



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



**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**

TESIS

PRESENTADA POR:

FREDY HARHOLT CHAMBI ZAPATA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A Dios, por darme un día más de vida y guiarme por el buen camino.

A mis padres Felipa y Francisco, por su amor infinito y paciencia, que sin su apoyo esto no sería posible.

A mi esposa Yuliana, por ser mi compañera de vida y mi mejor amiga, soporte de momentos difíciles y cómplice de los momentos de alegría y felicidad.

A mis hijas Jazmin y Darlene, quienes son mi razón de ser, quienes con su sonrisa me impulsan a seguir superándome como profesional y padre.

A mis hermanas Yubzha y Nathaly, por su cariño, apoyo moral y su eterna confianza, quienes me animan a superar las barreras que se presentan.



AGRADECIMIENTOS

A todos quienes participaron en el desarrollo y elaboración de la investigación: Jurados, Director de tesis, Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, compañeros de trabajo y amigos.

A los ingenieros Edwin Portugal Colque, Edwin Gómez Quispe y Juan Arizábal Ramírez por la confianza depositada en mi persona, quienes con su experiencia me han orientado profesionalmente.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1.- PROBLEMA GENERAL.....	20
1.2.2.- PROBLEMAS ESPECÍFICOS	20
1.3.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.4.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.4.1.- OBJETIVO GENERAL	22
1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- ANTECEDENTES	24
2.1.1.- ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL	24
2.1.2.- ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL	25
2.1.3.- ANTECEDENTES REGIONALES.....	27



2.2.- BASES TEÓRICAS	28
2.2.1.- GESTIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL	28
2.2.2.- CONSERVACIÓN VIAL	30
2.2.3.- CICLO VIAL	34
2.2.4.- TIPOS DE CONSERVACIÓN VIAL.....	40
2.2.5.- TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN.....	42
2.2.6.- MODALIDADES DE CONSERVACIÓN VIAL EN EL PERÚ	46
2.2.7.- CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO.....	47
2.2.8.- EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA VIAL	49
2.2.9.- EVALUACIÓN ECONÓMICA	65
2.2.10.- COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR	68
2.2.11.- COSTOS DE MANTENIMIENTO VIAL.....	71
2.2.12.- HDM-4	73
2.3.- ESTADO DE LA APLICACIÓN DE HDM-4 EN LATINOAMÉRICA	78

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- MATERIAL DE ESTUDIO	81
3.1.1.- NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	81
3.1.2.- POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	81
3.1.3.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	82
3.1.4.- PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	84
3.1.5.- PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO.....	84
3.2.- MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	86
3.2.1.- MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	86



3.2.2.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	87
3.2.3.- PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	88
3.3.- ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	94
3.3.1.- INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE LA VÍA	94
3.3.2.- EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA VÍA.....	97
3.3.3.- RECOPIACIÓN DE DATOS BÁSICOS REQUERIDOS POR EL HDM	134
3.3.4.- PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN EL HDM-4...	147
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1.- RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA	160
4.2.- RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN	162
4.3.- RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA	170
4.4.- CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE CONSERVACIÓN.....	181
4.5.- DISCUSIÓN	182
V. CONCLUSIONES.....	186
VI. RECOMENDACIONES	188
VII. REFERENCIAS.....	189
ANEXOS.....	193

Tema: Sistema de Gestión Vial

Área : GESTIÓN VIAL

Línea de Investigación : TRANSPORTES Y GESTIÓN VIAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 03 DE SETIEMBRE DEL 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estado de la red vial en el Perú	30
Figura 2. Cambio hacia una cultura preventiva en el mantenimiento vial	33
Figura 3. Condición de la vía sin mantenimiento	35
Figura 4. Diagrama del ciclo “fatal” del camino	37
Figura 5. Condición de la vía con y sin mantenimiento.	38
Figura 6. Diagrama del ciclo deseable de la conservación vial	39
Figura 7. Diagrama de flujo del ciclo de vida “fatal” y “deseable”	40
Figura 8. Eje sencillo	53
Figura 9. Eje tándem.....	53
Figura 10. Eje trídem	53
Figura 11. Regresión lineal para cálculo de tasa de crecimiento.....	54
Figura 12. Modelo del cuarto de carro.....	56
Figura 13. Perfil longitudinal real de una carretera	57
Figura 14. Índice de regularidad internacional IRI para diferentes tipos de vía.....	57
Figura 15. Componentes de equipo con referencia inercial.....	58
Figura 16. Tipos de textura en pavimentos.....	60
Figura 17. Ensayos destructivos (calicata)	61
Figura 18. Ensayos no destructivos (FWD).....	62
Figura 19. Esquema isométrico viga Benkelman	63
Figura 20. Deflectómetro de impacto	64
Figura 21. Costos de operación del vehículo de transporte de carga.....	70
Figura 22. Estructura y agregación de los costos de operación del vehículo	71
Figura 23. Curvas de deterioro de la vía, gastos entidad vial, usuarios.....	73
Figura 24. Ciclo de gestión de carreteras.....	75
Figura 25. Diagrama de flujo HDM-4	78
Figura 26. Uso y aplicación del HDM-4 en Latinoamérica.....	80



Figura 27. Mapa de la carretera Juliaca – Lampa	82
Figura 28. Mapa de ubicación geográfica.....	83
Figura 29. Sección típica de la carretera Juliaca – Lampa.....	95
Figura 30. Ubicación de la estación de conteo E-1.....	98
Figura 31. Variación horaria del promedio vehicular E-1	101
Figura 32. Variación Diaria del Total de Vehículos E-1	101
Figura 33. Conteo vehicular E-1	102
Figura 34. Clasificación vehicular del promedio E-1	102
Figura 35. Distribución porcentual por tipo de vehículos E-1.....	103
Figura 36. Perfilómetro láser LASERPROF DLP49 GREEN WOOD	118
Figura 37. Croquis para las mediciones IRI en campo	118
Figura 38. Mediciones IRI del pavimento asfáltico de la vía Juliaca - Lampa.....	119
Figura 39. Método registro de macrotextura	120
Figura 40. Esquema del sistema de medición del perfilómetro láser	120
Figura 41. Macrotextura del pavimento asfáltico carril derecho	122
Figura 42. Macrotextura del pavimento asfaltico carril izquierdo.....	122
Figura 43. Diferencias acumuladas del IRI	124
Figura 44. Delimitación de sectores homogéneos respecto al IRI.....	125
Figura 45. Mediciones del IRI y macrotextura	126
Figura 46. Equipo Deflectómetro FWD con los sensores	127
Figura 47. Mediciones de deflectometría	128
Figura 48. Deflexiones máximas normalizadas (D_0) carril derecho	130
Figura 49. Deflexiones máximas normalizadas (D_0) carril Izquierdo	130
Figura 50. Diferencias acumuladas – Parámetro de deflexión máxima	131
Figura 51. Delimitación de sectores homogéneos respecto a la deflexión	132
Figura 52. Sectores homogéneos definidos	134
Figura 53. Esquema Global de HDM-4	147
Figura 54. Espacio de Trabajo del HDM-4.....	148



Figura 55. Ingreso de datos para zonas climáticas.....	149
Figura 56. Ingreso de datos en el módulo de redes de carreteras	150
Figura 57. Ingreso de datos estructurales de pavimentos	151
Figura 58. Ingreso de características básicas de vehículos	152
Figura 59. Ventana de acceso a calibración de factores	153
Figura 60. Costos unitarios de insumos en valor económico	154
Figura 61. Lista general de vehículos que componen una flota específica.....	155
Figura 62. Definición de sellado de fisuras como estándar de conservación	156
Figura 63. Ingreso de datos de un estándar de mejoramiento.....	157
Figura 64. Pantalla principal del ingreso de datos de análisis de proyectos.....	158
Figura 65. Gráfica de proyección del tráfico	160
Figura 66. Sectores homogéneos definidos	162
Figura 67. Gráfico de regularidad promedio por alternativa de proyecto	163
Figura 68. Gráfico de regularidad promedio del tramo 1	164
Figura 69. Gráfico de regularidad promedio del tramo 2	166
Figura 70. Gráfico de regularidad promedio del tramo 3	168
Figura 71. Fases de la gestión de conservación vial	185



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modalidades empleadas para el mantenimiento vial	47
Tabla 2: Elementos para el inventario y evaluación vial	51
Tabla 3: Costos de operación vehicular	68
Tabla 4: Cambio en los procesos de gestión	74
Tabla 5: Características técnicas de la vía	96
Tabla 6: Tránsito promedio diario de la semana, Estación E-1	98
Tabla 7: Conteos de la semana, Estación E-1	99
Tabla 8: Índice medio diario anual, Estación E-1	100
Tabla 9: Vehículos detectados O/D Lampa	104
Tabla 10: Motivos de viaje O/D Lampa	104
Tabla 11: Ocupación de vehículos de pasajeros O/D Lampa	105
Tabla 12: Marca de vehículos de pasajeros O/D Lampa	105
Tabla 13: Tipo de combustible -vehículos de pasajeros O/D Lampa	106
Tabla 14: Antigüedad de vehículos de pasajeros O/D Lampa	106
Tabla 15: Tipo de combustible vehículos de carga O/D Lampa	107
Tabla 16: Mercancías Transportadas por Vehículos de Carga O/D Lampa	107
Tabla 17: Antigüedad vehículos de carga O/D Lampa	108
Tabla 18: Marca de vehículos de carga O/D Lampa	108
Tabla 19: Elasticidad de la demanda	110
Tabla 20: Indicador Poblacional - Perú	111
Tabla 21: Indicadores macroeconómicos departamentales (PBI – PUNO)	112



Tabla 22: Tasa de crecimiento región Puno.....	112
Tabla 23: Indicadores macroeconómicos	113
Tabla 24: Tasas empleadas para Proyecciones por tipo de Vehículos	114
Tabla 25: Proyección del tráfico	115
Tabla 26: Tabla resumen de velocidad	117
Tabla 27: Resumen estadístico mediciones IRI.....	119
Tabla 28: Clasificación de la macrotextura	121
Tabla 29: Sectores homogéneos definidos y serviciabilidad de la vía	124
Tabla 30: Sectores homogéneos respecto a la deflexión	132
Tabla 31: Resumen de ensayos de laboratorio de la vía	133
Tabla 32: Sectores homogéneos definidos.....	134
Tabla 33: IMD – Por tipo de vehículo	135
Tabla 34: Vehículo equivalente HDM.....	136
Tabla 35: Característica básicas por tipo de vehículo.....	137
Tabla 36: Costos económicos de vehículos e insumos	139
Tabla 37: Oferta vial en situación “Sin Proyecto”	139
Tabla 38: Características técnicas de la carretera Juliaca – Lampa	140
Tabla 39: Intervenciones mantenimiento periódico – Alternativa 2.....	143
Tabla 40: Intervenciones mantenimiento periódico – Alternativa 3.....	144
Tabla 41: Políticas de mantenimiento a ser utilizados.....	145
Tabla 42: Combinación de políticas y alternativas propuestas.....	146
Tabla 43: Costos de mantenimiento – Alternativa Base “Sin Proyecto”.....	146
Tabla 44: Costos de mantenimiento – Alternativa 2 “Con Proyecto”	146



Tabla 45: Costos de mantenimiento – Alternativa 3 “Con Proyecto”	147
Tabla 46: Costos de mantenimiento – Refuerzo asfáltico “Con Proyecto”	147
Tabla 47: IRI Característico de la sectorización	161
Tabla 48: Deflexiones máximas y CBR de la sectorización.....	161
Tabla 49: Resumen de indicadores económicos	170
Tabla 50: Cuadro Resumen del análisis económico	171
Tabla 51: Cuadro resumen de costos de mantenimiento vial	172
Tabla 52: Cronograma de ejecución de conservación	181



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
MEF	: Ministerio de Economía y Finanzas.
SGP	: Sistema de gestión de pavimentos.
SGV	: Sistema de gestión vial.
COV	: Costos de operación vehicular.
TIR	: Tasa interna de retorno.
VAN	: Valor actual neto.
VPN	: Valor presente neto.
HDM	: Modelo de estándares de diseño y conservación de carreteras (Highway Design and Maintenance Standards Model)
IRI	: Índice internacional de rugosidad (Internacional Roughness Index)
PSI	: Índice de condición del pavimento (Present Serviceability Index).
FWD	: Deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer).
PBI	: Producto bruto interno.
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
IMD	: Índice medio diario.
IMDA	: Índice medio diario anual.
ESAL	: Equivalent Single Axle Load.
MAC	: Mezcla asfáltica en convencional.
MAM	: Mezcla asfáltica modificada con polímeros.
AASHTO	: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (American Association of State Highway and Transportation Officials).
ASTM	: Sociedad Americana para pruebas y materiales (American Society for Testing and Materials).
NTP	: Norma técnica peruana.
CVSP	: Consorcio vial sur Perú



RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito desarrollar un modelo de gestión de conservación vial aplicando el programa HDM-4 en la carretera Juliaca – Lampa de la región Puno, considerando políticas de conservación vial versus el estado actual de la vía. La investigación es de tipo descriptivo exploratoria y en la ejecución se cumplió dos etapas, la primera consta de investigaciones de campo que abarcó el estudio de tráfico, evaluación funcional, evaluación estructural de la vía y el inventario de las características básicas del pavimento existente, los cuales fueron procesados en gabinete y la segunda etapa en la que se aplicó el programa HDM-4 en tres escenarios, primer escenario la muestra patrón de la investigación (alternativa base) que considera a la vía solo con el mantenimiento rutinario que actualmente recibe; en el segundo escenario se consideró la propuesta de mantenimiento periódico dictada en el estudio de pre-inversión (reciclado de la carpeta existente) y en el tercer escenario se consideró el fresado de la carpeta asfáltica, evaluando en los tres escenarios el comportamiento de la carretera en función al mantenimiento rutinario y periódico del pavimento. Como resultado se obtuvo un modelo de gestión de conservación vial, en el que se evaluó tres escenarios de conservación, obteniendo mayor rentabilidad en la alternativa tres en lo que respecta a una mayor reducción en los costos de operación vehicular (9.8 millones de soles respecto a las condiciones actuales en que se encuentra la vía) y costos de mantenimiento vial (ahorro de S/. 977,419.13), en un periodo de evaluación de 15 años; concluyendo que la utilización del modelo HDM-4 como herramienta de gestión ayuda a los ingenieros encargados de la administración de proyectos viales a una acertada toma de decisiones en la gestión vial en base a criterios de rentabilidad económica.

Palabras Clave: Gestión vial, conservación, costos, HDM-4.



ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a road conservation management model applying the HDM-4 program on the Juliaca - Lampa highway in the Puno region, considering road conservation policies versus the current state of the road. The research is of a descriptive exploratory type and two stages were completed in the execution, the first consists of field investigations that included the study of traffic, functional evaluation, structural evaluation of the road and the inventory of the basic characteristics of the existing pavement, the which were processed in the office and the second stage in which the HDM-4 program was applied in three scenarios, the first scenario is the standard research sample (base alternative) that considers the road only with the routine maintenance that it currently receives; In the second scenario, the periodic maintenance proposal dictated in the pre-investment study (recycling of the existing mat) was considered and in the third scenario, the milling of the asphalt mat was considered, evaluating the behavior of the road in the three scenarios. based on routine and periodic maintenance of the pavement. As a result, a road conservation management model was obtained, in which three conservation scenarios were evaluated, obtaining greater profitability in alternative three in terms of a greater reduction in vehicle operating costs (9.8 million soles compared to the current conditions of the road) and road maintenance costs (savings of S / . 977,419.13), in an evaluation period of 15 years; concluding that the use of the HDM-4 model as a management tool helps engineers in charge of the administration of road projects to make the right decision-making in road management based on criteria of economic profitability.

Key Words: Road management, conservation, costs, HDM-4.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son uno de los factores responsables del crecimiento físico, social y económico de una región, ya que permiten la conectividad entre pueblos como parte de su convivencia, ayudando en su progreso y facilitando el transporte social de bienes y servicios. Existen muchas variables derivadas de la construcción de una vía terrestre tanto en su etapa de diseño y construcción como en el momento que esta requiere de mantenimiento, reconstrucción o remodelación.

El propósito principal de la presente investigación fue desarrollar y determinar un modelo de gestión de conservación vial mediante la utilización de la herramienta HDM-4, con el objeto de disminuir los costos de mantenimiento vial y de operación vehicular, para lo cual se tomó la carretera Juliaca – Lampa como modelo de aplicación.

El HDM-4 es una importante herramienta de análisis para la evaluación técnica, económica y financiera de inversiones en construcción y conservación de redes de carreteras, basándose el uso de esta herramienta en un modelo de cálculo de las relaciones físicas y económicas derivadas de un extenso estudio sobre el deterioro de las carreteras, el efecto de la conservación de las mismas y los costos de operación de los vehículos.

La investigación consta de VII capítulos, distribuidos de la siguiente manera:

En el Capítulo I “Introducción”, se formula el problema de cómo se debe gestionar la conservación vial de las carreteras en la región, base sobre la cual se propone la implantación de un modelo de gestión de conservación vial aplicando el HDM-4 como principal herramienta de gestión.



En el Capítulo II “Revisión de Literatura” se recopila la información referente al tema a investigar, antecedentes de la investigación, insumos que intervienen en la determinación de costos de mantenimiento vial y de operación de vehículos, principales componentes e indicadores que intervienen en la gestión vial, equipos y programas computacionales que apoyan la operatividad de este tipo de sistemas y un glosario de los términos más utilizados en el campo de la administración de vías.

En el Capítulo III “Materiales y Métodos”, se presenta la metodología aplicada, modalidad de la investigación, niveles y tipo, determinación de la población y muestra, métodos e instrumentos de recolección de datos, así como el plan de procesamiento de la información y el análisis de la misma. Por último, se describe secuencialmente el procedimiento a seguir para la utilización del modelo HDM-4.

El Capítulo IV “Resultados y Discusión”, describe los resultados obtenidos posterior al desarrollo del modelo de gestión de conservación vial propuesto, donde se pueden observar gráficos y tablas que permiten evaluar la mejor alternativa de conservación vial en la carretera Juliaca – Lampa, utilizando indicadores de rentabilidad económica. Así mismo en la discusión se analiza y detalla los resultados obtenidos con el programa HDM-4.

En el Capítulo V “Conclusiones”, se presentan las conclusiones a las que se arribó luego de la implementación del HDM-4 como herramienta de gestión.

En el Capítulo VI “Recomendaciones” se propone implementar el HDM-4 como herramienta principal para la gestión de redes de carreteras en la región.

Finalmente, en el Capítulo VII “Referencias Bibliográficas”, se detalla las referencias utilizadas en la investigación.



1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La construcción de carreteras tiene importancia en el avance de las distintas sociedades y en un mundo globalizado como el actual, con marcadas diferencias entre países desarrollados y en vías de desarrollo, siendo los primeros quienes están a la vanguardia en tecnología, métodos constructivos, programas de conservación y seguridad vial, entre otras innovaciones en el desarrollo.

En la región Puno, los organismos responsables de la administración de las carreteras tienen como función primordial la construcción de caminos, midiendo su eficiencia en la longitud de kilómetros construidos y su nivel de intervención, dejando la conservación de carreteras ya construidas a un segundo plano o en el peor de los casos sin ningún plan de intervención en lo referente a su mantenimiento.

La expectativa creada al dotar a los usuarios de una carretera adecuada, se ve frustrada cuando se deteriora en forma prematura o cuando extensas partes de la red vial se degradan hasta llegar a un estado pésimo, entorpeciendo así la conectividad que deben brindar, siendo éste el caso de la carretera Juliaca – Lampa. Si bien las causas difieren en cada caso particular, habitualmente se trata de una combinación de distintos grados de deficiencias en diseño, construcción, conservación y control del tránsito; el resultado es que muchas redes viales se encuentran en una condición muy por debajo de lo que resulta deseable y conveniente.

En nuestra realidad regional y local, diariamente podemos observar múltiples problemas relacionados con el pésimo estado de las carreteras que provocan molestias a los usuarios de esas vías, debido a la falta de políticas viales de los organismos seccionales y nacionales. Esta situación ha llevado a un ciclo vicioso donde una carretera que se construye o rehabilita no tiene mantenimiento, la dejan abandonada y la carretera termina



totalmente deteriorada debiendo ser reconstruida a un costo mucho mayor, situación que se produce sin que la carretera cumpla con su periodo de diseño, problema que podría evitarse si las autoridades realizaran actividades de mantenimiento necesarias y oportunas.

El presente trabajo se ha ejecutado en la carretera Juliaca – Lampa que tiene una longitud de 29.4 km, la cual hasta la fecha no ha tenido un proceso de mejoramiento de su infraestructura, por lo que se aplicó un modelo de gestión vial que coadyuve a mantener la vía en estado óptimo, preservando los recursos invertidos, mejorando los niveles de seguridad, comodidad y rapidez, con un ahorro en los costos de operación vehicular y mantenimiento vial y a su vez promoviendo una regeneración socioeconómica de los sectores rurales de los distritos circundantes.

La falta de un adecuado modelo de gestión vial en la carretera Juliaca – Lampa implicó que la entidad encargada de la administración de esta vía (Provias Nacional) no ejecute actividades de mantenimiento de forma adecuada y oportuna, a ello se suma las condiciones climáticas adversas a lo largo de todo el año que provoca un deterioro prematuro y excesivo de la vía. Estas consecuencias se ven reflejadas en los mayores costos de operación que tienen que enfrentar los usuarios como corolario de un mayor pago en las tarifas y costos de transporte, además del riesgo que en la condición actual representa la seguridad en el viaje.



1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1.- PROBLEMA GENERAL

¿Cómo se debe gestionar la conservación vial, utilizando la herramienta HDM-4 para reducir los costos de mantenimiento vial y operación vehicular en la carretera Juliaca – Lampa?

1.2.2.- PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es la condición funcional y estructural en que se encuentra la carretera Juliaca – Lampa?
- ¿Cuál es la mejor estrategia de mantenimiento para la conservación de la superficie de rodadura de la carretera Juliaca – Lampa?
- ¿En qué medida se reduce los costos de operación vehicular y mantenimiento vial al aplicar la herramienta HDM-4?

1.3.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad actividades como el transporte de insumos y productos, el traslado de personas y el acceso a servicios son fundamentales para el desarrollo de las sociedades. Para que estas acciones puedan desarrollarse adecuadamente es necesario que las carreteras que componen las redes viales presenten un apropiado nivel de serviciabilidad, ya que las vías deben ser seguras y confortables. Para poseer estas características no sólo es necesario desarrollar buenos diseños y procesos constructivos, sino también implementar eficaces planes de mantenimiento y conservación que permitan retardar el deterioro de los caminos y prolongar su vida útil.



La región Puno en toda su extensión cuenta con una variedad de atractivos turísticos, que a su vez es una actividad muy importante para el desarrollo de la región, por lo que es necesario que cuente con carreteras en buen estado de transitabilidad para el acceso a dichos centros.

En tal contexto, la carretera Juliaca – Lampa es una vía importante de desarrollo no sólo porque sirve de acceso a lugares turísticos de la ciudad de Lampa, sino también por su actividad comercial, ya que es la principal vía de ingreso a la provincia de Lampa, por tanto, constituye la principal vía de intercambio comercial con la ciudad de mayor actividad comercial en la región como es Juliaca. Esta carretera desde su construcción en el año 2002 no ha tenido ningún tipo de intervención para la conservación de la infraestructura vial, por lo que durante muchos años estuvo abandonada, descuidada y olvidada. Se verificó que muchos tramos de esta vía presentan baches, agujeros, fisuras y grietas mayores a 6mm, que no han sido tratadas oportunamente y que coadyuvan a que la carpeta de rodadura empiece a deteriorarse aceleradamente, por lo que la transitabilidad de esta carretera ha sido afectada, encontrándose en un estado de regular a malo; ocasionando mayor tiempo de viaje y altos costos de operación vehicular, el cual se refleja en el incremento de tarifas del transporte público; además del malestar de los transportistas que usan diariamente esa vía, dado que acelera el deterioro y descomposición de sus vehículos.

En la región Puno y en general en todo el ámbito del país, la falta de una adecuada gestión vial ha producido que las carreteras tengan un ciclo “fatal” de la vía, que incluye la construcción, su abandono, el deterioro excesivo, colapso y su reconstrucción.

Este ciclo “fatal” de la vía afecta directamente a los usuarios, los cuales ven reflejados los daños de la vía en el aumento de los costos de operación vehicular y de la



misma manera las instituciones administradoras de las redes viales de no actuar en el momento justo y con actividades necesarias, se ven obligadas a futuro a realizar mayores gastos para mantener las vías en niveles de servicio aceptables, llegando a los extremos de realizar una rehabilitación o reconstrucción dependiendo del grado de deterioro de la vía.

En tal contexto, la investigación está orientada a contribuir con aportes significativos dentro del marco de la conservación vial en la región Puno, es por eso que se desarrolló un modelo de gestión de conservación vial, implementado en la carretera Juliaca – Lampa, de tal modo que reduzca costos de mantenimiento vial para optimizar los recursos invertidos y los costos de operación vehicular, mejorando los niveles de servicio, produciendo la reactivación social y económica de los usuarios.

1.4.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1.- OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un modelo de gestión de conservación vial utilizando el programa HDM-4 (modelo de estándares de diseño y mantenimiento de carreteras) para reducir los costos de mantenimiento vial y operación vehicular en la carretera Juliaca – Lampa.

1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la condición funcional y estructural de la carretera Juliaca – Lampa.
- Determinar la mejor estrategia de conservación para una adecuada gestión de conservación vial en la carretera Juliaca – Lampa.



- Establecer los ahorros de los costos de operación vehicular y mantenimiento vial utilizando el HDM-4.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- ANTECEDENTES

2.1.1.- ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

(Rodríguez, 2011) tuvo como objetivo definir un modelo de gestión de conservación vial para reducir costos de mantenimiento y operación vehicular. El estudio se realizó en la vía Riobamba – San Luis - Punín – Flores – Cebadas. La investigación de campo obtuvo información base en referencia al estado actual de la vía; de igual manera se investigó bibliográficamente sobre sistemas de gestión vial, niveles de conservación vial, modalidades de ejecución, costos de operación vehicular, costos de mantenimiento, entre otros. El método empleado para determinar los ahorros en los costos de operación vehicular fue: a) Método de Len Asociados Ingenieros Consultores aplicado en las vías de Chile y b) Metodología del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia. Los resultados obtenidos fueron que al realizar las acciones de mantenimiento rutinario y periódico, los costos vehiculares se reducen en relación a una vía sin mantenimiento y en condiciones pésimas. Concluye que se gastaría tres veces más si se llega al punto de deterioro severo, en relación a mantener las vías en condiciones de operación óptima.

(Pérez, 2013) tuvo como objetivo principal dar a conocer el HDM-4, debido a que en Guatemala se conoce muy poco sobre gestión de pavimentos. Concluye indicando que debido al complejo sistema del HDM-4 es necesario definir un procedimiento de calibración antes de utilizar completamente el sistema para obtener un modelo de predicción ajustado que ofrezca estimaciones realistas y confiables para establecer planes



de conservación vial que tiendan a optimizar los recursos disponibles y minimizar los costos de operación de la carretera; además, la evaluación económica se determina por indicadores de rentabilidad como la TIR, VAN y B/C.

(Calles, 2016) en su investigación realizada en la Red Vial Rural del Cantón Pastaza – Ecuador, concluye que el mantenimiento vial es una medida adoptada para evitar el deterioro prematuro de una vía, pero éste no debe efectuarse en cualquier momento sino debe ser una acción sostenida en el tiempo, garantizando un mayor tiempo de vida útil y reduciendo la inversión. Generalmente las instituciones encargadas de la conservación vial, cuentan con una baja asignación presupuestaria para realizar estos trabajos, por lo que únicamente se encargan de arreglar fallas de emergencia o graves, lo que ocasiona atraso en las obras de mantenimiento, incurriendo en la necesidad de rehabilitar totalmente las vías con mayores costos de inversión.

2.1.2.- ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

(Canales, 2014) registra una investigación donde tuvo como objetivo principal mostrar las diferencias en la estimación de costos (de operación vehicular y de tiempo de viaje) y su repercusión en la evaluación para la toma de decisión de inversiones en proyectos de vialidad interurbana que surgen por la aplicación indistinta de estas herramientas. La muestra en el que se investigó fue el proyecto: Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Huaura – Sayán – Churín, en el departamento de Lima. Efectuando el análisis se llegó a la conclusión de que la diferencia entre los modelos HDM-III y HDM-4 puede enfocarse desde dos perspectivas, para la agencia que elabora los proyectos, le conviene que sus proyectos sean lo más rentables posibles o por lo menos que así se vean, por lo tanto si tuviera la opción de elegir un modelo se inclinaría por el HDM-III, en cambio para la agencia evaluadora de proyectos, quien debe velar por la



correcta evaluación y estimación real de beneficios para la sociedad se inclinaría por utilizar HDM-4, concedores además de las ventajas de esta última versión. Sin embargo, las diferencias no se tienen claras ni se han demostrado en la práctica por estos factores, por lo tanto, a la fecha se tiene indiferencia en usar uno u otro modelo. Otro factor que predomina en seguir con la versión HDM-III es que el acceso al software es más abierto que el HDM-4, como también son más los usuarios que se han familiarizado con su uso durante los años que tiene vigencia la normatividad de evaluación de proyectos en el país.

(Zarate, 2016) en su trabajo de investigación propone un modelo de gestión de conservación vial, para reducir los costos de mantenimiento vial y operación vehicular. La muestra con en el que se desarrolló la investigación fue el Camino Vecinal Raypa-Huanchay-Molino, distrito de Culebras-Huarmey. el tipo de investigación empleado fue descriptivo. El método empleado para determinar los ahorros en los costos de operación vehicular fue: a) Método de Len Asociados Ingenieros Consultores, aplicado en las vías de Chile, y b) Metodología del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia. Concluye que el conservar una vía, en condiciones óptimas, mediante intervenciones con acciones de mantenimiento rutinario y periódico representa para las instituciones administradoras de redes viales un ahorro significativo, comparando con vías a las cuales no se las ha mantenido y las han abandonado hasta el punto de deterioros severos, los cuales sólo se pueden corregir con la reconstrucción, mejoramiento o rehabilitación integral de la vía. La relación de acuerdo al estudio es de 9 a 1.

(Baltodano, 2017) en su tesis propone un modelo de gestión de conservación vial sostenible para reducir los costos de mantenimiento vial en la carretera desvío Salaverry - Santa. El método utilizado fue descriptivo, en la etapa de campo se recolectó información primordial que ayudó a obtener información del estado actual de la vía.



Asímismo se evaluó el inventario vial, para posteriormente analizar, evaluar y diagnosticar; complementario a ello, recopiló información de los contratos de gestión y conservación vial por niveles de servicio y de los informes de mantenimiento vial, donde se recogió información histórica de los estudios ejecutados y las intervenciones realizadas. Concluye que con el modelo aplicable de conservación vial, se dará un mantenimiento oportuno y programado, que ayudará a mantener los estándares funcionales proporcionando una vida útil de acuerdo al periodo de diseño. Se asegura una vía en condiciones óptimas, que cubrirá las necesidades de los usuarios en lo referente a la seguridad, rapidez y comodidad, incrementando un mayor desarrollo de la región tanto social, económico y turístico, dinamizando los viajes y por ende la economía de las poblaciones beneficiadas.

2.1.3.- ANTECEDENTES REGIONALES

(Tapara, 2015) en su tesis de licenciatura, tuvo como objetivo evaluar económicamente mediante el modelo HDM-III el estudio de factibilidad de la carretera Ocuvi - Laguna calera. El tipo de investigación empleada fue de carácter exploratorio y descriptivo y el método aplicado fue lógico -inductivo. Concluye que la aplicación del modelo HDM-III es de excelencia para la práctica cuantificada de selección de la mejor alternativa económica y técnica de un proyecto de factibilidad. Se realizó el estudio mediante el modelo HDM-III, comparando índices para elegir adecuadamente la alternativa correcta.



2.2.- BASES TEÓRICAS

2.2.1.- GESTIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL

Según el Decreto Supremo N° 034-2008-MTC (2008), la gestión de la infraestructura vial de carreteras es la acción de administrar la infraestructura vial del Sistema Nacional de Carreteras, a través de funciones de planeamiento, ejecución, mantenimiento y operación, incluyendo aquellas relacionadas con la preservación de la integridad física del derecho de vía.

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

La moderna concepción de gestión vial señala que esta consiste en la conducción proactiva del organismo vial hacia el logro de metas y objetivos de largo alcance que son fijados con anticipación, implicando el desarrollo de algún tipo de planificación para lograr un mejor uso de los recursos, la adopción de acciones de carácter preventivo que eviten el deterioro de las vías y desde luego, la generación de capacidades para la toma de decisiones en el momento oportuno. (Salomón, 2003, p.3)

2.2.1.1.- *Objetivos de la gestión vial*

El objetivo de todo organismo responsable de la gestión vial, es establecer una red de caminos técnica, financiera y ambientalmente sostenible que ofrezca a sus usuarios confiabilidad, seguridad y transitabilidad en todas las épocas del año.



Son objetivos específicos de los organismos responsables de la gestión vial:

- Construir, rehabilitar y mantener adecuadamente la red de caminos de su competencia.
- Preservar el capital invertido en la construcción y rehabilitación de carreteras, mediante el desarrollo de adecuadas políticas y acciones de conservación vial.
- Mejorar las carreteras y puentes que se encuentran en condición inadecuada, mediante el desarrollo de proyectos de mejoramiento y rehabilitación.
- Expandir la red vial de su competencia, tomando en cuenta los intereses y deseos de la población.
- Cuidar el parque automotor en razón de que el buen estado de las carreteras reduce los costos de operación de los vehículos y permite abaratar las tarifas del transporte en beneficio de los usuarios.” (Salomón, 2003, p.6)

2.2.1.2.- Competencias viales de los organismos descentralizados de gobierno

Las autoridades competentes encargadas de la administración de la infraestructura vial son las siguientes;

- a) El gobierno nacional a través del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a cargo de la gestión de la infraestructura de la red vial nacional.
- b) Los gobiernos regionales, a cargo de la gestión de la infraestructura de la red vial departamental o regional.
- c) Los gobiernos locales a través de las municipalidades provinciales, a cargo de la gestión de la infraestructura de la red vial vecinal o rural.

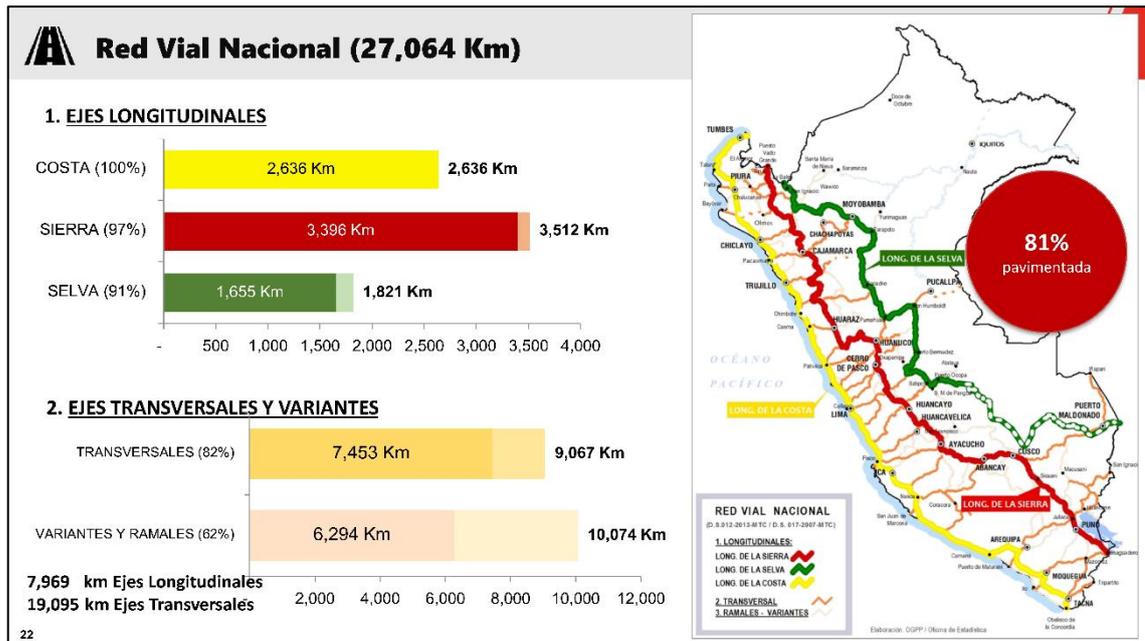


Figura 1. Estado de la red vial en el Perú

Fuente: Ponencia del director ejecutivo de Provias Nacional Carlos Lozada Contreras (2019).

2.2.1.3.- Fases de la gestión

Las fases de la gestión de la infraestructura vial de acuerdo al Decreto Supremo N° 034-2008-MTC son las siguientes:

- Planeamiento
- Estudios de pre-inversión
- Estudios definitivos
- Obras viales
- Mantenimiento o conservación vial
- Operación

2.2.2.- CONSERVACIÓN VIAL

Según el Diccionario de la Real Academia Española (2019) define a la conservación como la acción y efecto de conservar, en tanto que conservar es mantener una cosa o cuidar de su permanencia.



La conservación vial es el conjunto de actividades técnicas, de naturaleza periódica o rutinaria, que deben realizar los organismos responsables de la gestión vial para cuidar las vías y mantenerlas en estado óptimo de operación.

Entonces, conservación vial es “el conjunto de operaciones necesarias para la preservación o mantenimiento de una carretera y de cada uno de sus elementos componentes y complementarios en las mejores condiciones para el tráfico, compatibles con las características geométricas, capa de rodadura que tuvo cuando fue construida o al estado último a que ha llegado después de las posibles mejoras que haya recibido a lo largo del tiempo” (Provías Nacional, 2016)

“La conservación vial es el conjunto de actividades que se realizan para mantener en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen la vía y de esta manera, garantizar que el tránsito sea cómodo, seguro, fluido y económico.”(R.D. N° 051-2007-MTC). En la práctica, lo que se busca es preservar el capital ya invertido en la construcción de la infraestructura vial, evitar su deterioro físico prematuro y sobretodo, mantener la vía en condiciones operativas adecuadas a las necesidades y demandas de los usuarios.

“La conservación vial puede definirse como el conjunto de actividades de obras de ingeniería vial, que requieren realizarse de forma inmediata cada vez que se detecta un deterioro del camino y que debe ser subsanado en el mínimo tiempo de ejecución desde el momento en que es detectado” (R.D. N° 17-2013-MTC)

En algunos países latinoamericanos han adoptado políticas nacionales para sostener una conservación vial de carácter preventivo y han generado niveles de organización adecuados para la gestión vial con éxito. El mantener los caminos en niveles



óptimos de circulación vehicular durante todas las épocas del año, ha permitido crear una conciencia nacional acerca de la importancia de la conservación, logrando un ahorro en los costos de operación vehicular y de mantenimiento.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Ministerial N°817-2006-MTC/09 de fecha 07 de noviembre del 2006, aprobó la Política Nacional del sector transporte. Es de destacar que esta nueva política da especial importancia a la conservación vial, pues define que se atienda de manera prioritaria y efectiva la infraestructura de transportes y su desarrollo de acuerdo con la demanda de accesibilidad.

2.2.2.1.- Objetivos de la conservación vial

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) sostiene que “con el propósito de desarrollar la política de conservación vial establecida por el Gobierno Regional se definen los siguientes objetivos de mantenimiento con el fin de asegurar la calidad del servicio vial:

- Proteger y preservar el patrimonio vial.
- Ofrecer una transitabilidad segura e ininterrumpida.
- Brindar confort y seguridad a los usuarios.
- Optimizar costos de intervenciones futuras.
- Evitar deterioro de la infraestructura por incumplimientos normativos”.

2.2.2.2.- Importancia de la conservación vial

La conservación de los caminos es importante porque permite:

- Que el camino se encuentre permanentemente en buen estado.
- Ahorros en los costos de operación de vehículos.

- Acceso permanente a servicios (salud, educación, etc.).
- Ahorro de tiempo para los usuarios.
- Se preserva la inversión efectuada en la construcción, reconstrucción o rehabilitación. (Menéndez, 2003. p.3)

2.2.2.3.- Cambio conceptual para lograr una efectiva conservación vial

Desde el punto de vista técnico-económico, lo que se propone conceptualmente para efectuar una atención adecuada de la infraestructura de carretera es propender por la aplicación de una cultura que privilegie la actuación con criterio preventivo, es decir, realizar intervenciones viales rutinarias con el propósito de evitar que se produzca su deterioro prematuro y efectuar intervenciones periódicas para recuperar las condiciones viales afectadas por el uso de las vías. (R.D. N° 051-2007-MTC/14.)

Esto significa en la práctica actuar permanentemente para mantener siempre limpias las obras de drenaje, sellar las fisuras cuando aparezcan, limpiar los cauces para conservar la capacidad hidráulica de las obras, estabilizar y proteger los taludes, reponer periódicamente los afirmados y colocar refuerzos en las capas asfálticas, entre otras.



Figura 2. Cambio hacia una cultura preventiva en el mantenimiento vial

Fuente: Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras-MTC, (2007).



En la Figura 2 se observa la implicancia de “un cambio en la cultura organizacional de las entidades viales. Es un cambio del concepto tradicional de trabajo de actuar para reparar lo dañado por el concepto de actuar para evitar que se dañe.” (R.D. N° 051-2007-MTC/14)

2.2.3.- CICLO VIAL

Los caminos sufren un proceso de deterioro permanente debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos, tales como el agua, el tráfico, la gravedad en taludes, etc. Estos elementos afectan la carretera, en mayor o menor medida, pero su acción es permanente y termina deteriorándola a tal punto que lo puede convertir en intransitable.

2.2.3.1.- *Ciclo de vida fatal*

El deterioro de un camino es un proceso que tiene diferentes etapas, desde una etapa inicial con un deterioro lento y poco visible, pasando luego por una etapa crítica donde su estado deja de ser bueno, para deteriorarse rápidamente al punto de la descomposición total.

Por tanto, el mantenimiento no es una acción que puede efectuarse en cualquier momento, sino más bien es una acción sostenida en el tiempo orientada a prevenir los efectos de los agentes que actúan sobre el camino, extendiendo el mayor tiempo posible su vida útil y reduciendo las inversiones a largo plazo. (Menéndez, 2003. p.4)

Se ha observado que, en la práctica, las entidades encargadas de la conservación vial sólo se dedican a arreglar las fallas de emergencia o las más graves o visibles en base a sus asignaciones presupuestales que siempre son insuficientes. Este sistema de trabajo conduce rápidamente a la acumulación de obras atrasadas a mediano plazo, a la necesidad

de rehabilitar o reconstruir totalmente las vías, incurriendo en mayores costos y contribuyendo a mantener a los países en su condición de subdesarrollados.

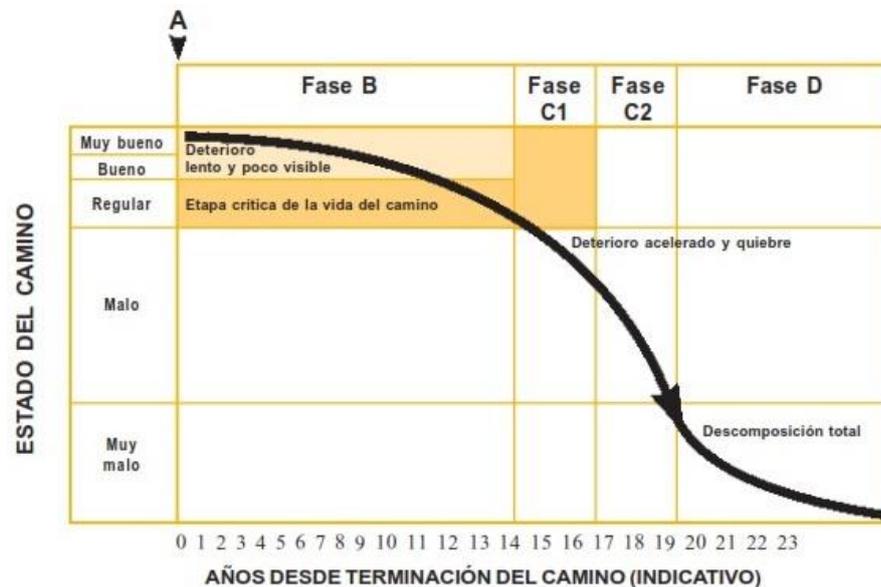


Figura 3. Condición de la vía sin mantenimiento

Fuente: Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas – Manual técnico (José Rafael Menéndez, 2003).

Medica & De la Cruz (2017) “El ciclo de vida del pavimento sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, se puede representar mediante una curva de comportamiento, la cual es una representación histórica de la calidad del pavimento”. Dicha curva evidencia cuatro etapas:

Fase A: Construcción. - La carretera se encuentra, en ese momento, en excelentes condiciones para satisfacer plenamente las necesidades de los usuarios.

Fase B: Deterioro lento y poco visible. - Durante un cierto número de años, la carretera va experimentando un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodadura, aunque en menor grado en el resto de su estructura. Este desgaste se produce en proporción al número de vehículos livianos y pesados que circulan por él, aunque por la influencia del clima, del agua de las lluvias o



aguas superficiales y otros factores. Por otro lado, la velocidad del desgaste depende también de la calidad de la construcción inicial.

Fase C: Deterioro acelerado. - Después de varios años de uso, la superficie de rodadura y otros elementos de la vía están cada vez más “agotadas”, la carretera entra en un período de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito vehicular (Figura 4). Al inicio de esta fase, la estructura básica del camino aún sigue intacta y la percepción de los usuarios es que el camino se mantiene bastante sólido, sin embargo, no es así.

Avanzando más en la fase C, se puede observar cada vez más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura básica, lo cual lamentablemente no es visible. Los daños comienzan siendo puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte de la vía.

Fase D: Descomposición total. - La descomposición total de la carretera constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años. Durante este período el paso de los vehículos se dificulta seriamente, la velocidad de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida a sólo una fracción de la original. Los vehículos comienzan a experimentar daños en los neumáticos, ejes, amortiguadores y chasis. En general, los costos de operación de los vehículos suben de manera considerable y la cantidad de accidentes graves también aumenta. Los automóviles ya no pueden circular y sólo transitan algunos camiones y vehículos especiales.

Desgraciadamente en nuestra región existen muchos ejemplos “perfectos” de vías que han llegado a esta fase de descomposición, encontrándose con el deterioro total de las carreteras. Su reconstrucción viene demandando la inversión de millones de soles, este

gasto sin embargo pudo haberse evitado si se hubiera intervenido oportunamente en el proceso de mantenimiento.

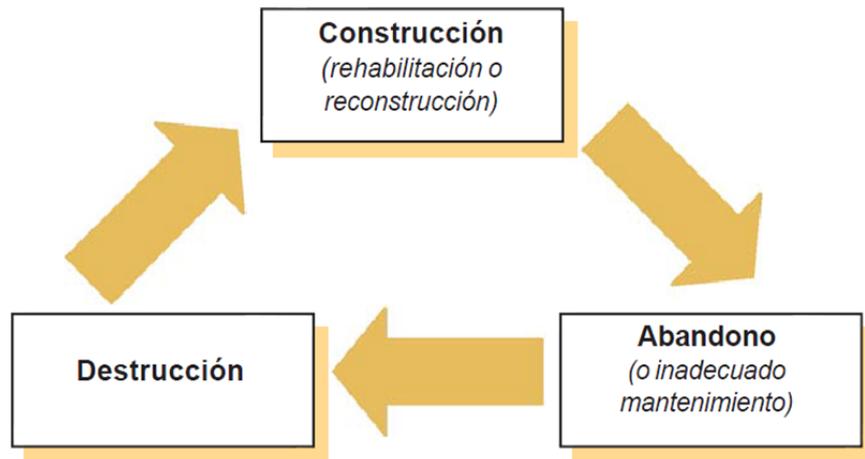


Figura 4. Diagrama del ciclo “fatal” del camino

Fuente: Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas (Emilio Salomón, 2003).

Emilio Salomón (2003) indica: “si no se efectúan los trabajos de mantenimiento rutinario y preventivo, la vida útil del camino se reduce sustancialmente”.

2.2.3.2.- Ciclo de vida deseable

La aplicación de un sistema de mantenimiento adecuado en una carretera puede llegar a mantener el camino dentro de un rango de deterioro aceptable, tal como se aprecia en la Figura 5.

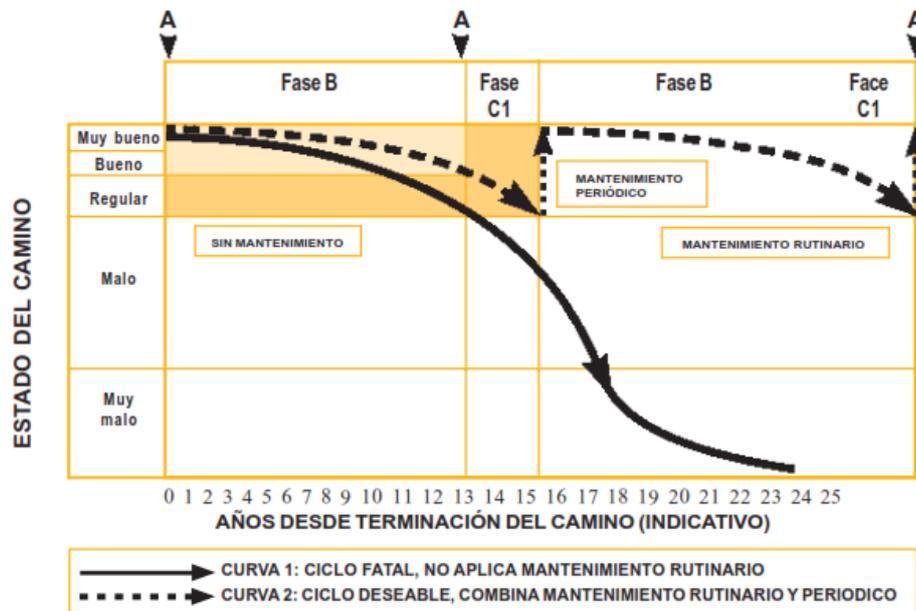


Figura 5. Condición de la vía con y sin mantenimiento.

Fuente: Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas (José Rafael Menéndez, 2003).

El ciclo se inicia con un camino nuevo o recientemente rehabilitado, éste se encontrará en un estado óptimo de servicio. Pero el uso del camino va generando un desgaste “natural” del mismo, principalmente como consecuencia del flujo vehicular y de los factores climáticos. Si la autoridad competente desarrolla un sistema de mantenimiento rutinario del camino, éste desgaste tenderá a ser más lento y prolongará en el tiempo la necesidad de intervenir con un mantenimiento de tipo periódico.

“... el mantenimiento rutinario prolonga el estado de conservación del camino en el nivel muy bueno y bueno por más tiempo, en comparación con el caso del camino al que no se le brinda este tipo de mantenimiento.” (Menéndez, 2003, p.8)

El estado de conservación de muy bueno a regular en un camino no mantenido puede prolongarse por un período aproximado de dos a tres años, mientras que con el mantenimiento rutinario éste período se puede prolongar hasta unos cuatro a cinco años. Cuando el camino llega a un estado regular, es decir cuando la superficie de rodamiento ha perdido la capa de grava y empieza a mostrar la estructura de base del camino (punto

al que comúnmente se le denomina “encalaminado”), se hace necesario realizar un mantenimiento de tipo periódico, es decir reponer la capa de grava (Zarate, 2016, p.22)

De esta manera, se consigue que el camino se mantenga en un estado óptimo de conservación, con los beneficios consiguientes para el transporte: menores tiempos de circulación, ahorro en combustible y repuestos de los vehículos, menores costos de operación y tarifas más baratas del transporte de carga y pasajeros, acceso a vehículos livianos, mayor acceso de la población a los mercados y servicios, etc. Así Menéndez (2003) afirma, “un camino no mantenido, después del segundo año empieza a dar dificultades para el transporte: mayores tiempos de circulación, mayor consumo de combustible y repuestos, mayores costos de operación del transporte, acceso sólo a vehículos pesados, tarifas más altas del transporte, menor acceso de la población a los mercados y servicios, etc”.

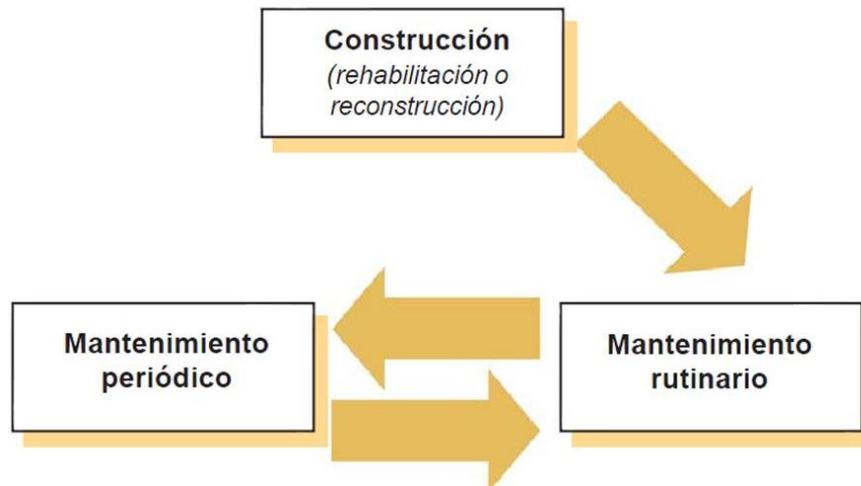


Figura 6. Diagrama del ciclo deseable de la conservación vial

Fuente: Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas – Guía conceptual (Emilio Salomón, 2003).

2.2.3.3.- Ciclo de vida fatal y deseable de una carretera

El siguiente diagrama de flujo del proceso (Figura 7), sigue un camino sin mantenimiento y otro con mantenimiento, en el que podemos apreciar que la falta de

mantenimiento permanente conduce inevitablemente al deterioro total del camino, mientras que la atención constante del mismo mediante el mantenimiento rutinario, sólo requiere, cada cierto tiempo, trabajos de mantenimiento periódico.

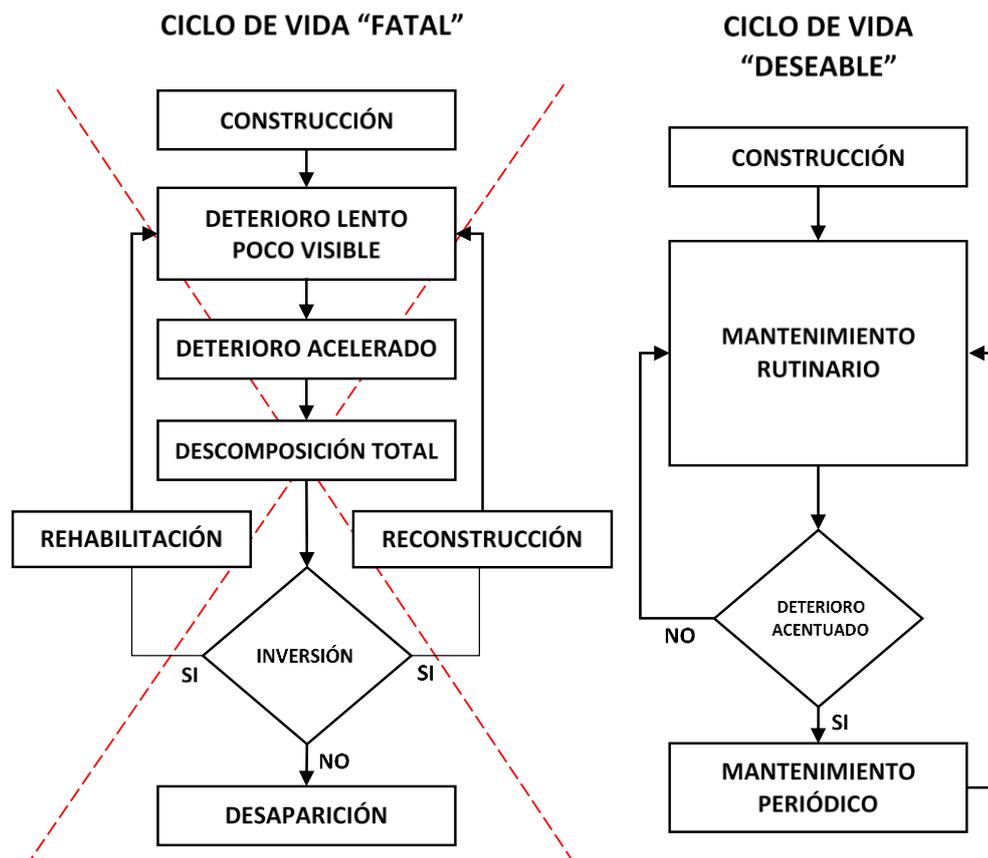


Figura 7. Diagrama de flujo del ciclo de vida “fatal” y “deseable”

Fuente: Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas – Manual técnico (José Rafael Menéndez, 2003).

2.2.4.- TIPOS DE CONSERVACIÓN VIAL

2.2.4.1.- *Mantenimiento rutinario*

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones R.D. N° 051-2007-MTC/14 el mantenimiento rutinario es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente y se constituyen en acciones que se realizan diariamente en los



diferentes tramos de la vía. Este mantenimiento tiene como finalidad principal la preservación de todos los elementos viales con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y en lo posible, conservando las condiciones que tenían después de la construcción o de la rehabilitación. Además, debe tener el carácter de preventiva y se incluyen en ella las actividades de limpieza de la calzada y de las obras de drenaje, el corte de la vegetación de la zona del derecho de vía y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras. (p.20)

Las actividades en general, consideradas como mantenimiento rutinario son:

- Limpieza de calzada y pequeños derrumbes.
- Reparación localizada de pequeños defectos en la superficie de rodadura.
- Mantenimiento de los sistemas de drenaje.
- Control de la vegetación y mantenimiento de señalización.

2.2.4.2.- *Mantenimiento periódico*

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones R.D. N° 051-2007-MTC/14 lo define como el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, de preservar las características superficiales, de conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores. Ejemplos de esta conservación son la colocación de capas de refuerzo o recapeados en pavimentos asfálticos, la reposición de afirmados y la reconformación de la plataforma existente en vías afirmadas, el recubrimiento de vías no pavimentadas con tratamiento bituminoso, y las reparaciones de los diferentes elementos físicos del camino.



Las actividades contenidas dentro de los trabajos de mantenimiento periódico pueden ser agrupadas de la siguiente manera:

- Restablecimiento de las características de la superficie de rodadura.
- Reparación de obras de arte.
- Reparación del sistema de drenaje.

2.2.4.3.- Reparaciones de emergencia

Este concepto se maneja con una doble connotación, de una parte se refiere a la atención de emergencias como consecuencia de desastres naturales, mediante la cual se procura devolver a los caminos su transitabilidad en los plazos más cortos posibles para asegurar el flujo de pasajeros y productos, mientras que de otra parte se refiere a las actividades que se realizan con el propósito de devolverle al camino la mínima transitabilidad cuando está en mal estado de conservación o incluso intransitable, como consecuencia de un descuido prolongado. Mediante una reparación de emergencia no se remedian las fallas estructurales, pero se hace posible un flujo vehicular regular por un tiempo limitado, generalmente las reparaciones de emergencia dejan el camino en estado regular (Salomón, 2003, p.12).

De acuerdo al Manual de conservación vial aprobada por R.D. N° 17-2013-MTC/14 las emergencias viales no son parte de la conservación vial. La emergencia vial no es programable y requiere de recursos adicionales.

2.2.5.- TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN

Estas actividades van desde un sellado de fisuras hasta un reciclado en todo su espesor. Cada uno de éstos se ejecutan en función a la experiencia e innovación



constructiva y la gestión de pavimentos aplicada al monitoreo e inspección del comportamiento de estas actividades frente a las condiciones en las que se ejecutan.

2.2.5.1.- Sellado de fisuras y grietas

“Esta actividad es utilizada para minimizar la infiltración del material incompresible y de agua a través de las fisuras, para prevenir efectos como bombeo o tensiones que pueden llegar a modificar el perfil de la carretera” (Montoya, 2007, p.201).

Según la R.D. N° 17-2013-MTC/14 el sello de fisuras (aberturas iguales o menores a 3mm) y de grietas (aberturas mayores a 3mm), consiste en la colocación de materiales especiales sobre o dentro de las fisuras o en realizar el relleno con materiales especiales dentro de las grietas. El objetivo del sello de fisuras y de grietas es impedir la entrada de agua y de materiales incompresibles como piedras o materiales duros dentro de ellas y de esta manera minimizar y/o retardar la formación de agrietamientos más severos como los de piel de cocodrilo y la posterior aparición de baches.

2.2.5.2.- Parchado

De acuerdo a la R.D. N° 17-2013-MTC/14 el parchado consiste en la reparación de baches, entendidos éstos como las desintegraciones parciales del pavimento en forma de hueco, generalmente tiene su origen en mezclas mal dosificadas o con compactación insuficiente. Esta actividad de parchado es una de las más difundidas técnicamente en la conservación de pavimentos flexibles, siendo el objetivo del parchado recuperar las condiciones para una adecuada circulación vehicular con seguridad, rapidez y economía, además de minimizar y/o retardar la formación de daños más severos en el pavimento.



2.2.5.3.- Tratamientos superficiales

Los tratamientos superficiales es un término amplio que abarca la aplicación sobre cualquier tipo de calzada de materiales asfálticos, cubiertos o no con agregados pétreos cuyo espesor final es por lo común inferior a 25 mm.

Un tratamiento superficial por sí mismo no agrega capacidad estructural al pavimento, básicamente brinda una cubierta impermeable a la superficie existente de la calzada y resistencia a la acción abrasiva del tránsito. Los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de los caminos, cada uno tiene uno o más propósitos esenciales. La siguiente es una clasificación de acuerdo a su aplicación:

A. Tratamientos superficiales simples. - Consiste en una aplicación de asfalto cubierto inmediatamente por una capa única de agregado pétreo tan uniforme como sea posible. El espesor del tratamiento se aproxima al tamaño nominal máximo de las partículas del agregado pétreo usado en el mismo.

B. Tratamientos superficiales múltiples. - Proveen una superficie de rodadura y una capa impermeabilizante más densa que en un tratamiento superficial simple, consiste en dos a más aplicaciones alternadas de asfalto y agregado. El tamaño máximo del agregado de cada distribución sucesiva es usualmente la mitad del de la capa precedente, pero el espesor total es aproximadamente el tamaño máximo nominal de las partículas del agregado de la primera capa.

Un tratamiento superficial múltiple puede obtenerse con una serie de tratamientos simples que produzcan un recubrimiento de espesor no mayor a 25 mm.

C. Fog Seal. - Consiste en una aplicación muy ligera de emulsión diluida de rotura lenta. Se emplea para renovar viejos pavimentos asfálticos y cerrar



pequeñas grietas y huecos superficiales. Son especialmente útiles para pavimentos sometidos a un volumen de tránsito ligero.

También puede emplearse con el objeto de sellar huecos superficiales de mezclas asfálticas nuevas hechas en planta y evitar la producción de polvo en los tratamientos superficiales después de distribuido el agregado pétreo en zonas densamente pobladas, mejorando la retención de las partículas y dando al conjunto un color oscuro uniforme.

D. Lechadas Asfálticas. - Es una mezcla de agregado fino bien graduado, material de relleno (filler) y en caso de ser necesario una emulsión asfáltica y agua distribuida sobre un pavimento como tratamiento superficial. Es usado en el mantenimiento correctivo y preventivo de calzadas asfálticas. No aumenta la resistencia estructural del pavimento. (Montoya, 2007, p.202)

2.2.5.4.- Recapados asfálticos

El objetivo de la colocación de recapados asfálticos es recuperar las condiciones estructurales y superficiales del pavimento. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la R.D. N° 17-2013-MTC/14 señaló (...) consiste en la puesta de una sobrecapa de mezcla asfáltica en caliente sobre el pavimento flexible existente (...)"

2.2.5.5.- Fresado de carpeta asfáltica

Este trabajo consiste en la obtención de un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento existente, mediante el corte en frío parcial o total de las capas asfálticas, con un equipo especialmente diseñado para el tipo de trabajo y realizándolo según los alineamientos, cotas y espesores indicados en los documentos del proyecto y las instrucciones del supervisor.



“Su uso es muy conveniente para alisar superficies deformadas, remover elevaciones y corrugaciones o reducir el ahuellamiento antes de la ejecución de otras acciones (...)” (Choque Palacios, 2019, p. 35)

2.2.5.6.- Reciclado de pavimento

Se entiende por reciclado a la reutilización de materiales que conforman parte de las capas de un pavimento existente, mediante procesos especiales, con la finalidad de mejorar sus propiedades y reincorporarlos a la estructura. El reciclado puede ejecutarse en frío o en caliente. En ambos casos puede hacerse en obra o transportando el material a una planta donde es procesado, bien en caliente o en frío. El reciclado en frío presenta las siguientes opciones: con cemento, emulsión asfáltica, asfalto espumado y por medio de la combinación de estos. Este reciclado se emplea para corregir pavimentos que presenten agrietamientos y deformaciones debidos a insuficiencias estructurales.

2.2.6.- MODALIDADES DE CONSERVACIÓN VIAL EN EL PERÚ

Las modalidades de contrato para la ejecución de conservación vial utilizadas a nivel institucional en el país son las siguientes:

Tabla 1: Modalidades empleadas para el mantenimiento vial

Modalidad	Objeto de Contrato	Plazo inicial del contrato
Administración Directa	Administrar en forma directa la conservación vial, utilizando recursos, personal, maquinaria de la propia institución.	1 año
Mantenimiento rutinario con microempresas	Suministro de mano de obra y herramienta menor para ejecutar actividades de mantenimiento rutinario en un sector de carretera, durante un periodo fijo, a cambio de una determinada remuneración por kilómetro atendido.	1 año
Mantenimiento periódico por precios unitarios	Ejecución de trabajos de mantenimiento periódico en un sector de carretera, a precios unitarios en la cantidad y plazo definidos en el contrato.	Generalmente menor de 1 año
Mantenimiento integral	Ejecución de obras de mantenimiento periódico y atención de emergencias, pagadas por precio unitario. Actividades de administración y de mantenimiento rutinario que se pagan por cuotas mensuales fijas durante el desarrollo del contrato.	2 años
Mantenimiento por niveles de servicio	Atención completa de la conservación de un sector de carretera para que siempre permanezca dentro de rangos de estado preestablecidos para cada uno de los elementos que componen el sector, a cambio de un determinado precio mensual.	2 años
Concesión vial	Contrato a largo término entre el Estado y un concesionario que asume la responsabilidad del financiamiento, construcción y mantenimiento de una carretera y su operación por peaje, a través del cual recupera parcial o totalmente la deuda y el capital de riesgo invertido en el proyecto.	15 o más años

Fuente: Manual de inventarios viales. Perú (2015).

2.2.7.- CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO

La gestión de conservación de carreteras en el Perú, comenzó a ser medida por niveles de servicio por primera vez hace 18 años, a través de las concesiones viales. A partir del año 2007 como parte de la estrategia del Ministerio de Transportes y Comunicaciones se vienen entregando contratos de conservación de carreteras por niveles de servicio, que representan un cambio fundamental en la gestión de conservación vial



nacional, lo cual ha hecho que tome mayor relevancia el contar con parámetros de medición acordes a las necesidades de los usuarios y realidad de nuestro país.

2.2.7.1.- Niveles de servicio

Normalmente en el ámbito de la ingeniería vial, se conoce el nivel de servicio como un indicador de volumen de tránsito y capacidad de las carreteras. Sin embargo, también desde inicio de la década de los años 90 es un indicador de desempeño en la gestión de la conservación de carreteras. Un nivel de servicio de conservación vial se puede resumir como un indicador de la calidad de la carretera. (Academia, 2016, p. 1)

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú mediante R.D. N° 005-22016-MTC/14 define textualmente:

(...) Indicadores que califican y cuantifican el estado del servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales puede evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad. Los niveles de servicio son propios de cada vía y contrato, varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario y rentabilidad de los recursos disponibles.

En resumen, se puede señalar que un nivel de servicio es un parámetro que permite medir el grado de calidad y de desempeño de la gestión de conservación de una carretera, buscando compatibilizarla con la percepción de calidad de servicio que tiene el usuario.

2.2.7.2.- Principales parámetros de medición de un nivel de servicio

Los principales indicadores o parámetros de medición de niveles de servicio se encuentran agrupados en las siguientes categorías:



- Niveles de servicio de pavimento
- Niveles de servicio seguridad vial
- Niveles de servicio de puentes
- Niveles de Servicio de drenaje
- Niveles de servicio de la franja de derecho de vía

El parámetro de mayor relevancia y reconocimiento a nivel mundial es el IRI (Índice Internacional de Rugosidad), ya que es el mejor indicador de la calidad funcional de una carretera. “Otros indicadores muy conocidos para la calzada, son la cantidad de baches, el grado de agrietamiento, grado de ahuellamientos, etc. En seguridad vial, normalmente se mide la visibilidad diurna y nocturna a través de parámetros como la retro-reflectividad, el color, la luminancia y el contraste” (Academia, 2016, p. 2).

2.2.8.- EVALUACIÓN TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA VIAL

2.2.8.1.- *Definición de infraestructura vial*

Durante muchos años se tuvo un concepto equivocado de infraestructura vial, ya que solo se tomaban en cuenta aquellos elementos que inducían directamente sobre la operación de la vía; sin embargo, a medida que pasa el tiempo se han ido agregando otros aspectos que si bien no afectan la operación directa de los usuarios, sí lo hacen sobre el entorno. (De Solminihac, 2018)

Por lo tanto, se puede decir que se llama infraestructura vial a todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando las externalidades tanto al medioambiente como a su entorno. Esto incluye los pavimentos y sus características, puentes, túneles, dispositivos de seguridad, señalización, entorno, medio ambiente, impacto en general, etc. Cada uno



de los elementos mencionados anteriormente cumplen una función específica y única que lo hace indispensable dentro del buen funcionamiento de infraestructura.

2.2.8.2.- *Inventario vial*

El inventario y evaluación vial para la conservación es un procedimiento para identificar, cuantificar y evaluar la condición de todos aquellos elementos de la carretera que requieren conservación o deben ser atendidos mediante un programa anual. “El inventario y evaluación debe ser ejecutado periódicamente, para obtener la información necesaria para programar las actividades de conservación vial que se realizarán durante el siguiente periodo y determinar el nivel de presupuesto requerido por los administradores de la conservación vial.” (Rodríguez, 2011, p. 17)

Dado que, un sistema de gestión de infraestructura vial es el desarrollo de un conjunto de actividades que comprende la planificación, diseño, construcción, conservación, evaluación e investigación de todos los elementos que la constituyen, es importante establecer una metodología para su evaluación continua, de ahí que sea indispensable contar con un inventario vial que sirva de guía para la toma de decisiones en el proceso de planificación de carreteras (Tabla 2). “El Inventario vial es el conjunto de documentos oficiales de información técnica recopilados y sistematizados de los datos obtenidos en las mediciones de campo en los cuales se identifican y registran las características y estado de las vías que forman el Sistema Nacional de Carreteras” (MTC, 2015, p. 7)



Tabla 2: Elementos para el inventario y evaluación vial

ELEMENTOS VIALES A INVENTARIAR Y EVALUAR				
CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA				
Tramos viales	T1	T2	T3	T4
Abscisa final				
Longitud de tramo (Km)				
Topografía				
Pendientes longitudinales				
Derrumbes				
Canteras				
Tipo de materiales de cantera				
Fuente de agua				
PAVIMENTO				
Longitud del tramo				
Ancho de calzada (metros)				
Espaldones a cada lado (metros)				
Ancho total calzada y espaldones				
Bombeo				
Capa de rodamiento				
Estructura del pavimento (cm)				
Defectos en la vía (% del total)				
Señalización horizontal				
Señalización vertical				
DRENAJE				
Cunetas				
Tipo				
Estado				
Zanjas de coronación				
Tipo				
Estado				
Alcantarillas				
Tipo				
Material				
OBRAS DE ARTE Y SEGURIDAD				
Puentes				
Muros de contención				
Elementos de seguridad				

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



2.2.8.3.- *Solicitaciones de tránsito*

El tránsito es un factor de primera importancia a la hora de determinar o predecir el daño en el tiempo que sufrirá un pavimento en un período dado. Se puede apreciar que el volumen de vehículos ha crecido en forma importante en los últimos años, pero ese aumento ha sido aún mayor si lo vemos en términos de la carga que se transporta, esta situación tiene una implicancia significativa en el comportamiento de los pavimentos. “Las cargas de los vehículos son transmitidas al pavimento mediante dispositivos de apoyo multiruedas para distribuir la carga total sobre una superficie mayor. Esto tiene efecto de reducir las tensiones y deformaciones que se desarrollan al interior de la superestructura” (Montoya, 2007, p. 87).

2.2.8.3.1.- Efectos de las cargas en pavimentos

Está demás mencionar que las principales causas del deterioro en los caminos son el tránsito y el efecto del clima. “Uno de los mayores problemas que se encuentran en las predicciones teóricas sobre el efecto destructivo de las cargas de tránsito, es el de decidir cuál es el criterio más determinante a utilizar: tensión, deformación o serviciabilidad; aún definido este problema, la dificultad persiste debido a la multiplicidad de factores que intervienen, esto es, tipo de apoyo, intensidad y frecuencia de las cargas, rigidez relativa de las capas componentes, etc.” (Montoya, 2007, p. 87).

En general, las cargas no son relevantes si su intensidad no sobrepasa un determinado valor. Es por esto que no se consideran los vehículos livianos, autos y camionetas, y solo son determinantes en el diseño los vehículos comerciales: camiones y buses. Los tipos de eje más usuales de los vehículos comerciales son los siguientes:

Eje Sencillo: Es un eje con una o dos ruedas sencillas en sus extremos.

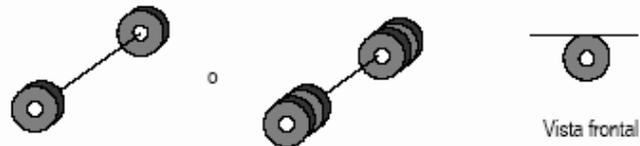


Figura 8. Eje sencillo

Eje tándem: Son dos ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



Figura 9. Eje tándem

Eje tridem: Son tres ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



Figura 10. Eje trídem

Adicionalmente al tipo de apoyo, importa el espaciamiento entre ruedas y la presión de inflado de los neumáticos. Cabe destacar que, para cierto nivel de carga a mayor cantidad de ruedas por eje, mejor será la distribución de esfuerzos y menores los daños sobre la estructura del pavimento contribuyendo a una mejor y más prolongada vida del camino.

2.2.8.3.2.- Análisis de demanda

Un aspecto muy importante en la demanda de tránsito es conocer de forma precisa las características del tránsito que va desde conocer los tipos de vehículos circundantes hasta los niveles de carga de ellos. “Consiste en determinar el volumen y composición de vehículos que transitan por una determinada vía, mediante la utilización de métodos de conteo vehicular” (Rodríguez, 2011, p. 19).

Para esto, es necesario desarrollar una metodología eficiente mediante la cual se puede tener un conocimiento global del tránsito que circula por la red y determinar las principales características de la utilización de los caminos.

Dos principales datos del estudio de Tránsito son:

-Volumen de tránsito: Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o un carril durante una unidad de tiempo. Sus unidades son veh/día y veh/hora, etc.

-Índice medio diario (IMD): Es el promedio del número de vehículos que pasan por un punto durante un período de tiempo. Según el período de análisis para medir el volumen podrá ser índice medio diario anual (IMDA), índice medio diario mensual (IMDM) o índice medio diario semanal (IMDS).

2.2.8.3.3.- Tasa de crecimiento

“La tasa de crecimiento corresponde a la variación porcentual de la cantidad del último año de medición con respecto a la medición anterior, para ello se hace un estudio tomando en cuenta las mediciones de IMD de cada tipo de vehículo y hacer una comparación IMD vs. t” (Montoya, 2007)

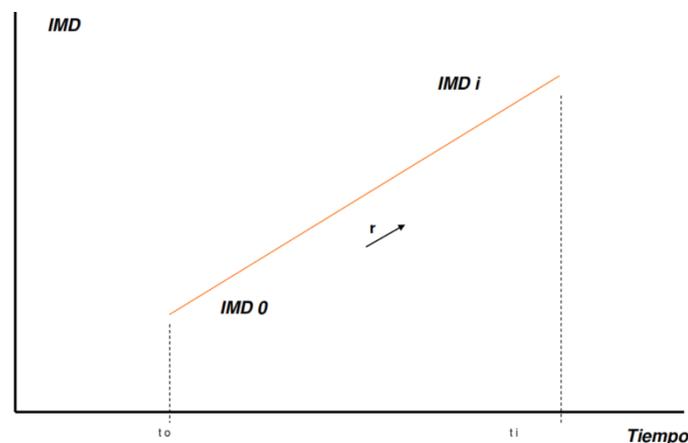


Figura 11. Regresión lineal para cálculo de tasa de crecimiento



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

2.2.8.3.4.- Proyección de tránsito

Es posible estimar el tránsito a futuro en base a los siguientes indicadores:

- Crecimiento general de la economía,
- Diversificación del tránsito si el camino es mejorado, vehículos que transitaban por una ruta paralela preferirán la rehabilitada.
- Tránsito generado, el cual es el tránsito que se espera que surja solamente por el mejoramiento de una vía.

2.2.8.4.- Evaluación funcional

La evaluación funcional está relacionada a la superficie del pavimento, a las características subterráneas y las propiedades que definen la suavidad de la calzada o aquellas características de la superficie que definen la resistencia de fricción u otras características de seguridad de la superficie del pavimento.

Debido a la complejidad conceptual para reconocer la funcionalidad de un pavimento fue necesario dividir los parámetros indicadores en esta sección en dos partes: Serviciabilidad y seguridad.

2.2.8.4.1.- Índice de rugosidad internacional (IRI)

El concepto de IRI fue desarrollado por el Banco Mundial en la década de los 80 y la definición del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos, todo ello, en base a un modelo que simuló el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo

(modelo de cuarto de carro, ver Figura 12) al circular por una determinada longitud de perfil de la carretera, a una velocidad estándar de 80 km/h.(Sayers & Karamidas, 1988)

Este modelo se desarrolló a través de un conjunto de masas ligadas entre sí, las cuales generan un movimiento vertical al ser desplazadas por el camino, de esta forma se permite reducir el análisis de una superficie al análisis de una línea que representa el perfil longitudinal, es decir, desde un análisis bidimensional a un estudio unidimensional.

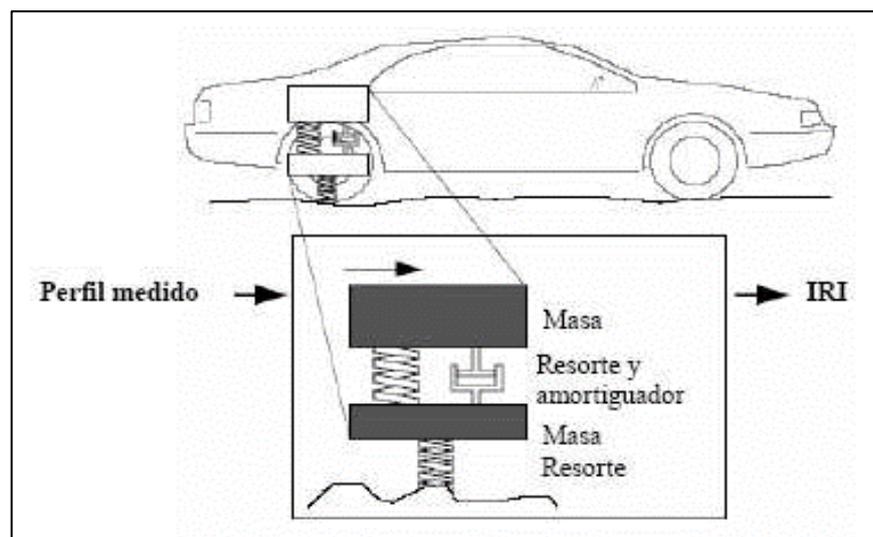


Figura 12. Modelo del cuarto de carro

Fuente: The little book of profiling (Sayers, M. y Karamidas; 1988).

“Se define rugosidad (roughness) como la desviación de una determinada superficie de pavimento respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar.” (ASTM E 867-06, 1995).

Por lo tanto, “el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) puede entenderse como indicador estadístico de la irregularidad del pavimento y representa la diferencia entre los perfiles longitudinales de las superficies de pavimento antes mencionadas” (ICC Laser y KJ Law, 1988). En la Figura 13 se ilustra de forma referencial un esquema de perfiles de camino sujetos a la presente evaluación.

Este parámetro fue concebido como una unidad universal para medir la regularidad de un pavimento cuyas medidas se dan en m./km. o pulg./milla. Esta unidad se determinó por un estudio del Banco Mundial realizado en Brasil en 1982.

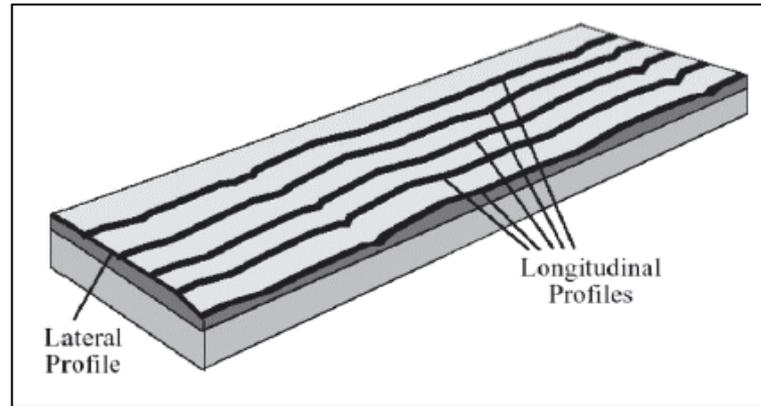


Figura 13. Perfil longitudinal real de una carretera

Fuente: Revista de la construcción, Escuela de construcción civil, Pontificia Universidad Católica de Chile.

En la Figura 14 se muestra los índices de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías propuesto por el Banco Mundial en 1982 (IRRE). Existen especificaciones internacionales como el ASTM E 1926-98 y AASHTO-PP 37-02.

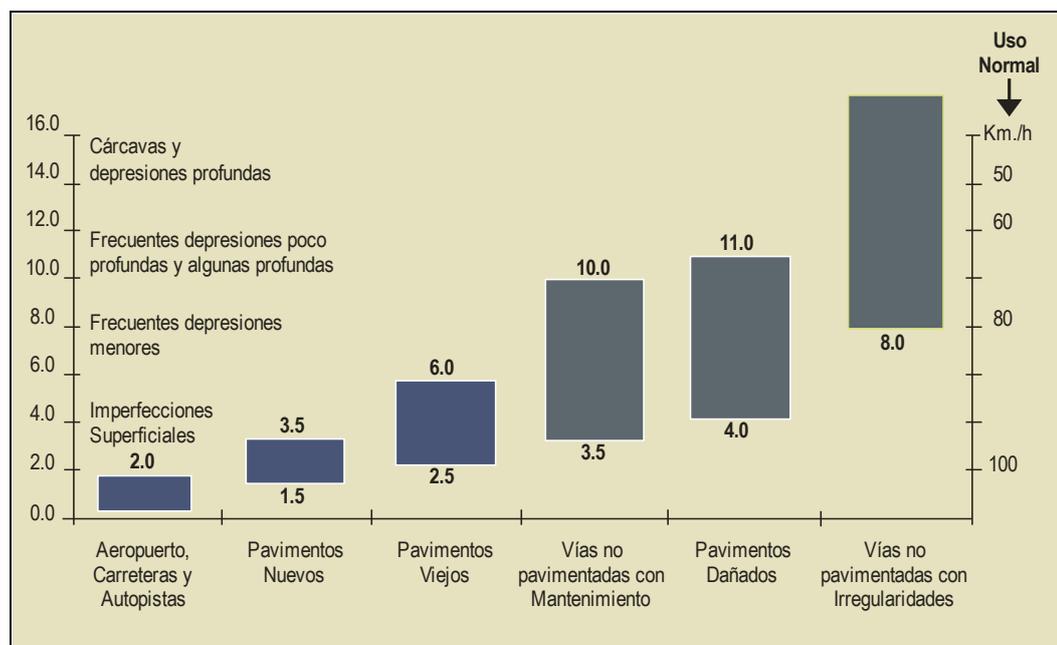


Figura 14. Índice de regularidad internacional IRI para diferentes tipos de vía

Fuente: Índice de regularidad internacional (IRI) – Banco Mundial.

“Si se cuenta con el IRI calculado de dos secciones contiguas, el IRI sobre la sección que es la suma de las dos es simplemente el promedio de los IRI de cada sección. A una velocidad de simulación de 80 km/h, la inicialización afecta la respuesta del modelo del cuarto de carro. La mejor forma de tratar con este problema es comenzar a medir el perfil 20 metros antes de la sección a evaluar. El cálculo del IRI está linealmente relacionado con las variaciones en el perfil, es decir si las elevaciones de perfil aumentan al doble, el resultado del cálculo del IRI también aumentará el doble.” (Sayers & Karamidas, 1988)

Perfilómetro inercial (Inertial Profilometer)

Los equipos de referencia inercial son equipos que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino.

Estos equipos producen medidas continuas del perfil longitudinal a altas velocidades a través de la creación de una referencia inercial integrada por acelerómetros colocados en el vehículo (Figura 15) utilizados para obtener el movimiento vertical del mismo y sensores de “no contacto” (por ejemplo: láser) utilizados para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento (Almanza, 2014, p. 52)

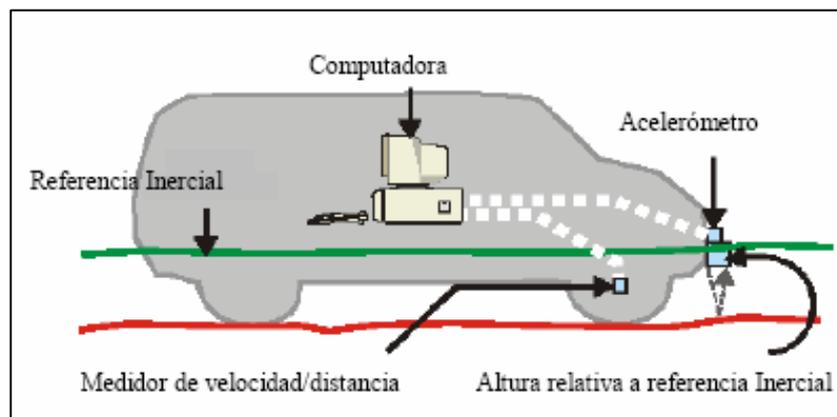


Figura 15. Componentes de equipo con referencia inercial



Fuente: Evaluación de modelo "Quarter Car" para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) del tramo Huancavelica - Santa Inés, (2014, pág. 52).

2.2.8.4.2.- Textura superficial del pavimento

Uno de los aspectos de mayor importancia para la gestión vial es la provisión de adecuadas condiciones de fricción superficial en los pavimentos, para brindar mayor seguridad a la circulación de los vehículos, especialmente ante la presencia de agua en la superficie pavimentada. Las condiciones de adherencia entre los neumáticos y el pavimento dependen entre otros factores, de la textura superficial de los pavimentos.

“El objetivo de la gestión vial es lograr una adecuada resistencia al deslizamiento, para lo cual deben cumplirse las siguientes condiciones: Suficiente macrotextura para favorecer el drenaje, adecuada microtextura resistente al pulimiento y permanencia de estas condiciones en el tiempo” (Montoya, 2007, p. 129).

Se sabe que la superficie de rodadura de una carretera está constituida por el conjunto de áridos más cemento o ligante bituminoso. La textura superficial obtenida depende del tipo de pavimento, así en los pavimentos de hormigón la irregularidad se genera por las características del mortero árido y el tratamiento superficial aplicado, mientras que en los pavimentos asfálticos la irregularidad se genera por las características y exposición de los agregados en la superficie.

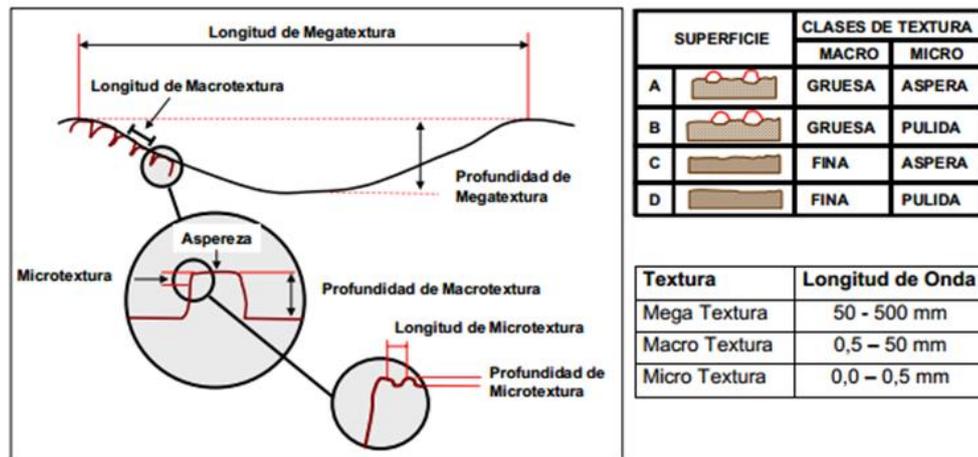


Figura 16. Tipos de textura en pavimentos

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Al conjunto de irregularidades superficiales se le conoce como “Rugosidad Geométrica”, esta a su vez se clasifica en macrotextura y microtextura de acuerdo a sus dimensiones horizontal y vertical (ver Figura 16).

2.2.8.5.- Evaluación estructural

La evaluación estructural de carreteras es una técnica que proporciona un conocimiento detallado del estado de los pavimentos, lo que permite efectuar el monitoreo de su comportamiento a través del tiempo y programar el mantenimiento de un modo racional y más económico.

La metodología de auscultación estructural ha ido variando con el tiempo en función de los continuos avances de la tecnología y se requiere que los nuevos equipos de medición permitan la evaluación sistemática de los parámetros característicos del pavimento, posibilitando un buen rendimiento operacional y que su trabajo interfiera lo menos posible con el uso normal de la carretera.

La importancia de la evaluación estructural se resume en la variedad de datos que resultan del procesamiento de estos: evaluar la capacidad de soporte, parámetros de

resistencia de diversas capas y evaluar la condición de estructura del pavimento (Chávez Peña, 2015, p. 6)

2.2.8.5.1.- Métodos de evaluación estructural

Las propiedades de los materiales se pueden obtener de diversas maneras:

- Estimación o uso de nomogramas con correlaciones estadísticas.
- Comparación con materiales “estándar” de características similares.
- Ensayos de laboratorio combinado con ensayos destructivos. El ensayo destructivo requiere el retiro físico de material de capa de pavimento para obtener las características de los materiales mediante ensayos de laboratorio.

(Figura 17)

- Mediciones “in situ” basándose en ensayos no destructivos (NDT), hablamos del deflectómetro de impacto (FWD). (Figura 18)

En la actualidad mayormente se utilizan las dos últimas opciones mencionadas.



Figura 17. Ensayos destructivos (calicata)

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 18. Ensayos no destructivos (FWD)

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

2.2.8.5.2.- La deflexión

Como se ha indicado, el pavimento es una estructura constituida por varias capas y materiales (multicapa) que, al ser sometida a una determinada sollicitación, normalmente una carga ortogonal al pavimento se produce un estado de tensiones y deformaciones, y se desplaza en sentido vertical en magnitudes muy pequeñas (del orden de centésimas o milésimas de milímetro); este desplazamiento vertical se conoce con el nombre de deflexión. El análisis de la estructura caracterizada por un modelo de cálculo, permite determinar el desplazamiento teórico y compararlo con el desplazamiento obtenido mediante técnicas de reconocimiento con equipos que miden las deflexiones que se producen bajo una carga de ensayo.

Entre los ensayos no destructivos se tiene al “Falling Weight Deflectometer” (FWD), éste instrumento mecánico electrónico, permite medir deflexiones por un peso impactado en una placa apoyada en el pavimento, consta de 7 medidores en su estructura, es rápido pero la desventaja del FWD es el precio alto que demanda utilizarlo. También

se tiene a la viga Benkelman cuyo uso es manual, es fácil de usar, es rápido y el precio por utilizarlo no es elevado; siendo una desventaja la descalibración debido al uso. (Balarezo Zapata, 2017, p. 30)

A. Viga Benkelman.

La viga Benkelman es un equipo que fue desarrollado durante el ensayo de la “Western Association of State Highway Organizations” (WASHO) en 1952. Se trata de un dispositivo bastante simple que funciona aplicando la conocida “regla de la palanca” (Figura 19). Este equipo se usa junto con un camión; el ensayo se realiza colocando el extremo de la viga entre las dos ruedas gemelas del camión, midiendo la recuperación vertical de la superficie del pavimento cuando el camión avanza y se retira. La principal ventaja de este equipo es que se trata de un ensayo bastante económico; no obstante, es muy laborioso y no permite obtener el cuenco de deflexiones, sino únicamente la deflexión bajo carga en el centro de las ruedas gemelas.

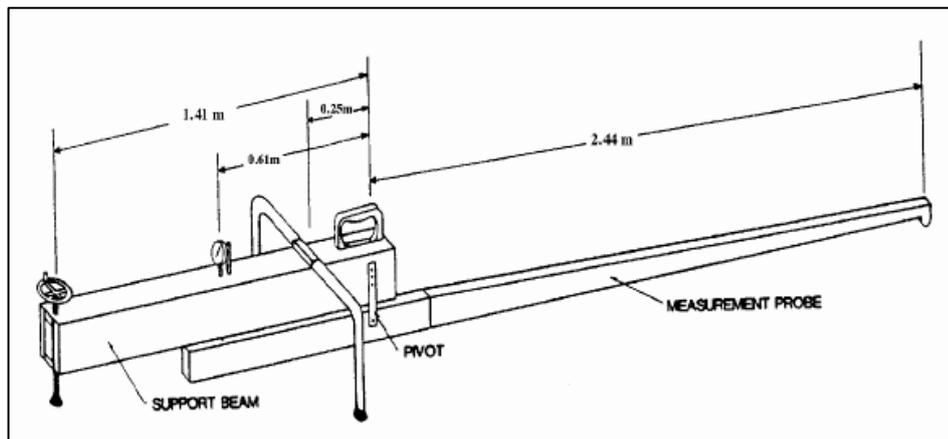


Figura 19. Esquema isométrico viga Benkelman

Es necesario tener en cuenta para determinar el tiempo de aplicación de la carga, la velocidad del camión que se emplea con el equipo, usualmente se considera una velocidad aproximada 1 a 3 km/h.

B. Deflectómetro de impacto

Los deflectómetros de impacto (FWD) son equipos constituidos por una masa que se deja caer por gravedad desde una altura determinada, sobre una placa provista de un sistema de distribución, que transmite la carga de manera uniforme a la superficie sobre la que se apoya (Figura 20). El equipo mide la deflexión producida en la superficie del pavimento al aplicarle una carga vertical preestablecida, registrando el pico o valor máximo del desplazamiento vertical en el punto de aplicación de la carga, así como en una serie de puntos separados secuencialmente, para obtener el cuenco de deflexiones. La principal ventaja de este equipo es, precisamente, que permite la obtención del cuenco de deflexiones, además de tratarse de un ensayo relativamente rápido y sencillo. Además, su forma de aplicar las cargas es la que más se aproxima a las solicitaciones de tráfico real.

Estos equipos están diseñados para simular la aplicación de la carga transmitida por eje de un camión circulando a una velocidad entre 65 a 80 km/h.

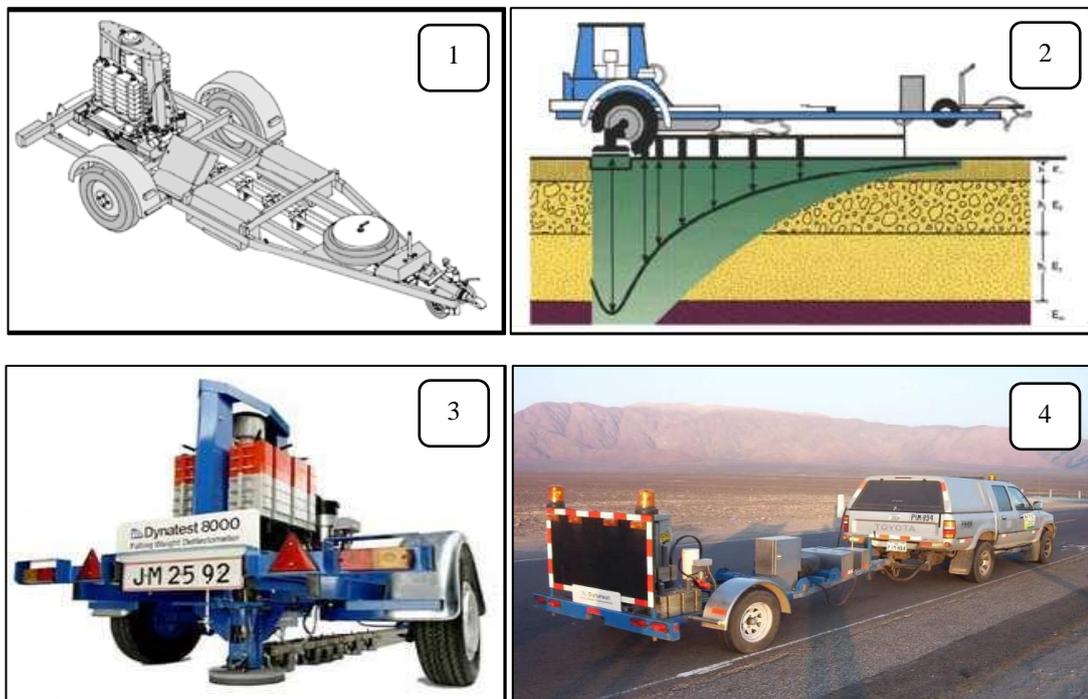


Figura 20. Deflectómetro de impacto



(1) Esquema isométrico FWD, (2) Curva de deflexiones, (3) Placa de posicionamiento para el ensayo, (4) Desplazamiento del FWD hasta el punto de ensayo.

2.2.9.- EVALUACIÓN ECONÓMICA

Al evaluar económicamente un proyecto deben elaborarse y estimarse los flujos de costos y beneficios de las distintas alternativas de inversión, para así decidir sobre la conveniencia de llevarlo a cabo. Cuando el valor presente neto (VAN) de un proyecto es positivo, los beneficios estimados exceden a los costos estimados, por lo que en términos de los beneficios económicos el proyecto debería realizarse, lo mismo que cuando se obtiene una relación beneficio/costo mayor a 1.

2.2.9.1.- Criterios de decisión económica

2.2.9.1.1.- Valor presente neto (VPN)

Si se aplica el valor presente a los beneficios y los costos, se obtiene el valor presente neto o valor actual neto (VAN). Este método tiene la ventaja que puede aplicarse a proyectos con distintas vidas de servicio o con etapas ya desarrolladas; además, los costos y beneficios se representan en términos actuales. Este método se aplica entre alternativas distintas, así cada alternativa se compara con otra denominada “base”, la que puede ser la alternativa sin proyecto. “Una inversión es rentable cuando el valor actual neto es positivo, a una tasa de interés conveniente para el inversionista. Mide en moneda actual cuanto más rico es el inversionista por invertir en el proyecto, en lugar de hacerlo en otra alternativa” (Bustos, 2007).

Entre las ventajas se pueden enumerar las siguientes:

- Los beneficios y costos pueden expresarse por un solo número.



- Proyectos de diferentes vidas de servicio y con etapas en desarrollo son directa y fácilmente comparables.
- Los costos y beneficios son expresados en términos presentes.
- El método es computacionalmente simple.

Dentro de las desventajas se puede mencionar:

- El método no se puede aplicar a alternativas únicas donde no se pueden evaluar beneficios.
- El resultado no es tan fácil de comprender como lo sería una tasa interna de retorno o el costo anual.

2.2.9.1.2.- Tasa interna de retorno (TIR)

Corresponde a la tasa de descuento bajo la cual el valor presente neto definido anteriormente es igual a cero, representa la tasa de interés a partir de la cual podría ser interesante invertir en el proyecto. Si la tasa interna de retorno de la estrategia evaluada es mayor que la tasa mínima especificada para los proyectos de caminos, dicha estrategia será una de las posibles de implementar; la estrategia con mayor tasa interna de retorno será la mejor a seleccionar.

2.2.9.2.- Evaluación social

La evaluación social del proyecto de un camino origina la determinación de los beneficios sociales netos para la comunidad provocado por el desarrollo que ocasiona la construcción o mejora de dicho camino. El bienestar social de una comunidad depende de la cantidad de bienes y servicios disponibles o de la cantidad relativa de bienes y servicios recibidos por cada uno de los miembros que la componen y otros aspectos económicos más específicos que no es el caso enumerar.



“En el área de caminos, la evaluación social pretende considerar los siguientes beneficios: ahorros en el costo de operación de los vehículos, reducciones en los tiempos de viaje, reducción en la fatalidad y número de accidentes, reducción en la emisión de gases y contaminantes a la atmósfera, mejora en los accesos, minimización de los costos de desarrollo vial y otros objetivos que no son tenidos en cuenta normalmente, ya sea por la dificultad para cuantificarlos o bien por la inexistencia de una metodología adecuada que permita una adecuada evaluación en términos monetarios” (Bustos, 2007).

2.2.9.3.- Evaluación privada

Por su parte, la evaluación privada supone que la riqueza (el dinero) constituye el único interés del inversionista; así lo importante es determinar en éste caso el flujo anual de ingresos netos que implica para él la inversión en el proyecto en cuestión. El proyecto es conveniente para el inversionista si genera un aumento en su riqueza superior al que podría obtener si utilizara esos fondos en la mejor inversión alternativa disponible.

Los beneficios anuales del inversionista provendrán de la venta del producto, que en el caso de caminos es la provisión de una vía de transporte bajo condiciones aceptables de serviciabilidad, por la que cobra un “peaje”. El inversionista no considera en sus análisis de rentabilidad el impacto del proyecto sobre la comunidad. En particular, el inversionista no requiere conocer los flujos de costos operacionales de los usuarios de la carretera, ya que no son costos que incidan sobre su flujo de ingresos, sólo le interesarán en la medida que desincentiven al tránsito de los usuarios y con ello bajen los ingresos por peajes, por ejemplo, en el caso que hubiera grandes demoras por congestión o por reparaciones muy frecuentes. Así el suministro de un camino con alto nivel de servicio aumentará para el inversionista el costo del proyecto. Por otro lado, él querrá obtener el mayor beneficio posible (riqueza) cobrando el mayor peaje posible, con lo cual la

comunidad podría quedar expuesta al interés de lucro del inversionista o desatendida en sus intereses; entonces es el Estado quien debe intervenir para regular la actividad exigiendo un nivel mínimo de serviciabilidad a un peaje razonable, velando -en última instancia- por el bienestar de la comunidad en su conjunto.

En definitiva, el inversionista realiza una evaluación “privada” cuyo objetivo consiste en aumentar su riqueza a través del cobro del peaje, lo que constituye su único beneficio. El Estado por su parte realiza una evaluación “social”, cuyo objetivo está centrado en maximizar el bienestar general de la comunidad en su conjunto, a través de la disminución del costo de los usuarios u otros aspectos que el Estado considere como prioritarios.

2.2.10.- COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR

Los costos de operación vehicular, son aquellos que se generan por el tránsito vehicular en las vías, depende principalmente de las características geométricas, la topografía y estado del pavimento. Está comprendido por el costo de combustibles, lubricantes, reparación de vehículos, costos generados por cierres, demoras y accidentes. (Tabla 3). “El costo de operación de los vehículos indica cuánto cuesta tener operando determinado vehículo. Este costo puede ser medido con respecto al tiempo, con respecto a la cantidad de kilómetros recorridos, etc.” (Morales Sosa, 2006, p. 26).

Tabla 3: Costos de operación vehicular

COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR		
VARIABLES	FIJOS	OTROS
Combustible Neumáticos Lubricantes Filtros Reparaciones	Seguro Salarios Matrículas Impuestos	Imprevistos Accidentes

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



Los costos variables, tienen tres parámetros para su determinación, los cuales son: precio del insumo, cantidad, frecuencia del cambio y está en función de la capa de rodadura de la vía.

Para su cálculo se debe determinar:

- El tipo de carretera por la que transita el vehículo: Esto es si es primaria, secundaria, etc; el tipo de terreno (llano, ondulado o montañoso), el estado de la vía (bueno, regular, malo), el tipo de superficie por la que se desplaza el vehículo (asfalto, tierra, etc).
- El tipo y características de los vehículos: Vehículo tipo, kilómetros recorridos al año, precio del vehículo, vida útil, tasa de interés del capital, sueldo del conductor, consumo de combustibles, cambio de llantas en el año, cambio de aceite y demás lubricantes, costo de reparaciones y repuestos, seguros, impuestos, número de horas efectivas de servicio por año, beneficios, etc.

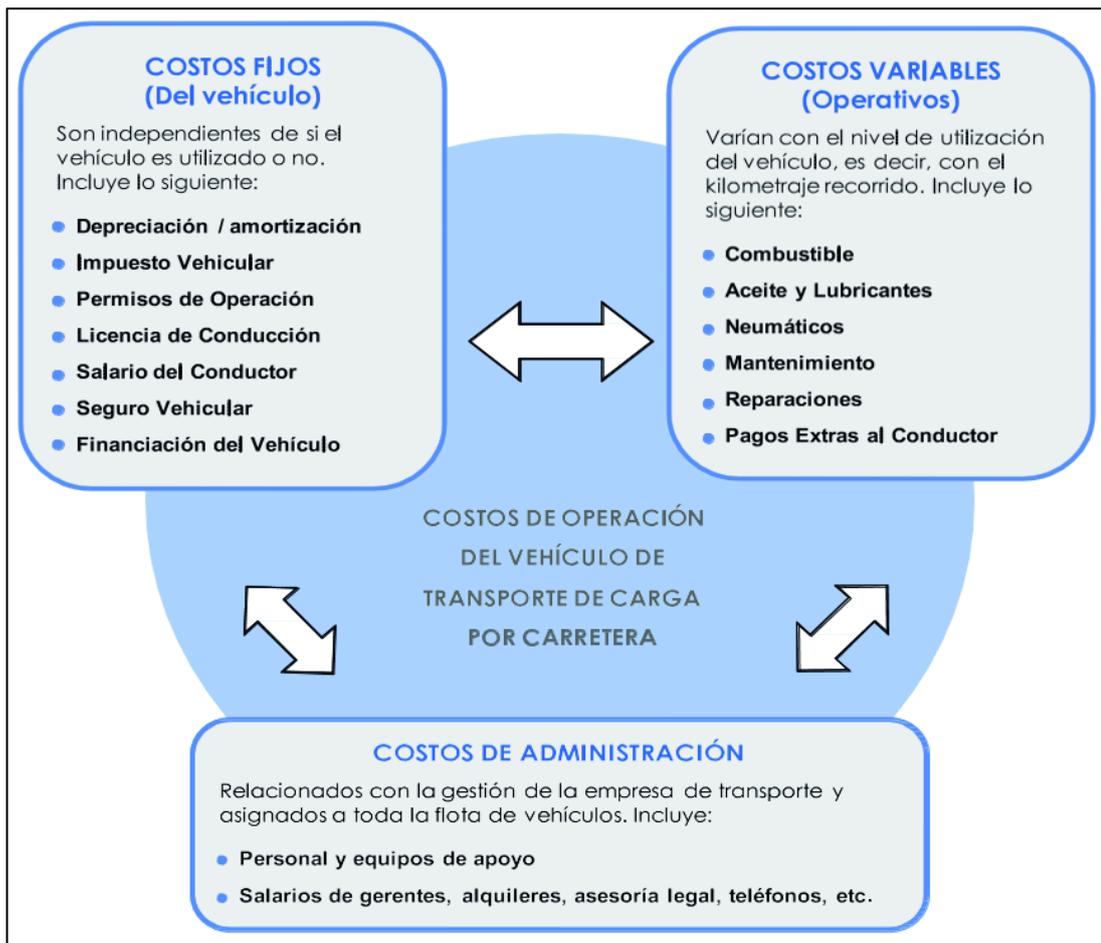


Figura 21. Costos de operación del vehículo de transporte de carga

Fuente: Guía de orientación al usuario del transporte terrestre: Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, (2015).

De acuerdo al Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (2015) “los principales costos de operación del vehículo de transporte de carga por carretera pueden agruparse en tres categorías generales de costos: los costos fijos, los costos operativos (costos variables) y los costos de administración”, los cuales pueden observarse en la Figura 21.

Rodríguez (2011), textualmente indica: “existe varias metodologías para determinar los costos de operación vehicular, pero principalmente se lo determina mediante procesamiento de los gastos que realizan los usuarios de la vía al transitar sobre ella, en referencia a insumos consumidos de combustibles, lubricantes, neumáticos,

repuestos, etc. Estos gastos están relacionados con la composición del tráfico del proyecto, así mismo de las condiciones geométricas de la carretera y principalmente del estado de su capa de rodadura. (p. 29)

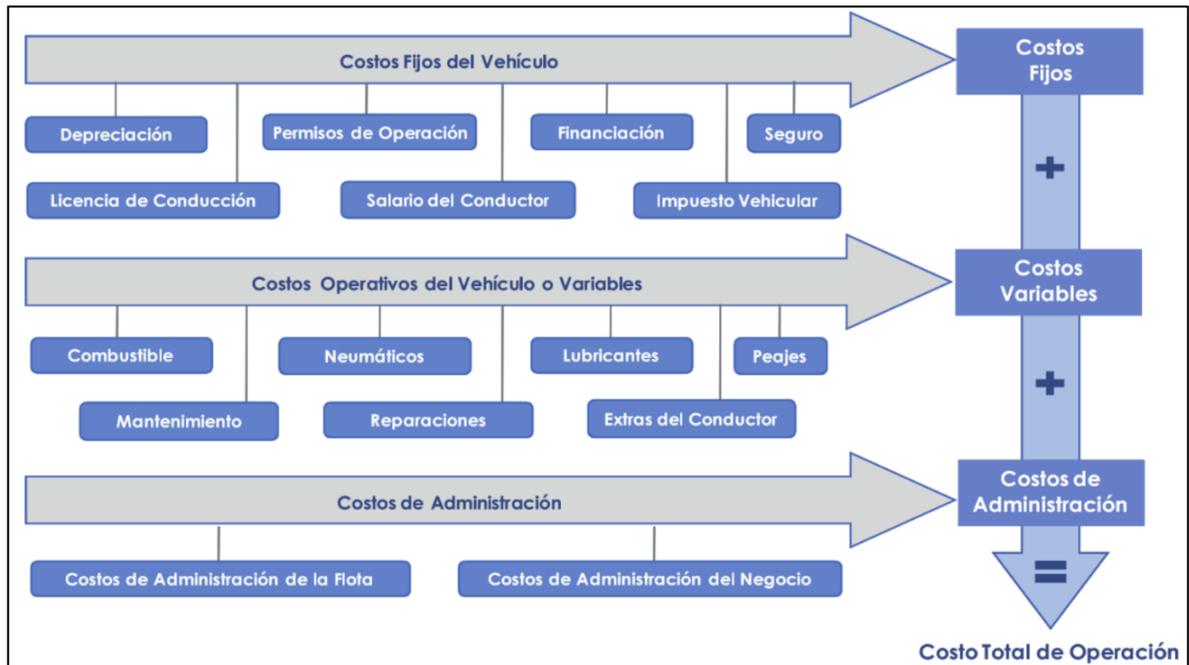


Figura 22. Estructura y agregación de los costos de operación del vehículo

Fuente: Guía de orientación al usuario del transporte terrestre: (Mincetur, 2015).

2.2.11.- COSTOS DE MANTENIMIENTO VIAL

Son los costos realizados durante la vida útil del pavimento para su conservación y son asumidos directamente por los administradores viales, se clasifican en mantenimiento periódico y rutinario.

“El costo de mantenimiento vial incluirá el costo de mantenimiento rutinario que es expresado en forma anual y el costo de mantenimiento periódico que se realiza cada cierto período de años” (Equipo de Análisis de Gestión Pública y Desarrollo, 2012).

“La inversión en mantenimiento rutinario debe considerarse como un costo permanente que garantiza la duración del camino por más tiempo y que evita mayores intervenciones a futuro” (Salomón, 2003, p. 27), pero eso no implica que la vía tenga un

desgaste natural, para compensar este deterioro se hace necesario ejecutar el mantenimiento periódico de la vía después de un determinado número de años.

Cada una de las actividades que se efectúen a una carretera, traen implícitamente asociado un costo, que dependerá de la magnitud de la acción de conservación y del precio de los insumos para poder llevarla a cabo (personal, equipo y maquinaria, materiales)

Con el conjunto de precios unitarios de cada actividad de mantenimiento, se podrá realizar un presupuesto de mantenimiento vial, en el cual se incluirá el rubro, la descripción, la unidad de medida, la cantidad a ejecutarse, los precios unitarios y los precios totales.

Para proyectar un mantenimiento, es necesario conocer cómo se deteriora la red vial y cuál es el momento en que se debe aplicar los correctivos necesarios.

En la Figura 23 se encuentran las curvas de deterioro y los gastos de entidades viales y de usuarios.

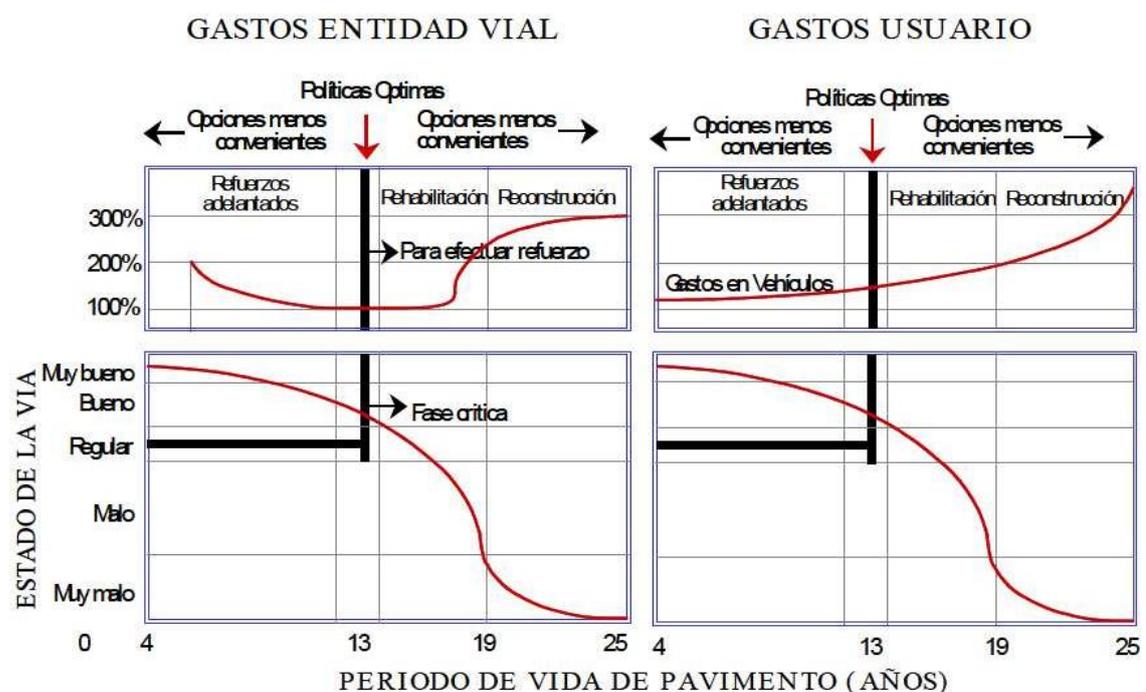


Figura 23. Curvas de deterioro de la vía, gastos entidad vial, usuarios.

Fuente: Instituto Nacional de Vías-Colombia, (2011).

2.2.12.- HDM-4

2.2.12.1.- ¿Qué es el HDM-4 y cuál es su campo de aplicación?

Es una herramienta que facilita la toma de decisiones a partir del análisis y optimización de inversiones destinadas al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de carreteras, que puede ser utilizada para evaluar en términos técnicos y económicos, proyectos, programas y políticas de conservación.

Es una herramienta de gestión de pavimentos pensada y diseñada para la gestión de red vial, pero que sabiendo cómo hacerlo es posible sacarle provecho a nivel de proyecto.

El HDM-4 es una herramienta para:

- El análisis, evaluación técnica y económica de proyectos viales a través de la comparación objetiva de alternativas.
- La planeación y presupuesto de recursos de obras y conservación de proyectos viales.
- La programación de trabajos de conservación y la optimización de recursos disponibles sujetos a restricciones presupuestales.
- La priorización de intervenciones en determinados corredores viales de una red, con base en políticas definidas por la agencia correspondiente.
- El seguimiento y control de la eficiencia de trabajos de conservación y en general evaluar el deterioro de un pavimento. (Salgado, 2014).

El HDM-4 es una herramienta diseñada para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la gestión de la conservación y rehabilitación de pavimentos de redes viales, principalmente en aplicaciones dirigidas a la planeación estratégica y la programación táctica de actividades de intervención. También puede ser empleada en la estimación futura del deterioro de pavimentos sujetos a determinado nivel de solicitud, aprovechando los modelos de deterioro con los cuales cuenta.

El funcionamiento de la herramienta se basa en un modelo de cálculo de las relaciones físicas y económicas derivadas de un extenso estudio sobre el deterioro de las carreteras, el efecto de la conservación de las mismas y los costos de operación de los vehículos.

2.2.12.2.- El papel de HDM-4 en la gestión de carreteras

2.2.12.2.1.- Gestión de carreteras

“Al considerar las aplicaciones de HDM-4, es necesario contemplar el proceso de gestión de carreteras en cuanto a las siguientes funciones: planificación, programación, preparación y operaciones.” (Kerali, 2001), tal como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4: Cambio en los procesos de gestión

Actividad	Horizonte temporal	Personal responsable	Cobertura espacial	Detalle de los datos	Modo de operación en ordenador
Planificación	A largo plazo (estratégica)	Alta dirección y nivel de políticas	Toda la red	Muy general/resumen	Automático
Programación	Medio plazo (táctica)	Profesionales de nivel medio	Red o subred	↓	↓
Preparación	Año del presupuesto	Profesionales junior	Nivel de esquema/tramos	↓	↓
Operaciones	Inmediato/muy corto plazo	Técnicos/ Subprofesionales	Nivel de esquema/ subtramos	Fino/detallado	Interactivo

Fuente: (Paterson y Robinson, 1990 - 1991).

2.2.12.2.2.- El ciclo de gestión

Tradicionalmente en muchas organizaciones de carreteras, los presupuestos y programas de las obras se han preparado según una base histórica, donde el presupuesto de cada año se basa en el del año anterior, con un ajuste para la inflación. Bajo un régimen semejante, no hay forma de saber si los niveles de financiación o la asignación detallada son adecuados o justos, existe claramente la necesidad de un enfoque objetivo, basado en las necesidades que use el conocimiento del contenido, estructura y estado de las carreteras que se están gestionando. Se verá que, las funciones de planificación, programación, preparación y operaciones proporcionan un marco adecuado en el que pueda aplicarse un enfoque basado en las necesidades. (Robinson et al, 1998).

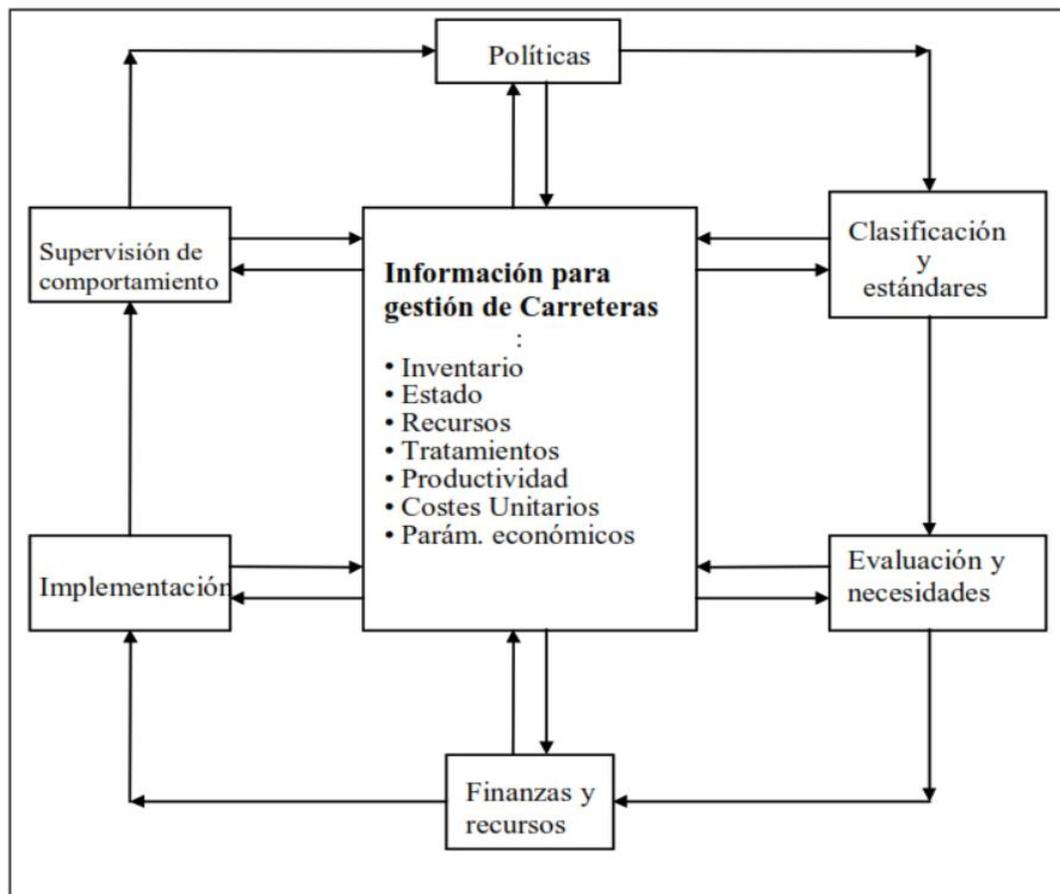


Figura 24. Ciclo de gestión de carreteras

Fuente: (Robinson et al, 1998).

Un enfoque adecuado es usar el concepto de ciclo de gestión que se ilustra en la Figura 24. El ciclo proporciona una serie de pasos bien definidos que ayudan a tomar las decisiones del proceso de gestión, este ciclo de gestión se realiza típicamente una vez al año o en un período presupuestario.

2.2.12.3.- Módulos del HDM-4

La estructura general de HDM-4 se ilustra en la Figura 25. Las tres herramientas de análisis (estrategia, programa y proyecto) operan sobre datos definidos en uno de cuatro gestores de datos:

- Red de Carreteras: Define las características físicas de tramos de carreteras en una red o subred que va a analizar.
- Parque de Vehículos: Define las características del parque de vehículos que operan en la red de carreteras que se va a analizar.
- Obras: Define estándares de conservación y mejora, junto con sus costos unitarios que serán aplicados a los distintos tramos de la carretera a analizar.
- Configuración de HDM: Define los datos por defecto que se usarán en las aplicaciones. Al instalar HDM-4 por primera vez, se suministra un conjunto de datos predefinidos, pero los usuarios deben modificarlos para adecuarlos a los entornos y circunstancias locales.

El modelo simula para cada tramo de carretera, de año en año, las condiciones de la misma y los recursos utilizados para conservación con cada estrategia, así como las velocidades de los vehículos y los recursos físicos consumidos por la operación de vehículos. Una vez estimadas las cantidades físicas necesarias para construcción, las obras y operación de vehículos, se aplican los precios y costos unitarios especificados por



los usuarios para determinar los costos financieros y económicos, luego se hace el cálculo de los beneficios relativos de las diferentes alternativas, seguido del cálculo del valor actual y de la tasa de rentabilidad.

EL sistema HDM-4 está diseñado para interactuar con sistemas externos como:

- Bases de datos: Sistemas de información de redes de carreteras, sistemas de gestión de pavimentos, etc, a través de archivos intermedios de importación/exportación.
- Modelos técnicos: Accedidos directamente por sistemas externos para aplicaciones de investigación u otros estudios.

El diseño del sistema tiene una estructura modular para permitir a los usuarios implantar independientemente los módulos HDM-4 en sus sistemas de gestión de carreteras. Los parámetros técnicos, además de los datos por defecto específicos del país, se pueden calibrar fácilmente para ajustarlas a las condiciones locales usando configuración HDM-4. (Kerali, H. G., 2001, p. 21)

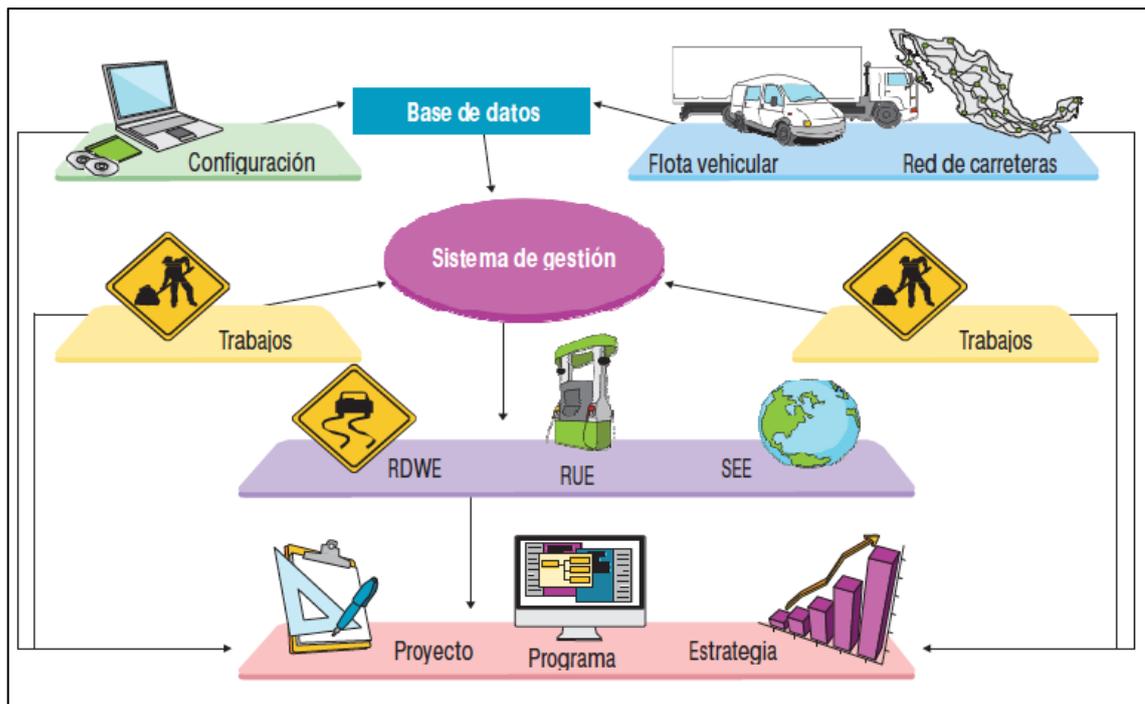


Figura 25. Diagrama de flujo HDM-4

Fuente: (<http://www.gesinfraconsultores.com/>).

2.3.- ESTADO DE LA APLICACIÓN DE HDM-4 EN LATINOAMÉRICA

En Latinoamérica la herramienta HDM-4 es empleada o ha sido utilizada en algún momento en el tiempo, prácticamente desde su aparición en la mayoría de los países del continente. Sin embargo, su uso y aplicación ha presentado realidades muy diversas en la forma en que se ha empleado en cada uno de los países de la región. (Figura 26).

Mientras en algunos países se han dado procesos continuos y permanentes que han permitido su consolidación, en otros países su uso (aun hoy en día) es todavía incipiente o los procesos para adoptar la herramienta han quedado truncados en el tiempo.

Son aspectos que han impedido una mayor penetración y uso del HDM-4:

- Falta de “cultura” y convicción por la gestión de carreteras en las autoridades de las agencias viales de gobierno.



- Ausencia de una estructura organizacional que facilite los medios para una adecuada implementación de un sistema de gestión de carreteras.
- Desconocimiento de los beneficios que conlleva la adopción de herramientas de gestión (adopción de sistemas y herramientas es considerada un costo y no una inversión).
- Por desconocimiento (de autoridades y usuarios) existe el convencimiento que el manejo de la herramienta es “difícil y compleja”.
- Resistencia al cambio.
- Factores de éxito en los países que han logrado aplicarlo e implementarlo.
- Respaldo institucional a los procesos de largo plazo.
- Creación de una “cultura de gestión”.
- Compromiso de respaldo y financiamiento, lo que implica la implementación y sostenimiento en el tiempo de sistemas y herramientas de gestión de infraestructura.
- Desarrollo de proyectos y estudios conducentes a contar con mejores insumos de información.
- Capacitación, capacitación y más capacitación.
- Paciencia.” (Salgado, 2019)

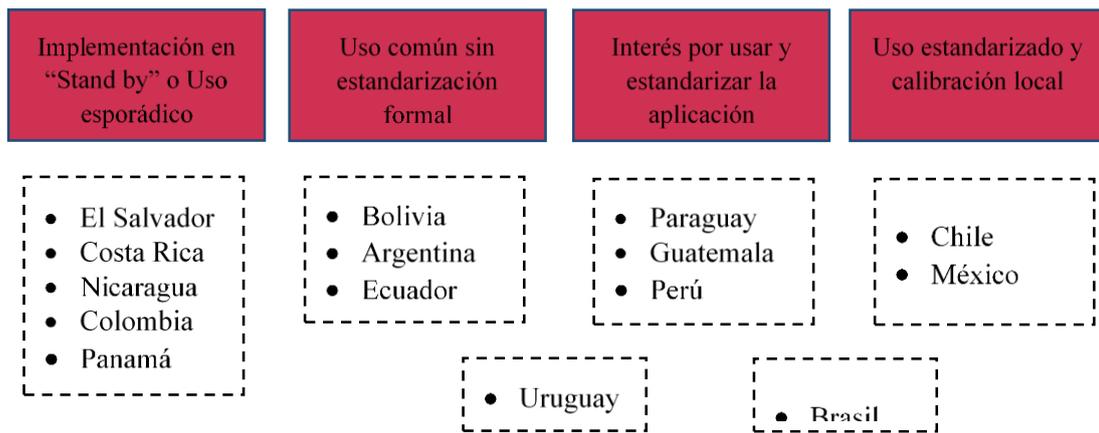


Figura 26. Uso y aplicación del HDM-4 en Latinoamérica

Fuente: Mauricio Salgado Torres (2019).

Países como Chile, Brasil, México tienen dentro de sus agencias viales, profesionales dedicados al uso y aplicación del HDM-4 para diversos fines desde hace muchos años, por supuesto todos dentro del marco de la planeación y la gestión vial.

En otros países de América Latina en distintos momentos históricos han usado la herramienta, pero cambios en las administraciones o la falta de conciencia de su importancia han restado continuidad en el tiempo.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- MATERIAL DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en la carretera Juliaca – Lampa, cuya longitud total es de 29.4 kilómetros que forma parte de la ruta 15: PE-3SQ del corredor vial Pro Región Puno, Paquete 3. Esta vía actualmente es administrada por Provías Nacional y mediante contrato de servicios N° 103-2018-MTC/20.2 ha encargado a la empresa Consorcio Vial Sur Perú (CVSP) realizar la gestión, mejoramiento y conservación vial por niveles de servicio de la vía.

3.1.1.- NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo descriptivo debido a que a lo largo del contenido se describe el estado actual en el que se encuentra la carretera Juliaca – Lampa, posterior a ello se detalla el desarrollo de un modelo de gestión de conservación vial aplicando la herramienta HDM-4 que ayuda a evaluar la reducción de los costos de operación vehicular y mantenimiento vial, comparando tres alternativas de conservación.

3.1.2.- POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.1.2.1.- Población

Para la presente investigación la población está constituida por todas las vías de segundo orden (interprovinciales) de la región Puno, que tienen similares características en cuanto a tipo de pavimento (flexible), topografía, clima, altura, deterioro y abandono en cuanto se refiere a conservación vial.

3.1.2.2.- Muestra

La muestra con la que se trabajó en la presente investigación es la carretera Juliaca – Lampa (PE-3SQ), con una longitud total de 29.4 km; debido a que esta vía presenta condiciones de transitabilidad de regular a malo. Esta carretera se ha dividido en tres tramos, de acuerdo a la evaluación funcional: tramo 1: km 98+350 al km 115+000, tramo 2: km 115+000 al km 122+300, y tramo 3: km 122+300 al km 127+750.

3.1.3.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La carretera Juliaca – Lampa pertenece a la ruta PE-3SQ y se ubica políticamente en las provincias de Lampa y San Román en el departamento de Puno; geográficamente está ubicado al sur este del Perú, en la meseta del Collao, tal como se aprecia en la Figura 27.

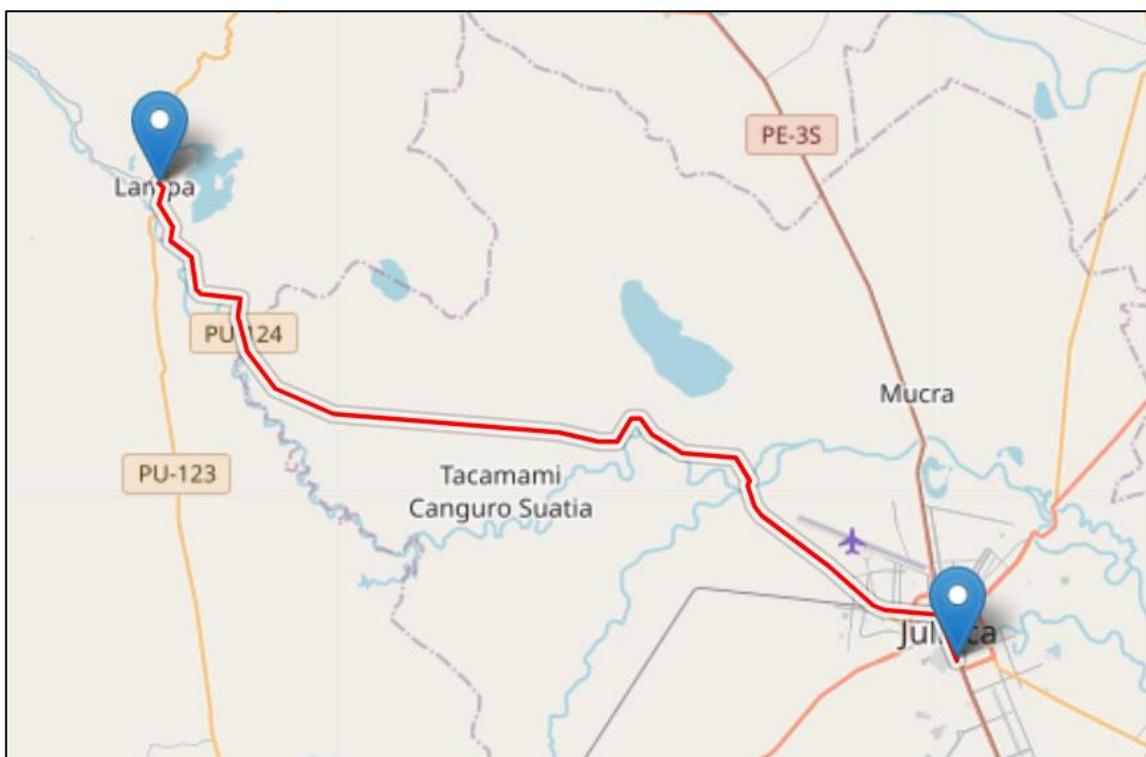


Figura 27. Mapa de la carretera Juliaca – Lampa

Fuente: Google maps.

La vía en estudio inicia en la ciudad de Lampa, específicamente en el Km 98+350 (ingreso a la ciudad); y finaliza en el Km 127+750, que está ubicado en la interacción de la Av. Aviación con la Av. Ferrocarril, de la ciudad de Juliaca.

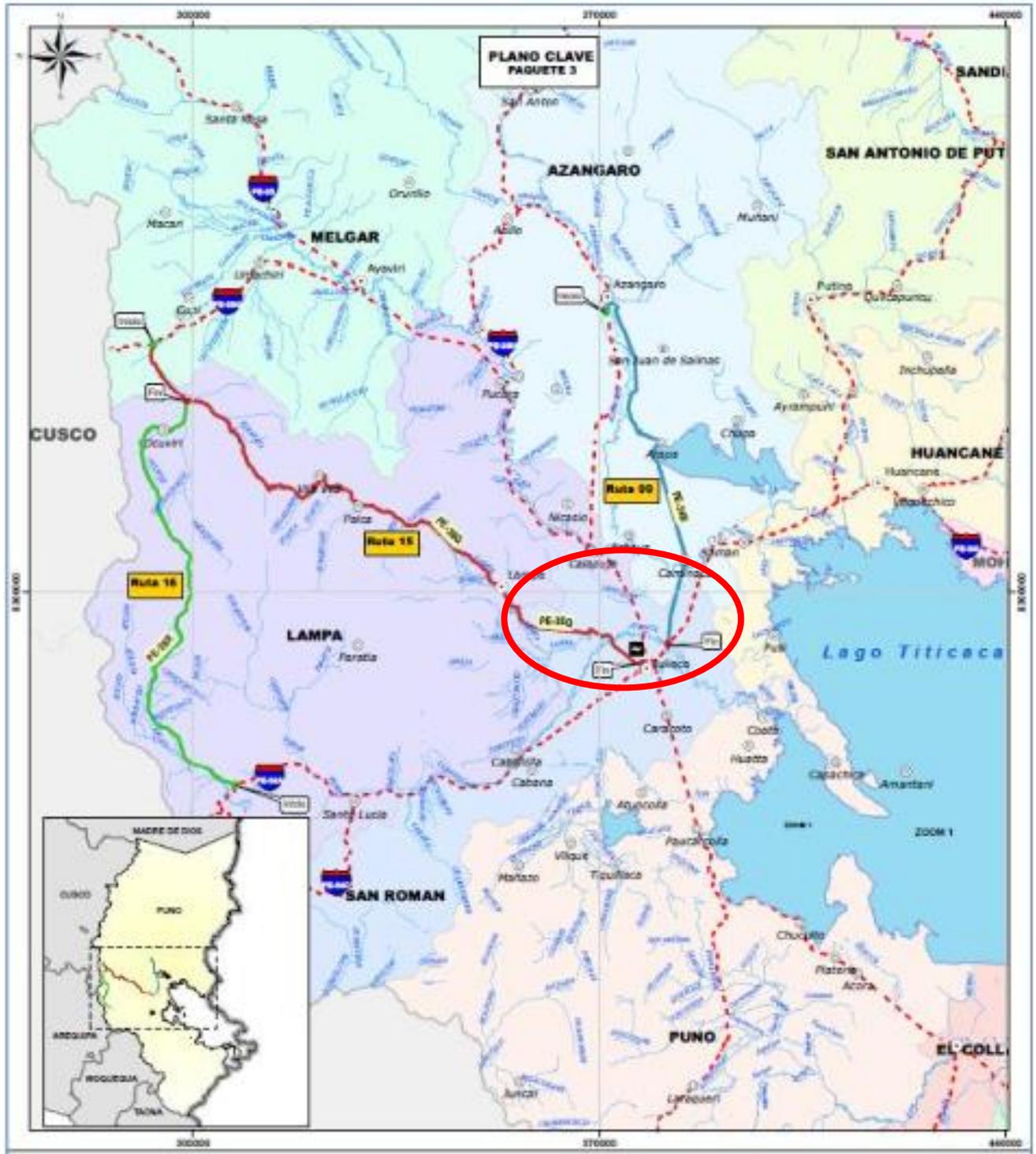


Figura 28. Mapa de ubicación geográfica
Fuente: Estudio de Pre Inversión(Consorcio El Altiplano, 2015).



3.1.3.1.- *Altitud*

La carretera Juliaca – Lampa se encuentra a una altura sobre el nivel de mar que fluctúa desde los 3,825 m.s.n.m. (Juliaca) y 3,865 m.s.n.m. (entrada a la ciudad de Lampa). Siendo la altitud promedio de 3,845 m.s.n.m.

3.1.3.2.- *Topografía*

La vía en estudio presenta una topografía regular, llana y poco ondulada.

3.1.3.3.- *Clima y Temperatura*

La vía en estudio se ubica en la parte sur de los andes peruanos, con clima variado de acuerdo a las estaciones del año, presentando clima seco durante la temporada de invierno y clima húmedo con presencia de lluvias durante el verano, con una temperatura máxima de 21° centígrados y una temperatura mínima de -5° centígrados, con altitudes que van desde los 3,825 hasta los 3,865 msnm.

3.1.4.- PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

La duración de la presente investigación fue comprendida entre noviembre de 2019 hasta mayo de 2020.

3.1.5.- PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

Para el desarrollo de la tesis, se ha recopilado información de normativa vigente que regulan la conservación y el mantenimiento de la infraestructura vial en el Perú como:

Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial (MTC)

El “Manual de mantenimiento o conservación vial” forma parte de los manuales de carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial,



aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: nacional, regional y local.

El “Manual de Mantenimiento o Conservación Vial” constituye un documento técnico que permite a los responsables, programar, presupuestar, ejecutar y controlar las actividades de conservación vial y tiene por finalidad brindar los criterios apropiados que se deben aplicar para la gestión del conjunto de actividades técnicas de naturaleza rutinaria y periódica que se ejecuten en las vías, incluyendo los puentes, túneles y demás elementos de la misma para que éstos se conserven en niveles de servicios adecuados.

Manual de Inventarios Viales (MTC)

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles mediante R.D. N° 09-2014-MTC/14 aprueba la publicación del Manual de inventarios viales.

El “Manual de Inventarios Viales” es una herramienta de gestión, que tiene por finalidad brindar los procedimientos y metodologías en forma cronológica y ordenada, para la ejecución y/o actualización de los inventarios viales de carácter básico y calificado, de tal forma que constituyan documentos que reflejen un registro ordenado, sistemático y actualizado de información de la infraestructura vial existente, especificando su estado situacional a una determinada fecha.



Pautas metodológicas para el uso y aplicación del HDM-4 en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de transporte (MEF)

Este documento presenta una metodología para formular y evaluar proyectos de inversión pública en el sector transportes, que involucra conceptos de ‘gestión vial’ y ‘conservación de vías mediante el software HDM-4’, una herramienta para el análisis, planificación, gestión y evaluación del mantenimiento, mejoramiento y la toma de decisiones de inversión en carreteras. (Ministerio de Economía y Finanzas - DGIP, 2015)

Manual de Usuario del HDM-4 (PIARC)

HDM- 4 es un programa computacional con una documentación asociada, que sirve como la principal herramienta para el análisis, la planificación, gestión y evaluación del mantenimiento, mejora y la toma de decisiones relacionadas con la inversión de carreteras. El manual del usuario del HDM-4 fue desarrollado por la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) cuyo contenido fue dividido en 5 volúmenes.

3.2.- MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.2.1.- MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

Las modalidades de investigación empleadas fueron:

- Campo. - Se realizó levantamiento de información in situ de las características, estudio de tráfico, evaluación funcional y evaluación estructural de la carretera en estudio.
- Documental Bibliográfico. - Se consultó material bibliográfico sobre gestión de conservación vial, costos de operación vehicular, mantenimiento vial y herramientas de evaluación económica de proyectos viales.



3.2.2.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El método empleado fue realizar visitas a los funcionarios de entidades públicas y privadas involucradas con el proyecto de inversión pública denominado: “Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial Pro Región Puno – Paquete 03: PE-34R, PE-3SQ y PE-3SR” como son: La oficina de Provías Nacional (Unidad Zonal Puno), la empresa Consorcio Vial Sur Perú (CVSP) y la consultora CONSUVIAL S.A.C., para luego recopilar información sobre el estudio de tráfico, inventarios viales, monitoreos, intervenciones y otros estudios complementarios de la vía que tienen a su cargo estas Instituciones.

Así mismo también se realizó la verificación en campo para validar los datos del inventario vial y las características de la vía en su situación actual.

Con la finalidad de proponer un sistema adaptado a los requerimientos y limitaciones de las entidades encargadas de las vías de segundo orden del país, se consultó e investigó bibliográficamente toda la información relacionada con experiencias internacionales y nacionales de administración y gestión vial, sistemas de concesión de carreteras, nuevas metodologías de fiscalización y control de calidad en la construcción, mantenimiento de carreteras; equipos de medición, tipos de información que entregan, control de calidad, inventario y monitoreo utilizados en la región y el mundo, así como programas informáticos relacionados con la gestión de carreteras.

Se investigó sobre programas y técnicas de medición, control de calidad, inventario y monitoreo realizados en vías representativas del Perú mediante métodos destructivos y/o de bajo rendimiento, y otros obtenidos con equipos de alto rendimiento y mayor precisión, que permitirán obtener información de los elementos viales, en lo posible sin destruir la capa del pavimento, cunetas, etc.



Se realizó también consultas sobre costos de construcción vial para diferentes tipos y regiones del país, costos de mantenimiento de carreteras, costos de mantenimiento de vehículos y de combustibles.

3.2.3.- PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Para las simulaciones y cálculos pertinentes se utilizó el modelo HDM-4 (versión 2.09) del Banco Mundial (modelo de estándares de diseño y conservación de carreteras o Highway Design and Maintenance Standards Model) que permite simular el proceso de deterioro de la carretera, considerando diferentes opciones de actividades de mantenimiento vial. El modelo establece los flujos de costos e indicadores de rentabilidad económica.

Este modelo facilita el cálculo de los costos totales de transporte por carretera, considerando los costos en infraestructura que deben afrontar generalmente los organismos viales como es en este caso la construcción y mejoramiento, con su mantenimiento respectivo y los costos de operación de los vehículos que son afrontados por los usuarios de las carreteras.

El modelo HDM-4 calcula internamente las velocidades y los costos de operación de los diferentes tipos de vehículos, así como el grado de deterioro y costos de conservación de las vías en función de las características de diseño del camino, de las normas de conservación, del volumen del tráfico, de las cargas por eje y de las condiciones ambientales.

Los costos de conservación y de operación de los vehículos son determinados en base a las cantidades físicas calculadas endógenamente y a los precios unitarios especificados y discriminados en costos financieros y costos económicos.



La forma como se sugiere armar la estructura de los datos e información que van a ser alimentados en la herramienta, para que con base en ellos tengamos el punto de partida para entender la forma cómo opera el programa y cómo utiliza los datos que han sido alimentados en él para los distintos análisis que posteriormente el usuario o las agencias viales que tengan implementada la herramienta puedan obtener de ellos esa contribución o esa expectativa resuelta de tener un sistema de gestión con el HDM-4, podemos resumir de la siguiente manera:

En primer lugar, debemos adaptar el programa a las condiciones locales y en esa adaptación se deberá configurar la herramienta que nos permita definir todo el contexto en el cual los modelos de tráfico, los parámetros de agregados, la definición climatológica, la relación de velocidad y capacidad, la definición de las mismas series y juegos de calibración, para permitir al usuario definir el contexto específico en el que se trabajará.

Seguidamente, la definición de la flota vehicular, el usuario ingresa los datos del estudio de tráfico que permita a la herramienta conocer las características del parque automotor que lo compone y sus características físicas y mecánicas, donde se aconseja utilizar como base las categorías de conteo y pesaje que localmente se utilizan. Asimismo es importante conocer la información referente a la solicitud misma de los tránsitos, los factores de equivalencia de carga para la determinación de los ejes equivalentes que posteriormente se van a utilizar para el cálculo de las solicitudes por carga por parte del programa y desde otra perspectiva tener la oportunidad de capturar los datos básicos y las características básicas de cada uno de los vehículos (mecánicamente, utilización, etc.) así como de los precios unitarios de cada uno de los parámetros y variables que contempla como insumo de entrada los modelos de costos operacionales (precios



unitarios de consumo) o tiempos de viajes que tiene la herramienta, estas últimas para realizar una evaluación económica con HDM-4.

Finalmente, la definición de los estándares de conservación tanto en la configuración y definición de la flota vehicular, es importante que haya consensos a niveles locales para acortar valores típicos o representativos para cada uno de éstos parámetros, lo mismo ocurre en la definición de los estándares de trabajos que contempla el programa; es indispensable conocer y entender las políticas y estándares de conservación por parte de la agencia vial y los usuarios que llegarían a usar esta herramienta en términos de cuáles son los trabajos típicos que se desarrollan en un país o región, cuáles son los criterios y umbrales de aplicación de cada una de las actividades y tareas de mantenimiento, conservación y mejoramiento, los precios unitarios de cada uno de ellos, en términos económicos y financieros. La definición de los efectos de los trabajos posterior a la aplicación de los mismos y las características de los trabajos que se van a realizar particularmente.

3.2.3.1.- Selección de las Políticas y Estrategias de Mantenimiento

Para la evaluación de costos de mantenimiento vial y operación vehicular, la metodología que emplea el HDM-4 es definir una serie de políticas y estrategias de mantenimiento y conservación, que en adelante serán denominadas como alternativas de conservación, las cuales son comparadas respecto al estado actual de la vía (sin proyecto), que se denomina: Alternativa Base.

3.2.3.1.1.- Situación “SIN PROYECTO”: alternativa base

Constituye una alternativa “sin proyecto”, mediante su comparación con las otras alternativas “con proyecto” se establece la rentabilidad del proyecto.



La alternativa consiste en dotar a la vía existente de un mantenimiento optimizado, el cual está compuesto por actividades rutinarias como el mantenimiento del drenaje, limpieza de vegetación en las bermas, mantenimiento de obras de arte y señales, así como se incluyen actividades periódicas como el sello, parchado superficial y profundo, actividades establecidas por el Manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial.

En esta investigación se ha definido como Alternativa Base, aquella alternativa en la que sólo se ejecutará mantenimiento rutinario, estas actividades son:

- Sellado de fisuras y grietas
- Parchado superficial en calzada y berma
- Parchado profundo en calzada y berma
- Limpieza general
- Conservación de elementos de drenaje
- Conservación de señalización

Se ha observado que actualmente en la vía en estudio se viene realizando trabajos de mantenimiento rutinario, estas actividades son realizadas por el Consorcio encargado temporalmente de su administración (CVSP), por lo que se valida la alternativa base planteada en esta investigación para efectos de la evaluación económica.

3.2.3.1.2.- Situación “CON PROYECTO”: Alternativas de actividades de conservación periódica

Los criterios para considerar en estas alternativas son planteados en base al Manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial, eligiendo la alternativa que más se adecúe a nuestra carretera en base a la evolución técnica realizada con anterioridad.



De acuerdo a este manual podemos observar actividades de conservación periódica de pavimento flexible, como son:

- Sellos asfálticos
- Recapeos asfálticos
- Fresado de carpeta asfáltica
- Bases estabilizadas

Para la presente investigación se ha considerado plantear dos alternativas con proyecto, estas alternativas fueron seleccionadas debido a que muchos de los proyectos de conservación periódica a nivel nacional se vienen trabajando con estas tecnologías; siendo estas actividades:

- Alternativa 2: Reciclado y reposición con mezcla asfáltica modificada

Esta alternativa fue planteada en el estudio de pre inversión a nivel de perfil de las carreteras del proyecto pro región Puno, por niveles de servicio, elaborado por la consultora Consorcio El Altiplano.

- Alternativa 3: Fresado y reposición con mezcla asfáltica modificada

Esta alternativa fue planteada por el autor, dado que al realizar la evaluación funcional y estructural se ha podido observar que la vía en estudio aún no requiere una intervención a nivel de paquete estructural, bastaría con sólo reemplazar el pavimento flexible existente para recuperar los niveles de serviciabilidad.

La situación con proyecto, también debe considerar el mantenimiento rutinario que recibirá la carretera post ejecución de la conservación periódica, ya que el análisis de la evaluación de costos y deterioros se realizará por periodo de 15 años. Estas actividades se describen en la sección 3.3.3.2 de esta investigación.



3.2.3.2.- Evaluación económica de políticas y estrategias de mantenimiento

La evaluación contempla el uso de parámetros económicos, donde los beneficios medidos a través del ahorro de los costos operativos vehiculares y de conservación vial son considerados como los más relevantes.

La metodología de evaluación consistió en definir los costos totales de mantenimiento para las alternativas propuestas y los costos de operación vehicular, los cuales están expresados en precios financieros y en precios económicos o sociales.

Esta evaluación estableció la alternativa óptima de mantenimiento periódico, mediante los indicadores de rentabilidad que determinen la viabilidad desde el punto de vista técnico y económico. El análisis se realizó en función a políticas y estrategias de mantenimiento y el comportamiento del tráfico de la vía.

3.2.3.2.1.- Información necesaria para el HDM-4

La información necesaria y utilizada para realizar la evaluación con el HDM-4 es:

- El tráfico (base) de la carretera y las tasas de crecimiento previstas para el tráfico que circula por la carretera. Las tasas fueron estimadas tomando en cuenta las variables macroeconómicas (PBI y población).
- Las características técnicas y condiciones de estado de la carretera: en condiciones actuales (sin proyecto) y con el proyecto, diferenciada por tramos homogéneos y de acuerdo a las condiciones técnicas de la vía y el nivel de tráfico.
- Políticas y estrategias de mantenimiento de la carretera durante su vida útil.



- Costos de mantenimiento expresados a precios financieros y económicos. Para la determinación de éstos costos se revisó el contrato por niveles de servicio entre Provías Nacional y el CVSP.
- Características técnicas y parámetros de utilización de los vehículos tipos.
- Costos de operación vehicular, costos de insumos y de los vehículos tipos identificados. Para la determinación de éstos costos se usó los parámetros requeridos y opcionales para el uso del HDM-4 de la oficina general de planificación y presupuesto (OGPP) – MTC, Julio 2018.

3.2.3.2.2.- Parámetros considerados para la Evaluación

- Período de análisis de 15 años.
- Tasa de descuento del 8%.

3.3.- ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.3.1.- INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE LA VÍA

La carretera Juliaca – Lampa está comprendida entre las progresivas: Km 98+350 al Km 127+750 de la ruta PE-3SQ. En esta vía, la calzada se encuentra a nivel de pavimento flexible en regular estado de conservación con una longitud de 29.4 kilómetros y un ancho promedio de calzada de 8.40 m, ubicada en las provincias de Lampa y San Román. La Figura 29 muestra la sección típica de la carretera Juliaca – Lampa.

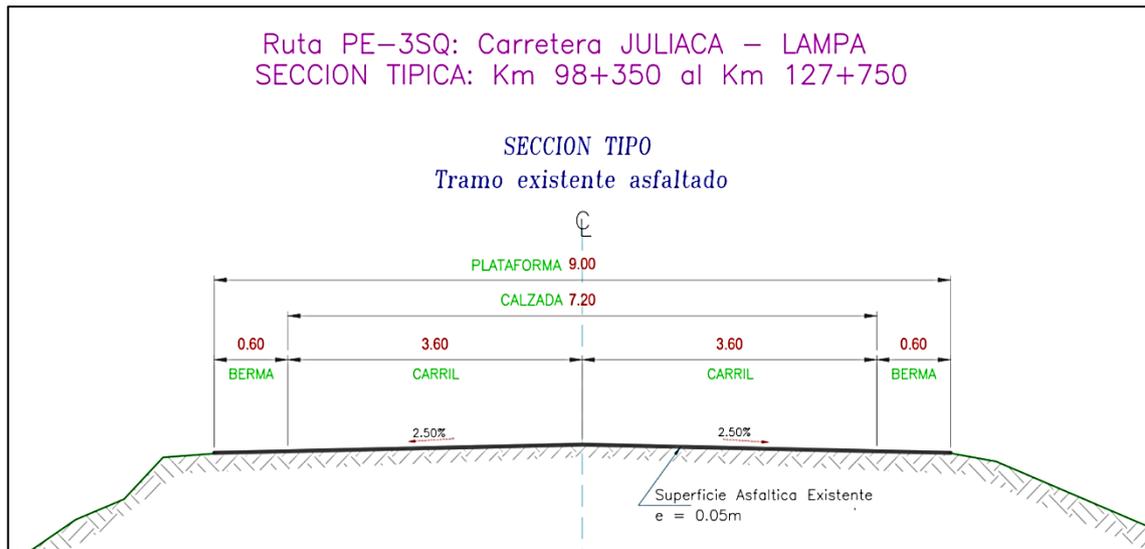


Figura 29. Sección típica de la carretera Juliaca – Lampa

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

La vía se encuentra transitable y presenta estructuras de drenaje longitudinal revestida (concreto y mampostería de piedra) y transversal de concreto (alcantarillas de concreto, TMC y puentes), hitos kilométricos, señalización de seguridad y vertical atravesando la vía centros poblados menores y zonas urbanas.

Se presenta a continuación la información obtenida de Provías Nacional, donde se indica los datos generales, características, pavimento, drenaje, obras de arte en su estado actual que se menciona en el estudio de pre inversión elaborado por la consultora Consorcio El Altiplano, donde se aplicaron las fichas de inventario vial que se detalla en el ítem 2.2.3.1.1 y se resumen en la siguiente Tabla 5:

Tabla 5: Características técnicas de la vía

PE-3SQ: Juliaca – Lampa	
Red vial	Ruta PE-3SQ
Longitud	29.4 Km
Tipo de orografía	Tipo 1
Clasificación vial	Segunda Clase
IMDA	865 (2019)
Velocidad directriz	90 km/h
Radios mínimos	60
Ancho de la calzada	9.00 m
Número de carriles	2
Superficie de rodadura	7.20 m
Berma	0.90 m
Pendiente mínima	0.12%
Pendiente máxima	6.20%
Bombeo	2.50 %
Peralte	6 – 8 %
Pavimento actual	Pavimento flexible en regular a mal estado de conservación
Espesor de la base	0.20 m
Espesor de la sub base	0.20 m
Altitud mínima	3,825 msnm (Km 127+750)
Altitud máxima	3,865 msnm (Km 98+350)
Drenaje lateral	Cunetas revestidas de concreto
Drenaje transversal	Alcantarillas de C°A° y TMC

Fuente: Estudio de Pre Inversión a nivel de perfil de las carreteras del proyecto Pro Región Puno por niveles de servicio – Visitas a campo.



3.3.2.- EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA VÍA

3.3.2.1.- Estudio de Tráfico

Del estudio realizado en Provías Nacional mediante la consultora Consorcio El Altiplano, se pudo observar que el estudio de tráfico fue elaborado en el año 2015, obteniendo un IMDA para el año 2019 de 996; sin embargo, para esta investigación se optó por realizar un nuevo conteo vehicular para tener una data real y una nueva proyección del tráfico.

3.3.2.1.1.- Conteo Vehicular

El conteo vehicular se realizó observando los parámetros establecidos en el Manual para estudio de tráfico de la Oficina General de Presupuesto y Planificación del Ministerio de Transportes Comunicaciones (OGPP-MTC). El método empleado fue el método manual, donde cada clasificador anotó el paso de cada vehículo y por hora, llenando un formato especial (ver Anexo A.1).

Las tareas de conteo se realizaron ininterrumpidamente las 24 horas del día, desde el inicio al fin en el plazo pre-establecido en siete días continuos, que corren del 04 al 10 de diciembre de 2019. (Tabla 7)

La estación elegida permitía una visibilidad adecuada y reunía los requisitos logísticos necesarios para llevar adelante esta tarea.

Estación E-1, Lampa

Esta estación caracteriza la homogeneidad del tramo desde el Km 98+350 al Km 127+750, se ubicó en el Km 98+375, específicamente en el ingreso a la ciudad de Lampa (desde Juliaca) según se muestra en la Figura 30.

Los resultados del promedio diario de los conteos de la semana en la estación E-

1 Lampa se muestran en la Tabla 6:



Figura 30. Ubicación de la estación de conteo E-1

Fuente: Google Earth.

Tabla 6: Tránsito promedio diario de la semana, Estación E-1

TRAFICO VEHICULAR				
Clasificación E- 1 Lampa				
(Veh/dia)				
Tipo de Vehículos	TPDS a Juliaca	TPDS a Lampa	TPDS Total	Distrib. %
Autos	69	63	132	13.59%
S. Wagon	75	71	146	15.04%
C. Pick Up	58	58	116	11.95%
C. Panel	2	1	3	0.31%
Camioneta Rural	226	238	464	47.79%
Micro	0	1	1	0.10%
bus 2E	0	0	0	0.00%
bus 3E	0	0	0	0.00%
bus 4E	0	0	0	0.00%
Camion 2E	39	40	79	8.14%
Camión 3E	14	11	25	2.57%
Camion 4E	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S3	1	0	1	0.10%
Semitrayles 3S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S3	3	1	4	0.41%
Traylers 2T2	0	0	0	0.00%
Traylers 2T3	0	0	0	0.00%
Traylers 3T2	0	0	0	0.00%
Traylers 3T3	0	0	0	0.00%
TOTAL TPDS	487	484	971	100.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 7: conteos de la semana, Estación E-1

Estación N° 01 Lampa
Conteos Diarios

Días	Sentido	Ligeros						Bus				Camiones				Semi Trailer				Trailer				Total
		Auto	Station Wagon	Pick Up	Panel	Rural	Micro	B2	B3	B4	C2	C3	C4	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
Martes 3	Entrada	55	76	69	1	259	0	0	0	0	46	15	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	525	
	Salida	47	76	61	3	280	6	0	0	0	40	12	0	0	1	1	3	0	0	0	0	0	510	
	Ambos	102	152	130	4	519	6	0	0	0	86	27	0	0	2	1	6	0	0	0	0	0	1035	
Miércoles 4	Entrada	52	101	56	2	235	2	0	0	52	25	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	531	
	Salida	33	119	80	4	237	1	2	0	58	24	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	563	
	Ambos	85	220	136	6	472	3	2	0	0	110	49	3	0	2	0	6	0	0	0	0	0	1094	
Jueves 5	Entrada	59	50	66	6	199	3	1	0	35	16	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	441	
	Salida	50	45	48	4	198	3	0	0	37	10	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	400	
	Ambos	109	95	114	10	397	6	1	0	0	72	26	0	0	2	0	9	0	0	0	0	0	841	
Viernes 6	Entrada	82	68	55	4	191	2	1	0	42	21	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	472	
	Salida	96	53	66	6	264	1	1	0	29	19	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	540	
	Ambos	178	121	121	10	455	3	2	0	0	71	40	0	0	2	0	9	0	0	0	0	0	1012	
Sábado 7	Entrada	96	65	51	2	220	1	1	0	40	18	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	502	
	Salida	78	80	63	3	237	2	5	0	36	11	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	523	
	Ambos	174	145	114	5	457	3	6	0	76	29	0	0	0	0	2	14	0	0	0	0	0	1025	
Domingo 8	Entrada	64	94	57	1	188	1	1	0	25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	433	
	Salida	78	74	50	0	189	2	1	0	27	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	423	
	Ambos	142	168	107	1	377	3	2	0	52	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	856	
Lunes 9	Entrada	75	88	53	1	286	0	2	0	39	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	546	
	Salida	61	60	39	0	266	0	3	0	46	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	479	
	Ambos	136	148	92	1	552	0	5	0	85	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1025	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

El Índice medio diario anual se obtiene multiplicando el tránsito promedio diario semanal por el factor de corrección del mes de diciembre. En la Tabla 8 se muestra el índice medio diario anual encontrado para la estación E-1 (IMDA = 865 veh/día) y la composición vehicular correspondiente.

Tabla 8: Índice medio diario anual, Estación E-1

TRAFICO VEHICULAR				
Clasificación E- 1 Lampa				
(Veh/día)				
Tipo de Vehículos	IMDa a Juliaca	IMDa a Lampa	IMDa Total	Distrib. %
Autos	61	55	116	13.45%
S. Wagon	66	63	129	14.88%
C. Pick Up	51	51	102	11.82%
C. Panel	2	1	3	0.31%
Camioneta Rural	199	210	409	47.28%
Micro	0	1	1	0.10%
bus 2E	0	0	0	0.00%
bus 3E	0	0	0	0.00%
bus 4E	0	0	0	0.00%
Camion 2E	38	39	76	8.82%
Camión 3E	14	11	24	2.79%
Camion 4E	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S3	1	0	1	0.11%
Semitrayles 3S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S3	3	1	4	0.45%
Traylers 2T2	0	0	0	0.00%
Traylers 2T3	0	0	0	0.00%
Traylers 3T2	0	0	0	0.00%
Traylers 3T3	0	0	0	0.00%
TOTAL IMD	434	431	865	100.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

A. Análisis de la variación horaria

El volumen horario empieza a incrementar desde las 05.00 horas para alcanzar entre las 08:00 a 09:00 horas con el 7.3% del flujo total detectado, por la tarde de 16:00 a 17:00 horas alcanza la hora punta máxima del día con un 7.2% del flujo vehicular como se aprecia en la Figura 31.

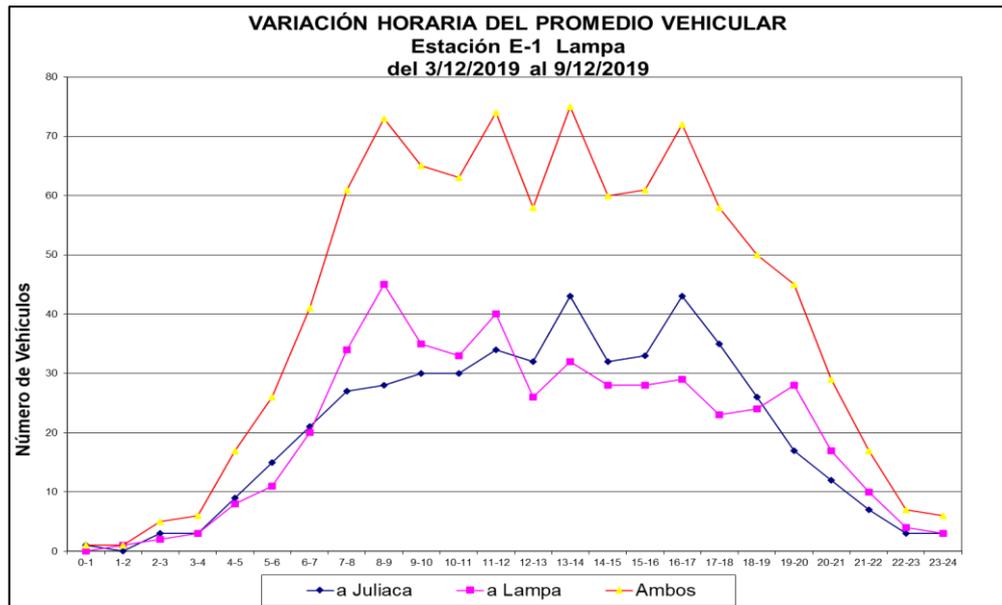


Figura 31. Variación horaria del promedio vehicular E-1
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

B. Análisis de la variación diaria

En la Figura 32 se muestra que el mayor volumen de tráfico se presentó el día miércoles con 1,094 vehículos y el menor el jueves con 841 vehículos. Además, la Figura 33 muestra el conteo vehicular en la estación E-1.

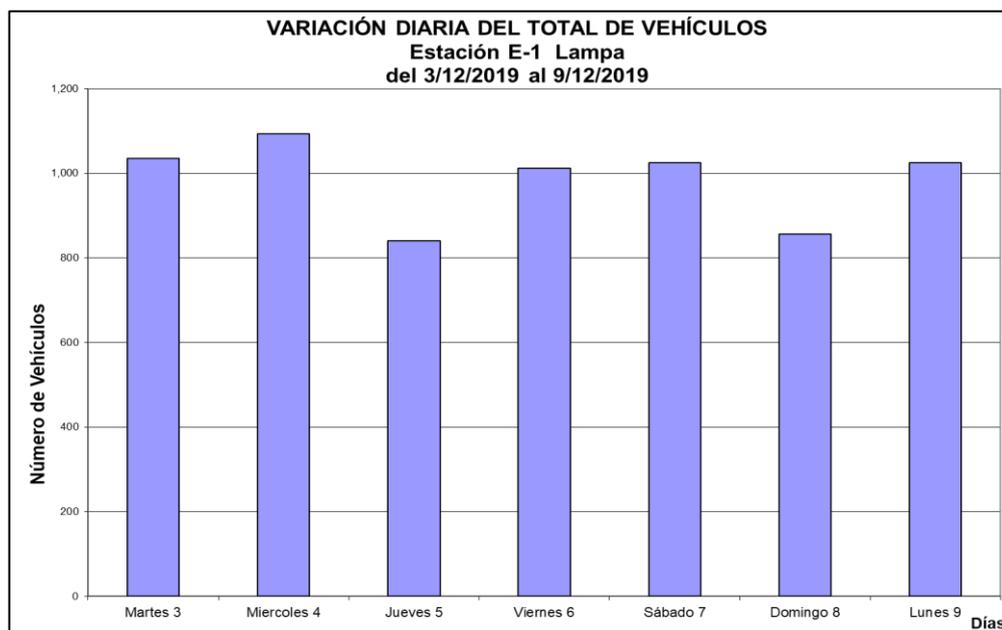


Figura 32. Variación Diaria del Total de Vehículos E-1
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

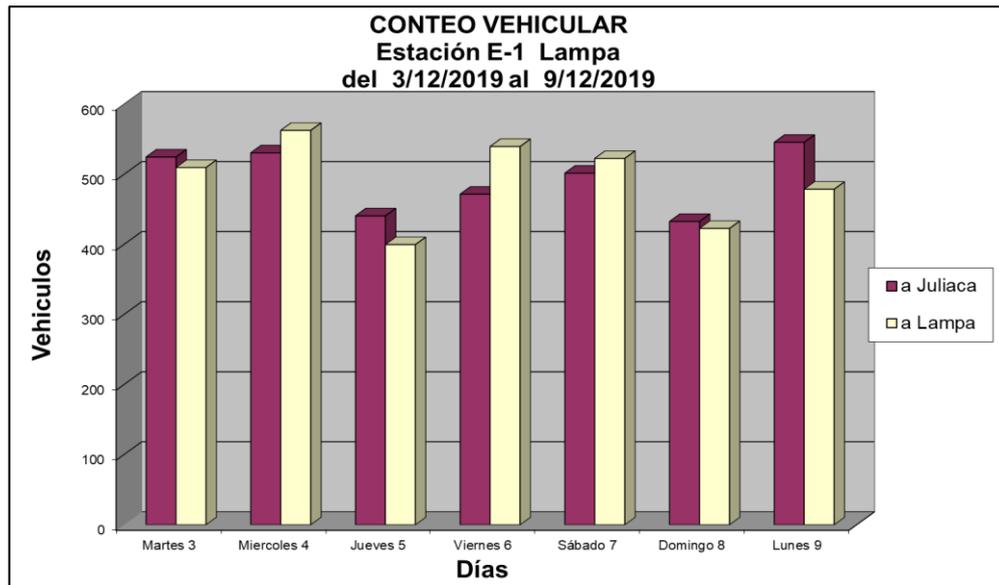


Figura 33. Conteo vehicular E-1
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

C. Análisis de la composición del tipo del flujo vehicular

El flujo vehicular actual en la vía está compuesto fundamentalmente por vehículos ligeros con 89% del total, en el rubro de vehículos pesados detectados en la estación de conteo Lampa con 11% destacan los vehículos de 2 ejes con un 8% del total del flujo vehicular y un 3% de vehículos de 3 ejes. Se aprecia a más detalle en las figuras 34 y 35.

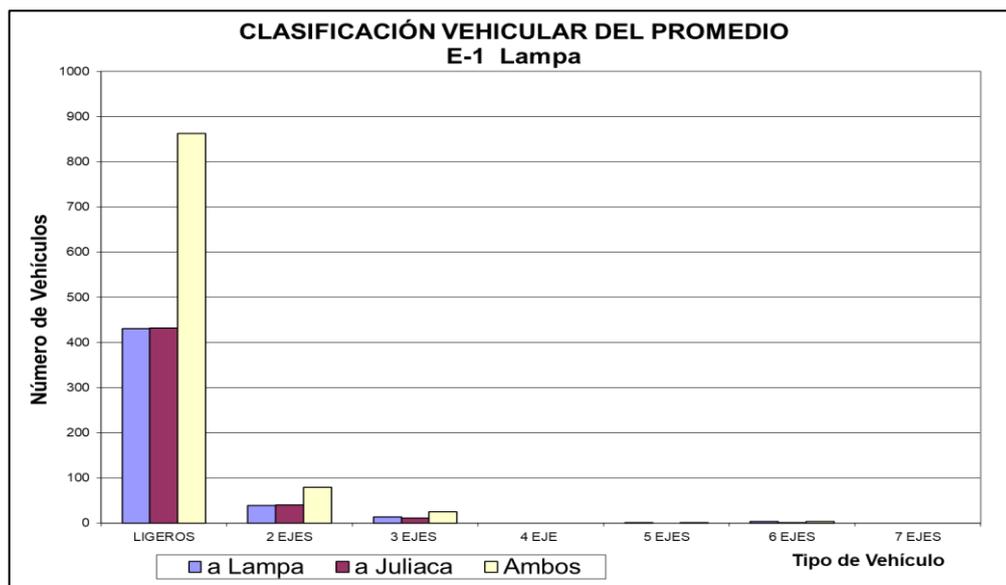


Figura 34. Clasificación vehicular del promedio E-1
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

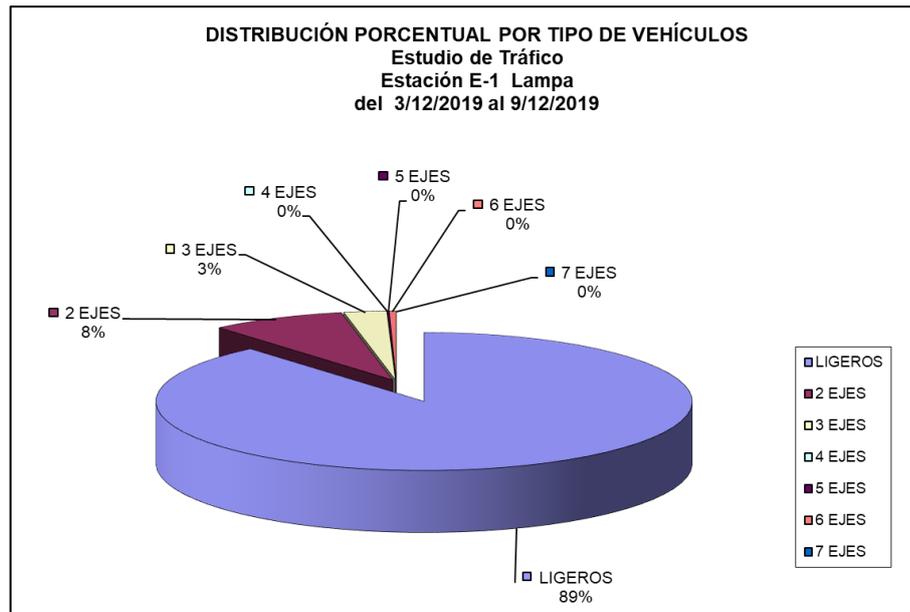


Figura 35. Distribución porcentual por tipo de vehículos E-1

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.2.1.2.- Encuesta origen/destino

La encuesta de origen – destino (O/D), tiene como objetivo identificar las características del tráfico vehicular en la carretera Juliaca – Lampa, para lo cual se han identificado aspectos como tipo de vehículo, marcas, modelos, tipo de carga, origen, destino de la carga y de los pasajeros. La encuesta origen-destino se efectuó en la misma estación de conteo vehicular al ingreso a la ciudad de Lampa, empleada para determinar las respectivas tasas de crecimiento basados en la metodología de generación de viajes.

La información obtenida de la encuesta O/D fue procesada y los resultados son las matrices origen – destino por tipo de vehículo, donde se consideró las localidades más representativas identificadas como generadoras o receptoras de los flujos de tráfico. Así mismo se identificó los motivos de viaje de los pasajeros y la ocupabilidad de los vehículos de pasajeros.



Encuestas O/D de vehículos de pasajeros

Los resultados de la muestra obtenida en la estación Lampa, de todas las configuraciones detectadas se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Vehículos detectados O/D Lampa

Estación de Encuesta Lampa	
Vehículos detectados	
Tipo	Cantidad
Auto	212
SW	146
Panel	3
Pick Up	232
C. Rural	791
B2	15
Micro	3
C2	84
C3	16
3S3	2
3S4	1
Total	1505

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

A. Motivos de Viaje

En la Tabla 10 se muestra los principales motivos de viaje detectado en la estación Lampa, siendo el motivo principal “trabajo” con un 64%, seguido por “paseo” con un 36%.

Tabla 10: Motivos de viaje O/D Lampa

Motivos de Viaje		
Motivos	N° de Viaje	%
Trabajo	894	64%
Paseo	498	36%
Estudio	1	0%
Salud	0	0%
Otros	9	1%
TOTAL	1402	100%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

B. Ocupabilidad de los vehículos

En la Tabla 11 se muestra el porcentaje de ocupabilidad de los vehículos de transporte de pasajeros en vehículos detectados en la estación Lampa, teniendo una tasa del 76.08%.

Tabla 11: Ocupación de vehículos de pasajeros O/D Lampa

Tasa de Ocupación Vehicular	
Asientos Ofertados	16048
Asientos Ocupados	12209
Tasa	76.08%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

C. Parque Automotor por marcas

En la Tabla 12 se aprecia los tipos de marcas de vehículos de pasajeros detectados en la estación Lampa, teniendo la marca Renault un 46% del volumen total registrado, seguido de la marca Toyota con un 23%.

Tabla 12: Marca de vehículos de pasajeros O/D Lampa

VEHICULO DE CARGA POR MARCAS		
Marca	Cantidad	%
Renault	644	46%
Toyota	323	23%
Hyundai	97	7%
Nissan	47	3%
Kia	41	3%
Volkswagen	37	3%
Chevrolet	28	2%
Mitsubishi	24	2%
Jinbei	18	1%
Mercedes Benz	18	1%
Mazda	11	1%
Foton	4	0%
Otros	110	8%
Total	1402	100%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

D. Tipo de combustible

Tabla 13: Tipo de combustible -vehículos de pasajeros O/D Lampa

TIPO DE COMBUSTIBLES				
Vehículos	Tipo			Total
	Gasolina	Diesel	GLP/GNV	
V. Pasajeros	365	1037	0	1402
%	26%	74%	0%	100%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En la Tabla 13 se muestra el empleo de combustible para los vehículos de pasajeros en la estación Lampa, siendo el 26% gasolina y 74% diésel.

E. Antigüedad de los vehículos

En la Tabla 14 se puede apreciar la antigüedad de los vehículos de pasajeros que pasaron por el punto de encuesta ubicado en Lampa.

Tabla 14: Antigüedad de vehículos de pasajeros O/D Lampa

PARQUE AUTOMOTOR LIVIANO - ANTIGÜEDAD		
Rango de Años	Cantidad	Total
0-5	652	47%
6 - 10	531	38%
10 - 15	82	6%
15 - 20	37	3%
20 a más	100	7%
TOTAL	1402	100%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Encuestas O/D de vehículos de carga

A. Tipo de combustible

En la Tabla 15 se muestra el empleo de combustible para los vehículos de pasajeros en la estación Lampa.

Tabla 15: Tipo de combustible vehículos de carga O/D Lampa

TIPO DE COMBUSTIBLES			
Vehículos	Tipo		Total
	Gasolina	Diesel	
V. Unitarios	0	100	100
V. Articulados	0	3	3
TOTAL	0	103	103
%	0%	100%	100%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

B. Carga Transportada

En la Tabla 16 se puede apreciar los productos o mercancías que son transportados por vehículos de carga que pasaron por el punto de encuesta ubicado en Lampa.

Tabla 16: Mercancías Transportadas por Vehículos de Carga O/D Lampa

Producto	Composición de la Carga	
	Unidades	%
Vacio	48	47%
Cerverza	7	7%
Cemento	5	5%
Relleno	5	5%
Colchones	3	3%
Leche	3	3%
Gas	3	3%
Varios	2	2%
Mercadería	2	2%
Gaseosas	2	2%
Productos	2	2%
Combustible	2	2%
Estructuras	2	2%
Abarrotes	2	2%
Papa	1	1%
Fierros	1	1%
Tablas	1	1%
Lubricantes	1	1%
Verdura	1	1%
Carpas	1	1%
Ganado	1	1%
Otros	8	8%
Total	103	100%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

C. Antigüedad de los vehículos

En la Tabla 17 se puede apreciar la antigüedad de los vehículos pesados que pasaron por el punto de encuesta ubicado en Lampa.

Tabla 17: Antigüedad vehículos de carga O/D Lampa

PARQUE AUTOMOTOR PESADO - ANTIGÜEDAD		
Rango de Años	Cantidad	Total
0-5	23	22%
6 - 10	23	22%
10 - 15	7	7%
15 - 20	4	4%
20 a más	46	45%
TOTAL	103	100%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

D. Parque automotor por marcas

En la Tabla 18 se puede apreciar los tipos de marcas de vehículos de carga detectados en la estación Lampa, teniendo la marca Hyundai un 22% del volumen total registrado, seguido de la marca Mitsubishi con un 20%.

Tabla 18: Marca de vehículos de carga O/D Lampa



VEHICULO DE CARGA POR MARCAS		
Marca	Cantidad	%
Hyundai	23	22%
Mitsubishi	21	20%
Volvo	19	18%
Hino	10	10%
Jac	6	6%
Dodge	4	4%
Toyota	3	3%
Foton	3	3%
Freightliner	3	3%
Faw	1	1%
Cary	1	1%
Kia	1	1%
Scania	1	1%
Otros	7	7%
Total	103	100%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.2.1.3.- Proyección de la demanda

La metodología para proyectar el tráfico futuro de vehículos de pasajeros y de carga (camiones) se basa en la proyección de los indicadores macro-económicos que en el presente caso corresponderá al empleo de las tasas de crecimiento del producto bruto interno (PBI), tasa de crecimiento de la población y la tasa de crecimiento per-cápita.

Las tasas de crecimiento anual del volumen de tráfico corresponden para el caso de vehículos ómnibus y vehículos de carga a las siguientes fórmulas:

$$RV_p = r_{PBI/hab} \times EV_p$$

$$RV_b = r_{Pob} \times EV_b$$

$$RV_c = r_{PBI} \times EV_c$$

Donde:

- RV_p : Tasa de crecimiento anual de vehículos de pasajeros
- RV_b : Tasa de crecimiento anual de camionetas rurales y buses
- RV_c : Tasa de crecimiento anual de vehículos de carga
- r_{PBI/hab} : Tasa de crecimiento del PBI per-cápita

rPob	:	Tasa de crecimiento de la población
rPBI	:	Tasa de crecimiento del PBI
EVp	:	Elasticidad de la demanda de vehículos de pasajeros
EVb	:	Elasticidad de la demanda de vehículos de transporte público
EVc	:	Elasticidad de la demanda de vehículos de carga

Para el presente estudio se han tomado las estadísticas departamentales del PBI proporcionado por el INEI correspondientes a la serie histórica comprendida entre los años 2007-2018 que muestran el desarrollo económico de las zonas vinculadas al estudio.

De manera similar, se ha tomado la información del INEI de las tasas de crecimiento de la población (POB).

En la Tabla 19 se indican elasticidades para bus, camiones unitarios y camiones acoplados, estimados por el Plan Intermodal de Transportes 2013-2023 (PIT).

Tabla 19: Elasticidad de la demanda

ELASTICIDAD DE LA DEMANDA	
Vehículos de pasajeros - buses	1
Vehículos de Carga	1

Fuente: MTC-Plan Intermodal de Transportes 2013-2023.

El transporte de pasajeros en bus y transporte de carga, tiene similar tendencia de crecimiento que el PBI. Para la proyección regional del indicador macroeconómico PBI, se toma como fuente la proporcionada por el INEI – Informe Anual – 2019 del Compendio Estadístico de la web del INEI. En la Tabla 20 se precisa los indicadores de población a nivel de departamento y su evolución por periodo censal.

Tabla 20: Indicador Poblacional - Perú

TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL DE LA POBLACIÓN CENSADA, SEGÚN DEPARTAMENTO, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007 Y 2017						
Departamento	Tasa de Crecimiento Promedio Anual (%)					
	1940-1961	1961-1972	1972-1981	1981-1993	1993-2007	2007-2017
Total	2.2	2.9	2.5	2.2	1.5	0.7
Amazonas	2.9	4.6	3.0	2.4	0.8	0.1
Áncash 1/	1.5	2.0	1.4	1.2	0.8	0.2
Apurímac	0.5	0.6	0.5	1.4	0.4	0.0
Arequipa	1.9	2.9	3.2	2.2	1.6	1.8
Ayacucho	0.6	1.0	1.1	-0.2	1.5	0.1
Cajamarca 1/	2.0	1.9	1.2	1.7	0.7	-0.3
Prov. Const. del Callao 2/	4.6	3.8	3.6	3.1	2.2	1.3
Cusco	1.1	1.4	1.7	1.8	0.9	0.3
Huancavelica	1.0	0.8	0.5	0.9	1.2	-2.7
Huánuco 1/	1.6	2.1	1.6	2.7	1.1	-0.6
Ica	2.9	3.1	2.2	2.2	1.6	1.8
Junín 1/	2.1	2.7	2.2	1.6	1.2	0.2
La Libertad 1/	2.0	2.8	2.5	2.2	1.7	1.0
Lambayeque	2.8	3.8	3.0	2.6	1.3	0.7
Lima	4.4	5.0	3.5	2.5	2.0	1.2
Loreto 1/	2.8	2.9	2.8	3.0	1.8	-0.1
Madre de Dios	5.4	3.3	4.9	6.1	3.5	2.6
Moquegua	2.0	3.4	3.5	2.0	1.6	0.8
Pasco 1/	2.0	2.3	2.0	0.5	1.5	-1.0
Piura	2.4	2.3	3.1	1.8	1.3	1.0
Puno	1.1	1.1	1.5	1.6	1.1	-0.8
San Martín	2.6	3.0	4.0	4.7	2.0	1.1
Tacna	2.9	3.4	4.5	3.6	2.0	1.3
Tumbes	3.7	2.9	3.4	3.4	1.8	1.2
Ucayali 1/	6.8	5.9	3.4	5.6	2.2	1.4
Provincia de Lima 3/	5.2	5.7	3.7	2.7	2.0	1.2
Región Lima 4/	2.0	1.9	1.9	1.3	1.5	0.8

1/ Reconstruidos de acuerdo a la División Político Administrativa de 2007, considerando los cambios ocurridos en cada uno de los departamentos en los periodos correspondientes.
2/ Por mandato Constitucional del 22 de abril de 1857, se reconoce como Provincia Constitucional del Callao a la Provincia
3/ Comprende los 43 distritos de la provincia de Lima.
4/ Comprende las provincias de Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Huaral, Huarochirí, Huaura, Oyón y Yauyos.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Censos Nacionales de Población y Vivienda.

En la Tabla 21 se precisa los indicadores macroeconómicos de la región Puno.

Tabla 21: Indicadores macroeconómicos departamentales (PBI – PUNO)

Cuadro N° 1
Puno: Valor Agregado Bruto
por Años, según Actividades Económicas
Valores a Precios Constantes de 2007
(Miles de soles)

Actividades	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016P/	2017P/	2018E/
Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura	965,370	987,243	1,078,200	1,122,882	1,139,077	1,146,450	1,220,764	1,277,000	1,342,097	1,341,402	1,425,481	1,491,276
Pesca y Acuicultura	17,096	29,234	26,110	26,805	39,396	47,734	54,197	49,562	58,880	74,946	84,109	88,263
Extracción de Petróleo, Gas y Minerales	787,832	861,322	809,678	718,192	681,540	670,220	701,425	683,943	651,353	907,398	924,160	959,023
Manufactura	603,040	637,196	609,887	694,697	726,548	752,666	795,512	767,737	732,712	727,411	734,890	771,043
Electricidad, Gas y Agua	113,369	116,189	114,064	102,703	120,720	117,628	130,293	130,108	135,564	128,293	131,638	148,467
Construcción	332,681	422,205	536,986	637,650	688,212	734,956	893,370	910,420	740,738	869,919	950,678	924,389
Comercio	650,745	724,029	715,571	806,041	880,159	944,470	996,364	1,011,585	1,049,929	1,072,691	1,086,125	1,113,124
Transporte, Almacén., Correo y Mensajería	412,145	433,038	446,000	503,532	560,317	605,155	637,549	656,575	680,322	698,624	725,617	756,067
Alojamiento y Restaurantes	120,605	131,532	129,088	138,216	151,302	165,566	176,354	184,455	189,851	199,104	203,522	208,540
Telecom. y Otros Serv. de Información	98,370	123,121	137,287	158,607	183,846	214,972	237,009	264,017	291,256	329,231	369,279	386,225
Administración PúblPas y Defensa	424,921	452,047	485,091	518,984	567,442	603,815	623,441	661,279	682,955	707,560	728,302	756,453
Otros Servicios	1,362,300	1,411,299	1,499,911	1,552,170	1,645,946	1,730,826	1,828,042	1,890,632	1,964,045	2,019,420	2,070,936	2,151,090
VaPas Agregado Bruto	5,888,474	6,328,455	6,587,873	6,980,479	7,384,505	7,734,458	8,294,320	8,487,313	8,519,702	9,075,999	9,434,737	9,753,960

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Con información disponible al 15 de noviembre del 2019.

Basados en las cifras obtenidas de los registros del INEI se establece un período de evaluación del 2012 - 2018 se obtiene un crecimiento de 4.0% para este período.

Tabla 22: Tasa de crecimiento región Puno

Puno Año Base 2007 en millones de soles constantes	
Año	PBI
2012	7,734,458
2013	8,294,320
2014	8,487,313
2015	8,519,702
2016	9,075,999
2017	9,434,737
2018	9,753,960
Tasa 2012 -2018	4.0%

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática 2019 – Elaborado por el equipo de trabajo.

Para efectos de asignación de las tasas de crecimiento de la demanda en el transporte de pasajeros en vehículos particulares se ha asociado al PBI/per-cápita, el

crecimiento de la demanda de micros y ómnibus se ha relacionado con el crecimiento poblacional y el transporte de carga, tiene similar tendencia de crecimiento que el PBI.

Los viajes detectados de vehículos de pasajeros y carga se vinculan a los indicadores de población de la región Puno, por ser esta la principal referencia establecida en los resultados de las encuestas origen- destino.

Los datos obtenidos de las estadísticas oficiales permiten determinar las tasas de crecimiento de la demanda en los ámbitos de influencia determinados en la vía. En la Tabla 23 se precisa los indicadores macroeconómicos según proyección 2019-2034.

Tabla 23: Indicadores macroeconómicos

INDICADORES MACROECONÓMICOS	
Proyecciones 2019-2034	
Indicadores	Tasa
Población	1.1%
(PBI/Hab)	5.3%
PBI	4.0%

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática 2019 – Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.2.1.4.- Proyección del Tráfico

La proyección del tráfico normal obtenido a partir del IMDA, para vehículos de pasajeros y carga, se calcula aplicando las tasas de crecimiento propuestas al IMD por tipo de vehículo del año base (2019).

En los tramos afectos a conservación, el tráfico generado por la mejora en las condiciones de transitabilidad de la vía, se estima en 10% en concordancia con otros proyectos realizados por el MTC. La asignación de los porcentajes de tráfico generado es como sigue:



Tabla 24: Tasas empleadas para Proyecciones por tipo de Vehículos

TIPO DE VEHICULO	TASA ANUAL %
AUTO	5.3
CAMIONETA PICK UP	5.3
CAMIONETA RURAL	1.1
MICRO	1.1
BUS	1.1
CAMIONES	4.0
ARTICULADOS	4.0

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

El tráfico total esperado para el horizonte del proyecto resulta de la sumatoria del tráfico normal y tráfico generado, en la Tabla 24 se muestra las tasas empleadas para la proyección por tipo de vehículo.

Finalmente, el resumen de los resultados de la proyección del tráfico normal generado y total y por tipo de vehículo se muestran en la Tabla 25, por un periodo de 15 años (del año 2019 al 2034).

Tabla 25: Proyección del tráfico

TRAFICO NORMAL	AÑO															
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
AUTO/SW	245	258	272	286	301	317	334	352	370	390	411	432	455	479	505	532
CAMIONETA PICK UP/PANEL	105	111	116	123	129	136	143	151	159	167	176	185	195	205	216	228
CAMIONETA RURAL	409	413	418	423	427	432	437	442	446	451	456	461	466	472	477	482
MICRO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BUSES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2E	76	79	82	85	89	92	96	100	104	108	112	117	122	127	132	137
CAMION 3E	24	25	26	27	28	29	30	32	33	34	36	37	38	40	42	43
CAMION 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
SEMITRAYLER 3S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7
TRAYLER 2T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	865	892	920	950	981	1,013	1,047	1,084	1,119	1,158	1,199	1,241	1,285	1,333	1,382	1,432
TRAFICO GENERADO																
AUTO/SW			27	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	48	51	53
CAMIONETA PICK UP/PANEL			12	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CAMIONETA RURAL			42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48
MICRO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BUSES			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2E			8	9	9	9	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14
CAMION 3E			3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
CAMION 4E			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3.2.1.5.- Estudio de la velocidad

Con la finalidad de establecer la velocidad de viaje en los estudios de tráfico en Perú se aplican dos métodos: el método de la técnica de la placa de matrícula y el método del vehículo de prueba. En este apartado, la medición de la velocidad está referida a la velocidad de desplazamiento de un vehículo a lo largo del camino o ruta, lo cual denominaremos velocidad de viaje o método del vehículo de prueba.

Por las características de la ruta, se decidió emplear el método del vehículo de prueba, bajo esta modalidad la muestra tomada no es voluminosa debido a que fue necesario subir a cada vehículo y viajar a lo largo de todo el tramo, sin embargo, la información obtenida es más confiable.

En la Tabla 26 se muestra el resumen de velocidades por tipo de vehículo.

Tabla 26: Tabla resumen de velocidad

Tramo		Velocidad por Tipo de Vehículos en Km/h							
		Autos	Station Wagon	Pick Up	C. Rural	Micros	Buses	Camiones Urbanos	Acoplados
T.1	Juliaca - Lampa	65	65	77	54	23	45	39	35

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.2.2.- Evaluación funcional

3.3.2.2.1.- Regularidad superficial

La evaluación de la rugosidad (IRI) de la vía en estudio fue medido con un Perfilómetro Láser Laserprof DLP49 (Figura 36) de la empresa CVSP, que está clasificado como el de máxima precisión en su tipo de acuerdo al estándar ASTM E 950.



Figura 36. Perfilómetro láser LASERPROF DLP49 GREEN WOOD
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Para la medición de la rugosidad (IRI) con este dispositivo, primero se definió la metodología de medición en la vía. En la Figura 37 se indica la metodología de mediciones en la superficie del pavimento.

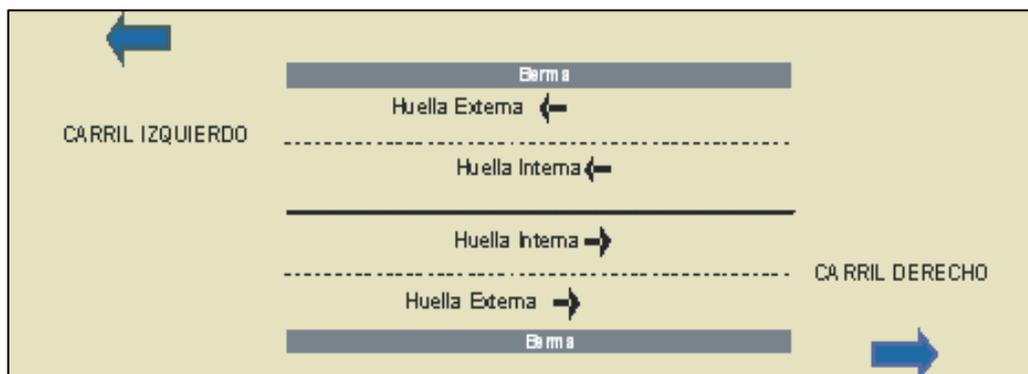


Figura 37. Croquis para las mediciones IRI en campo
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Resultados obtenidos de la evaluación

Luego de realizar las respectivas actividades de campo, los valores de medición de rugosidad IRI media en m/km cada 100 metros obtenidos tanto para el carril derecho como para el carril izquierdo se resume en la Tabla 27, el cual es un resumen estadístico.

Tabla 27: Resumen estadístico mediciones IRI

Parámetros estadísticos IRI a 100m	Carril Derecho	Carril Izquierdo	Ambos Carriles
Total tramos medidos	295	295	590
IRI promedio m/km	2.94	2.71	2.83
IRI máximo obtenido m/km	10.00	10.00	10.00
IRI mínimo obtenido m/km	1.29	1.25	1.27
Desviación estándar	1.70	1.19	1.45
Coefficiente de variación	58%	44%	51%
IRI característico	4.38	3.71	4.05

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Los resultados de la evaluación funcional IRI del pavimento asfáltico de la ruta en evaluación también se presentan gráficamente en el siguiente rugograma mostrado en la Figura 38.

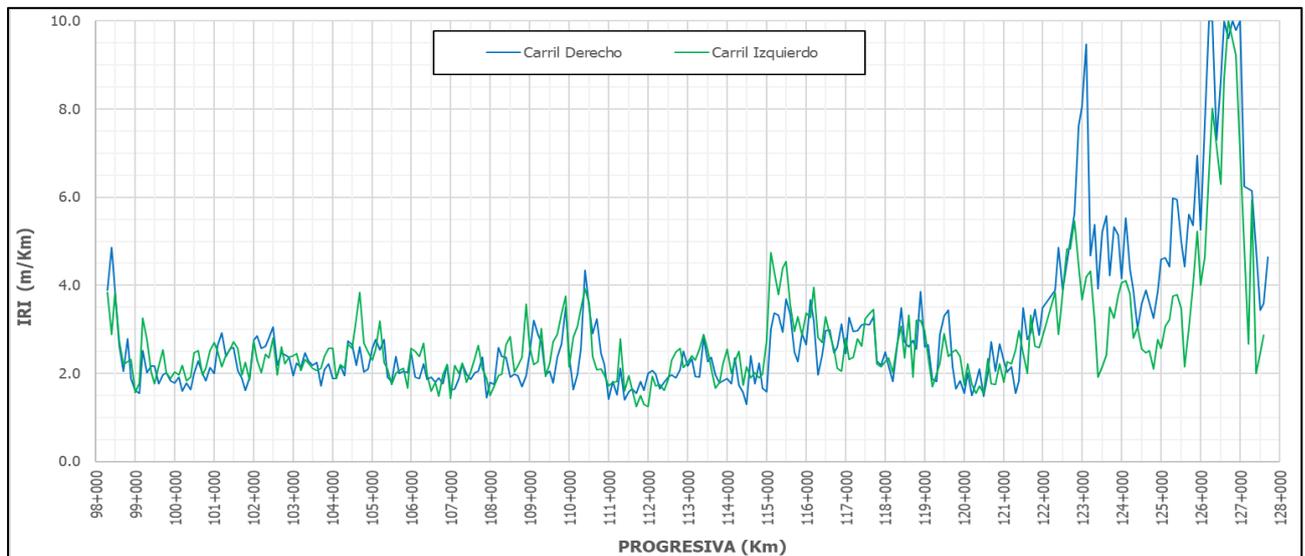


Figura 38. Mediciones IRI del pavimento asfáltico de la vía Juliaca - Lampa

Fuente: Evaluación CVSP - Elaborado por el equipo de trabajo.

En el anexo B.1 se muestran los registros del indicador IRI por huella cada 100 metros.

3.3.2.2.2.- Macrotextura

La macrotextura fue evaluada a partir de las mediciones del perfil longitudinal utilizando el Perfilómetro Láser Laserprof DLP49 de la empresa CVSP. Este equipo se clasifica como clase 1, de acuerdo al estándar ASTM E 950 y es capaz de evaluar en forma continua sin interrumpir la circulación del tránsito. Dicho equipo va captando mediante láser la profundidad de textura medida con sensor (SMTD: Sensor Measured Texture Depth) del perfil del camino.

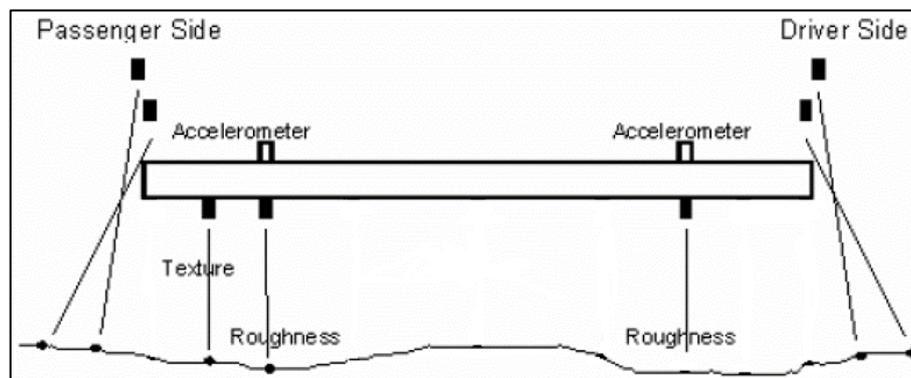


Figura 39. Método registro de macrotextura

Fuente: Manual del usuario ARRB, Hawkeye.

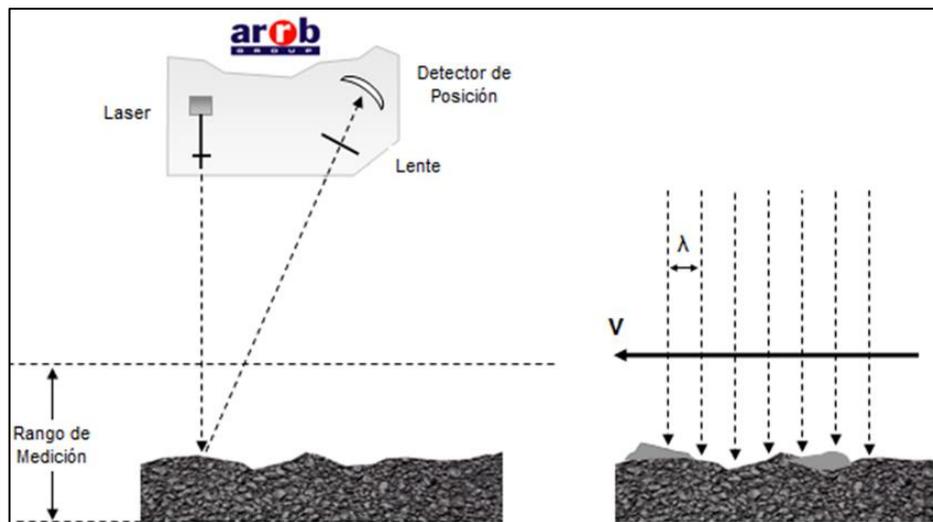


Figura 40. Esquema del sistema de medición del perfilómetro láser

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En la Figura 40 se muestra de forma esquemática la forma de evaluación, donde un láser envía un haz con dirección a la superficie del pavimento la cual es devuelta y difractada por un lente óptico hacia un detector de posición. La frecuencia de muestreo depende de la velocidad de medición. Por ejemplo, a 60Km/h, la frecuencia de muestreo es una longitud de 100 mm de 1700 Hz, lo que implica tomar datos cada 1 mm.

En la Tabla 28 se aprecia la clasificación de la macrotextura.

Tabla 28: Clasificación de la macrotextura

Macrotextura	h_{eq} (mm)
Muy Lisa	$h_{eq} < 0.2$
Lisa	$0.2 < h_{eq} < 0.4$
Media	$0.4 < h_{eq} < 0.8$
Profunda	$0.8 < h_{eq} < 1.2$
Muy Profunda	$1.2 < h_{eq}$
Macro Textura	h_{eq}

Fuente: Clasificación Internacional.

Los resultados de la evaluación funcional de la textura superficial obtenido para la vía se presentan gráficamente en las figuras 41 y 42.

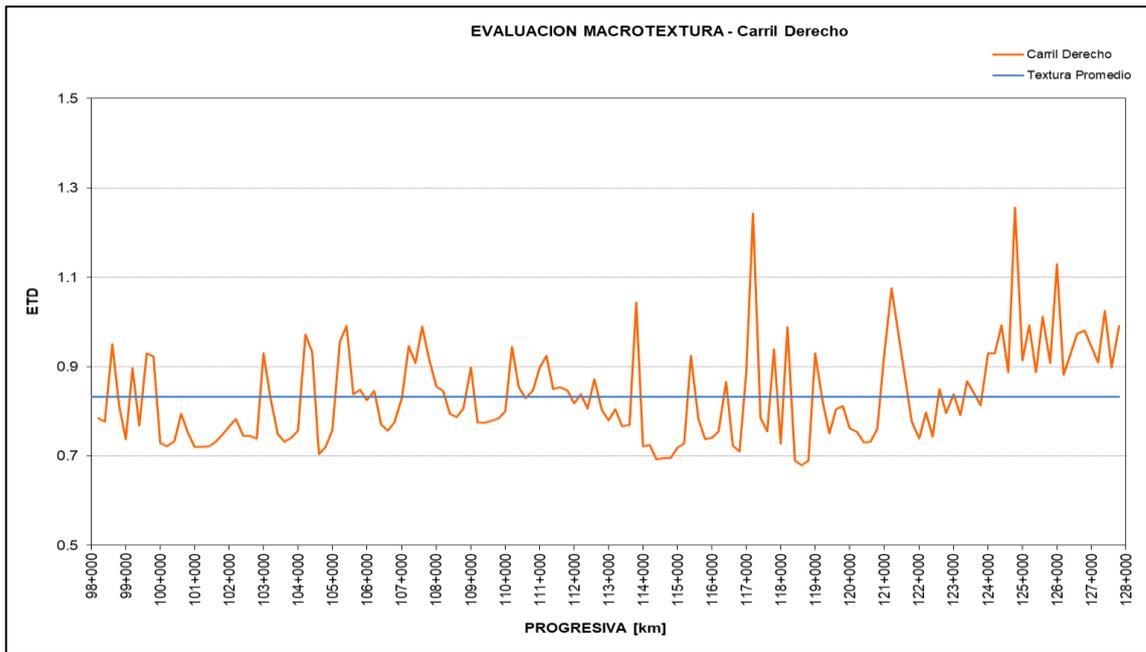


Figura 41. Macrotextura del pavimento asfáltico carril derecho
Fuente: Evaluación CVSP - Elaborado por el equipo de trabajo.

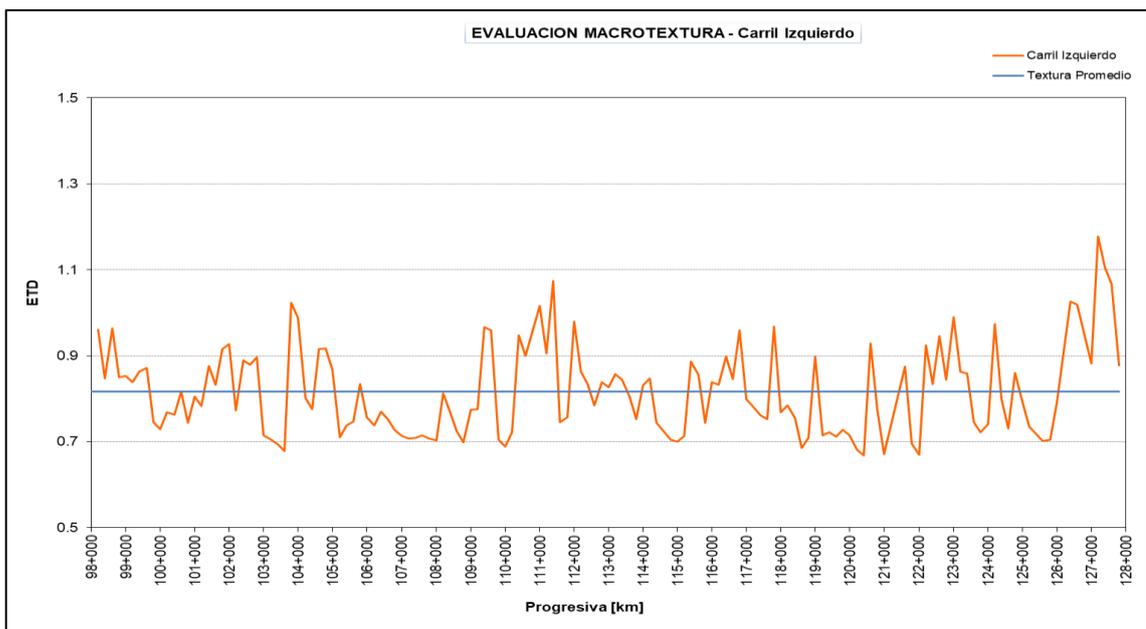


Figura 42. Macrotextura del pavimento asfáltico carril izquierdo
Fuente: Evaluación CVSP - Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.2.2.3.- Interpretación de la evaluación funcional

De los cuadros de resultados obtenidos y presentados en los ítems anteriores del presente estudio, se presentan a continuación los análisis de resultados y su respectiva interpretación de resultados.

Cabe mencionar que se han excluido del análisis todas aquellas singularidades que afectan la adquisición correcta del perfil durante la medición. Se define como singularidad a toda alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar: puentes, badenes, tapas de alcantarilla, cuñas, cruces de calles y otros, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino.

En la evaluación de la carretera, se ha obtenido valores de IRI desde 1.25m/km hasta 10.00 m/km, el cual de acuerdo a la escala de valores de IRI según el Banco Mundial (Figura 14) para pavimentos viejos con capa de rodadura asfáltica, el índice de rugosidad internacional IRI debería variar entre 2.5m/km a 6 m/km, existiendo valores de IRI en este tramo que sobrepasan dichos valores admisibles.

Para un análisis más riguroso, se ha sectorizado este tramo en sectores homogéneos. Para calcular los sectores homogéneos, se utilizó el método de análisis por diferencias acumuladas que recomienda la guía de diseño AASHTO de 1993 (Anexo D). En este método, los tramos homogéneos se localizan entre puntos con cambios en el sentido de la pendiente.

A continuación, se presenta de manera gráfica, la sectorización de esta vía por diferencias acumuladas tomando como respuesta del pavimento el valor de IRI obtenido.

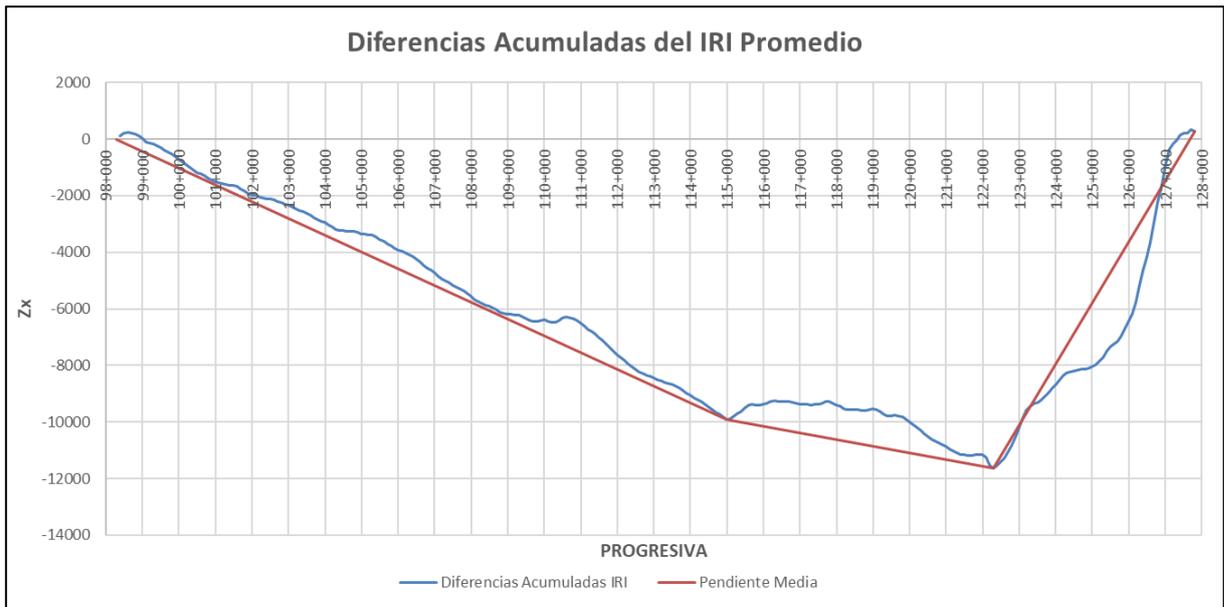


Figura 43. Diferencias acumuladas del IRI

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En la figura anterior mostrada se observa que hay 03 sectores donde cambia el sentido de la pendiente de curva.

En la Tabla 29 se presenta los sectores homogéneos definidos con sus respectivos valores de IRI promedio de cada sector y su serviciabilidad presente PSI según Paterson:

Tabla 29: Sectores homogéneos definidos y serviciabilidad de la vía

Sector Homogéneo	Desde (Km)	Hasta (Km)	Longitud (m)	IRI _{PROM} (m/km)	IRI _{CARACT} (m/km)	PSI Paterson	Serviciabilidad
1	98+350	115+000	16,650	2.23	2.62	3.33	Buena
2	115+000	122+300	7,300	2.64	3.14	3.10	Buena
3	122+300	127+750	5,450	5.02	6.74	2.00	Regular a Mala

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Posteriormente se presenta la delimitación de los sectores homogéneos de la calzada con los valores promedio del IRI obtenidos.

En la figura siguiente podemos ver que el sector 3 (zona urbana de la ciudad de Juliaca) muestra valores de IRI muy altos de hasta 10m/km debido a la presencia de parches en la carpeta existente según el reporte del ensayo, adoptando así estos sectores una serviciabilidad presente PSI de regular a mala.

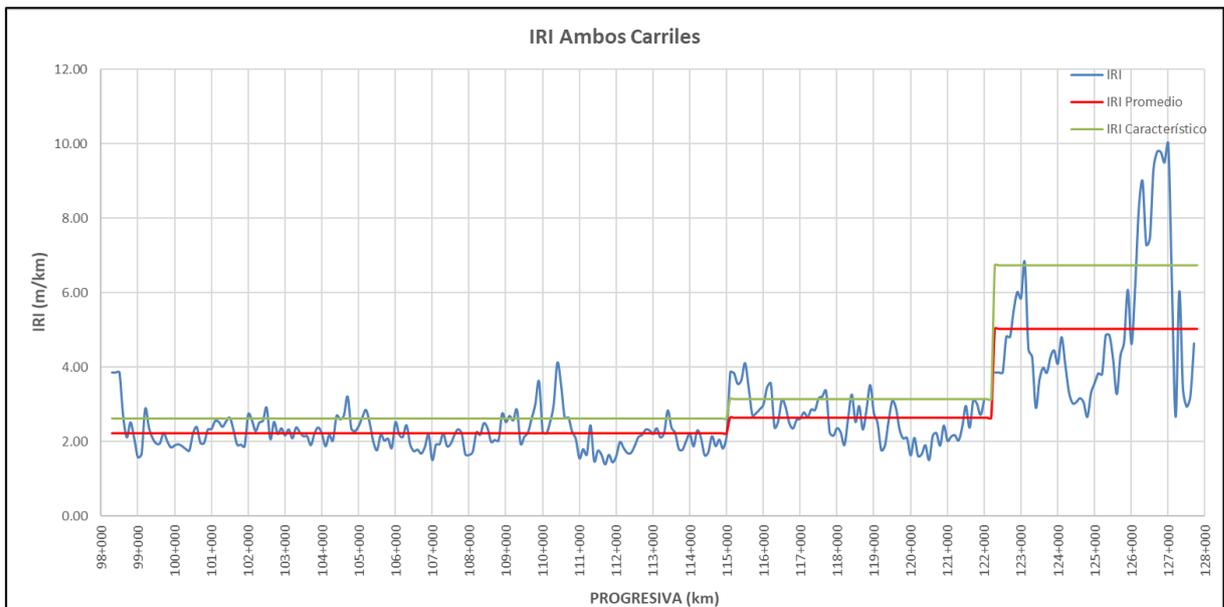


Figura 44. Delimitación de sectores homogéneos respecto al IRI

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En el sector 1 y 2 se obtiene un IRI promedio de 2.23m/km y 2.64m/km respectivamente, adoptando así este sector una serviciabilidad presente PSI buena.

Finalmente, en la ruta nacional PE-3SQ o ruta 15 (km 98+300 al km 127+750), se ha obtenido valores promedio de macrotextura de 0.83 para el carril derecho y 0.82 para el carril izquierdo, lo cual clasifica una macrotextura profunda.



Figura 45. Mediciones del IRI y macrotextura

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.2.3.- Evaluación estructural

3.3.2.3.1.- Deflexión

Los datos de esta sección fueron obtenidos en la visita realizada a la empresa CVSP, quienes habían encargado esta evaluación a la consultora CONSUVIAL (abril 2019).

A. EVALUACIÓN CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO FWD.

La evaluación en el pavimento con equipo Deflectómetro de impacto FWD utiliza un generador de cargas dinámicas haciendo caer una masa estándar sobre el pavimento, de tal manera que la fuerza del golpe y la duración del impacto (pulso); simulan con precisión la carga producida por un vehículo estándar de diseño a una velocidad de 60 – 70 Km/h.

La deflexión producto del impacto produce deflexiones imperceptibles para el ojo humano, pero que son registradas por sensores acelerómetros debidamente colocados a una distancia del centro de impacto, tal como se indica en la siguiente imagen.

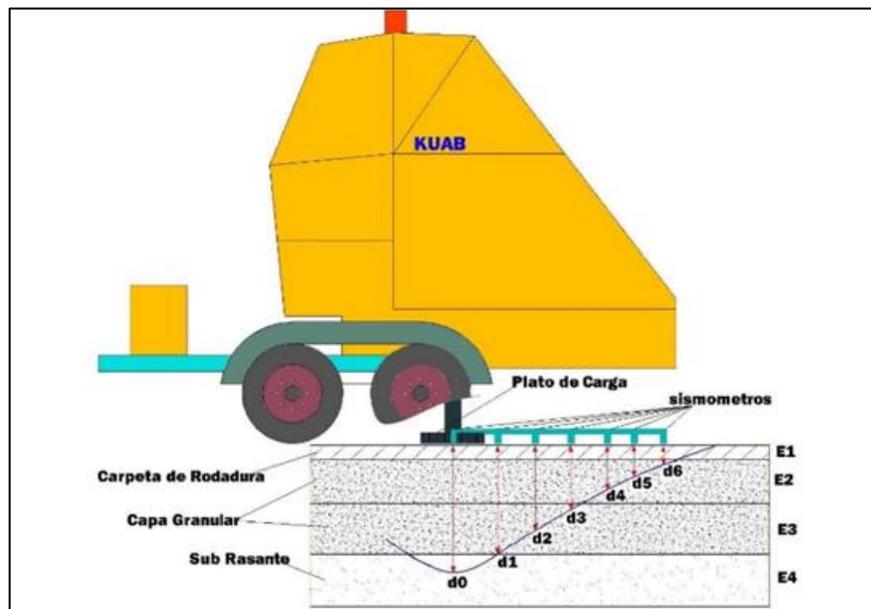


Figura 46. Equipo Deflectómetro FWD con los sensores
Fuente: CONSUVIAL.

La evaluación de la Deflectometría estuvo conformada por un técnico especializado y un conductor con experiencia en mediciones de este tipo. El conductor es el encargado de manejar el vehículo, así como del control y mantenimiento técnico de la camioneta. El técnico es el encargado de todos los aspectos relacionados con las mediciones, es decir, del manejo de la computadora portátil mediante la cual se activa el proceso de medición, y del control y mantenimiento técnico del equipo. Adicionalmente los acompaña una camioneta escolta que brinda seguridad en el momento de efectuar las mediciones.



Figura 47. Mediciones de deflectometría

Fuente: CONSUVIAL.

En la presente investigación el equipo empleado fue el Deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD) de la compañía KUAB, el cual es un equipo con el que se alcanza el máximo nivel de precisión y a la vez un alto rendimiento en las mediciones de Deflectometría.

El FWD KUAB mide la deflexión mediante transductores de deflexión denominados sismómetros, que usan un sistema de masa y muelle como referencia y un transformador diferencial LVDT como sensor.

Durante el transporte el equipo avanza mediante un remolque dotado de dos ruedas, al llegar al punto de ensayo, el operador arranca el sistema, mediante la pulsación de una tecla de la computadora y correspondiente a la carga establecida, el cuerpo del equipo desciende hasta apoyarse en la superficie y se produce la aplicación de la carga.

Dispone de 7 sismómetros mediante la siguiente disposición 0-20-30-45-60-90-120 cm, los mismos que registran los valores máximos de las deflexiones en los puntos



de medida, estos datos se almacenan junto con otros tipos de información tales como la fuerza aplicada, fecha, hora de ejecución, temperatura del aire y del pavimento y la posición del punto de ensayo. Previamente queda registrado en el mismo archivo un conjunto de datos de identificación: carretera, carril, tipo de pavimento, etc. El conjunto lleva su propio sistema de alimentación mediante baterías.

Las deflexiones medidas en los diferentes puntos son recogidas por la computadora y referenciadas al punto de ensayo, así como las temperaturas del aire y de la superficie del pavimento. Terminada la medida, la placa y el cuerpo del FWD-KUAB se levantan y el equipo queda preparado para trasladarse al próximo punto de ensayo.

La metodología empleada para la evaluación de la condición estructural fue la siguiente: Los trabajos de campo se han realizado por el método No Destructivo mediante la determinación de las deflexiones usando el equipo denominado FWD (FallingWeightDeflectometer) de marca KUAB; tal como se establece en el “Manual de Inventarios Viales”, Capítulo 1- equipos y procedimientos de medición, ítem 1.2.1 deflectómetro de impacto, subíndice 1.2.1.3 procedimientos de medición y según el ASTM 4694-96.

La evaluación se efectuó haciendo paradas para realizar mediciones por faja como se indica en el Manual de inventario vial, en tramos con dos fajas se realizaron mediciones con una frecuencia de 100 m por calzada, el proceso de evaluación se inicia luego del estacionamiento de equipo, luego desciende el plato de carga realizando 04 impactos por punto de estación, el primer impacto no lo toma en cuenta la computadora instalada en el equipo porque considera que es de afianzamiento del plato de carga, los impactos se hacen en un intervalo de 9.0 segundos aproximadamente registrándose en la computadora

los 03 impactos posteriores (2, 3 y 4), luego el plato de carga se levanta y continua al siguiente punto de medición.

Los resultados se exponen a continuación:

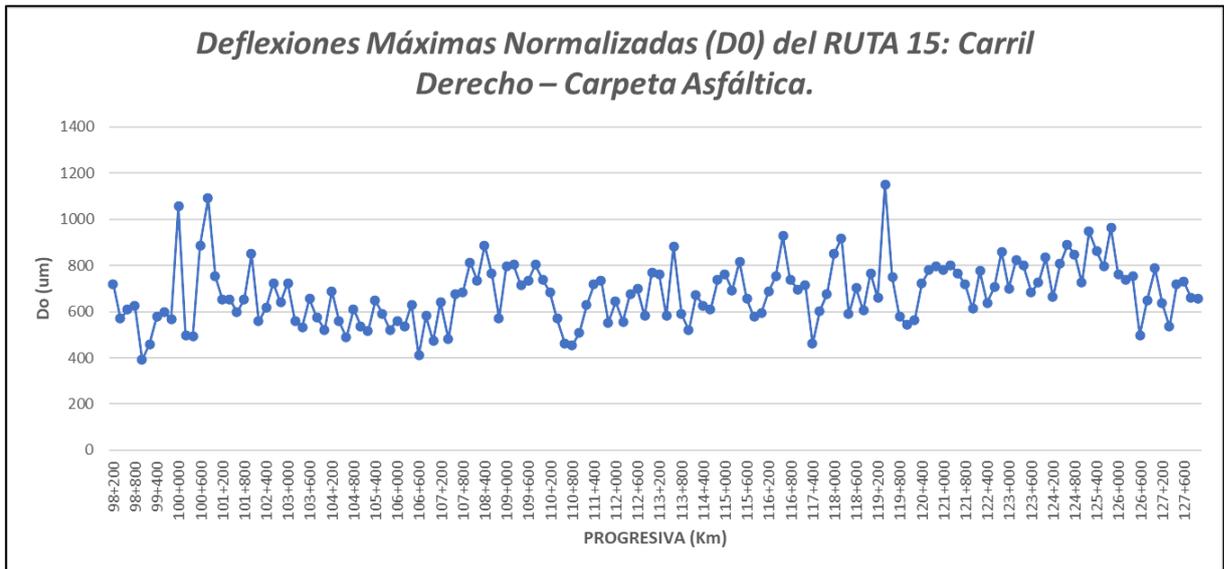


Figura 48. Deflexiones máximas normalizadas (D_0) carril derecho

Fuente: Evaluación CONSUVIAL - CVSP.

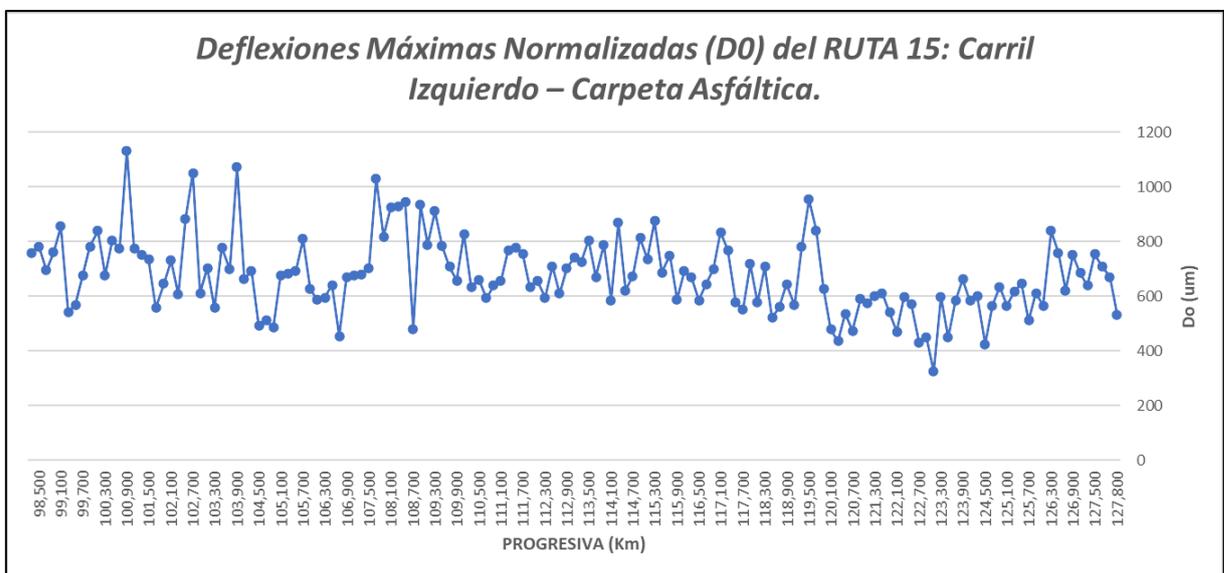


Figura 49. Deflexiones máximas normalizadas (D_0) carril Izquierdo

Fuente: Evaluación CONSUVIAL - CVSP.

Sectorización de tramos

Las secciones o tramos homogéneos de calzada son aquellos que presentan un patrón similar en su comportamiento en términos de sus características ingenieriles tales como las propiedades de las capas componentes del pavimento, las características similares del material de fundación, etc. Las variables consideradas para la presente evaluación fue la deflexión central (D_0).

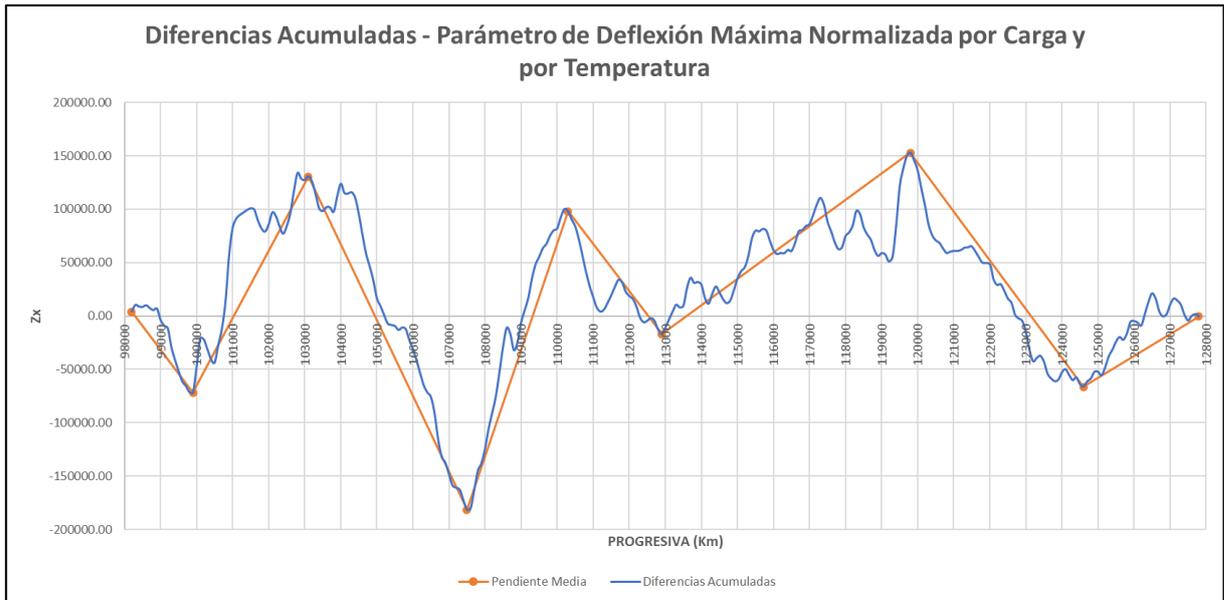


Figura 50. Diferencias acumuladas – Parámetro de deflexión máxima

En la Figura 50 se presenta de manera gráfica la sectorización de esta vía por diferencias acumuladas del parámetro de deflexión máxima normalizada.

En la Tabla 30 se presenta los sectores homogéneos definidos con sus respectivos valores de deflexión central.

Tabla 30: Sectores homogéneos respecto a la deflexión

Sector Homogéneo	Desde (Km)	Hasta (Km)	Longitud (m)	Do (um)	SNP
1	98+350	99+900	1,150	632.67	4.27
2	99+900	103+100	3,200	743.72	3.86
3	103+100	107+500	4,400	610.31	4.37
4	107+500	110+300	2,800	775.25	3.76
5	110+300	112+900	2,600	636.24	4.25
6	112+900	119+800	6,900	702.91	4.00
7	119+800	124+600	4,800	633.72	4.27
8	124+600	127+750	3,150	701.91	4.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Posteriormente se presenta la delimitación de los sectores homogéneos de la calzada con los valores promedio de deflexión máxima obtenidos.

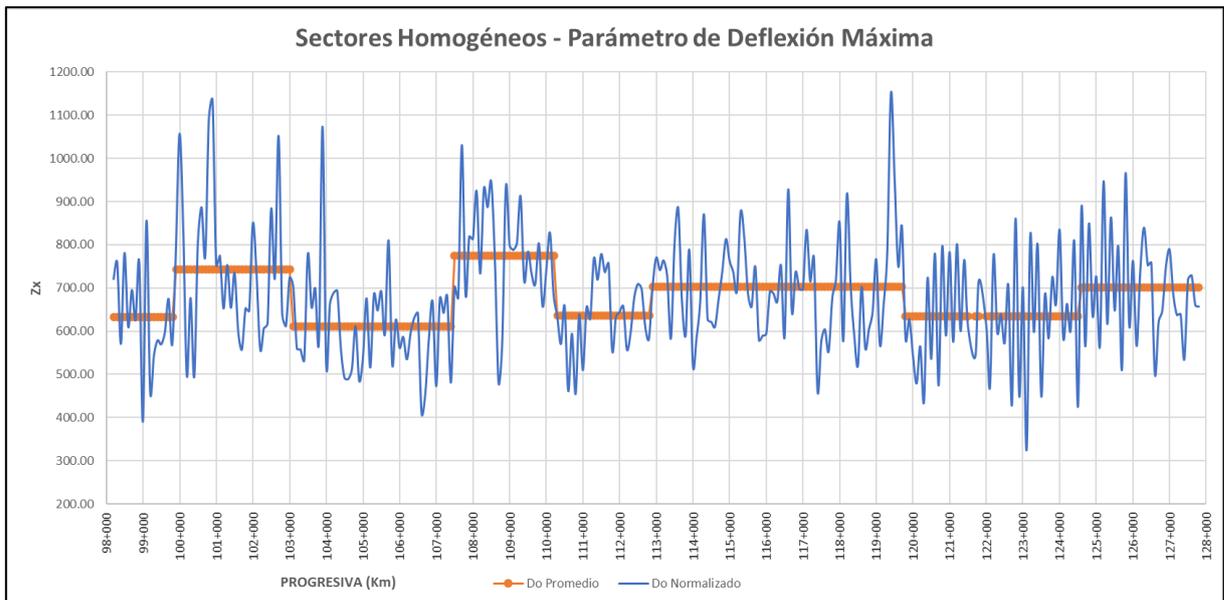


Figura 51. Delimitación de sectores homogéneos respecto a la deflexión

3.3.2.3.2.- CBR

Estos datos se obtuvieron de la recopilación de información en las oficinas de la empresa CVSP, quienes han realizado la evaluación estructural mediante ensayos de laboratorio con métodos destructivo. Estos ensayos fueron realizados entre noviembre y diciembre del 2018.

Tabla 31: Resumen de ensayos de laboratorio de la vía

N° REGISTRO	FECHA	PROGRESIVA (Km)	MUESTRA	PROF. (m)	LADO	CBR (0.1")	
						95%	100%
P103-ESP-1218-010	Dic-18	KM 100+000	C-004 / E-1	0.05 - 0.30	IZQ.	35.9	42.2
P103-ESP-1218-011	Dic-18	KM 100+000	C-004 / E-2	0.30 - 0.80	IZQ.	28.4	30.4
P103-ESP-1218-019	Dic-18	Km 102+000	C-008 / E-1	0.05 - 0.20	DER.	37.9	60.6
P103-ESP-1218-020	Dic-18	Km 102+000	C-008 / E-2	0.20 - 1.50	DER.	25.9	43.7
P103-ESP-1218-028	Dic-18	Km 104+000	C-012 / E-1	0.05 - 0.20	DER.	35.8	41.8
P103-ESP-1218-029	Dic-18	Km 104+000	C-012 / E-2	0.20 - 0.90	DER.	19.9	25.6
P103-ESP-1218-030	Dic-18	Km 104+000	C-012 / E-3	0.90 - 1.30	DER.	14.4	22.2
P103-ESP-1218-037	Dic-18	Km 106+000	C-016 / E-1	0.05 - 0.20	DER.	36.1	42.4
P103-ESP-1218-038	Dic-18	Km 106+000	C-016 / E-2	0.20 - 0.70	DER.	20.0	27.3
P103-ESP-1218-045	Dic-18	Km 108+000	C-020 / E-1	0.05 - 0.40	DER.	35.7	40.6
P103-ESP-1218-045	Dic-18	Km 108+000	C-020 / E-2	0.40 - 0.90	DER.	33.8	34.3
P103-ESP-1218-052	Dic-18	Km 110+000	C-024 / E-1	0.05 - 0.20	DER.	36.3	42.7
P103-ESP-1218-053	Dic-18	Km 110+000	C-024 / E-2	0.20 - 1.50	DER.	31.8	39.4
P103-ESP-1218-058	Dic-18	Km 112+000	C-028 / E-1	0.05 - 0.20	DER.	37.8	41.1
P103-ESP-1218-058	Dic-18	Km 112+000	C-028 / E-2	0.20 - 0.70	DER.	47.5	69.8
P103-ESP-1218-065	Dic-18	Km 114+000	C-032 / E-1	0.05 - 0.20	DER.	34.5	43.3
P103-ESP-1218-066	Dic-18	Km 114+000	C-032 / E-2	0.20 - 1.50	DER.	42.2	58.7
P103-ESP-1218-073	Dic-18	Km 116+000	C-036 / E-1	0.05 - 0.20	DER.	36.4	41.8
P103-ESP-1218-073	Dic-18	Km 116+000	C-036 / E-2	0.20 - 1.50	DER.	29.8	61.7
P103-ESP-1218-019	Dic-18	Km 118+000	C-040 / E-1	0.05 - 0.25	DER.	34.4	53.1
P103-ESP-1218-078	Dic-18	Km 118+000	C-040 / E-2	0.25 - 0.70	DER.	28.7	38.8
P103-ESP-1218-082	Dic-18	Km 120+000	C-044 / E-1	0.05 - 0.15	DER.	34.1	37.6
P103-ESP-1218-082	Dic-18	Km 120+000	C-044 / E-2	0.15 - 0.70	DER.	29.9	44.9
P103-ESP-1218-087	Dic-18	Km 122+000	C-048 / E-1	0.05 - 0.20	IZQ.	37.2	40.2
P103-ESP-1218-087	Dic-18	Km 122+000	C-048 / E-2	0.20 - 1.00	IZQ.	23.6	44.9
P103-ESP-1218-095	Dic-18	Km 124+000	C-052 / E-1	0.05 - 0.30	IZQ.	38.5	53.8
P103-ESP-1218-096	Dic-18	Km 124+000	C-052 / E-2	0.30 - 1.00	IZQ.	28.8	32.6
P103-ESP-1218-103	Dic-18	Km 126+000	C-056 / E-1	0.05 - 0.20	IZQ.	30.5	34.1
P103-ESP-1218-104	Dic-18	Km 126+000	C-056 / E-2	0.20 - 1.20	IZQ.	26.7	29.7

Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos – CVSP.

3.3.3.- RECOPIACIÓN DE DATOS BÁSICOS REQUERIDOS POR EL HDM

3.3.3.1.- Tramos que comprende el proyecto

Para el análisis de evaluación económica, el tramo principal ha sido dividido con los fines de proponer la solución técnica de mantenimiento, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Niveles similares de la rugosidad IRI
- Niveles similares de la deflexión

De acuerdo a los criterios antes señalados se han identificado los siguientes tramos homogéneos:

Tabla 32: Sectores homogéneos definidos

Sector Homogéneo	Desde (Km)	Hasta (Km)	Longitud (m)
1	98+350	115+000	16,650
2	115+000	122+300	7,300
3	122+300	127+750	5,450

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

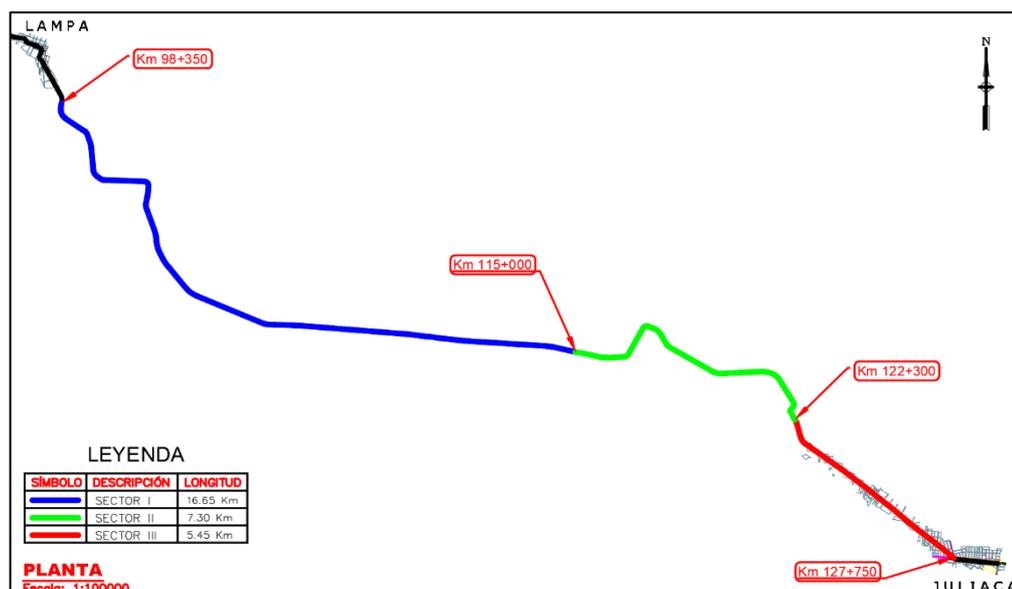


Figura 52. Sectores homogéneos definidos

3.3.3.2.- Tráfico vehicular

En el estudio de tráfico se realizaron conteos con lo que se determinó el tráfico normal o actual, determinándose posteriormente sus respectivas tasas de crecimiento, las que fueron utilizadas en la presente evaluación. Se considera como año 1 o de inicio de la inversión al 2020, tomando en cuenta que las actividades de intervención propuestas se proyectan a lo largo del primer año.

En la tabla siguiente se presenta un resumen del IMD del tráfico del año base 2019.

Tabla 33: IMD – Por tipo de vehículo

TRAFICO	Auto	SW	Pick Up	Cta. Panel	Cta. Rural	Micro	Camión		Articulado		IMD
							2E	3E	2S3	3S3	
IMD – 2019	116	129	102	3	409	1	76	24	1	4	865
Tasa de Crecimiento (%)	5.3	5.3	5.3	5.3	1.1	1.1	4.0	4.0	4.0	4.0	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.3.3.- Características de los vehículos tipos y costos de operación vehicular

3.3.3.3.1.- Vehículos típicos

Los vehículos típicos empleados en la evaluación económica son aquellos tomados de las encuestas de origen y destino. Los vehículos identificados en él sobre la base de los resultados de la encuesta, han sido agrupados en seis tipos, según el requerimiento de la herramienta HDM-4, cuyas marcas y modelos de uso más frecuente se detallan en el estudio de tráfico. La Tabla 32 especifica la equivalencia con el vehículo HDM-4.

Tabla 34: Vehículo equivalente HDM

Vehículo Tipo	Vehículo HDM-4 Equivalente	Nombre Definido
Automóvil	Automóviles	Auto
Station Wagon	Automóviles	
Pick Up 4x4	Utilitario	Pick Up
Camioneta Panel	Utilitario	
Camioneta Rural	Minibus	Van Interurbano
Micro	Minibus	
Camión 2E	Camión ligero	Camión 2E
Camión 3E	Camión mediano	Camión 3E
Semi-trailer 2S3	Camión articulado	Semi Tráiler
Semi-trailer 3S3	Camión articulado	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Los parámetros técnicos de los vehículos corresponden a los vehículos típicos observados en la vía y deben ser alimentados necesariamente al HDM-4, los cuales han sido ajustados a las condiciones de uso de la carretera.

3.3.3.3.2.- Características de los vehículos e Insumos

La información y datos referidos a las características e insumos de los vehículos son los requeridos para determinar los costos de operación vehicular. Estos parámetros técnicos de los vehículos típicos identificados se incorporan al HDM-4, ajustados a las condiciones de uso en la carretera en estudio. En la Tabla 35 se presentan las características básicas y los parámetros de utilización de los vehículos, así como características de las llantas según tipo de vehículo.

Tabla 35: Característica básicas por tipo de vehículo

Características	Und	Auto	Utilitario	Minibus	Camión Ligero	Camión Mediano	Camión articulado
<u>Físicas</u>							
Espacios equivalentes en vehículos de pasajeros		1	1	1.2	1.3	1.4	1.8
Número de ruedas	Nº	4	4	6	6	6	18
Número de ejes	Nº	2	2	2	2	2	5
<u>Neumáticos</u>							
Tipo de neumático		Radial	Radial	Diagonal	Diagonal	Diagonal	Diagonal
No de renovaciones		1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Costo de renovación	%	14	15	15	15	15	15
<u>Utilización</u>							
Km conducidos	Km/año	25,000	40,000	100,000	60,000	90,000	100,000
Horas laborales	Hrs/año	480	960	2,112	1,440	2,400	2,400
Vida útil	Años	10	8	10	8	10	10
Uso privado	%	80	40	0	0	0	0
Pasajeros	Personas	4	4	15	1	1	1
Viajes de trabajo	%	20	60	100	100	100	100
<u>Carga</u>							
Número de ejes equivalentes (E4) – ESALF		0	0	0.01	3.123	5.49	5.76
Peso operación	Ton	1.58	2.59	5.9	6.86	18.4	48.85

Fuente: Manual de parámetros requeridos y opcionales para el uso del HDM_OGPP/MTC.

Por consiguiente, la explotación por tipo de vehículo en términos de horas conducidas por año está obtenida a partir del producto de horas promedio conducidas por día y el número de días promedio de conducción por año. Estos datos se respaldan de acuerdo a observaciones reales de campo y son usados como valores típicos razonables.



En cuanto a los kilómetros conducidos por año, corresponden al producto de horas conducidas por año y la velocidad promedio de operación establecida para cada tipo de vehículo.

3.3.3.3.3.- Costos de operación vehicular

El cálculo de los costos de operación consiste en cuantificar los diversos componentes que intervienen en la formación de dichos costos. Este cálculo se realiza mediante el uso de la herramienta HDM-4, cuyo procedimiento simplificado consiste en determinar los requerimientos de los diversos insumos que utiliza un vehículo, simulando las condiciones de operación de éste, en función de las características de la carretera. Estos requerimientos son calculados sobre la base de los precios económicos de los insumos que se incorporan al modelo.

3.3.3.3.4.- Costos a precios de mercado

Comprende los costos que incluyen las cargas tributarias de los vehículos, como de los diversos insumos que utilizan para su operación y son presentados en la Tabla 36, incluyendo la mano de obra de la tripulación y del mantenimiento.

Tabla 36: Costos económicos de vehículos e insumos

Rubros	Und	Auto	Utilitario	Minibus	Camión Ligeró	Camión Mediano	Camión articulado
<u>Físicas</u>							
Vehículo nuevo	S/. x Veh	34,060	49,525	114,467	219,962	269,720	330,260
Reemplazo neumático	S/. x Llan	128.28	217.29	390.08	392.14	970.90	1,210.83
Combustible	S/. x Litro	1.65	1.65	1.99	1.99	1.99	1.99
Lubricantes		16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67
Mano de obra de manto.	S/. x Hora	7.24	7.24	7.24	8.27	8.27	8.27
Salarios de los operadores		0	3.36	3.36	8.53	8.53	9.82
Gastos generales anuales		3,405.6	4,952.5	11,446.7	21,962	26,972	33,026
Interés anual	%	14	14	14	14	14	14
<u>Valor del tiempo</u>							
Tiempo pasajero		7.23	7.23	3.37	3.37	3.37	3.37
Tiempo de ocio	S/. x Hora	2.17	2.17	1.01	1.01	1.01	1.01
Retraso de carga		0	0.33	0.33	0.25	0.25	0.25

Fuente: Manual de parámetros requeridos y opcionales para el uso del HDM_OGPP/MTC.

3.3.3.4.- Características técnicas actuales de la vía

Para las alternativas propuestas se tomó como referencia la topografía de la zona, tráfico y la evaluación del pavimento, procediéndose a dividir la vía en 3 sectores. Los mismos que se presentan en la oferta vial de la situación “Sin Proyecto”.

Tabla 37: Oferta vial en situación “Sin Proyecto”

Tramo	Sectorización Evaluación Económica		Longitud (km)	Superficie	Ancho Calzada (m)	Ancho de Berma (m)
1	98+350	115+000	16.65	Asfaltada	7.2	0.6
2	115+000	122+300	7.30	Asfaltada	7.2	0.6
3	122+300	127+750	5.45	Asfaltada	7.2	0.6

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Estos datos son alimentados con los datos de ingeniería de acuerdo a los requerimientos del HDM-4; permitiendo simular los consumos de los vehículos que utilizan la carretera y el comportamiento de las políticas de mejoramiento y mantenimiento.

Las características técnicas de la vía en estudio, se establecen en la Tabla 38.

Tabla 38: Características técnicas de la carretera Juliaca – Lampa

CARACTERÍSTICAS	TRAMO		
	1	2	3
	98+350 115+000	115+000 122+300	122+300 127+750
CONFIGURACIÓN			
Modelo de tránsito	Interurbano		
Tipo de velocidad / capacidad	Carretera de dos carriles (Two Line Road)		
Tipos de accidente	Two Line Road		
Zona climática	Húmedo Templado con Heladas		
Unidad monetaria	Soles (S/.)		
Tipo de carretera	Secondary or Main (Secundaria)		
Serie de calibración	HDM-4 Default DLL (Camions Perú)		
Juego de calibración	Concreto Asfáltico		
Tipo de pavimento	Mezcla Asfáltica sobre Base Granular		
Material superficial	Concreto asfáltico		
RED DE CARRETERAS			
<i>Definición</i>			
Nombre	Km 98+350 - Km 115+000	Km115+000 - Km 122+300	Km 122+300 - Km 127+750
ID	T-1	T-2	T-3
Nombre de la ruta	Emp. 3S (Juliaca) - Lampa		
ID de la ruta	PE-3SQ		
Progresiva de inicio	98+350	115+000	122+300
Progresiva final	115+000	122+300	127+750
Longitud (km)	16.65	7.30	5.45
Ancho de calzada (m)	7.2	7.2	7.2
Ancho de berma (m)	0.6	0.6	0.6



Dirección de flujo	Dos carriles	Dos carriles	Dos carriles
Clase de superficie	Asfáltica	Asfáltica	Asfáltica
Geometría			
Ascensos y descensos (m/km)	6.45	2.5	1.5
Nº de ascensos y descensos (Nº/km)	1	1	1
Sobre elevación %	3	2.5	1
Curvatura horizontal °/km	27.03	65.07	10.09
Adral (m/s ²)	0.1	0.1	0.1
Límite de velocidad (Km/h)	90	90	80
Cumplimiento del límite de velocidad	1.1	1.1	1.1
Altitud (m)	3,852	3,835	3,828
Pavimento			
Tipo de base	Granular	Granular	Granular
Espesor más reciente (mm)	50	50	50
Espesor anterior (mm)	0	0	0
Última reconstrucción o nueva construcción	2002	2002	2002
Número estructural	4.08	4.08	4.1
Deflectómetro de impacto Do (mm)	0.68119	0.67984	0.67393
CBR subrasante (%)	32.6	31.8	31.1
Condición			
Condición al final del año	2019	2019	2019
Irregularidad (IRI - m/km)	3	3.62	8.38
Agrietestr total (%)	1.52	1.23	5.65
Agrietestr ancho (%)	0.05	0.04	2.35
Área con desprendimientos (%)	0	0	0.56
Número de baches (No/km)	30	60	220
Área con rotura de borde (m ² /km)	20	20	25
Profundidad media de roderas (mm)	1.69	1.91	1.63
Desv. Est. Prof. de roderas (mm)	0.65	1.23	0.86
Profundidad de la textura (mm)	0.83	0.83	0.83
Resistencia al deslizamiento (SCRIM 50 km/h)	0.4	0.4	0.4
Drenaje	Buena	Buena	Mala
Otros			
Compactación relativa	95	95	90

Tipo de dren	Superficial - revestido	Superficial - revestido	Superficial - revestido
ELANES (No efectivo de carriles)	2	2	2

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.3.5.- Alternativas planteadas

De la evaluación técnica realizada, se concluye que la mayor parte de los sectores homogéneos requieren refuerzo estructural, considerando un periodo de diseño de 15 años y el año base 2020. En este contexto se detalla las características técnicas de las alternativas planteadas para el análisis, evaluación y selección correspondiente, tomando en cuenta la solución para el mantenimiento periódico y rutinario.

3.3.3.5.1.- Situación “SIN PROYECTO”

Alternativa 1: Base de comparación

Se ha definido como “Sin Proyecto” o alternativa base optimizada, aquella alternativa en la que solo se ejecutará mantenimiento rutinario:

- A) Bacheo cuando el número sea mayor que 1 considerando un retraso de 14 días.
- B) Sellado cuando el área dañada sea mayor al 5%.
- C) EL mantenimiento rutinario es anual (limpieza general, conservación de elementos de drenaje, conservación de señalización, otros).

3.3.3.5.2.- Situación “CON PROYECTO”

Alternativa 2: Reciclado y reposición con mezcla asfáltica modificada

Esta alternativa fue planteada en el estudio de pre-inversión y es como sigue:

Actividades de mantenimiento periódico:



- a) Reciclar, removiendo y triturando pavimento de espesor de 50mm y base granular existente de 100mm.
- b) La mezcla de estos materiales, $e=150\text{mm}$, se estabilizarán con emulsión asfáltica.
- c) Imprimación con emulsión asfáltica.
- d) Colocación de mezcla asfáltica modificada con polímeros ($e=50\text{mm}$).

Tabla 39: Intervenciones mantenimiento periódico – Alternativa 2

Tramo	Prog. Inicio (Km)	Prog. Fin (Km)	Longitud (m)	Espesor a reciclar (mm)	Espesor de MAM (mm)	Espesor de refuerzo (mm)
1	98+350	115+000	16,650	150	50	25
2	115+000	122+300	7,300	150	50	25
3	122+300	127+750	5,450	150	50	25

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Actividades de mantenimiento rutinario post periódico:

- e) Reforzar el pavimento cuando el IRI_c llegue a 3.7 m/km (requerimiento del contrato por niveles de servicio) con 25mm de espesor de concreto asfáltico modificado con polímeros.
- f) Bacheo cuando el número sea mayor que 1 considerando un retraso de 14 días.
- g) Sellado cuando el área dañada sea mayor al 5%.
- h) El mantenimiento rutinario es anual.

Alternativa 3: Fresado y reposición con mezcla asfáltica modificada

Actividades de mantenimiento periódico:

- a) Se procederá a fresar parte de la carpeta asfáltica en un espesor de 25mm.
- b) Riego de liga con emulsión.

- c) Se colocará un refuerzo estructural tipo concreto asfáltico modificado con polímeros de 50mm de espesor.

Actividades de mantenimiento rutinario post periódico:

- d) Reforzar el pavimento cuando el IRI_c llegue a 3.7 m/km (requerimiento del contrato por niveles de servicio) con 25mm de espesor de concreto asfáltico modificado con polímeros.
- e) Bacheo cuando el número sea mayor que 1 considerando un retraso de 14 días.
- f) Sellado cuando el área dañada sea mayor al 5%.
- g) EL mantenimiento rutinario es anual.

Tabla 40: Intervenciones mantenimiento periódico – Alternativa 3

Tramo	Prog. Inicio (Km)	Prog. Fin (Km)	Longitud (m)	Espesor a fresar (mm)	Espesor de reposición (mm)	Espesor de refuerzo (mm)
1	98+350	115+000	16,650	25	50	25
2	115+000	122+300	7,300	25	50	25
3	122+300	127+750	5,450	25	50	25

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.3.6.- Políticas y alternativas de mantenimiento

El modelo HDM-4 permite realizar una evaluación económica de las distintas estrategias de mantenimiento planteada para la conservación de la superficie de rodadura durante el período de análisis, para ello se realiza una comparación entre la situación “sin proyecto” y situación “con proyecto”.

Tomando en cuenta que el programa de mantenimiento rutinario y periódico busca definir la estrategia de mantenimiento óptimo para mantener las condiciones de transitabilidad de la carretera; se ha definido como “Sin proyecto” o alternativa base optimizada, aquella alternativa en la que sólo se ejecutará mantenimiento rutinario, por

ejemplo bacheo cuando el área dañada sea mayor al 15%; y “con proyecto” corresponde a cada una de las estrategias definidas para garantizar que se mantengan los niveles de servicio de la carretera durante la vida útil.

Estas alternativas están conformadas por una secuencia de políticas de mantenimiento orientados a mantener los niveles de servicio de la vía y optimizar la utilización de los recursos.

Las políticas de mantenimiento vienen a ser un conjunto de acciones futuras que se pueden programar con una periodicidad fija de acuerdo al tipo de refuerzo aplicado en la primera etapa.

Tabla 41: Políticas de mantenimiento a ser utilizados

POLÍTICAS		DETALLE	CÓDIGO
Política 1	Mantenimiento rutinario		P1
Política 2	Reciclado y reposición con MAM	150mm y 50mm	P2
Política 3	Fresado y reposición con MAM	25mm y 50mm	P3
Política 4	Refuerzo asfáltico 25mm con MAM	25mm	P4

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

A continuación, se muestra la tabla de las alternativas con sus respectivas políticas de mantenimiento para los diferentes tramos homogéneos.

Tabla 42: Combinación de políticas y alternativas propuestas

ALTERNATIVAS	AÑO	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
ALTERNATIVA 1 – BASE	2020 – 2034	P1	P1	P1
ALTERNATIVA 2	2020	P2	P2	P2
	2020 – 2034	P1	P1	P1
	2028	P4	P4	P4
ALTERNATIVA 3	2020	P3	P3	P3
	2020 – 2034	P1	P1	P1
	2028	P4	P4	P4

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.3.7.- Costos de mantenimiento

Tabla 43: Costos de mantenimiento – Alternativa Base “Sin Proyecto”

Alt 1 Base	Actividad	Und	PU (incluido Impuestos) S/.	Costo Financiero S/.	Costo Económico S/.
1	Sellado de fisuras	m2	11.96	11.96	8.97
2	Bacheo	m2	58.69	58.69	44.01
3	Mantenimiento rutinario	Km	9,139.37	9,139.37	6,854.52

Fuente: Contrato por niveles de servicio, Provías Nacional – CVSP (2018).

Tabla 44: Costos de mantenimiento – Alternativa 2 “Con Proyecto”

Alt 2	Actividad	Und	(a) Reciclado S/.	(b) Riego de liga S/.	(c) Reposición S/.	(a)+(b)+(c) Costo Financiero S/.	Costo Económico S/.
1	Reciclado y reposición MAM	m2	17.58	2.20	34.86	54.64	40.98

Fuente: Contrato por niveles de servicio, Provías Nacional – CVSP (2018).

Tabla 45: Costos de mantenimiento – Alternativa 3 “Con Proyecto”

Alt 3	Actividad	Und	(a) Fresado S/.	(b) Riego de liga S/.	(c) Reposición S/.	(a)+(b)+(c) Costo Financiero S/.	Costo Económico S/.
1	Fresado y reposición MAM	m2	3.42	2.20	34.86	40.48	30.36

Fuente: Revista Costos, abril 2020 – Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 46: Costos de mantenimiento – Refuerzo asfáltico “Con Proyecto”

Alt 2	Actividad	Und	PU (incluido Impuestos) S/.	Costo Financiero S/.	Costo Económico S/.
1	Refuerzo asfáltico 25mm con MAM	m2	19.63	19.63	14.72

Fuente: Contrato por niveles de servicio, Provias Nacional – CVSP (2018).

3.3.4.- PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN EL HDM-4

3.3.4.1.- Estructura general del HDM-4

Un esquema general de flujo de información del HDM-4 se presenta Figura 53.

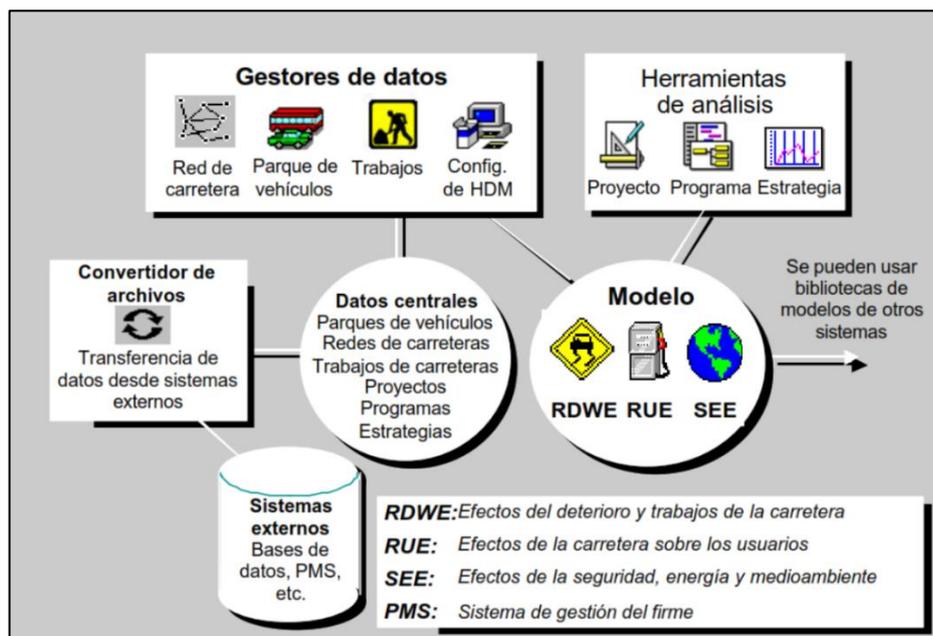


Figura 53. Esquema Global de HDM-4

Fuente: (Manual del Usuario, PIARC).

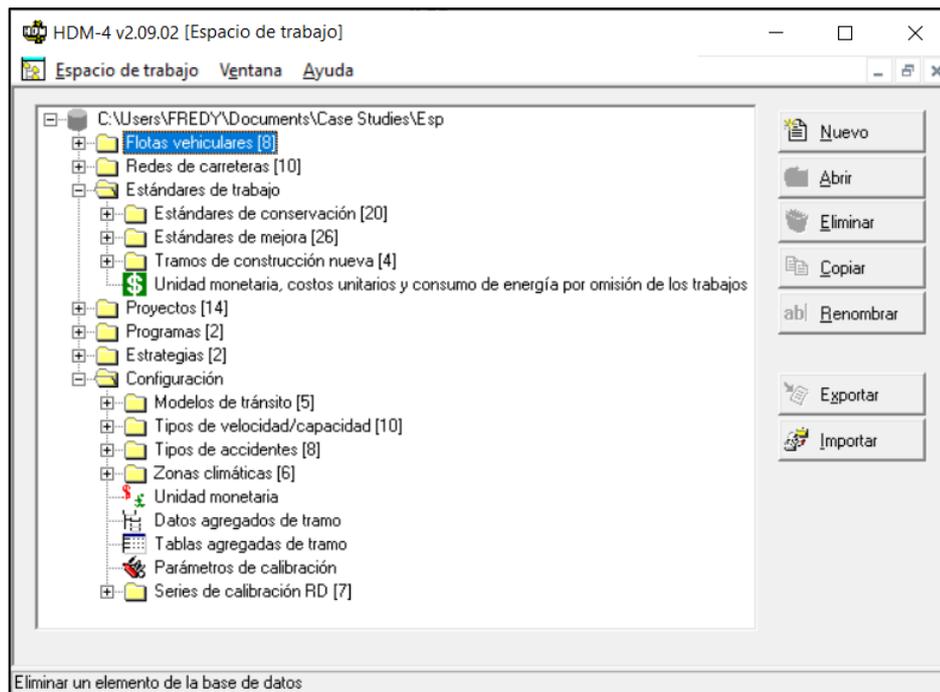


Figura 54. Espacio de Trabajo del HDM-4

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

La Pantalla de bienvenida está diseñada para familiarizarse con los conceptos y características de HDM-4. Además, proporciona acceso a los principales servicios del HDM-4, a saber:

- Base de Datos: Módulos de redes de carreteras, de flotas y de estándares de mejoramiento y conservación.
- Niveles de análisis: módulos de proyectos, de programas y de estrategias.
- Módulo de configuración para ajustar los valores típicos de determinadas variables o rangos de las mismas a condiciones locales.

3.3.4.2.- Módulo de configuración

Clima	
Nombre:	Puno - Altiplano
Clasificación por humedad:	Húmedo
Índice de humedad:	60
Duración de la estación seca:	3 meses
Precipitación media mensual:	175 mm
Clasificación por temperatura:	Templado - con heladas
Temperatura media:	8 °C
Rango prom. de temperaturas:	20 °C
Días con T > 32°C:	10 días
Índice de congelamiento:	220 °C-día
Porcentaje del tiempo que se conduce en	
Carreteras cubiertas de nieve:	20 0 <= PCTDS <= 100
Carreteras cubiertas de agua:	10 0 <= PCTD'W <= 100

Nombre de la zona climática

Figura 55. Ingreso de datos para zonas climáticas

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En este módulo se definen características generales relativas a ciertos aspectos tales como patrones de tránsito (estacional, flujo libre, conmutador o interurbano), relación de velocidad/capacidad, que depende de la geometría transversal de la calzada, o zonas climáticas, que están definidas por diversos parámetros tales como precipitaciones, índice de humedad, temperaturas medias, rango de temperaturas, índice de congelamiento, porcentaje del tiempo con la calzada recubierta de nieve o agua, etc. La Figura 55 muestra la pantalla de ingreso de datos climáticos.

3.3.4.3.- Módulo de redes de carreteras

En este módulo se ingresan todos los datos que constituyen el inventario de secciones de la red. La sección es la unidad de análisis en el HDM-4 y está definida por múltiples parámetros.

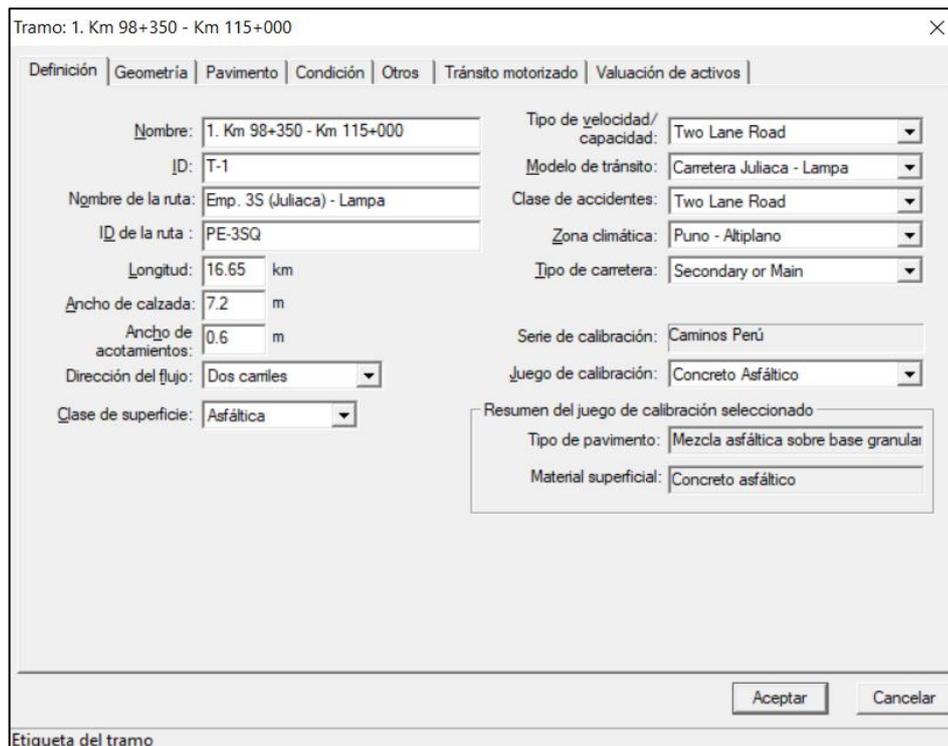


Figura 56. Ingreso de datos en el módulo de redes de carreteras

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

El sistema de ingreso de datos está organizado mediante “ficheros” o “tarjeteros” accesibles desde la pantalla, que permiten ir ingresando en forma ordenada la información dentro de cada ficha o tarjeta. En la Figura 56 se muestra la ventana principal de ingreso de datos, en este caso para una sección con pavimento flexible.

Entre los datos a ingresar deben especificarse, entre otras, las siguientes características:

- Denominación, longitud y clasificación funcional de la sección.
- Clima: selección de zona climática definida en el módulo de configuración.
- Datos de tránsito: TMDA de vehículos motorizados y no motorizados, patrones de flujo de tránsito y de distribución de velocidades. El resto de los datos de tránsito se ingresa en la evaluación a nivel de proyecto, programa o estrategia.

- Datos de diseño geométrico: ancho de calzada y bermas, número de trochas, curvatura horizontal, subidas más bajadas, altitud promedio, etc.
- Datos de estructura de pavimentos: tipo de superficie, información sobre capas estructurales y subrasante, capacidad estructural del paquete, edad desde intervenciones realizadas, estado de deterioro del pavimento, condiciones de drenaje, textura superficial, coeficientes de ajuste de modelos, etc.

Tramo: 2. Km 115+000 - Km 122+300

Definición | Geometría | Pavimento | Condición | Otros | Tránsito motorizado | Valuación de activos

Capa superficial

Tipo de pavimento: Mezcla asfáltica sobre base granular

Tipo de material: Concreto asfáltico

Esesor más reciente: 50 mm

Esesor anterior: 0 mm

Capacidad estructural

Parámetros del modelo estacional Seco

SNP: 4.08 DEF: 0.68 mm

[1] Número estructural: 2.95339

VRS de la subrasante: 8 %

Estación seca Estación húmeda

[2] SNP calculado

Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)

Últ. reconstrucción o nueva construcción: 2002 año

Última rehabilitación (sobrecarpeta): 2002 año

Último tratamiento superficial (sello): 2002 año

Último tratamiento preventivo: 2002 año

Capa de base (sólo para bases estabilizadas)

Esesor de base: mm

Módulo resiliente: GPa

Año del ultimo tratamiento preventivo/tratamiento superficial/sobrecarpeta/reconstrucción/nueva construcción

Figura 57. Ingreso de datos estructurales de pavimentos

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

El HDM-4 tiene la ventaja que permite ingresar los datos de una sección en forma agregada a partir de valores cualitativos (por ejemplo, el tránsito puede ser especificado como alto, medio o bajo, a partir de las definiciones de los rangos de tránsito asignados a estos niveles por el usuario en el módulo de configuración), o bien pueden especificarse en detalle los valores numéricos precisos para cada variable. Ello permite tener la posibilidad de evaluar secciones de la red dentro de análisis globales, a nivel de políticas

y estrategias, para lo cual no hace falta tanto detalle o bien realizar análisis pormenorizados de una sección determinada a nivel de proyecto.

3.3.4.4.- Módulo de flotas

Este módulo permite incorporar las principales características de los vehículos que componen las flotas que circularán sobre las distintas secciones, información que será posteriormente utilizada para el cálculo de costos de los usuarios de la carretera. Los datos se ingresan a partir de vehículos tipificados que tienen sus propios parámetros por defecto y a partir de allí pueden modificarse de acuerdo a las realidades propias de cada país o región.

Atributos del vehículo: 5. Camión 3E

Definición | Características básicas | Costos económicos unitarios

Físicas

Espacios equivalentes en vehículos de pasajeros: 1.4

Número de ruedas: 6

Número de ejes: 2

Neumáticos

Tipo de neumático: Diagonal

No. de renovaciones: 1.3

Costo de renovación: 15 %

Utilización

km anuales: 90000 km

Hrs. laborables: 2400 hrs

Vida promedio: 10 años

Uso privado: 0 %

Pasajeros: 1 personas

Viajes de trabajo: 100 %

Carga

ESALF: 5.49

Peso en operación: 18.4 ton

Calibración...

Valores por omisión:

Calcular...

Aceptar

Cancelar

Factor de espacios equivalentes de automóviles de pasajeros (PCSE)

Figura 58. Ingreso de características básicas de vehículos

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En HDM-4 pueden ingresarse tanto vehículos motorizados, incluyendo motocicletas, como no motorizados (bicicletas, carros a tracción animal, incluso peatones).

La Figura 58 muestra la ventana de ingreso de características básicas del vehículo cuyos datos se quieren especificar, entre las cuales se cuentan equivalencia en vehículos livianos (para análisis de capacidad), número de ejes y de neumáticos, utilización anual, vida útil estimada, número de pasajeros, equivalencia de cargas (ESAL/vehículo), etc.

Presionando el botón “calibración”, se puede acceder a una ventana adicional que permite ingresar datos específicos sobre potencia, factores correctores de velocidad, consumos de combustible y lubricantes, desgaste de neumáticos, repuestos y taller, emisiones contaminantes, etc.

Vida óptima		Emisiones - Modelo de salida del motor			
Emisiones - Convertidor catalítico		Energía			
Fuerzas	Velocidad	Combustible	Efectos de la aceleración	Neumáticos	Mantenimiento
Aerodinámicas		Potencia			
Área frontal:	5 m ²	Del motor:	87 kW		
CD:	0.6	Al freno:	70 kW		
Multiplicador CD:	1.13	Nominal del motor:	100 kW		
Resistencia al rodamiento		Intransitabilidad en carreteras no pav.			
parámetro a0:	37	FPLIM: 1			
parámetro a1:	0.064				
parámetro a2:	0.012				

Figura 59. Ventana de acceso a calibración de factores

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Todo ello con el propósito de permitir el ajuste de los modelos de costos de operación vehicular a condiciones locales, en la medida que existe información suficiente y confiable como para efectuar dicha calibración. Posteriormente, deben ingresarse los

costos unitarios que permiten calcular costos a partir de los consumos estimados por el modelo para cada uno de los ítems como puede verse en la Figura 60.

Recursos del vehículo	
Vehículo nuevo:	269720
Remplazo neumático:	970.9
Combustible:	1.99 por litro
Lubricante:	16.67 por litro
Mano de obra mantenimiento:	8.27 por hora
Salarios de los operadores:	8.53 por hora
Gastos generales anuales:	26972
Interés anual:	14 %

Valor del tiempo	
Pasajero tiempo de trabajo:	3.37 por hora
Pasajero tiempo de ocio:	1.01 por hora
Retraso de carga:	0.25 por hora

Figura 60. Costos unitarios de insumos en valor económico

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Estos valores deben proveerse como costos sociales, es decir que a los precios de mercado de cada insumo deberán descontarse los impuestos, subsidios, aranceles, etc., ya que la determinación de costos de operación vehicular es válida fundamentalmente en evaluación social de proyectos, donde es el mismo Estado quien analiza la rentabilidad de dineros públicos invertidos en la red vial, considerando que estos fondos son generados justamente por los impuestos que pagan los contribuyentes.

En evaluación privada, en cambio, lo que importa es analizar la rentabilidad a partir de los ingresos monetarios por peajes, de la inversión en construcción y/o conservación planificada para cumplimentar las estipulaciones de calidad de rodadura y grado de deterioro aceptables, por ende, la determinación precisa de los costos sociales de los insumos vehiculares no es esencial.

La flota queda finalmente configurada de la manera que muestra el ejemplo de la Figura 61, expresando además de la denominación del vehículo, su clase, el vehículo tipificado básico al cual correspondería y su categoría (motorizado/no motorizado).

Nombre	Tipo	Última modificación	Tipo de base	Categoría
1. Auto	Automóviles	07/05/2020	Automóvil grande	Motorizado
2. Pick Up	Utilitarios	07/05/2020	4x4	Motorizado
3. Van Interurbano	Autobuses	07/05/2020	Minibus	Motorizado
4. Camión 2E	Camiones	07/05/2020	Camión ligero	Motorizado
5. Camión 3E	Camiones	07/05/2020	Camión mediano	Motorizado
6. Semi Tráiler	Camiones	07/05/2020	Camión articulado	Motorizado

Figura 61. Lista general de vehículos que componen una flota específica

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.4.5.- Módulo de estándares de conservación y mejora

Aquí se definen cuáles son los estándares que pueden aplicarse al camino o pavimento para mejorar su condición y funcionalidad. Dichos estándares están constituidos por grupos de actividades específicas que se ejecutan ya sea en forma programada o por condición de respuesta en un lapso predefinido. Una vez aplicados, dichos estándares producen una cierta variación sobre alguno o varios de los indicadores de condición estructural y funcional de la carretera, como por ejemplo la disminución de la rugosidad IRI, aumento en la capacidad estructural, incremento en la capacidad de acomodar flujo vehicular, etc.

Los estándares se clasifican en dos grandes grupos:

3.3.4.5.1.- Estándares de conservación

Aplican una actividad que mejora solamente la condición del pavimento, que dicho de otra manera, equivale a la conservación rutinaria de la vía. Entre las actividades que pueden formar parte de este tipo de estándares se cuenta el sellado de grietas, tratamientos superficiales, relleno de huella, lechadas asfálticas, riegos de neblina, micro-refuerzos, refuerzos con mezcla en caliente, mezcla abierta en frío, con asfaltos polimerizados, etc. Se debe especificar las características de diseño de la actividad, el momento y condiciones de aplicación, los costos y los efectos sobre el estado del pavimento, tanto funcional como estructural (Figura 62).

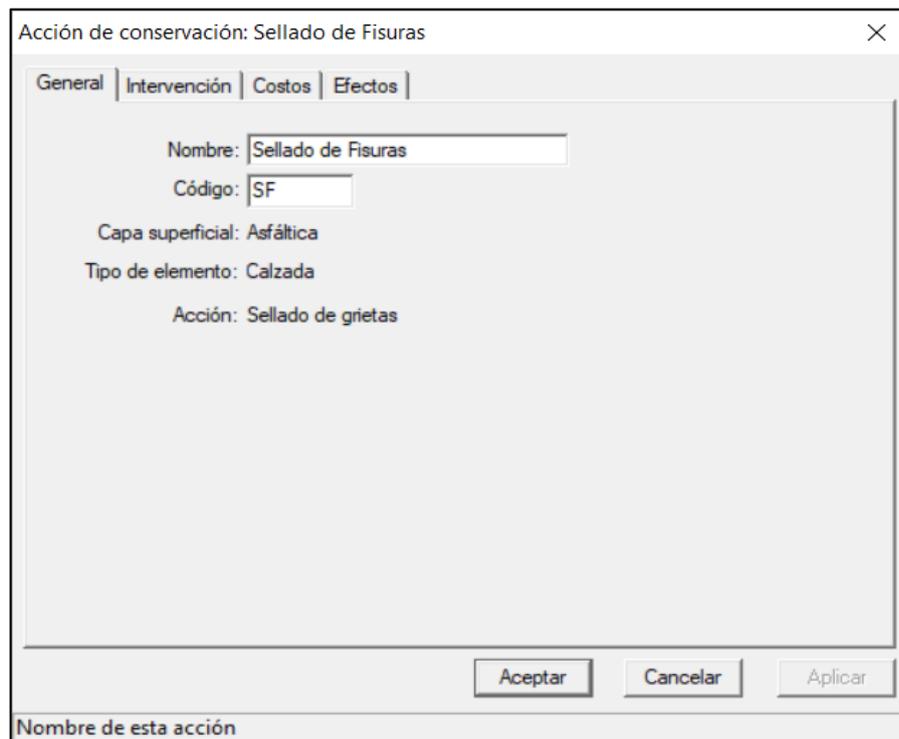
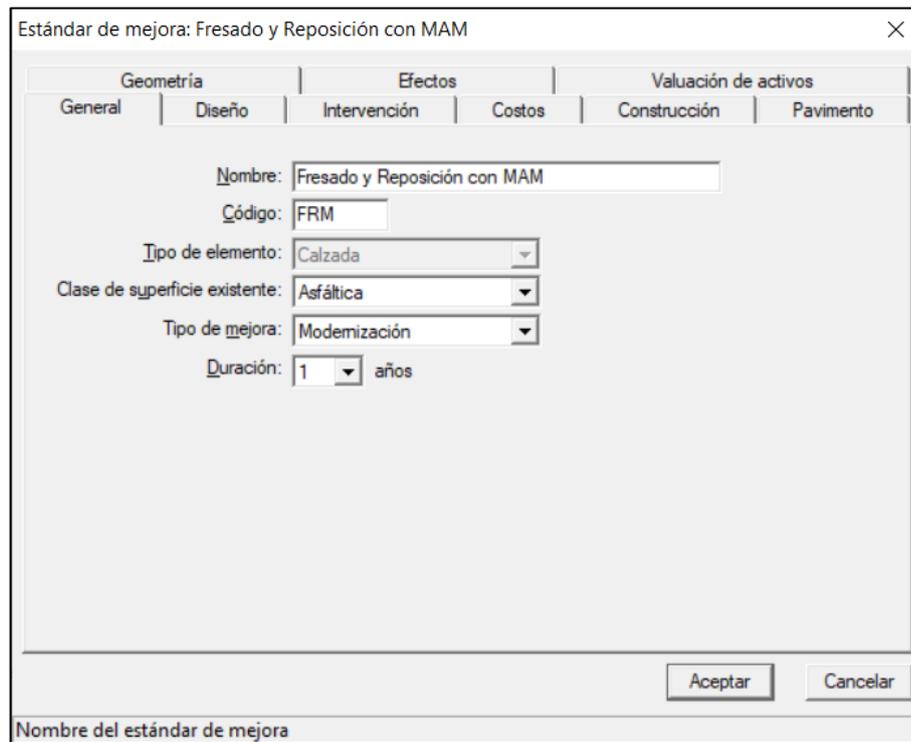


Figura 62. Definición de sellado de fisuras como estándar de conservación

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.4.5.2.- Estándares de mejora

Introducen una mejora no sólo en la condición del pavimento, sino también en la funcionalidad global de la carretera. Este tipo de actividad equivale a la conservación periódica planteada en las políticas de conservación.



Geometría		Efectos		Valuación de activos	
General	Diseño	Intervención	Costos	Construcción	Pavimento
Nombre: Fresado y Reposición con MAM					
Código: FRM					
Tipo de elemento: Calzada					
Clase de superficie existente: Asfáltica					
Tipo de mejora: Modernización					
Duración: 1 años					
Aceptar Cancelar					

Figura 63. Ingreso de datos de un estándar de mejoramiento

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3.4.6.- *Módulo de análisis de proyectos*

Una vez ingresados todos los datos básicos que permiten definir una sección de carretera, la flota que circulará sobre la misma y las actividades de mejoramiento que pueden aplicarse para determinar la estrategia más conveniente a aplicar en un proyecto, debe utilizarse el módulo de análisis de proyectos.

Este módulo permite definir parámetros generales de la evaluación, como el período de análisis, las monedas de entrada y de salida, seleccionar cuál sección y flota

se analizarán y establecer la distribución porcentual de los distintos tipos de vehículos integrantes de la flota.

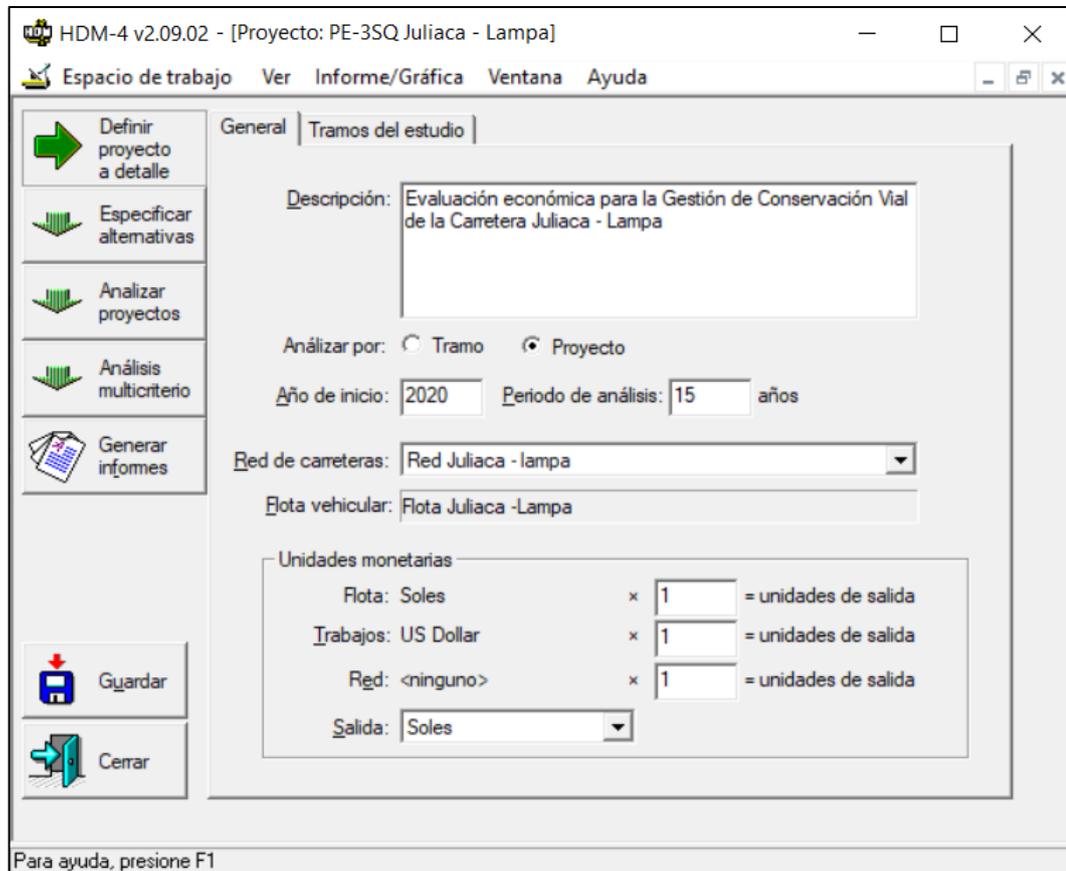


Figura 64. Pantalla principal del ingreso de datos de análisis de proyectos

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Es interesante destacar que en el HDM-4 es factible desde los módulos de análisis, modificar o corregir valores de parámetros ingresados en módulos anteriores, sin necesidad de volver a entrar en dichos módulos.

Luego se definen los estándares a aplicar y finalmente se establece cuál será la alternativa base, la tasa de descuento a ocupar y se decide si se van a incorporar en el análisis la consideración de costos, consumo de energía, contaminación y accidentes. Se ejecuta el análisis y se puede pasar a la fase de reportes en la cual se obtienen reportes



básicamente tabulados, hasta la presente versión 2.09, exportables a cualquier tipo de planilla de cálculo.

A través de los reportes del HDM-4, es posible analizar tanto la evolución prevista del deterioro para las alternativas evaluadas y los consumos físicos en operación de vehículos, como los costos globales de construcción, conservación y operación, actualizados según la tasa de descuento prefijada. Los indicadores económicos entregados por el programa (VAN, TIR, etc.) permiten comparar entre las alternativas y determinar aquella que sea más rentable, o lo que es equivalente, de mínimo costo actualizado. De acuerdo al presupuesto disponible, el analista podrá decidir qué alternativa seleccionar para cumplir con las necesidades de la red en estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta parte de la investigación, se realizó una descomposición de los resultados globales obtenidos para describir sus particularidades.

4.1.- RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA

El IMDA obtenido en el estudio de tráfico fue de 862 vehículos para el año 2019, considerando un período de evaluación de 15 años, se estableció que el tráfico proyectado para el año 2034 tendrá un IMDA de 1575, considerando tasas de crecimiento de 5.3, 1.1 y 4 para los vehículos ligeros (particulares), vehículos de transporte de personal y vehículos de carga respectivamente.

Alternativa: ALT2 - Reciclado y Reposición con MAM
Sensibilidad: Base Sensitivity Scenario

Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados

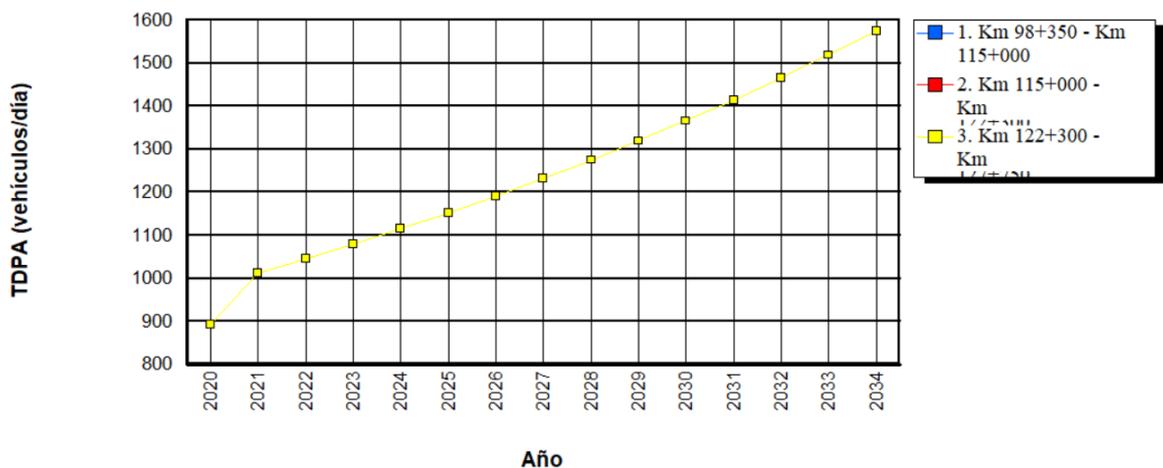


Figura 65. Gráfica de proyección del tráfico

Fuente: Evaluación HDM-4.

En la Evaluación Funcional se determinó tres sectores homogéneos cuyo IRI característico se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 47: IRI Característico de la sectorización

Sector Homogéneo	Desde (Km)	Hasta (Km)	Longitud (m)	IRI _{CARACT} (m/km)
1	98+350	115+000	16,650	2.64
2	115+000	122+300	7,300	3.14
3	122+300	127+750	5,450	6.74

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En la evaluación estructural, se determinó que se tienen ocho sectores homogéneos sin variaciones considerables, por lo que se ha optado por determinar promedios de deflexión para los sectores obtenidos en la evaluación funcional.

Tabla 48: Deflexiones máximas y CBR de la sectorización

Sector Homogéneo	Desde (Km)	Hasta (Km)	Longitud (m)	Do (um)	SNP	CBR (%)
1	98+350	115+000	16,650	681.19	4.08	32.6
2	115+000	122+300	7,300	679.84	4.08	31.8
3	122+300	127+750	5,450	673.93	4.10	31.1

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

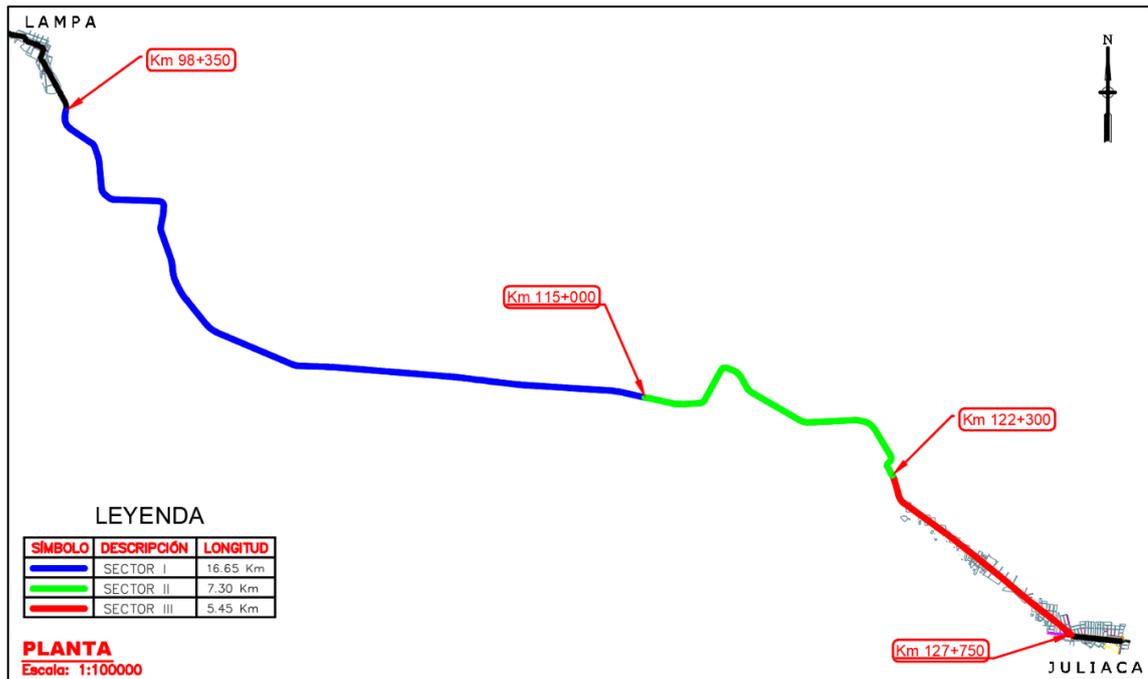


Figura 66. Sectores homogéneos definidos

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

4.2.- RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN

Para la evaluación del deterioro de la superficie de la vía, el indicador que mayormente es utilizado en los contratos de concesión y contratos por niveles de servicio es el IRI, por lo que se ha tomado este indicador como principal parámetro de evaluación.

Como resultado de la aplicación de las diferentes políticas de mantenimiento rutinario y periódico propuestas en los tres sectores de la vía, se tiene a continuación un gráfico de la regularidad promedio por alternativas del proyecto.

En la Figura 67 se observa que la regularidad de las alternativas 2 y 3 (que incluyen políticas de mantenimiento periódico) no exceden el 3.7 m/km.

Como se observa, el IRI de la alternativa base (sin proyecto) muestra una condición creciente a lo largo del período de evaluación hasta llegar al umbral 9.2 m/km.

Irregularidad promedio por proyecto (gráfica)

Nombre del estudio: Modelo de Gestión de Conservación Vial de la carretera Juliaca - Lampa Ok
Fecha de ejecución: 20-09-2020

Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

Irregularidad promedio por proyecto (IRIav) (ponderado por longitud de tramo)

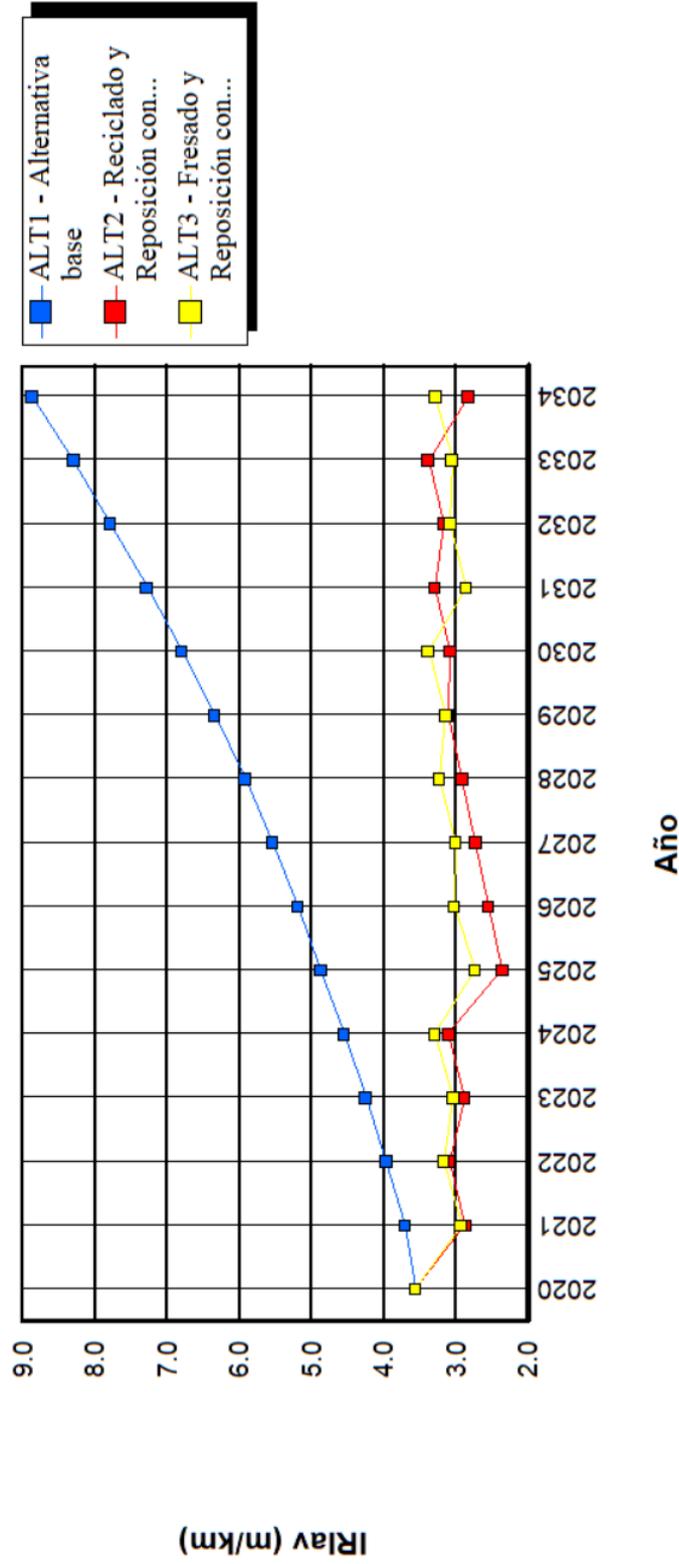


Figura 67. Gráfico de regularidad promedio por alternativa de proyecto
Fuente: Gráfico extraído del análisis efectuado por el software HDM-4.

Tramo: 1. Km 98+350 - Km 115+000

Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

ID tramo: T-1
Ascensos y descensos: 6.45m/km

Tipo de carretera: Secondary or Main
Ancho: 7.20m

Longitud: 16.65km
Curvatura: 27.03grados/km

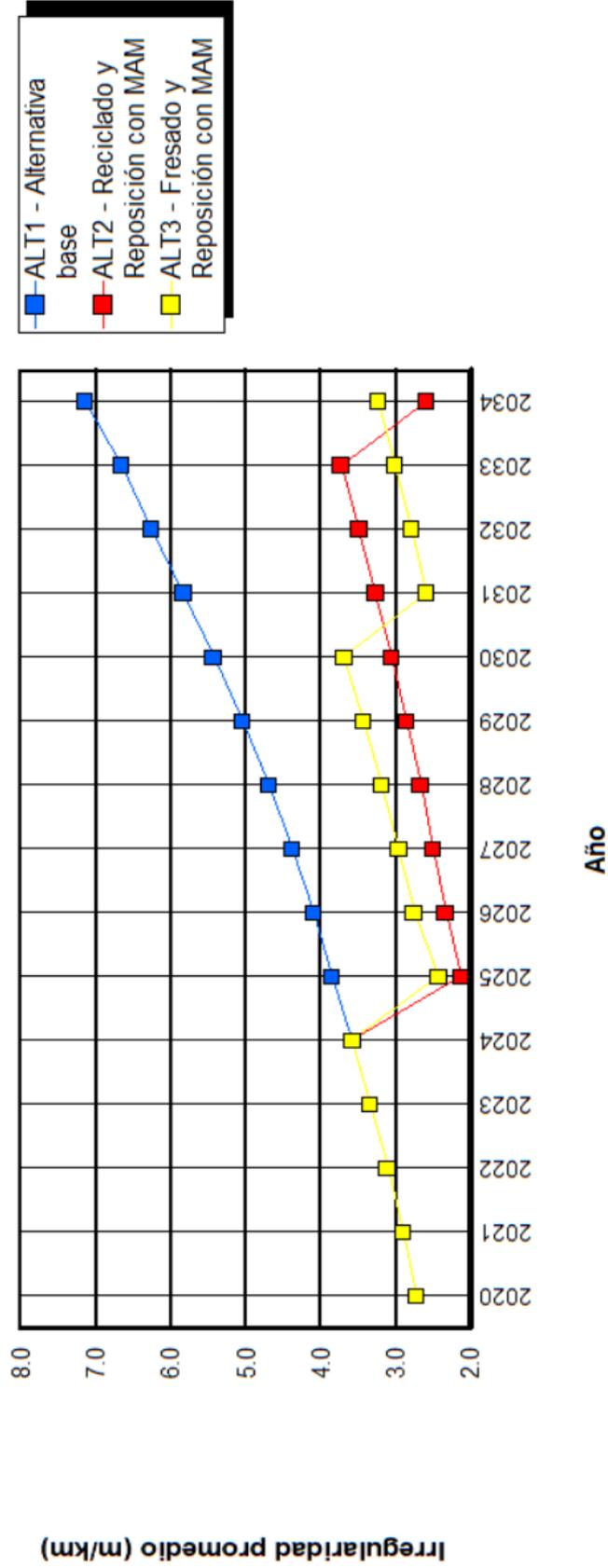


Figura 68. Gráfico de regularidad promedio del tramo 1
Fuente: Gráfico extraído del análisis efectuado por el software HDM-4.



En la Figura 68 se muestra el progresivo deterioro de la carpeta de rodadura de la carretera Juliaca – Lampa a lo largo del tiempo, por medio de la regularidad IRI en el tramo 1: Km 98+350 al Km 115+000, en el que se puede observar lo siguiente:

La alternativa 1, que corresponde a sólo realizar un mantenimiento rutinario a lo largo de todo el periodo de evaluación, se observó que el IRI aumenta progresivamente hasta llegar al umbral 7.5 m/km en el año 2034.

La alternativa 2, reciclado y reposición con mezcla asfáltica modificada con polímeros, se observó que la necesidad de los trabajos de mantenimiento periódico se da al año 2025, llegando a mejorar el IRI a 2 m/km, producto de los trabajos de mantenimiento periódico propuesto, a partir de ese año la condición funcional del pavimento sufre un deterioro progresivo hasta llegar a un IRI de 3.7 m/km en el año 2033, en el cual se realizaría los trabajos de refuerzo asfáltico de 25mm que se han establecido en las políticas de mantenimiento, con la finalidad de mantener los niveles de servicio establecidos en el contrato de niveles de servicio.

La alternativa 3, inicialmente no hay necesidad de realizar el mantenimiento periódico, se deberá sólo realizar la conservación rutinaria hasta que las mediciones de IRI alcance el valor de 3.7 m/km y en el año 2025 se deberá realizar trabajos de fresado y reposición con mezcla asfáltica modificada con polímeros, llegando a mejorar el IRI a 2.2 m/km producto de los trabajos de mantenimiento periódico propuesto, a partir de ese año la condición funcional del pavimento sufre un deterioro progresivo hasta llegar a un IRI de 3.7 m/km en el año 2031, en el cual se realizaría los trabajos de refuerzo asfáltico de 25mm que se han establecido en las políticas de mantenimiento, con la finalidad de mantener los niveles de servicio establecidos en el contrato de niveles de servicio.

Tramo: 2. Km 115+000 - Km 122+300

Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

ID tramo: T-2
Ascensos y descensos: 2.50m/km

Tipo de carretera: Secondary or Main
Ancho: 7.20m

Longitud: 7.30km
Curvatura: 65.07grados/km

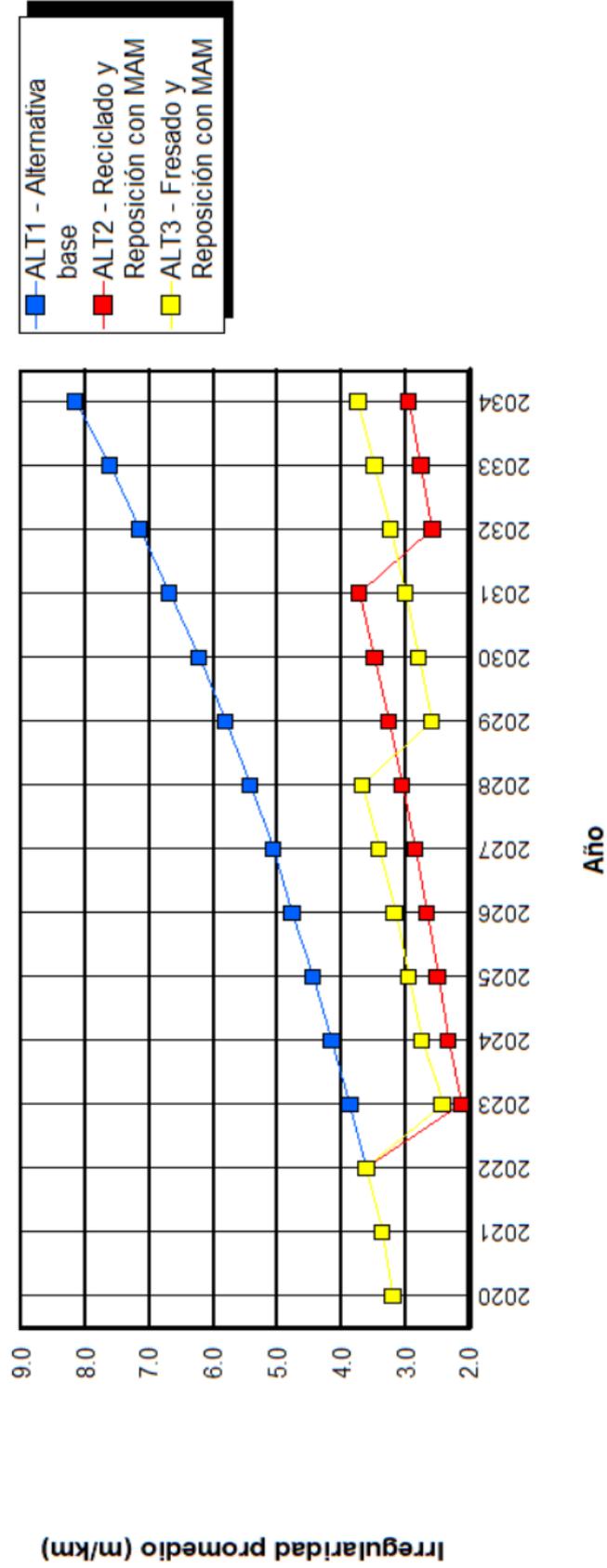


Figura 69. Gráfico de regularidad promedio del tramo 2
Fuente: Gráfico extraída del análisis efectuado por el software HDM-4.



En la Figura 69 se muestra el progresivo deterioro de la carpeta de rodadura de la carretera Juliaca – Lampa, a lo largo del tiempo, por medio de la regularidad IRI en el tramo 2: Km 115+000 al Km 122+300 en el que se puede observar:

La alternativa 1, que corresponde a solo realizar un mantenimiento rutinario a lo largo de todo el período de evaluación, donde se observó que el IRI aumenta progresivamente hasta llegar al umbral 8.5 m/km en el año 2034.

La alternativa 2, reciclado y reposición con mezcla asfáltica modificada con polímeros, se observó que la necesidad de los trabajos de mantenimiento periódico se da al año 2023, llegando a mejorar el IRI a 2 m/km producto de los trabajos de mantenimiento periódico propuesto, antes de esta intervención se observó que solo se realizan trabajos de mantenimiento rutinario, a partir de ese año la condición funcional del pavimento sufre un deterioro progresivo hasta llegar a un IRI de 3.7 m/km en el año 2032, año en el que se tendría que realizar trabajos de refuerzo asfáltico de 25mm que se han establecido en las políticas de mantenimiento, con la finalidad de mantener los niveles de servicio establecidos en el contrato de niveles de servicio.

La alternativa 3, inicialmente no hay necesidad de realizar el mantenimiento periódico, se deberá solo realizar la conservación rutinaria hasta que las mediciones de IRI alcance el valor de 3.7 m/km, en el año 2023 se deberá realizar trabajos de Fresado y reposición con mezcla asfáltica modificada con polímeros, llegando a mejorar el IRI a 2.2 m/km producto de los trabajos de mantenimiento periódico propuesto, a partir de ese año la condición funcional del pavimento sufre un deterioro progresivo hasta llegar a un IRI de 3.7 m/km en el año 2029, en el cual se realizaría los trabajos de refuerzo asfáltico de 25mm que se han establecido en las políticas de mantenimiento, con la finalidad de mantener los niveles de servicio establecidos en el contrato de niveles de servicio.

Tramo: 3. Km 122+300 - Km 127+750

Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

ID tramo: T-3

Ascensos y descensos: 1.50m/km

Tipo de carretera: Secondary or Main

Ancho: 7.20m

Longitud: 5.45km

Curvatura: 10.09grados/km

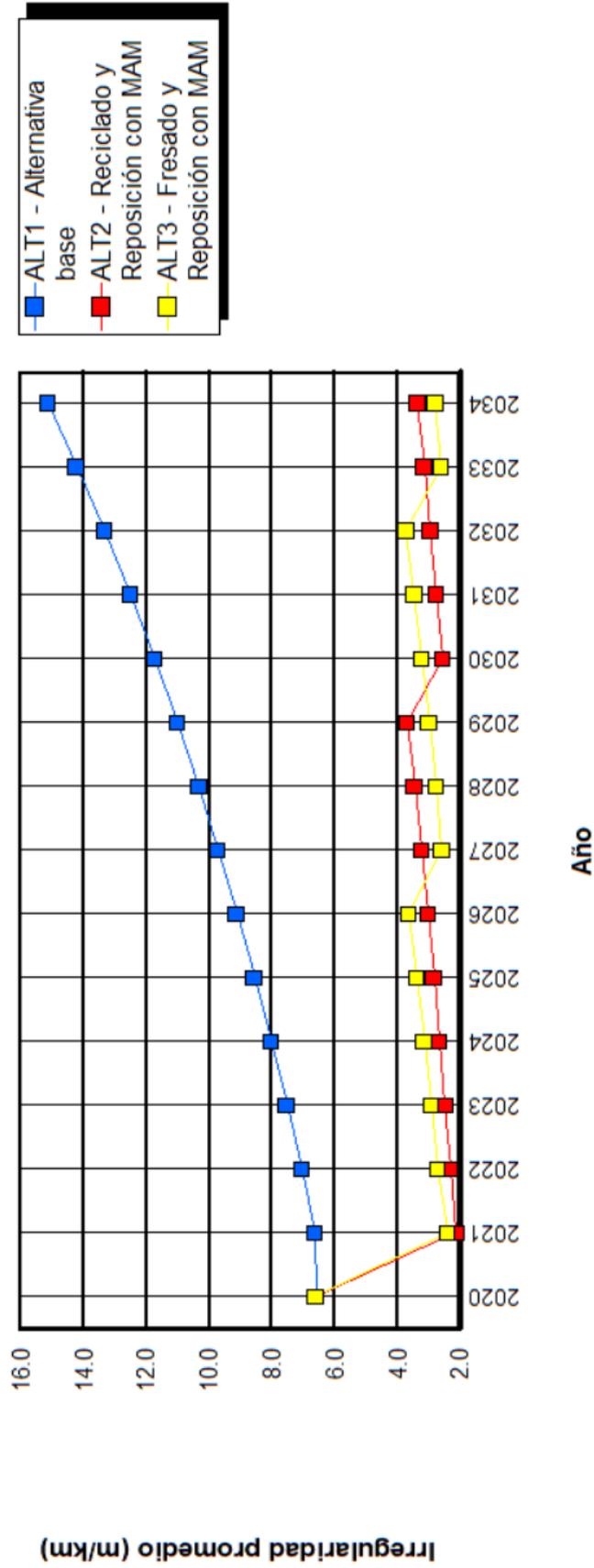


Figura 70. Gráfico de regularidad promedio del tramo 3
Fuente: Gráfico extraído del análisis efectuado por el software HDM-4.



La Figura 70 corresponde al deterioro progresivo de la carpeta de rodadura de la carretera Juliaca – Lampa, por medio de la regularidad IRI en el tramo 3: Km 122+300 al Km 127+750 en el que se observó:

La alternativa 1, que corresponde a solo realizar un mantenimiento rutinario a lo largo de todo el período de evaluación, donde se observó que el IRI aumenta progresivamente hasta llegar al umbral 15.5 m/km en el año 2034.

La alternativa 2, reciclado y reposición con mezcla asfáltica modificada con polímeros, se observó que la necesidad de los trabajos de mantenimiento periódico es inmediata (2020), llegando a mejorar el IRI a 2 m/km, producto de los trabajos de mantenimiento periódico propuesto, a partir del 2021 la condición funcional del pavimento sufre un deterioro progresivo hasta llegar a un IRI de 3.7 m/km en el año 2029, en el 2030 se tendría que realizar trabajos de refuerzo asfáltico de 25mm que se han establecido en las políticas de mantenimiento, con la finalidad de mantener los niveles de servicio establecidos en el contrato de niveles de servicio.

la regularidad del IRI de la alternativa 3 (fresado y reposición con mezcla asfáltica modificada con polímeros) baja a 2.2 m/km en el año 2021, producto de los trabajos de mantenimiento periódico propuesto, a partir de ese año la condición funcional del pavimento crece hasta llegar a un IRI superior a 3.7 m/km en el año 2027, en el cual se realizaría los trabajos de refuerzo asfáltico de 25mm que se han establecido en las políticas de mantenimiento, con la finalidad de mantener los niveles de servicio establecidos en el contrato de niveles de servicio. Además, se observó que en año 2032 presenta una regularidad IRI de 3.7 m/km, por lo que se tendrá que realizar un nuevo refuerzo asfáltico de la vía.

4.3.- RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla 49: Resumen de indicadores económicos

HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Resumen de indicadores económicos

Nombre del estudio: Modelo de Gestión de Conservación Vial de la carretera Juliaca - Lampa Ok

Fecha de ejecución: 20-09-2020

Unidad monetaria: Soles (millones)

Tasa de actualización: 8.00%

Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

Alternativa	Valor presente de los costos totales de la agencia (RAC)	Valor presente de los costos de inversión de la agencia (CAP)	Incremento de costos de la agencia (C)	Decremento en costos de usuario (B)	Beneficio exógeno netos (E)	Valor presente neto (VPN = B+E-C)	Relación VPN/costo (VPN/RAC)	Relación VPN/costo (VPN/CAP)	Tasa interna de retorno (TIR)
ALT1 - Alternativa base	2.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALT2 - Reciclado y Reposición con MAM	10.471	8.604	8.419	14.243	0.000	5.824	0.556	0.677	18.0 (1)
ALT3 - Fresado y Reposición con MAM	9.300	7.433	7.248	13.100	0.000	5.852	0.629	0.787	20.0 (1)

Fuente: Cuadro extraído del análisis efectuado por el software HDM-4.
La cifra entre paréntesis es el número de resultados para la TIR en un rango de -90 a +900

Tabla 50: Cuadro Resumen del análisis económico

Resumen del análisis económico

Nombre del estudio: Modelo de Gestión de Conservación Vial de la carretera Juliaca - Lampa Ok
 Fecha de ejecución: 20-09-2020
 Unidad monetaria: Soles (millones)
 Tasa de actualización: 8.00%
 Tipo de análisis: Por proyecto

Alternativa: ALT2 - Reciclado y Reposición con MAM vs Alternativa: ALT1 - Alternativa base
 No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera		Ahorros del TN COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNM	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes						
Sin actualizar	10.98	-0.33	0.00	10.01	0.00	0.00	0.00	19.61
Actualizado	8.60	-0.19	0.00	4.68	0.00	0.00	0.00	5.82

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = 18.0% (No. de soluciones = 1)

Alternativa: ALT3 - Fresado y Reposición con MAM vs Alternativa: ALT1 - Alternativa base
 No se realizó análisis de sensibilidad

	Incremento en costos de la agencia de carretera		Ahorros del TN COV del TN	Ahorros en costos de tiempo de viaje del TN	Ahorros en COV y costos de tiempo de viaje del TNM	Reducción en costos de accidentes	Beneficios sociales / exógenos netos	Beneficios económicos netos (VPN)
	Inversión	Recurrentes						
Sin actualizar	9.72	-0.33	0.00	7.35	0.00	0.00	0.00	18.75
Actualizado	7.43	-0.19	0.00	3.30	0.00	0.00	0.00	5.85

Tasa interna de retorno económico (TIRE) = 20.0% (No. de soluciones = 1)

Fuente: Cuadro extraído del análisis efectuado por el software HDM-4.



Tabla 51: Cuadro resumen de costos de mantenimiento vial

HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Resumen de trabajos (por año)

Nombre del estudio: Modelo de Gestión de Conservación Vial de la carretera
Fecha de ejecución: 20-09-2020
Unidad monetaria: Soles

Alternativa: ALT1 - Alternativa base

Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

Año	Tramo	Descripción de los trabajos	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad	
2020	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A	MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km	
		Bacheo	B	5,281.9	7,043.7	120.01 sq. m	
		Sellado de Fisuras	SF	22,459.6	29,946.1	2,503.85 sq. m	
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A	MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
		Bacheo	B	1,929.5	2,573.1	43.84 sq. m	
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A	MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
		Bacheo	B	2,200.4	2,934.4	50.00 sq. m	
	<i>Costo total anual:</i>				233,394.2	311,165.3	
	2021	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A	MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
			Bacheo	B	0.0	0.0	0.00 sq. m
2. Km 115+000 -		Mantenimiento Rutinario A	MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
		Bacheo	B	0.0	0.0	0.00 sq. m	
1. Km 98+350 - †		Mantenimiento Rutinario A	MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
		Bacheo	B	0.0	0.0	0.00 sq. m	
<i>Costo total anual:</i>				201,522.9	268,668.1		
2022		3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A	MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A	MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A	MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
	<i>Costo total anual:</i>				201,522.9	268,668.1	
2023	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A	MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km	
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A	MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A	MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
	<i>Costo total anual:</i>				201,522.9	268,668.1	
2024	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A	MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km	
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A	MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A	MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
	<i>Costo total anual:</i>				201,522.9	268,668.1	



HDM-4 Resumen de trabajos (por año)

2025	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		Sellado de Fisuras SF	81,202.5	108,270.0	9,052.67 sq. m
<i>Costo total anual:</i>			<u>282,725.4</u>	<u>376,938.1</u>	
2026	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Sellado de Fisuras SF	38,377.5	51,169.9	4,278.42 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
<i>Costo total anual:</i>			<u>239,900.4</u>	<u>319,838.0</u>	
2027	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Sellado de Fisuras SF	28,689.5	38,252.6	3,198.38 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
<i>Costo total anual:</i>			<u>230,212.4</u>	<u>306,920.7</u>	
2028	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
	<i>Costo total anual:</i>			<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>
2029	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
	<i>Costo total anual:</i>			<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>
2030	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Bacheo B	400.7	534.3	9.10 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
<i>Costo total anual:</i>			<u>201,923.6</u>	<u>269,202.4</u>	
2031	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Bacheo B	114.8	153.1	2.61 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Bacheo B	633.1	844.3	14.39 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		Bacheo B	1,441.3	1,922.0	32.75 sq. m
<i>Costo total anual:</i>			<u>203,712.1</u>	<u>271,587.5</u>	



HDM-4 Resumen de trabajos (por año)

2032	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Bacheo B	142.4	189.9	3.24 sq. m
		Sellado de Fisuras SF	35,712.1	47,616.1	3,981.28 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Bacheo B	176.0	234.8	4.00 sq. m
		Sellado de Fisuras SF	35,712.1	47,616.1	3,981.28 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		Bacheo B	400.9	534.6	9.11 sq. m
		Sellado de Fisuras SF	89,206.5	118,941.9	9,944.98 sq. m
	<i>Costo total anual:</i>			<u>327,160.7</u>	<u>436,185.3</u>
2033	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Bacheo B	167.8	223.8	3.81 sq. m
		Sellado de Fisuras SF	26,766.1	35,688.1	2,983.95 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Bacheo B	212.3	283.1	4.82 sq. m
		Sellado de Fisuras SF	35,712.1	47,616.1	3,981.28 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		Bacheo B	483.6	645.0	10.99 sq. m
		Sellado de Fisuras SF	89,206.5	118,941.9	9,944.98 sq. m
	<i>Costo total anual:</i>			<u>229,152.7</u>	<u>305,508.0</u>
2034	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Bacheo B	190.9	254.6	4.34 sq. m
		Sellado de Fisuras SF	26,766.1	35,688.1	2,983.95 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Bacheo B	245.4	327.2	5.58 sq. m
		Sellado de Fisuras SF	35,712.1	47,616.1	3,981.28 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		Bacheo B	559.1	745.6	12.70 sq. m
		Sellado de Fisuras SF	89,206.5	118,941.9	9,944.98 sq. m
	<i>Costo total anual:</i>			<u>202,518.3</u>	<u>269,995.5</u>
<i>Costo total por alternativa:</i>			<u>3,359,836.9</u>	<u>4,479,349.2</u>	

Alternativa: ALT2 - Reciclado y Reposición con MAM
Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

Año	Tramo	Descripción de los trabajos	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad
2020	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR		37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Reciclado y Reposición M RRMAM2		1,821,564.4	2,501,419.0	5.45 km
		Sellado de Fisuras SF		26,766.1	35,688.1	2,983.95 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR		50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Bacheo B		1,929.5	2,573.1	43.84 sq. m
		Sellado de Fisuras SF		35,712.1	47,616.1	3,981.28 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR		114,127.8	152,153.9	16.65 km
Bacheo B			2,200.4	2,934.4	50.00 sq. m	
<i>Costo total anual:</i>				<u>2,027,217.2</u>	<u>2,775,594.5</u>	



HDM-4 Resumen de trabajos (por año)

2021	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Bacheo B	0.0	0.0	0.00 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Bacheo B	0.0	0.0	0.00 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
	Bacheo B	0.0	0.0	0.00 sq. m	
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
2022	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Reciclado y Reposición M RRMAM2	2,439,893.8	3,350,525.0	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>2,641,416.6</u>	<u>3,619,193.1</u>	
2023	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
	2024	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1
2. Km 115+000 -		Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
1. Km 98+350 - †		Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		Reciclado y Reposición M RRMAM2	5,564,962.5	7,641,950.0	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>5,766,485.4</u>	<u>7,910,618.1</u>	
2025	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
	2026	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1
2. Km 115+000 -		Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
1. Km 98+350 - †		Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
2027		3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
	2028	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1
2. Km 115+000 -		Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
1. Km 98+350 - †		Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	



HDM-4 Resumen de trabajos (por año)

2029	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Refuerzo Asfáltico 25mm R	577,612.8	770,281.2	39,240.00 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>779,135.7</u>	<u>1,038,949.3</u>	
2030	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
2031	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Refuerzo Asfáltico 25mm R	773,683.2	1,031,752.8	52,560.00 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>975,206.1</u>	<u>1,300,420.8</u>	
2032	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
2033	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		Refuerzo Asfáltico 25mm R	1,764,633.6	2,353,244.31	19,880.00 sq. m
		<i>Costo total anual:</i>	<u>1,966,156.5</u>	<u>2,621,912.3</u>	
2034	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
	<i>Costo total por alternativa:</i>	<u>15,969,323.5</u>	<u>21,684,700.8</u>		

Alternativa: ALT3 - Fresado y Reposición con MAM
Sensibilidad: No se realizó análisis de sensibilidad

Año	Tramo	Descripción de los trabajos	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad
-----	-------	-----------------------------	--------	-----------------	------------------	----------



HDM-4 Resumen de trabajos (por año)

2020	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km	
		Fresado y Reposición con FRMAM2	1,389,880.8	1,853,174.4	5.45 km	
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
		Bacheo B	1,929.5	2,573.1	43.84 sq. m	
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
	Bacheo B	2,200.4	2,934.4	50.00 sq. m		
		<i>Costo total anual:</i>	<u>1,595,533.5</u>	<u>2,127,349.9</u>		
2021	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km	
		Bacheo B	0.0	0.0	0.00 sq. m	
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
		Bacheo B	0.0	0.0	0.00 sq. m	
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
	Bacheo B	0.0	0.0	0.00 sq. m		
		<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>		
2022	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km	
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
		Fresado y Reposición con FRMAM2	1,861,675.3	2,482,233.8	7.30 km	
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
			<i>Costo total anual:</i>	<u>2,063,198.1</u>	<u>2,750,901.8</u>	
2023	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km	
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
			<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
	2024	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
2. Km 115+000 -		Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
1. Km 98+350 - †		Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
		Fresado y Reposición con FRMAM2	4,246,149.5	5,661,532.5	16.65 km	
			<i>Costo total anual:</i>	<u>4,447,672.4</u>	<u>5,930,200.6</u>	
2025	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km	
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
			<i>Costo total anual:</i>	<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
	2026	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Refuerzo Asfáltico 25mm R	577,612.8	770,281.2	39,240.00 sq. m	
2. Km 115+000 -		Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km	
1. Km 98+350 - †		Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km	
			<i>Costo total anual:</i>	<u>779,135.7</u>	<u>1,038,949.3</u>	



HDM-4 Resumen de trabajos (por año)

2027	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
	<i>Costo total anual:</i>		<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
2028	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Refuerzo Asfáltico 25mm R	773,683.2	1,031,752.8	52,560.00 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
<i>Costo total anual:</i>		<u>975,206.1</u>	<u>1,300,420.8</u>		
2029	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
	<i>Costo total anual:</i>		<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
2030	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
		Refuerzo Asfáltico 25mm R	1,764,633.6	2,353,244.31	19,880.00 sq. m
	<i>Costo total anual:</i>		<u>1,966,156.5</u>	<u>2,621,912.3</u>	
2031	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
	<i>Costo total anual:</i>		<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
2032	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
		Refuerzo Asfáltico 25mm R	577,612.8	770,281.2	39,240.00 sq. m
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
<i>Costo total anual:</i>		<u>779,135.7</u>	<u>1,038,949.3</u>		
2033	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
	<i>Costo total anual:</i>		<u>201,522.9</u>	<u>268,668.1</u>	
2034	3. Km 122+300 -	Mantenimiento Rutinario A MR	37,357.1	49,804.1	5.45 km
	2. Km 115+000 -	Mantenimiento Rutinario A MR	50,038.0	66,710.1	7.30 km
		Refuerzo Asfáltico 25mm R	773,683.2	1,031,752.8	52,560.00 sq. m
	1. Km 98+350 - †	Mantenimiento Rutinario A MR	114,127.8	152,153.9	16.65 km
<i>Costo total anual:</i>		<u>975,206.1</u>	<u>1,300,420.8</u>		
<i>Costo total por alternativa:</i>		<u>14,991,904.4</u>	<u>19,989,781.4</u>		



HDM-4 Resumen de trabajos (por año)

Resumen de costo total anual:

Base Sensitivity Scenario

	LT1 - Alternativa base	y Reposición con MAM	y Reposición con MAM
2020	233,394.19	2,027,217.15	1,595,533.52
2021	201,522.89	201,522.89	201,522.89
2022	201,522.89	2,641,416.64	2,063,198.14
2023	201,522.89	201,522.89	201,522.89
2024	201,522.89	5,766,485.39	4,447,672.39
2025	282,725.37	201,522.89	201,522.89
2026	239,900.35	201,522.89	779,135.70
2027	230,212.37	201,522.89	201,522.89
2028	201,522.89	201,522.89	975,206.08
2029	201,522.89	779,135.70	201,522.89
2030	201,923.55	201,522.89	1,966,156.52
2031	203,712.07	975,206.08	201,522.89
2032	327,160.71	201,522.89	779,135.70
2033	229,152.67	1,966,156.52	201,522.89
2034	202,518.25	201,522.89	975,206.08
Total	3,359,836.87	15,969,323.49	14,991,904.36

Fuente: Cuadro extraído del análisis efectuado por el software HDM-4.



De la evaluación económica para la conservación vial de la carretera Juliaca – Lampa, realizada con el modelo HDM-4, se observó que en las Tablas 49 y 50 muestra como resultado que la alternativa 3 es la más conveniente técnica y económicamente, la misma que consiste en fresar el pavimento existente y reponer una carpeta asfáltica nueva con mezcla asfáltica modificada con polímeros, junto a un mantenimiento rutinario optimizado. Los indicadores de evaluación muestran que la rentabilidad del proyecto presenta los siguientes valores: **VAN = 5.85 Millones de Soles**, y **TIR = 20.0 %**.

En el análisis económico realizado mediante la utilización del modelo HDM-4 se observó que la alternativa que presenta mayores ahorros de los costos de operación vehicular (COV) es la alternativa 3, con una reducción de 9.8 millones de soles (Tabla 50), respecto a las condiciones actuales en que se encuentra la vía en estudio, en un período de evaluación de 15 años.

Además, se determinó en la Tabla 51 que los costos económicos de mantenimiento vial en la carretera Juliaca – Lampa, para los 15 años de evaluación es de S/. 3'359,836.87 de la alternativa base (sin proyecto) en comparación con la alternativa 3 (con proyecto) los costos económicos son de S/. 14'991,904.36. Así los costos financieros de mantenimiento vial en la carretera Juliaca – Lampa, para los 15 años de evaluación es de S/. 4'479,349.2 soles de la alternativa base (sin proyecto), en comparación con la alternativa 3 (con proyecto) los costos económicos son de S/. 19'989,781.4.

Se ha determinado también que hay una diferencia de costos de mantenimiento vial entre las dos alternativas de mantenimiento periódico a favor de la alternativa 3 sobre la alternativa 2, éste ahorro se cuantifica en S/. 977,419.13 (Tabla 51, cuadro resumen de costos de mantenimiento vial).

4.4.- CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE CONSERVACIÓN

De la evaluación de estrategias y/o alternativas de conservación y de la evaluación económica, se observó que la alternativa 3 es la más conveniente técnica y económicamente para un adecuado plan de conservación vial, por lo que a continuación se presenta un cronograma de ejecución de conservación para la carretera Juliaca – Lampa.

Tabla 52: Cronograma de ejecución de conservación

Ruta	Plan de Conservación Vial										Año										
	Sector	Actividad	Unidad	Cantidad	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034		
PE-350: Juliaca - Lampa	T-1 (Km 98+350 - Km 115+000)	Conservación rutinaria - Antes de la conservación periódica	Km-año	16.65																	
		Conservación periódica: Fresado de carpeta asfáltica y reposición con MAM	Km	16.65																	
		Conservación rutinaria - Después de la conservación periódica	Km-año	16.65																	
		Refuerzo Asfáltico 25 mm IRI superior a 3.7 m/km.	Km	16.65																	
PE-350: Juliaca - Lampa	T-2 (Km 115+000 - Km 122+300)	Conservación rutinaria - Antes de la conservación periódica	Km-año	7.30																	
		Conservación periódica: Fresado de carpeta asfáltica y reposición con MAM	Km	7.30																	
		Conservación rutinaria - Después de la conservación periódica	Km-año	7.30																	
		Refuerzo Asfáltico 25 mm IRI superior a 3.7 m/km.	Km	7.30																	
PE-350: Juliaca - Lampa	T-3 (Km 122+300 - Km 127+750)	Conservación rutinaria - Antes de la conservación periódica	Km-año	5.45																	
		Conservación periódica: Fresado de carpeta asfáltica y reposición con MAM	Km	5.45																	
		Conservación rutinaria - Después de la conservación periódica	Km-año	5.45																	
		Refuerzo Asfáltico 25 mm IRI superior a 3.7 m/km.	Km	5.45																	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

4.5.- DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos se puede confirmar que el empleo del HDM-4 es una herramienta de gestión de conservación vial que permite comparar cuantitativamente los costos de mantenimiento vial y operación vehicular, por tanto, ofrece la posibilidad de tener una herramienta que sabiéndola manejar e interpretar sus resultados ayuda a los ingenieros encargados de la administración de proyectos viales a una mejor y acertada toma de decisiones en la gestión vial.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Pérez (2013), quien indica que los sistemas de gestión de pavimentos se relacionan de manera directa con el HDM, de tal forma que este actúa como una herramienta para la integración y organización de los datos provenientes del estudio de campo, para luego definir el tipo de intervención económica; Tapara (2015), señala que el modelo HDM es de excelencia para la práctica cuantificada de selección de la mejor alternativa económica y técnica de un proyecto de factibilidad; Zarate (2016), afirma que el conservar una vía, en condiciones óptimas, mediante intervenciones con acciones de mantenimiento rutinario y periódico representa para las Instituciones Administradoras de redes viales, un ahorro significativo y Baltodano (2017) concluye que con el modelo HDM-4 se dará un mantenimiento oportuno y programado de la vía, que ayudará a mantener los estándares funcionales, proporcionando una vida útil de acuerdo al periodo de diseño. Todo ello es acorde con lo que en este estudio se ha obtenido.

Sin embargo la investigación de Rodríguez (2011) se observó que la forma de determinar los ahorros en los costos de operación vehicular, son obtenidos mediante la utilización de métodos empíricos como son: a) Método de Len Asociados Ingenieros Consultores, aplicado en las vías de Chile, y b) Metodología del Instituto Nacional de



Vías (INVIAS) de Colombia; por el contrario, en el presente estudio se ha implementado el HDM-4 en la determinación de estos costos obteniendo valores con mayor certeza y objetividad.

Los indicadores económicos utilizados en el presente estudio fueron el VAN, TIR y COV los cuales concuerdan con los utilizados por Pérez (2013), Canales (2014), Tapara (2015), Zarate (2016), Calles (2016) y Baltodano (2017).

De los gráficos de deterioro mostrados en los resultados (figuras 67, 68, 69 y 70) guardan relación con la afirmación de Pérez (2013), ya que se puede observar que el mantenimiento vial no debe efectuarse en cualquier momento sino debe ser una acción sostenida en el tiempo para garantizar un mayor tiempo de vida útil y reduciendo las inversiones.

Durante varias décadas, en nuestro país se consideró que la función primordial de los organismos del Estado responsables de la administración de nuestras vías, era construir caminos con los recursos presupuestales asignados. La eficiencia de tales organismos se medía en el número de kilómetros construidos y en el tipo de construcción utilizada; en cambio, la conservación de los caminos ya construidos tuvo un rol secundario. Sin embargo, el Estado Peruano a partir del 2008 ha implementado normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial, para tal fin, las agencias viales encargadas de administrar las vías, necesitan de una herramienta que permita y contribuya en la toma de decisiones objetivas de sus planes de acción en términos de rehabilitación y conservación vial.

En nuestro país la utilización del HDM-4 se limita a ser una herramienta de evaluación económica para proyectos de inversión pública en el sector transporte,



normada y reglamentada por el Ministerio de Económica y Finanzas (MEF); sin embargo, en la presente investigación se ha podido demostrar que esta importante herramienta debe ser implementada en las agencias viales que administran las redes nacionales, como un programa de gestión de la infraestructura vial, obteniendo no solo indicadores económicos que evalúan la rentabilidad de las políticas y estrategias de trabajo definidas; sino también evaluando de forma técnica el deterioro progresivo del pavimento en algún período definido, para posteriormente tomar en el momento oportuno decisiones objetivas que permitirá prolongar el estado de serviciabilidad de las vías.

Con la aplicación del HDM-4 en un proyecto de carreteras se puede:

- Maximizar los beneficios económicos (valor presente neto) y sociales (costos de operación vehicular)
- Minimizar los costos para alcanzar una condición designada de la red vial
- Maximiza el mejoramiento de la condición de la red vial

Debo aclarar que el programa HDM-4 no es un sistema de gestión de pavimentos; sino tan solo una herramienta de apoyo para calcular la evolución del deterioro del pavimento, que ayuda a las entidades encargadas de la administración de las vías a tomar las mejores alternativas de conservación, mejora o mantenimiento.

En la presente investigación se ha establecido un modelo de gestión de conservación vial, con una secuencia ordenada de los procedimientos a seguir para obtener una buena evaluación técnica y económica, utilizando como principal herramienta el software HDM-4, que nos permita reducir los costos de operación vehicular y mantenimiento vial en una vía específica (Figura 71).

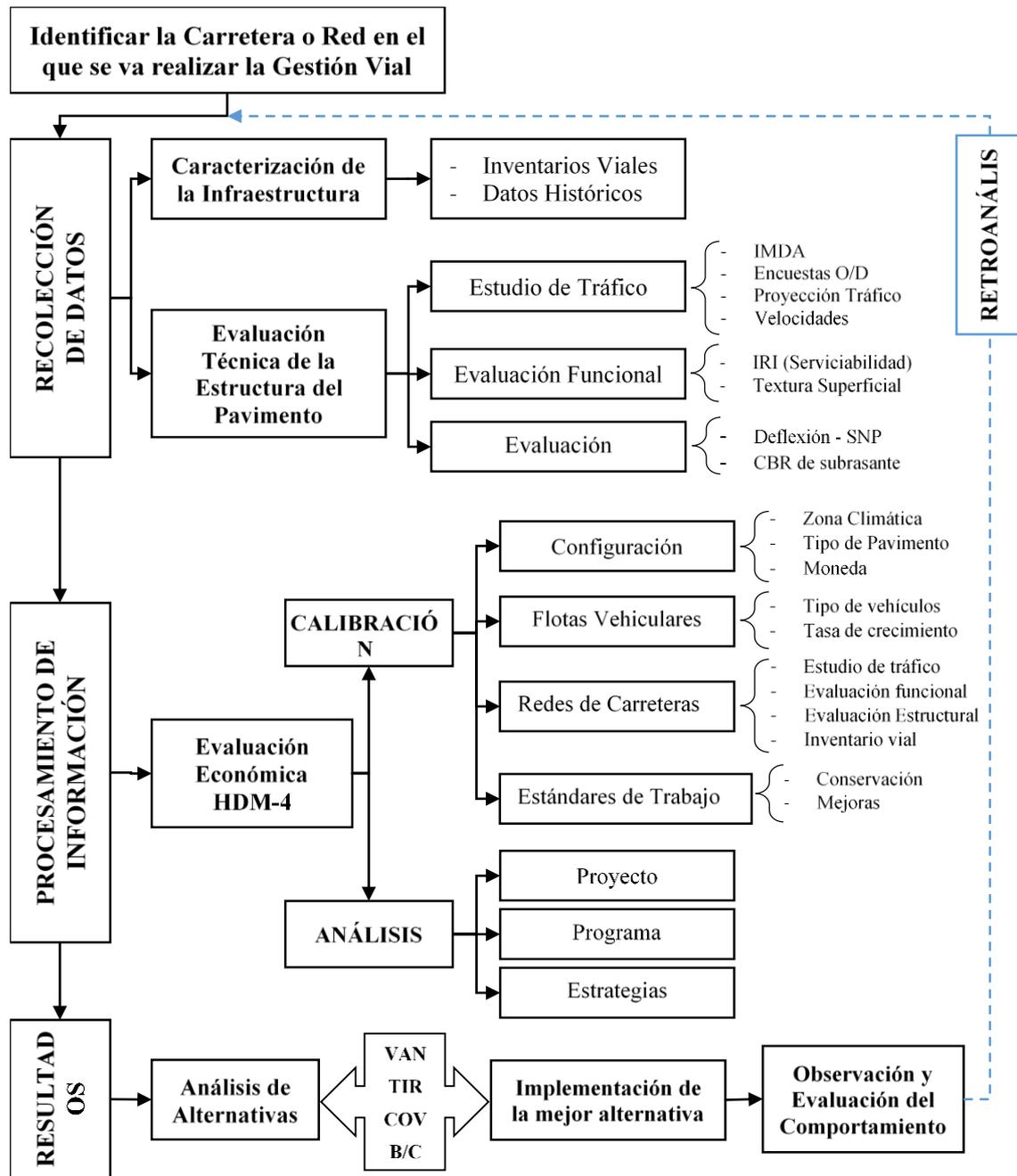


Figura 71. Fases de la gestión de conservación vial

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



V. CONCLUSIONES

El modelo de gestión de conservación vial más eficiente para la carretera Juliaca – Lampa procesado en el programa HDM-4 determinó una reducción significativa en costos de mantenimiento vial y costos de operación vehicular, respecto a la alternativa de dejar que la vía continúe sin ningún tipo de conservación.

La evaluación técnica de la vía Juliaca – Lampa obtuvo un IMDA de 862 vehículos para el año 2019 (año base) y en la evaluación funcional se obtuvo valores de IRI desde 1.25m/km hasta 10.00 m/km, obteniendo un IRI característico de 4.05 m/km; mientras que, en la evaluación estructural, la deflexión máxima varía entre 0.610 mm y 0.775 mm. De la evaluación técnica se obtuvo tres sectores homogéneos claramente definidos, los cuales son: sector 1 del Km 98+350 al Km 115+000, sector 2 del Km 115+000 al Km 122+300, y el sector 3 del Km 122+300 al 127+750; concluyéndose que, si no se interviene en forma oportuna la estructura del pavimento, puede sufrir un deterioro acelerado de la carretera (IRI característico por encima de 9 m/km).

La mejor alternativa de conservación vial para la carretera Juliaca – Lampa según el programa HDM-4 es el fresado de la carpeta asfáltica y reposición con mezcla asfáltica modificada con polímeros (alternativa 3 de la investigación), interviniendo primeramente en el sector 3 en el año uno de aplicación (2020), en el sector 2 se realizará este trabajo de mantenimiento periódico en el año 2022 y finalmente en el sector 1 en el año 2024; además se deberá realizar un mantenimiento rutinario de la vía a lo largo del periodo de intervención.

La utilización del modelo HDM-4 determinó ahorro en los costos de operación vehicular (COV) que se cuantifican en 9.8 millones de soles respecto a las condiciones



actuales en que se encuentra la vía en estudio, en un periodo de evaluación de 15 años; obteniéndose un ahorro de S/. 977,419.13 en los costos de mantenimiento vial al comparar las dos alternativas y/o estrategias de mantenimiento vial propuesto en la investigación.



VI. RECOMENDACIONES

A los investigadores profundizar y proponer un modelo de gestión de conservación vial a nivel de redes viales, incluyendo vías de distintas características en cuanto se refiere a la composición de la estructura del pavimento, con el fin de evaluar con el HDM-4 utilizando las herramientas de análisis (programa y estrategias).

A las instituciones públicas y privadas encargadas de administrar las carreteras en la Región Puno utilizar el HDM-4 como herramienta de gestión para la evaluación técnica y económica de las mismas, debiendo invertir en la capacitación y actualización de su personal profesional y técnico con nuevas tecnologías y metodologías que hagan de la conservación vial una política a implantar, en búsqueda de mejorar las redes viales de la región.

A los evaluadores económicos de la infraestructura vial definir un procedimiento de calibración del sistema del HDM-4 y realizar visitas de campo para poder tener una referencia exacta de la vía a evaluar y así obtener un modelo de predicción ajustado que ofrezca estimaciones realistas y confiables para establecer planes de conservación vial que tiendan a optimizar los recursos disponibles y minimizar los costos de operación de la carretera; ya que en la etapa de pre-inversión se ha podido evidenciar que muchos de las soluciones planteadas en expedientes técnicos no se adecúan a la realidad de la vía.



VII. REFERENCIAS

- Academia. (2016). La conservación vial por niveles de servicio. *Academia.edu*, 8. Obtenido de <https://www.academia.edu/6288437>
- Almanza, D. A. (2014). *Evaluación de modelo "Quarter Car" para la estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tramo Huancavelica - Santa Inés*. (Tesis de Licenciatura), Puno - Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1681>
- Balarezo Zapata, J. (2017). *Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento*. Piura: Repositorio UDEP.
- Baltodano, W. (2017). *Modelo de gestión de conservación vial basado en criterios de sostenibilidad para reducir los costos de mantenimiento vial en la carretera desvío Salaverry - Santa*. (Tesis de Maestría), Universidad Privada Antenor Orrego, Escuela de Postgrado, Trujillo - Perú.
- Bustos, M. (2007). *Desarrollos para la gestión de pavimentos en la infraestructura vial*. Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería.
- Calles, A. M. (2016). *Modelo de gestión de conservación vial para la red vial rural del Cantón Pastaza*. (Tesis de Maestría), Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito - Ecuador.
- Canales, J. (2014). *Comparación de modelos de gestión para la evaluación de inversiones en proyectos viales*. (Tesis de Licenciatura), Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima - Perú.
- Chavez Peña, J. F. (2015). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles usando el deflectómetro de impacto en la carretera Tarma - La Merced*. Huancayo: Repositorio Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Choque Palacios, J. A. (2019). *Estudio comparativo del método PCI y el manual de conservación vial MTC en la evaluación superficial de pavimento flexible, Tramo Emp. PE-3S - Atuncolla*. Puno: Repositorio Institucional UNA-PUNO.



- Consortio El Altiplano. (2015). *Estudio de pre inversión a nivel de perfil de las carreteras del proyecto Pro Región Puno, por niveles de servicio – paquete 03*. Juliaca, Puno, Perú.
- De Solminihaç, H. (2018). *Gestión de infraestructura vial* (3ra Edición ed.). Santiago, Chile: Alfaomega.
- Haas, R. (1993). *Modern pavement management*. Melbourne, Estados Unidos. Obtenido de <http://worldcat.org/isbn/0894645889>
- ICC Laser y KJ Law. (1988). *The little book of profiling: Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Michigan, USA.
- Kerali, H. G. (2001). *Manual del usuario del HDM-4* (Vol. 1). Asociación Mundial de la Carretera – PIARC. Obtenido de <https://www.piarc.org/es/>
- Menéndez, J. R. (2003). *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas - Manual técnico* (Primera ed.). San Isidro, Lima, Perú: OIT/Oficina Subregional de los Países Andinos. Obtenido de www.oit.org.pe
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2015). *Guía de orientación al usuario del transporte terrestre* (Vol. III). San Isidro, Lima, Perú: Impresos S.R.L. Obtenido de www.mincetur.gob.pe
- Ministerio de Economía y Finanzas - DGIP. (2011). *Guía simplificada para la identificación, formulación y social de proyectos de rehabilitación y mejoramiento de caminos vecinales, a nivel de perfil* (1ra ed.). Miraflores, Lima, Perú.
- Ministerio de Economía y Finanzas - DGIP. (2015). *Pautas metodológicas para el uso y aplicación del HDM-4 en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de transportes* (1ra ed.). Lince, Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). Decreto Supremo N° 034-2008-MTC. *El Peruano*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Manual de inventarios viales* (Vol. IV). Lima, Perú.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones R.D. N° 051-2007-MTC/14. (2007). *Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones R.D. N° 17-2013-MTC/14. (2013). *Manual de carreteras - Conservación vial*. Lima. Obtenido de www.mtc.gob.pe
- Montoya, J. E. (2007). *Implementación del sistema de gestión de pavimentos con herramienta HDM-4 para la red vial Nro 5 Tramo Ancón - Huacho - Pativilca*. (Tesis de Licenciatura), Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Lima - Perú.
- Morales Sosa, H. A. (2006). *Ingeniería vial I*. (E. Búho, Ed.) Santo Domingo, República Dominicana.
- Oficina General de Planeamiento y Presupuesto OGPP/MTC. (2011). *Parámetros requeridos y opcionales para el uso el HDM*. Lima.
- Pérez, M. (2013). *Análisis de evaluación técnica y económica del Proyecto vial Comitancillo - San Lorenzo -Santa Irene, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos utilizando el modelo de estándares de conservación y diseño de carreteras (HDM)*. (Tesis de Licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.
- Rodríguez, R. A. (2011). *Modelo de gestión de conservación vial para reducir costos de mantenimiento vial y operación vehicular en los caminos rurales de las poblaciones de Riobamba, San Luis, Punín, Flores, Cebadas de la Provincia de Chimborazo*. (Tesis de Maestría), Universidad Técnica de Abanto, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Abanto - Ecuador
- Salgado, M. (2014). *Uso y aplicación del HDM-4 como herramienta de gestión*. Instituto del Cemento y de Hormigón de Chile, Chile.
- Salgado, M. (2019). *Experiencia latinoamericana en la configuración y adaptación de HDM-4 a las condiciones locales*. Instituto del Cemento y Hormigón de Chile, Chile.



- Salomón, E. (2003). *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas - Guía conceptual* (Primera Edición ed.). San Isidro, Lima, Perú: OIT/ Oficina Subregional de los Paises Andinos. Obtenido de www.oit.org.pe
- Sayers, M., & Karamidas, S. (1988). *The litle book of profiling*.Michigan, USA.
- Tapara, D. (2015). *Evaluación del estudio de factibilidad de la Carretera Ocuvi - Laguna Calera con el modelo HDM*. (Tesis de Licenciatura), Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Puno - Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9028>
- Zarate, G. (2016). *Modelo de gestión de conservación vial para reducir costos de mantenimiento vial y operación vehicular del camino vecinal Raypa - Huanchay - Molino, Distrito Culebras-Huarmey*. (Tesis de Maestría), Universidad Privada Antenor Orrego, Escuela de Postgrado, Trujillo - Perú.



ANEXOS

ANEXO A : ESTUDIO DE TRÁFICO

- A.1 : Conteo vehicular
- A.2 : Encuestas Origen – Destino.

ANEXO B : EVALUACIÓN FUNCIONAL

- B.1 : Regularidad IRI
- B.2 : Norma ASTM E 950 – 98
- B.3 : Macrotextura superficial

ANEXO C : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

- C.1 : Deflectometría
- C.2 : Norma ASTM D 4694 – 96

ANEXO D : MÉTODO DE ANÁLISIS POR DIFERENCIAS ACUMULADAS, AASHTO 1993

ANEXO E : DATOS DE ENTRADA HDM-4

- E.1 : Características básicas de los tramos
- E.2 : Características geométricas de los tramos
- E.3 : Condición de la superficie

ANEXO F : DATOS DE SALIDA HDM-4

- F.1 : Comparación de costos
- F.2 : Relación beneficio costo
- F.3 : Resumen de análisis económico