autobus ligero (aprox. < 3.5 T)	LB	D	2	4	0.50	4.0	1.75	2.5
14	Autobús mediano	Autobús mediano (3.5 - 8.0 T)	MB	D	2	6	0.55	5.0	4.50	6.0
15	Autobús pesado	Varios ejes o dos ejes grandes	HB	D	3	10	0.65	6.5	8.00	10.0
16	Autocar	Autobus grande para trayectos de largas distancias	COACH	D	3	10	0.65	6.5	10.00	15.0

Nota: Adaptado de Odoki y Kerali (2000).

Tipo de combustible.

P = gasolina.

D = Diésel.

c. Clasificación vehicular adaptada al MTC

La descripción del conjunto de vehículos analizado en este estudio se fundamenta en las pautas establecidas en el Reglamento Nacional de Vehículos del MTC (2003), en la clasificación vehicular y en la

estandarización de las características registrables de vehículos del MTC
(2006).

Tabla 19

Vehículos Automotores

CATEGORÍA	VEHÍCULO DE MAYOR CIRCULACIÓN	GRÁFICO	DESCRIPCIÓN
"L" Vehículos con menos de cuatro ruedas	L1yL5	Vehículo menor	L1: Vehículos de dos ruedas de hasta 50 cm ³ y velocidad máxima de 50 km/h. L3: Vehículos de dos ruedas de más de 50 cm ³ o velocidad mayor a 50 km/h
	L5	Vehículo menor	Vehículos de tres ruedas simétricas a eje longitudinal del vehículo de más de 50 cm ³ o velocidad mayor a 50 km/h, peso bruto que no exceda a 1 tonelada.
"M" Vehículos automotores de cuatro ruedas a más, diseñadas y construidas para el transporte de pasajeros.		Hatchback	Hatchback : Vehículo cerrado con techo fijo algo extendido hacia atrás, cuya cubierta de maletera incorpora la luna posterior, sus asientos pueden ser movidos o rebatibles para proveer un espacio de carga.
		Automóvil	Automóvil : Vehículo automotor con carrocería tipo sedan, con 4 o más asientos en por lo menos dos filas, con 4 puertas laterales y cuya maletera constituye un volumen propio y definido no pudiendo la luna posterior formar parte de la misma.
	M1	Station Wagon	Station wagon : Vehículo automotor derivado de automóvil con 2 o 4 puertas laterales y apertura posterior, para 4 o más asientos y que al rebatir los asientos posteriores permite ser utilizado para el transporte de carga.
		Camioneta rural <9 asientos	Utilitario : Vehículo fabricado con carrocería cerrada y techo fijo. Para 4 o más asientos en por lo menos 2 filas. Los asientos pueden tener respaldo rebatible o removible para proveer mayor espacio de carga. Con 2 o 4 puertas laterales y apertura posterior. Generalmente de tracción 4x4, pero puede ser de 4x2.
	M2	Ómnibus/ Camioneta rural >9 asientos	Microbús : Vehículo de diez (10) hasta diez y seis (16) asientos, incluyendo el asiento del conductor. Minibús : Vehículo de diez y siete (17) hasta treinta (33) asientos, incluyendo el asiento del conductor, con peso bruto vehicular menor a 5 toneladas.
	M3	Ómnibus	Ómnibus : Vehículo de más de treinta y tres (33) asientos incluyendo el asiento del conductor.
"N" Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñadas y construidas para el transporte de mercancías.		Pick Up	Pick up : Vehículo automotor de cabina simple o doble, con caja posterior, destinada para el transporte de carga liviana y con el peso bruto vehicular que no excede los 3.5 toneladas.
	N1	Camioneta Panel	Camioneta panel : Vehículo automotor con carrocería cerrada para el transporte de mercancías, la misma que no está separada del habitáculo de pasajeros con un peso bruto vehicular que no excede los 3.5 toneladas.
		Camión Liviano	Camión liviano : Vehículo con carrocería plana o cerrada con techo (furgón) para el transporte de mercancías y separada del habitáculo de pasajeros. Puede o no tener compuertas laterales y/o posteriores. Con peso bruto vehicular menor a 3.5 toneladas.
	N2	Camión mediano	Camión : Vehículo autopropulsado motorizado con furgón o con carrocería de madera o metal, sin techo destinado al transporte de bienes con un peso bruto vehicular entre 3.5 a 12 toneladas.
		Remolcador	Remolcador : Vehículo motorizado diseñado para remolcar y soportar la carga que le transmiten estos a través de la quinta rueda. Con peso bruto entre 3.5 a 12 toneladas.
	N3	Camión Pesado	Camión : Vehículo autopropulsado motorizado carrocería de madera o metal destinado al transporte de bienes con un peso bruto vehicular mayor a 12 toneladas.
	Remolcador	Remolcador : Vehículo motorizado diseñado para remolcar y soportar la carga que le transmiten estos a través de la quinta rueda. Con peso bruto mayor a 12 toneladas.	
"O" Vehículo sin motor diseñado para ser halado por un vehículo motorizado	O1 O2 O3 O4	remolques / semiremolques	O1: Remolques de peso bruto vehicular de 0,75 toneladas o menos. O2: Remolques de peso bruto vehicular de más 0,75 toneladas hasta 3,5 toneladas. O3: Remolques de peso bruto vehicular de más de 3,5 toneladas hasta 10 toneladas. O4: Remolques de peso bruto vehicular de más de 10 toneladas.
Vehículos especiales	Aquellos que pueden afectar sensiblemente al tráfico a causa de sus grandes dimensiones, de su lentitud de movimiento, o de ambas cosas a la vez. Se incluyen los tractores agrícolas con o sin remolque, los vehículos gigantes de transporte y máquinas de construcción, entre otros.		

Nota: Adaptada en base a MTC (2003) y MTC (2006)



d. Parámetros y características técnicas de vehículos que forman parte del estudio.

La tabla 20 muestra las especificaciones y datos de los vehículos más frecuentes de la ruta Juliaca-Putina. Esta información, que incluye tanto aspectos técnicos como costos locales, se incorporará al modelo HDM-4, clasificada por marca y modelo de vehículo

Tabla 20

Características principales de la flota vehicular

CARACTERÍSTICAS	STACION WAGON													
	HATCHBACK	AUTOMOTIL	TOYOTA (COROLLA)	TOYOTA (HILUX)	TOYOTA (TUCSON)	HYUNDAI (TRUCK)	HYUNDAI (H100)	MITSUBISHI (CAMION MEDIANO)	MITSUBISHI (CAMION PESADO)	T3S3	MICROBÚS	MINIBUS	B3-1	B4-1
MARCA (MODELO)	SUZUKI (ALTO)	TOYOTA (YARIS)	TOYOTA (COROLLA)	TOYOTA (HILUX)	TOYOTA (TUCSON)	HYUNDAI (TRUCK)	HYUNDAI (H100)	MITSUBISHI (CAMION MEDIANO)	MITSUBISHI (CAMION PESADO)	VOEVO (FH454T)	TOYOTA (HIACE)	MITSUBISHI (ROSA FUSO)	BENZ (O-500 RSD)	SCANIA (K124)
Factor de Espacio Equivalente del Vehículo (P.CSE)	100	100	100	125	125	150	250	250	250	6.00	125	250	300	300
N° de ruedas	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	6.00	6.00	6.00	6.00	22.00	4.00	4.00	6.00	8.00
N° de ejes	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00	6.00	2.00	2.00	2.00	3.00
Tipo de neumático (Radial/Diagonal)	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial	Radial
Km. Anuales (Km. conducidos a su máxima)	23488.63	23488.63	23488.63	40000.00	9744.63	60000.00	90000.00	100000.00	100000.00	100000.00	370000.00	4644.126	60000	60000
Horas de trabajo (horas a la máxima empleadas en trayectos completos de trabajo)	758.65	758.65	758.65	960.00	588.6	1440.00	2400.00	2400.00	2400.00	2400.00	1030.00	625	2496	2496
Vida de servicio del vehículo (años)	12.00	12.00	12.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	10.00	10.00	10.00
Porcentaje de utilización por día del vehículo (%)	50%	50%	50%	5%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Número medio de pasajeros por vehículo	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	7.00	32.00	40.00	50.00
Carga	ESALF	0.000390	0.000488	0.0043	0.001	0.006	0.82	3.285	4.98	0.01	0.10	450	263	2.73
Peso promedio en marcha (T)	12.0	1650	2847	2.020	3.420	7.900	25.000	50.000	60.000	3.200	6.200	8.000	29.000	28.000
Vehículo Nuevo (costo promedio del vehículo nuevo (US\$))	6699.33	2777.78	9711.11	2655.66	2768.89	19754.44	32276.67	50888.89	56222.22	33222.22	40888.89	59866.67	89777.78	63888.89
Neumático	165.65 R.13	175.65 R.14	185.70 R.15	225.55 R.16	225.55 R.16	195.70 R.15C-3PR	145.13C-1 PR	215.75 R.17.5	285.80 R.22.5	285.80 R.22.5	215.75 R.17.5	285.80 R.22.5	285.80 R.22.5	285.80 R.22.5
Costo medio de sustitución de neumático (US\$)	30.91	36.06	36.06	48.79	43.03	77.27	64.55	483.64	483.64	77.27	64.55	483.64	483.64	483.64
Tipo de Combustible	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diésel	Gasolina	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel
Costo medio del combustible (US\$, por litro)	153	153	153	108	153	108	108	108	108	108	108	108	108	108
Tipo de lubricante para motor	5W30 VISTONY	5W30 VISTONY	5W30 VISTONY	5W40 GASTROL	5W40 GASTROL	15W40 VISTONY	VISTONY	15W40 VISTONY	15W40 VISTONY	CEB-1W40 GASTROL	15W40 GASTROL	25W60 VISTON	25W60 VISTON	25W60 VISTON
Costo medio del lubricante (US\$, por litro)	5.20	5.20	5.20	7.40	6.00	4.00	4.00	2.70	2.64	7.10	7.10	2.60	2.60	2.70
Costo de mano de obra por mantenimiento (US\$, por hora)	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.92	2.92	2.92	2.92	2.65	2.92	2.92	2.92
Salario promedio de la tripulación (costo a comienzos) (US\$, por hora)	195	195	195	120	0.00	2.28	3.02	3.48	3.48	120	2.28	3.86	3.86	3.86
Interés a multimedio (%) para la compra de un vehículo	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Costo promedio del tiempo de pasajeros por trabajo (US\$, por hora)	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
Costo promedio del tiempo de pasajeros por otros fines diferentes al trabajo (US\$, por hora)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Costo promedio de gastos generales (US\$, por año)	669.33	277.78	971.11	2655.66	2768.89	19754.44	32276.67	50888.89	56222.22	33222.22	40888.89	59866.67	89777.78	63888.89

Nota: Se presenta información y datos referidos a las características de vehículos, estos parámetros técnicos y costos serán incorporados al HDM-4 según marca y modelo.

Tabla 21

Características técnicas de la vía Juliaca- Putina al año 2023

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CARRETERA (AÑO 2023)	
Red vial	Ruta PE-34H
Longitud	92.1km
Tipo de orografía	Tipo 2
Clasificación vial	Segunda Clase
IMDA	1236(2023)
Velocidad directriz	80Km/h
Radios mínimos	50m
Ancho de la calzada	7.0m
Número de carriles	2
Superficie de rodadura	6.25
Berma	0.75m
Pendiente mínima	0.15%
Pendiente máxima	6%
Bombeo	2.50%
Peralte	6-8%
Pavimento actual	Regular
Espesor de la base	0.20m
Espesor de la sub base	0.20m
Altitud mínima	3824 msnm
Altitud máxima	3878 msnm
Drenaje	Regular
Tipo de firme	Asfalto caliente
Ult- Reconstrucción o Nueva	2009
Regularidad (IRI - m/Km)	3.01
Área total fisurada (%)	7.5
Área con desprendimientos de áridos(%)	1%
Número de baches (Nº/Km)	15
Área rotura de borde (m2/Km)	18

Nota: Fuente adaptada de Provias Nacional (2023) construcción y mejoramiento de infraestructura vial de la carretera desvío Huancané – Putina.

Tabla 22*Alternativas de inversión pública*

ALTERNATIVAS	DESCRIPCIONES
Alternativa 1 (Recomendada)	“Construcción y Mejoramiento de la carretera a nivel de carpeta asfáltica Consiste en Conformación de la Estructura del pavimento a nivel de carpeta asfáltica con un ancho de 7.00m. Con bermas de 0.75m., Construcción y mejoramiento de obras de arte, sistema de drenaje con cunetas de 0.50m x 0.80m y Señalizaciones, en el tramo de la carretera cuya longitud es de 38+570Km.”
Alternativa 2	NO EXISTE
Alternativa 3	NO EXISTE

Nota: Provias nacional (2023) “construcción y mejoramiento de infraestructura vial de la carretera desvío Huancané – Putina”

Tabla 23*Indicadores de la inversión pública*

INDICADORES		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Monto de la inversión	A Precio de Mercado	25 543 972.0	0	0
Total (Nuevos Soles)	A Precio Social	19 901 712.0	0	0
Costo Beneficio (A Precio Social)	Valor Actual Neto (nuevos soles) Tasa Interna Retorno (%)	60 128.0 48.09	0	0

Nota: Provias nacional (2023) “construcción y mejoramiento de infraestructura vial de la carretera desvío Huancané – Putina”

“Los costos de operación y mantenimiento del proyecto serán financiados por Provias Nacional a través del MTC, ya que el tramo Desvío Huancané-Putina es de interés nacional. Por lo tanto, la gestión de esta carretera será responsabilidad del MTC”, Provias nacional (2023)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Índice medio diario semanal

Tabla 24

Tráfico vehicular promedio diario semanal

TIPO DE VEHICULO	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	TOTAL Semanal	IMDs	%
AUTOS	131	115	122	127	123	134	126	878	125	10.16
STATION VAGON	41	37	38	36	35	44	36	267	38	3.09
CAMIONETA PICK UP	382	389	384	377	363	391	387	2673	382	30.92
PANEL	36	34	34	35	37	37	35	248	35	2.87
RURAL(COMBIS)	536	527	520	521	510	548	521	3683	526	42.60
MICRO	22	23	21	20	18	24	21	149	21	1.72
OMNIBUS 2E	5	4	3	4	2	6	5	29	4	0.34
CAMION 2E	65	62	60	60	61	68	63	439	63	5.08
CAMION 3E	24	21	23	21	22	26	21	158	23	1.83
CAMION 4E	2	3	3	5	3	4	3	23	3	0.27
SEMI TRAYLER(2S1/2S2)	5	5	4	4	6	5	5	34	5	0.39
SEMI TRAYLER (2S3)	2	3	3	4	1	3	3	19	3	0.22
SEMI TRAYLER (>= 3S3)	6	5	5	7	8	7	7	45	6	0.52
TOTAL TPDS	1257	1228	1220	1221	1189	1297	1233	8645	1235	100

Nota: Elaboración propia

4.1.2. Determinación del tránsito promedio diario semanal TPDS

Se calculó utilizando los aforos vehiculares diarios durante el periodo de una semana. Esta dada por: (AASHTO, 1993).

$$TPDS = \frac{\sum VTD}{7} * (f. c. e)$$

Dónde:

VTD: Es el volumen de tráfico diario registrado durante la semana.

f.c.e: Es el factor de corrección por eje, calculado como $f.c.e = 2b/a$, donde:

b: “Representa el número total de vehículos que han circulado.”

a: “Es la suma total de ejes de esos vehículos.”

4.1.3. Cálculo del factor de corrección por eje (f.c.e)

Para calcular el transito promedio diario semanal es necesario determinar el factor de corrección por eje (f.c.e), el cual se muestra a continuación. (AASHTO, 1993).

Tabla 25

Calculo del factor de corrección por eje (f.c.e)

TIPO DE VEHICULO	Total de vehículos. (1)	Numero de ejes. (2)	Vehículos por eje. (3)=(1)x(2)	f.c.e. (4)=2.(1)/(3)	TPDS (5)=(1)x(4)/7	%
AUTOS	878	2	1756	1.00	125.43	10.30
STATION VAGON	267	2	534	1.00	38.14	3.13
CAMIONETA PICK UP	2673	2	5346	1.00	381.86	31.34
PANEL	248	2	496	1.00	35.43	2.91
RURAL(COMBI)	3683	2	7366	1.00	526.14	43.19
MICRO	149	2	298	1.00	21.29	1.75
OMNIBUS 2E	29	2	58	1.00	4.14	0.34
CAMION 2E	439	2	878	1.00	62.71	5.15
CAMION 3E	158	3	474	0.67	15.05	1.24
CAMION 4E	23	4	92	0.50	1.64	0.13
SEMI TRAYLER(2S1/2S2)	34	3	102	0.67	3.24	0.27
SEMI TRAYLER (2S3)	19	5	95	0.40	1.09	0.09
SEMI TRAYLER (>=3S3)	45	6	270	0.33	2.14	0.18
TOTAL TPDS	8645				1218.30	100.00

Nota: Elaboración propia

Finalmente se tiene el transito promedio diario semanal, definido por $TPDS = 1218$

4.1.4. Determinación del tránsito promedio diario anual TPDA

$$TPDA = TPDS \pm A$$

Dónde:

TPDA: “Tránsito promedio diario anual”

TPDS: “Tránsito promedio diario semanal”

A: “Representa la Máxima diferencia entre en TPDA y el TPDS”

Para un determinado nivel de confianza. El valor de A es:

$$A = K * E$$

Dónde:

K: “Numero de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado”

E: “Error estándar de la media”

$$E = \sigma'$$

Una expresión para determinar el valor aproximado de la desviación estándar poblacional σ' , es la siguiente: (AASHTO, 1993).

$$\sigma' = \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) * \left(\sqrt{\frac{(N - n)}{N - 1}} \right)$$

Dónde:

σ' : “Es un estimador de la desviación estándar de la poblacional.”

S: “Representa la desviación estándar de la distribución de los volúmenes de transito diario o desviación estándar muestral”

n: “Es el tamaño de la muestra en número de días del aforo”

N: “Corresponde al tamaño de la población en número días del año”

La desviación estándar muestra S, se calcula como:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n - 1}}$$

Dónde:

T_{di}: “Volumen de tránsito del día $i=X_i$ ”

S: “Desviación estándar muestral.”

N: “Tamaño de la muestra en número de días del aforo.”

Tabla 26

Valores del nivel de confianza R, de acuerdo al tipo de camino

TIPO DE CAMINO	Zonas Urbanas	Zonas Rurales
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	85-99.9
Arterias/Carreteras principales	80-99	75-95
Colectoras/Carreteras Secundarias	80-95	75-96
Caminos vecinales/Locales	50-80	50-81

Nota: AASHTO, “Guide for Design of Pavement Structures 1993”

El valor de 'K' se determinó usando tablas estadísticas, basándose en el nivel de confiabilidad apropiado para el tipo de vía. En este caso, tratándose de una carretera secundaria en zona rural, se adoptó un nivel de confiabilidad del 90%, según las recomendaciones de (AASHTO,1993).

Tabla 27

Factores de desviación normal

Confiabilidad	Z _r *	Confiabilidad	Z _r *
50	0	92	-1.405
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.045
90	-1.282	99	-2.327

Nota: AASHTO, “Guide for Design of Pavement Structures 1993”

Zr* ó K, factor de desviación normal de acuerdo al nivel de confiabilidad en base al tipo de camino.

Haciendo uso de las tablas anteriores determinamos que para nuestro caso tratándose de arterias/carreteras principales, obtuvimos lo siguiente:

$$\begin{aligned}K &= -1.282 \\N &= 365 \text{ días} \\n &= 7 \text{ días (Lunes a Domingo)} \\TPDS &= 1218 \text{ Vehículos/día.}\end{aligned}$$

Calculando S

Usando la ecuación, obtenemos la desviación estándar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{8870.23}{6}}$$

$$S = 38.45$$

Usando valores de N=365, n=7 y S=38.45, calcularemos el valor de σ'

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{S}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{N - n}{N - 1}} \right) \\ \sigma' &= \left(\frac{38.45}{\sqrt{7}} \right) * \left(\sqrt{\frac{365 - 7}{365 - 1}} \right) \\ \sigma' &= 14.41\end{aligned}$$

Ahora para el cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA) usaremos la ecuación y los valores K=-1.282, para un 90% de confiabilidad y el valor de σ' =14.41.

$$TPDA = TPDS \pm A$$

$$A = K \cdot \sigma'$$

$$TPDA = TPDS + 1.282 * 14.41 = 119.24 \quad \Rightarrow \quad 1236$$



$$TPDA = TPDS - 1.282 * 14.41 = 68.76 \Rightarrow 1200$$

Por lo tanto, el TPDA está entre los valores de:

$$1200 \text{ Vehículos/día} < TPDA < 1236 \text{ Vehículos/día}$$

Asumiremos el caso más crítico el cual es de **TPDA = 1236 Vehículos/día**

Interpretación

Según el DG-2018, las carreteras se clasifican por demanda en:

- **Autopistas de Primera Clase:** IMDA (Índice Medio Diario Anual) superior a 6000 vehículos/día
- **Autopistas de Segunda Clase:** IMDA entre 6000 y 4001 vehículos/día
- **Carreteras de Primera Clase:** IMDA entre 4000 y 2001 vehículos/día
- **Carreteras de Segunda Clase:** IMDA entre 2000 y 400 vehículos/día
- **Carreteras de Tercera Clase:** IMDA inferior a 400 vehículos/día
- **Trochas Carrozables:** IMDA menor a 200 vehículos/día

Con un TPDA (que es equivalente al IMDA) de 1236 vehículos/día, la carretera en cuestión se clasificaría como Carretera de Segunda Clase.

4.1.5. Resultados del estado actual de la carretera Juliaca - San Antonio de Putina con el método PCI.

El estado superficial del pavimento en la carretera Juliaca-Putina se evaluó utilizando la metodología PCI, el cual se expresa en porcentaje. A continuación,

se presenta el valor del PCI y la clasificación correspondiente para cada unidad de muestreo en sus respectivos tramos, ver mayor detalle Anexo 3.

Tabla 28

Resultados de los ensayos del PCI- Tramo I

PROGRESIVA(Km)	PCI	CONDICION
86+000-86+040	81.30	Muy bueno
86+120-86+160	73.70	Muy bueno
86+240-86+280	40.58	Regular
86+360-86+400	72.85	Muy bueno
86+480-86+520	65.69	Bueno
86+520-86+560	68.70	Bueno
86+600-86+640	63.63	Bueno
86+720-86+760	73.33	Muy bueno
86+840-86+880	57.14	Bueno
86+960-87+000	61.37	Bueno
PROMEDIO	65.83	Bueno

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 29

Resultados de los ensayos del PCI- Tramo II

PROGRESIVA(Km)	PCI	CONDICION
81+000-81+040	81.56	Muy bueno
81+120-81+160	84.63	Muy bueno
81+240-81+280	82.31	Muy bueno
81+360-81+400	82.05	Muy bueno
81+480-81+520	81.38	Muy bueno
81+520-81+560	82.68	Muy bueno
81+600-81+640	70.79	Muy bueno
81+720-81+760	67.43	Bueno
81+840-81+880	67.99	Bueno
81+960-82+000	82.33	Muy bueno
PROMEDIO	78.32	Muy bueno

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 30

Resultados de los ensayos del PCI- Tramo III

PROGRESIVA(Km)	PCI	CONDICION
54+000-54+040	53.02	Regular
54+160-54+200	67.50	Bueno
54+320-54+360	54.20	Regular
54+480-54+520	52.09	Regular
54+640-54+680	39.80	Malo
54+800-54+840	40.61	Regular
54+960-54+000	43.91	Regular
55+120-55+160	65.83	Bueno
55+280-55+320	60.69	Bueno
55+400-55+440	56.48	Bueno
55+440-55+480	53.17	Regular
PROMEDIO	53.39	Regular

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Resumen de tabla promedio por tramos de estudio.

Tabla 31

Promedio de PCI por tramos

Tramos	PCI Promedio	CONDICION
Tramo I	65.83	Bueno
Tramo II	78.32	Muy bueno
Tramo III	53.39	Regular

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

Interpretación

En la vía evaluado carretera Juliaca-Putina de acuerdo con los cálculos realizados, los datos obtenidos y la evaluación de las condiciones del pavimento para las metodologías PCI, se obtuvo como resultado las siguientes calificaciones: para el tramo I presenta un PCI de 65.83 lo que corresponde a un pavimento bueno, el tramo II un PCI de 78.32 lo que corresponde a un pavimento muy bueno. En este aspecto lo que correspondería realizar un mantenimiento rutinario y/o periódico. En el tramo III presenta un PCI de 53.39 que corresponde a un

pavimento regular; en este aspecto lo que correspondería realizar un mantenimiento periódico.

4.1.6. Resultados de índice rugosidad (IRI) con el método Roadroid

(Ambos carriles)

Determinar el IRI del tramo de carretera Juliaca – San Antonio de Putina

a. Resultados de eIRI y cIR

Se visualizan en las tablas, dos columnas de valores del IRI la cual son el IRI estimado (eIRI) y el IRI calculado (cIRI) dándose a lo largo del tramo I, II y III respectivamente, mayor detalle ver Anexo 5.

Para la exposición de los resultados, se ha tenido en cuenta los resultados obtenidos por cada carril (derecho e izquierdo) de los cuales se ha obtenido un IRI promedio, tal como se aprecia en la tabla 32.

Tabla 32

IRI promedio por tramos.

TRAMOS	RUGULARIDAD PROMEDIO(eIRI)
TRAMO I	3.3
TRAMO II	2.5
TRAMO III	3.6

Nota: Elaboración propia.

Interpretación

La aplicación Roadroid proporciona dos medidas del IRI cada 10 metros de carretera: el eIRI y el cIRI. El cIRI aún está en fase de desarrollo y refinamiento por parte de la empresa. Por lo tanto, el eIRI se considera la medida más precisa y representativa del IRI real del pavimento.



En la tabla 32 se presentan los promedios de los valores del IRI para cada tramo del proyecto. El tramo I y el tramo III exhiben niveles que se sitúan en la categoría de una carretera en estado regular ($2.8 < \text{IRI} \leq 4$), mientras que el tramo II muestra una condición considerada como buena ($0 < \text{IRI} \leq 2.8$). Estos resultados se alinean con la información proporcionada en la tabla 4.

4.1.7. Propuesta de la mejor estrategia de conservación

4.1.7.1. Costos de mantenimiento

Para incorporar los datos en el modelo de evaluación HDM4, se aplican los costos unitarios de las actividades relacionadas con cada política a las cantidades de trabajo proyectadas internamente utilizando las ecuaciones del submodelo de deterioro. El precio financiero se establece a 0.75 del precio económico en relación con los factores económicos. Este es un factor de conversión estándar: Muchos países y organizaciones internacionales utilizan factores de conversión estándar para ajustar precios económicos a financieros. El rango típico suele estar entre 0.7 y 0.9, dependiendo del contexto económico. (Boardman et al., 2018), El precio económico busca reflejar el verdadero costo de oportunidad para la sociedad, eliminando distorsiones como impuestos, subsidios y externalidades. Los costos unitarios aplicados al proyecto de caminos se detallan a continuación.

Tabla 33

Costos de trabajos de mantenimiento.

POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO	PRECIO FINANCIERO (US\$)	PRECIO ECONÓMICO (US\$)
Mant. Rutinario (Km/Año)	3288.77	2466.58
Parchado superficial (m2)	20.15	15.11
Parchado profundo(m3)	28.22	21.17
Sellado Asfáltico (m2)	1.74	1.31
Tratamiento de Fisuras (m2)	25.14	18.86
Lechada asfáltica(Slurry Seal)	4.84	3.63
Refuerzo CAC E= 50 MM (m2)	14.00	10.50
Refuerzo CAC E= 25 MM (m2)	7.62	5.72
Fresado y posterior reemplazo (m2)	15.00	11.25

Nota: cuadro adaptado de Vargas (2019) y Chambi (2021)

4.1.7.2. Alternativas planteadas

Las características técnicas de las alternativas propuestas para el análisis, evaluación y selección correspondientes se describen en este contexto, incluyendo la solución para el mantenimiento periódico y rutinario.

4.1.7.3. Situación “SIN PROYECTO”

Alternativa base

Se ha designado como la opción "Sin Proyecto" o alternativa base optimizada aquella en la que se llevará a cabo únicamente mantenimiento rutinario y una reconstrucción del pavimento, según los siguientes criterios según (MTC,2014):

- a. Bacheo cuando el número de baches sea superior a 1.
- b. . Sellado cuando el área dañada supere el 3%.



- c. El mantenimiento rutinario se realizará anualmente e incluirá actividades como limpieza general, conservación de elementos de drenaje, mantenimiento de señalización, entre otros.
- d. La reconstrucción del pavimento será ejecutada cuando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) alcance el valor de 10

4.1.7.4. Situación “CON PROYECTO”

Alternativa 1

Se realizará la aplicación de lechada asfáltica, seguido de un refuerzo de carpeta de asfalto en caliente. En los años subsiguientes, se llevará a cabo un mantenimiento rutinario anual, que incluirá la reparación integral de todos los baches. Esto según Manual de Gestión y Conservación de Vías (MTC ,2014).

- a. Bacheo cuando el número de baches sea superior a 1.
- b. Lechada asfáltica (Slurry Seal) cuando la superficie afectada alcance el 40%
- c. refuerzo de carpeta de asfalto en caliente con un espesor de 2.5 cm. Cuando el IRI supere los 4 m/km
- d. El mantenimiento rutinario se realizará anualmente e incluirá actividades como limpieza general, conservación de elementos de drenaje, mantenimiento de señalización, entre otros.

Tabla 34*Intervenciones mantenimiento periódico y rutinario –alternativa 1*

Tramo	Prog. (Km)	Inicio	Prog. (Km)	Fin	Longitud (m)	Espesor de refuerzo (mm)
I	86+000		87+000		1000	25
II	81+000		82+000		1000	25
III	54+000		55+500		1500	25

Nota: Elaboración propia

Alternativa 2

Fresado y reemplazo, con refuerzo con asfáltica. En los siguientes años un mantenimiento rutinario anual, junto con la reparación completa de todos los baches. Esto según Manual de Gestión y Conservación de Vías (MTC ,2014).

- Bacheo cuando el número de baches sea superior a 1.
- Fresado de la carpeta asfáltica en un espesor de 25mm. Cuando el IRI supere los 4 m/km
- Refuerzo estructural tipo concreto asfáltico de 25mm
- El mantenimiento rutinario anual

Tabla 35*Intervenciones mantenimiento periódico y rutinario –alternativa 1*

Tramo	Prog. Inicio (Km)	Prog. Fin (Km)	Longitud (m)	Espesor a fresar (mm)	Espesor de refuerzo (mm)
I	86+000	87+000	1000	25	25
II	81+000	82+000	1000	25	25
III	54+000	55+500	1500	25	25

Nota: Elaboración propia



4.1.8. Resultados de la evaluación económica y técnica

4.1.8.1. Indicadores económicos del proyecto

Las tablas siguientes reflejan los resultados de la evaluación económica para todas las opciones consideradas.

Tabla 36

Resumen del informe de los beneficios económicos totales

HDM - 4 Resumen del análisis económico

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Nombre del est: CARRETERA JULIACA- SAN ANTONIO DE PUTINA

Fecha ejecución: 29-11-2023

Este informe muestra los beneficios económicos totales usando:

Moneda: US Dollar (millones).

Tasa de descuento: 9.00%.

Modo de Analisis: Por Proyecto

Alternativa: ALTERNATIVA 1 vs Alternativa: ALTERNATIVA BASE

	Incremento en costes de la Administración		Ahorros en VOC de TM	Ahorros en costes de tiempo de viaje de TM	Ahorros en costes de viaje y de operación de TNM	Reducción en costes de accidentes	Beneficio exogenos neto	Beneficio Economico Neto (VAN)
	Capital	Recurrente						
Sin descontar	-0.45	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	1.70
Descontados	-0.25	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.84

Tasa Interna de Retorno Economica (TIRe) = 77.9% (No. de soluciones = 2)

Alternativa: ALTERNATIVA 2 vs Alternativa: ALTERNATIVA BASE

	Incremento en costes de la Administración		Ahorros en VOC de TM	Ahorros en costes de tiempo de viaje de TM	Ahorros en costes de viaje y de operación de TNM	Reducción en costes de accidentes	Beneficio exogenos neto	Beneficio Economico Neto (VAN)
	Capital	Recurrente						
Sin descontar	-1.22	0.95	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	1.52
Descontados	-0.68	0.50	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.77

Tasa Interna de Retorno Economica (TIRe) = 66.7% (No. de soluciones = 2)

Nota: HDM 4

Tabla 37

Beneficio – costo de las alternativas

HDM - 4 Relaciones Beneficio Coste

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Nombre del estudio: **CARRETERA JULIACA- SAN ANTONIO DE PUTINA**

Fecha de ejecución: **29-11-2023**

Moneda: **US Dollar (millones)**

Tasa de descuento: **9.00%**

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
ALTERNATIVA BASE	0.748	0.680	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALTERNATIVA 1	0.499	0.430	-0.248	0.593	0.000	0.841	1.685	1.956	77.9 (2)
ALTERNATIVA 2	0.571	0.004	-0.177	0.597	0.000	0.774	1.355	204.815	66.7 (2)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

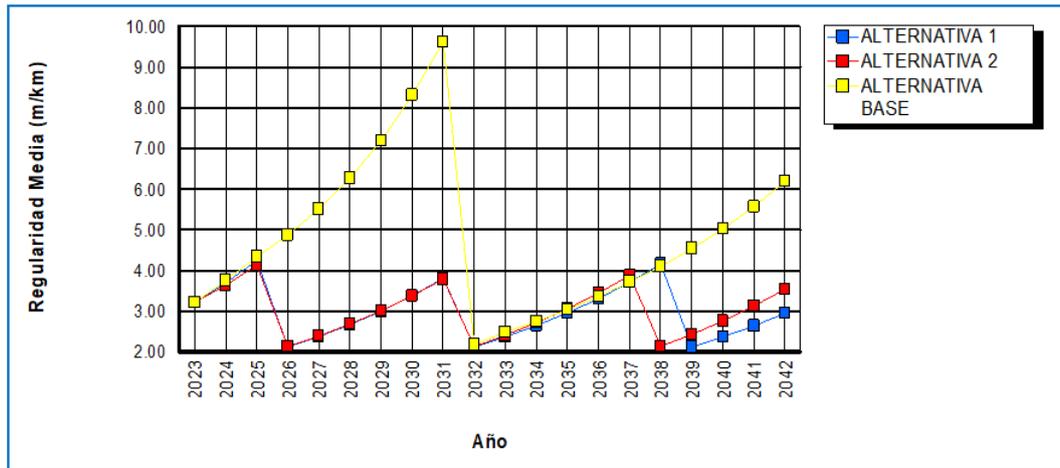
Nota: HDM 4

4.1.8.2. Evolución de la regularidad por tramos

Los gráficos subsiguientes muestran la evolución de la regularidad media por tramos

Figura 51

Evolución de regularidad por tramos



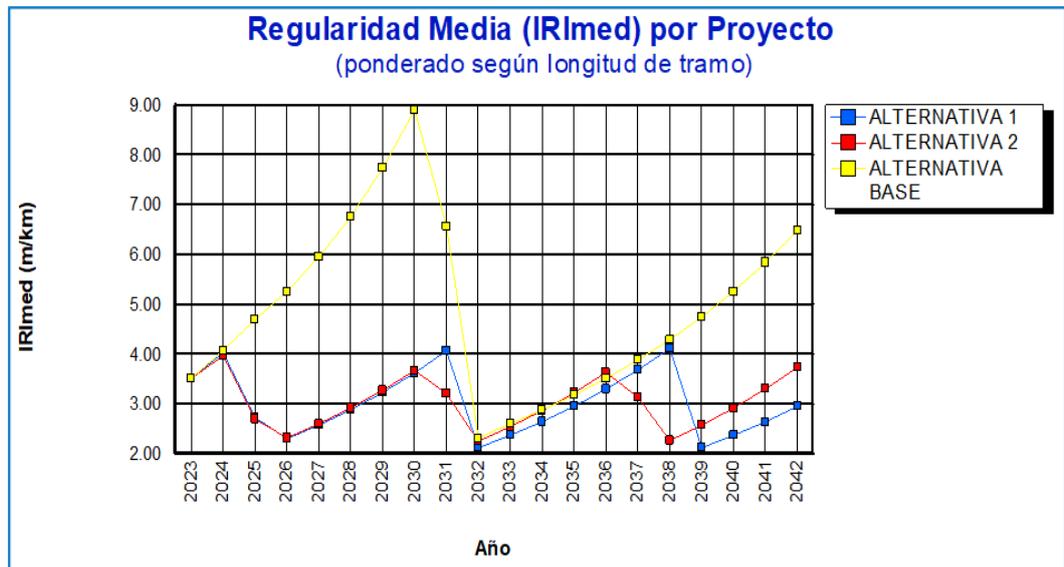
Nota. Procesamiento en HDM 4

4.1.8.3. Evolución de la regularidad por alternativa de proyecto

Los gráficos subsiguientes muestran la evolución de la regularidad media para cada alternativa de proyecto en función de la longitud del tramo.

Figura 52

Regularidad media por proyecto



Nota. Procesamiento en HDM 4

4.1.8.4. Costos económicos del mantenimiento periódico y rutinario

A continuación, se presentan los costos económicos para cada alternativa de mantenimiento periódico durante el horizonte de evaluación de 20 años, con calendario de actuaciones por año. Mayor detalle ver Anexo 6.

Tabla 38*Costos económicos totales anuales de mantenimiento (US\$)*

AÑO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA BASE
2023	6825.00	9821.68	50218.04
2024	190892.83	204551.27	48443.42
2025	81500.55	85575.00	16540.36
2026	6825.00	6825.50	11374.05
2027	6825.00	6825.50	11413.96
2028	6825.00	6825.50	11453.85
2029	6825.00	6,825.50	11493.68
2030	6825.00	124950.00	482015.57
2031	264177.78	164325.08	636825.00
2032	6825.00	6825.00	6831.43
2033	6825.00	6825.05	6852.87
2034	6825.00	6825.08	6882.00
2035	6825.00	6825.05	6910.71
2036	6825.00	124950.08	6940.59
2037	6825.00	164325.08	6971.47
2038	264236.89	6825.05	7000.30
2039	6825.00	6825.08	7031.29
2040	6825.00	6825.05	7062.87
2041	6825.00	6825.08	8354.84
2042	6825.00	124950.08	10067.25
Total	910008.05	1085347.95	1360683.65

Nota. Procesamiento con HDM-4.

4.1.9. Evaluación económica

Como se evidencia en la Tabla 36, tres alternativas de mantenimiento del proyecto muestran rentabilidad económica, con tasas internas de retorno superiores al 9% de tasa de descuento asignada al proyecto. Destaca la alternativa 1 como la más rentable, al exhibir el mayor Valor Actual Neto (VAN) en

comparación con las otras opciones. Los indicadores económicos para esta alternativa son un VAN de 0.841 millones de US\$ y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 77.9 % en relación con la alternativa base. La inversión total estimada para implementar esta alternativa durante los 20 años asciende a US\$ 910 008.05(ver Tabla 37).

4.1.10. Evaluación técnica

Según el análisis realizado mediante el HDM-4 para el año 2023, las simulaciones de cada alternativa de mantenimiento periódico arrojaron los siguientes niveles máximos proyectados del IRI, justo antes de la aplicación teórica de refuerzos en la vía.

Alternativa 01:

El análisis mediante el software HDM-4 proyecta que, tras un hipotético refuerzo de 25mm en 2025, el IRI estimado sería de 2.12m/km. La simulación considera un escenario de mantenimiento rutinario, incluyendo bacheo y aplicación de lechada asfáltica cada 5 años. Según el modelo, cuando la regularidad alcanzaría un IRI de 4m/km en 2031, se simula la aplicación de un refuerzo CAC de 25mm, que teóricamente reduciría la regularidad a un IRI de 2.17 m/km, considerando su respectivo mantenimiento previo. El modelo predice que en 2037 se requeriría otro refuerzo de 25mm cuando el IRI nuevamente llegara a 4m/km. Al término del período de análisis de 20 años, la simulación estima que la regularidad alcanzaría un IRI de 2.9m/km en 2042.



Alternativa 02:

El modelo de simulación HDM-4 proyecta que, tras un hipotético fresado y reemplazo de 25mm en 2025, el IRI estimado sería de 2.11m/km. La simulación contempla un escenario de mantenimiento rutinario, incluyendo bacheo y sellado de grietas cada 5 años. Según las predicciones del software, cuando la regularidad alcanzaría un IRI de 3.80m/km en 2031, se simula la aplicación de un fresado y reemplazo de 25mm, que teóricamente reduciría la regularidad a un IRI de 2.17 m/km, considerando su respectivo mantenimiento previo. El análisis sugiere que en 2037 se requeriría otro refuerzo de 25mm cuando el IRI llegara a 3.85m/km. Al término del período de análisis de 20 años, el modelo estima que la regularidad alcanzaría un IRI de 3.3m/km en 2042.

4.2. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos, se confirma que la aplicación del HDM4 constituye una herramienta integral para la gestión de conservación vial. Permite realizar comparaciones cuantitativas de los costos de mantenimiento vial. En consecuencia, se convierte en una herramienta valiosa para los ingenieros encargados de la administración de proyectos viales, facilitando la toma de decisiones más informada y acertada en la gestión vial.

Los resultados corroboran las afirmaciones de Vargas (2017), quien destaca la relación directa entre los sistemas de gestión de pavimentos y el HDM-4, señalándolo como una herramienta eficaz para integrar y organizar los datos del estudio de campo y así definir el tipo de intervención económica adecuada, con el objetivo de mejorar los niveles de serviciabilidad y seguridad de la carretera. Sin embargo, existe una discrepancia en cuanto a los costos de mantenimiento: mientras que Vargas (2017)



establece una relación de 0.26 entre la alternativa base y su alternativa óptima, en nuestra investigación esta relación es de 1.5.

Según Chambi (2021), el análisis realizado con el programa HDM-4 evidencia que el modelo de gestión de conservación vial más eficiente para la carretera reduce significativamente los costos de mantenimiento vial y operación vehicular en comparación con la opción de no aplicar ninguna medida de conservación. Esto coincide con los hallazgos de Jarrín (2019), quien sostiene que el HDM-4 es una herramienta muy completa al permitir la entrada de datos de drenaje, medioambientales, de tráfico, geometría de la vía, estado del pavimento y costos, logrando así un análisis más cercano a la realidad. Además, Jarrín (2019) reporta una relación de alternativas de 1.06, similar a la obtenida en nuestra investigación, que es de 1.19.

Por otro lado, López (2016) enfatiza la relevancia del periodo considerado para el análisis, ya que este define las restricciones presupuestales y permite optimizar el programa de trabajo, determinando el porcentaje de beneficio obtenido. Los resultados de nuestro estudio son consistentes con esta afirmación.

Los indicadores económicos utilizados, como el VAN y TIR, se alinean con los enfoques de Vargas (2017), Chambi (2021) y Jarrín (2019), pero difieren de López (2016) debido a los valores significativamente altos de VAN (147,595) y TIR (233.3), lo que genera cierta incertidumbre.

Finalmente, los gráficos de deterioro presentados en los resultados (Figuras 52 y 53) respaldan la idea de López (2016) de que el mantenimiento vial debe ser una acción continua para garantizar una mayor vida útil de la carretera y reducir las inversiones necesarias



Históricamente, la construcción de caminos tuvo prioridad sobre la conservación. Sin embargo, desde 2008, el Estado Peruano ha implementado normas para la gestión de la infraestructura vial, requiriendo herramientas como el HDM-4 para decisiones objetivas en rehabilitación y conservación vial.

En Perú, el HDM-4 se utiliza principalmente como herramienta de evaluación económica para proyectos de inversión pública en el sector del transporte. Su uso está regulado por el “Ministerio de Economía y Finanzas” (MEF), que en 2015 emitió las "Pautas metodológicas para el uso y aplicación del HDM-4 en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de transporte". Este documento oficial establece los lineamientos y criterios para la aplicación efectiva del HDM-4 en la evaluación de proyectos viales en el país, asegurando así un enfoque estandarizado y riguroso en la toma de decisiones sobre infraestructura de transporte. No obstante, este estudio demuestra su utilidad como programa de gestión de infraestructura vial en agencias viales, proporcionando indicadores económicos predice deterioros futuros en base a modelos de entrada.

Esta herramienta permite la optimización de beneficios tanto económicos como sociales, permite una reducción estratégica de costos para lograr objetivos específicos de calidad en la red vial, y contribuye significativamente a la mejora integral del sistema de carreteras. Al proporcionar análisis detallados y simulaciones de diversos escenarios, el HDM-4 capacita a los gestores para tomar decisiones más informadas y eficientes en la planificación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura vial.



V. CONCLUSIONES

- La evaluación de la efectividad del programa HDM 4 en la gestión de estrategias para el mantenimiento de la carretera Juliaca – San Antonio de Putina demuestra que este programa proporciona un valioso aporte para la gestión de pavimentos. Su función principal radica en calcular la progresión del deterioro del pavimento, lo que brinda a las entidades responsables de la administración vial la información necesaria para tomar decisiones óptimas en términos de conservación, mejora o mantenimiento de las carreteras. Sin embargo, cabe destacar que el HDM 4 no constituye un sistema integral de gestión de pavimentos, sino que se limita a ser una herramienta de gran ayuda.
- De la evaluación del estado actual de la carretera Julica -Putina se determinó los siguientes valores de PCI de 65.83, 78.32 y 53.39 para los tramos I, II y III, respectivamente. De los resultados obtenidos de los tramos podemos concluir que el estado actual de la carretera Juliaca- Putina es buena.
- Se determinó el índice internacional de regularidad con la aplicación roadroid y se obtuvo los siguientes valores de IRI de 3.3, 2.5, y 3.6 para los tramos I, II y III respectivamente. De los resultados obtenidos de los tramos podemos concluir que el IRI de la carretera Juliaca –Putina es 3.13 m/km; el cual es clasificado en condición regular.
- La alternativa más óptima de mantenimiento vial para la carretera Juliaca – Putina, de acuerdo al modelo HDM-4, consiste en el refuerzo del pavimento de 25mm ya que es la más rentable, al exhibir el mayor Valor Actual Neto (VAN) en comparación con las otras opciones. Los indicadores económicos para esta alternativa son un VAN de 0.841 millones de US\$ y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 77.9 % en relación con la alternativa base. La inversión total



estimada para implementar esta alternativa durante los 20 años asciende a US\$ 910 008.05.

Asimismo, se observa según los resultados del programa HDM-4 un ahorro de US\$ 450 675.5 en los costos de mantenimiento vial al comparar si no se hace el respectivo mantenimiento periódico y se deja para la reconstrucción del pavimento como el que se ha propuesto en la alternativa sin proyecto. En última instancia, se deduce que la omisión de intervenciones oportunas en la estructura del pavimento podría conllevar a un deterioro acelerado de la carretera, alcanzando un Índice de Regularidad Internacional (IRI) de más de 10 m/km.



VI. RECOMENDACIONES

- Según el problema general para lograr mayor efectividad en su aplicación se debe adecuar y calibrar a las condiciones de nuestro país. Impulsar la familiarización de las entidades encargadas del mantenimiento de la infraestructura vial con el software HDM-4, incorporándolo como una herramienta fundamental en el proceso decisional para la gestión vial.
- Realizar un inventario de condición vial para que tenga una base de datos viva que pueda ser compartida y así poder tener un buen plan vial.
- Se sugiere profundizar en el estudio de la aplicación Roadroid, dado que ofrece una gama más amplia de funcionalidades. Entre estas se incluyen el registro fotográfico sistemático (a intervalos de 20m, 50m, 100m y 200m), la captura de videos para inventario, y la administración de datos cartográficos de la red vial a través de una plataforma web que se actualiza periódicamente. Se propone la incorporación del método Roadroid como componente integral del sistema de gestión de pavimentos, específicamente en la evaluación funcional de las carreteras. Con el objeto de optimizar los recursos del estado peruano.
- Se recomienda a las entidades encargadas de la gestión de carreteras en la región de Puno que utilicen el HDM-4 como herramienta integral para la evaluación técnica y económica de estas vías. Es crucial invertir en la capacitación del personal, incorporando nuevas tecnologías y metodologías. Esto ayudará a establecer la conservación vial como una política prioritaria, mejorando significativamente las redes viales de la región.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almenara, C. I. (2015). *Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima*. PUCP-Lima, Perú.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.: AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2020). "Maintenance Manual for Roadways and Bridges". Washington, D.C., USA.
- ASTM-D-6433. (2003). *Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, United States.
- Badilla, G. (2009). *Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [Laname], Costa Rica.
- Banco Interamericano de Desarrollo (2020). *De estructuras a servicios: el camino a una mejor infraestructura en América Latina y el Caribe*. Washington, D.C.: BID.
- Bennett, C.R., & Paterson, W.D.O. (2000). "HDM-4 Highway Development & Management: Volume Five - A Guide to Calibration and Adaptation." World Road Association (PIARC), Paris.
- Bennett, C. R., & Greenwood, I. D. (2001). *Modelling Road User and Environmental Effects in HDM-4 (Vol. 7)*. World Road Association (PIARC); The World Bank.
- Borja, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*.
<https://studylib.es/doc/8929463/metodologia-de-investigacion-cientifica-para-ingenieros>.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2018). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice* (5th ed.). Cambridge University Press.



- Bustos, M. (2023). *Introducción al modelo HDM-4: Curso avanzado sobre uso del HDM-4 para análisis de proyectos y redes viales* [Presentación].
- Chambi Zapata, F. H. (2021). *Modelo de gestión de conservación vial para reducir costos de mantenimiento vial y operación vehicular en la carretera Juliaca – Lampa, aplicando el programa HDM-4*. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16616>.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2018). *Perspectivas del Comercio Internacional de América Latina y el Caribe*. Santiago: CEPAL.
- Conferencia virtual software HDM-4 para carreteras, I. C. M.Sc. Mauricio Salgado Torres. (2020). <https://www.youtube.com/watch?v=3-MHuHqlA5A>.
- Corporación Andina de Fomento. (2010). *Mantenimiento vial. Informe sectorial (Serie informes sectoriales. Infraestructura)*. https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/402/IS_Mantenimiento_via1.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Especificaciones Técnicas para la Conservación de Carreteras MTC. (2007).
- Federal Highway Administration (FHWA). (2019). "Pavement Preservation Compendium II." U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Foro Económico Mundial. (2018). *Índice de competitividad global*. <https://es.weforum.org/publications/the-global-competitiveness-report-2018>.
- Forslöf, L., & Jones, H. (2015). Roadroid: Continuous road condition monitoring with smart phones. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9(4), 485-496. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2015.04.012>.
- Garcés Velecela, D. P. (2017). *Evaluación vial y plan de rehabilitación y mantenimiento de la vía Azogues-Cojitambo-Deleg-La Raya* (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca. <https://core.ac.uk/download/pdf/288579369.pdf>.
- González, A., & Martínez, J. (2015). Evaluación del estado de pavimentos utilizando el PCI en el contexto del HDM-4. *Revista de Ingeniería Civil*, 12(2), 45-58.



- Haas, R., Tighe, S. L., & Falls, L. C. (2015). "Pavement Asset Management". Scrivener Publishing, Beverly, Massachusetts.
- Haas, R., Felio, G., Lounis, Z., & Falls, L. C. (2009). "Measurable Performance Indicators for Roads: Canadian and International Practice". Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Vancouver, British Columbia.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw Hill México.
- Herra Gómez, L. D. (2018). Conceptualización del procesamiento digital de imágenes para la evaluación de superficies de pavimento en Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 20(35). https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052018000100020.
- Huang, Y. (2004). *Pavement analysis and design*. Pearson Prentice Hall.
- Instituto Mexicano del Transporte. (1998). *Índice Internacional de Rugosidad en la Red de Carreteras de México* (Publicación Técnica N° 108). Sanfandila, Qro. <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>.
- Jarrín, P. (2019). *Aplicación del modelo HDM-4 en el análisis y evaluación de las alternativas para el mantenimiento vial de avenida Cristóbal Colón, Quito* (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17068>.
- Kerali, H. (2000). *Visión general de HDM-4 Volumen 1*. The World Road Association.
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LANAMME UCR, Universidad de Costa Rica. (2009). San José, Costa Rica: PEN.
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LANAMME UCR, Universidad de Costa Rica. (2020). San José, Costa Rica: PEN.
- López, G. (2016). *Análisis integral de las alternativas de conservación de los tramos carreteros del contrato plurianual de conservación de carreteras Michoacán (CPCC) región Zamora, mediante la aplicación del HDM-4* (Tesis de Maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/3123.



- Loría Salazar, L. G. (2017). *Evaluación avanzada y gestión de redes viales pavimentadas* [Presentación]. Tercer Congreso Nacional de Pavimentos Asfálticos, Universidad de Costa Rica. http://ilievlima.org/3er-congreso-nacional-de-pavimentos-asfalticos/pdf/e-dia/4/LUIS%20GUILLERMO%20LORIA%20%20Gesti%C3%B3n%20Pavientos%20LGLS_ILIEV%20Lima.pdf.
- Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”. (2013).
- MEF. (2017). Directiva para la formulación y evaluación en el marco del sistema nacional de programación multianual y gestión de inversiones. *Diario Oficial El Peruano*, p. 2.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Actualización del clasificador de rutas del SINAC (D.S. N° 011-2016-MTC). <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/1895752-011-2016-mtc-anexo>.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2007). Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras (R.D. N° 051-2007-MTC/14). Lima. <http://www.mtc.gob.pe>.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de carreteras - Conservación vial (R.D. N° 17-2013-MTC/14). Lima. <http://www.mtc.gob.pe>.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de carreteras: Mantenimiento o conservación vial (R.D. N° 08-2014 MTC/14 - R.D. N° 05-2016 MTC/14). https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). Decreto Supremo N° 034-2008-MTC. *El Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/10019-034-2008-mtc>.
- MnDOT. (2020). *Pavement preservation manual*. Minnesota Department of Transportation. <https://www.dot.state.mn.us/materials/pavementpreservation/manualsandguides/documents/PP%20signed%20Manual%20Revised%20Feb2020.pdf>.



- MTC. (2006). Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares. Directiva N° 002-2006-MTC/15.
- MTC. (2003). Reglamento Nacional de Vehículos. Decreto Supremo N° 058-2003-MTC.
- Odoki, J., & Kerali, H. G. (2000). Analytical framework and model descriptions. *The Highway Development and Management Series*, 4, B1–4, C3–19, C2–47, E1–3, E2–4, E2–45, G1–6, A1–15, C2–18.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2017). *Investing in Climate, Investing in Growth*. Paris: OECD Publishing.
- Provías Nacional. (2023). PIP con código de inversiones N° 2091468 del proyecto *Construcción y mejoramiento de infraestructura vial de la carretera Desvío Huancané – Putina*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Roadroid. (2014). *Guía de usuario-fundamentos*.
- Robinson, R., Danielsson, U., & Snaith, M. S. (1998). *Road management: Concepts and systems*. Macmillan Press.
- Rodríguez Morera, J. D. (2014). La auscultación de pavimentos a nivel de red y su importancia en la gestión de carreteras. San Pedro: LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.
- Salgado, M. (2014). *Uso y aplicación del HDM-4 como herramienta de gestión*. Instituto del Cemento y de Hormigón de Chile.
- Salgado, M. (2020). *I Curso de capacitación en HDM-4 (Online)*. Lima.
- Salomón, E. (2003). *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas - Guía conceptual* (Primera Edición). OIT/Oficina Subregional de los Países Andinos. <https://www.oitcinterfor.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/temas/rurales/doc/prod/1122.pdf>.
- Sayers, M. W., Gillespie, T. D., & Queiroz, C. A. (1986). *International road roughness experiment: Establishing correlation and a calibration standard for measurement* (World Bank Technical Paper No. 45). United States of America.



- SENAMHI (2023). Datos climatológicos de la estación meteorológica de Putina, Puno. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Shahin, M.Y. (2005). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots* (2nd ed.).
- Solorio, & Hernández. (2004). *Análisis de sensibilidad de los modelos de deterioro del HDM - 4 para pavimentos asfálticos*. México. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt266.pdf>
- UNICON. (2016). ¿Cómo se debe de elegir el pavimento? *DURAVIA*.
- Vargas León, J. C. (2017). *Evaluación técnica y económica entre las modalidades ejecutivas de conservación vial aplicando el modelo HDM-4 en la carretera PE-38 tramo: Tacna – Tarata*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2872>.
- Vargas Sobrado, A. C., & Ulate Castillo, A. (2014). Valuación de caminos no pavimentados por medio del rugosímetro III. *Boletín Técnico*, 5(56), Unidad de Gestión Vial, PITRA-Lanamme, Universidad de Costa Rica.
- Vásquez, V. L. (2002). *Índice de condición de pavimento (PCI) para pavimentos asfálticos y concreto en carreteras* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/8cdfca33-96f6-400b-b750-a6a4124f48fd>
- Velasquez Ramirez, J. C. (2021). *Caracterización y análisis del método Roadroid en la obtención del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para la gestión de pavimentos* (Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería).
- Vergara Arango, S. (2021). *Análisis de la implementación de un sistema de gestión de pavimentos basado en el software HDM-4 en una ciudad como Medellín, Colombia*. Universidad EIA.
- Vidal Asencios, D. (2016). *Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: Mediante Smartphone y un método tradicional*.



- Vílchez, D. (2021). *Propuesta de estandarización de parámetros para el uso de HDM 4 en la evaluación social de PIP de construcción de vías de evitamiento en el Perú* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22319>.
- Villareal, J. (2013). *Ingeniería económica*. Person Educación de Colombia Ltda.
- World Bank. (2005). *Highway Development and Management Tools (HDM-III)*. International Bank for Reconstruction and Development.
- World Bank. (2005). *HDM-4 Highway Development and Management*.
- World Economic Forum. (2019). *The Global Competitiveness Report 2019*. Geneva: World Economic Forum.
- Yvala Flores, F. (2019). *Evaluación económica en el ciclo de vida del pavimento rígido y flexible en las vías arteriales y colectoras del distrito de Ayacucho* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3567>.



ANEXOS

- ANEXO 1.** Estudio de tráfico tramo: Putina – Juliaca
- ANEXO 2.** Curvas del valor deducido de las fallas superficiales, según el PCI para pavimentos asfálticos.
- ANEXO 3.** Índice de condición de pavimento (PCI).
- ANEXO 4.** Panel Fotográfico.
- ANEXO 5.** Resultados del eIRI y cIRI del T ramo I, Tramo II, Tramo III.
- ANEXO 6.** Informes de procesamiento en el HDM-4 .
- ANEXO 7.** Solicitud- memorándum -ficha técnica provias nacional tramo: Putina. –
Desv. Huancane.
- ANEXO 8.** Matriz de consistencia.
- ANEXO 9.** Cuadro de operacionalización de variables.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JORGE RAUL MULLISACA AGUIRRE,
identificado con DNI 42303380 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL PROGRAMA HOM-4 EN LA
GESTION DE ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LA
CARRETERA JULIACA - SAN ANTONIO DE PUTINA "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 08 de AGOSTO del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JORGE RAUL MULLISACA AGUIRRE, identificado con DNI 42303380 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL X

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DEL PROGRAMA HDM-4 EN LA GESTION DE ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA JULIACA - SAN ANTONIO DE PUTINA"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 08 de AGOSTO del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella