



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Planificación del sistema de gestión de pavimentos  
para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento  
y rehabilitación de carretera.

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

**AUTORES**

Bonilla Baldárrago, Irene Elizabeth  
ORCID: 0000-0002-2032-2758

De la cruz Isuhuaylas, Diego Herschel  
ORCID: 0000-0003-2350-3631

**ASESOR**

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo  
ORCID: 0000-0002-7722-8711

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos del autor(es)**

Bonilla Baldárrago, Irene Elizabeth

DNI: 70387973

De la cruz Isuhuaylas, Diego Herschel

DNI: 73229388

### **Datos de asesor**

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

### **Datos del jurado**

#### **JURADO 1**

Támara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

#### **JURADO 2**

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

ORCID: 0000-0002-2518-8201

#### **JURADO 3**

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## **DEDICATORIA**

Dedicada a Dios por permitirme terminar este trabajo de investigación y por darme perseverancia, dedicación de seguir con mis objetivos profesionales. A mis padres, Irene y Fernando, por brindarme su comprensión, cariño. A mi hermano, por su apoyo y sus buenos consejos.

Irene Elizabeth Bonilla Baldárrago

En primer lugar, a Dios, ya que gracias a él he logrado terminar mi carrera, a mis padres Carlos De la cruz y Carmen Isuhuaylas, mi hermano Giancarlo que siempre me han apoyado en cada proceso de mi vida y me han brindado sus consejos y valores que me ayudaron a superarme como profesional y persona día tras día.

Diego Herschel De la cruz Isuhuaylas

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Ricardo Palma, por la calidad de educación y una formación profesional adecuada a lo largo de nuestros estudios universitarios.

A nuestros asesores Mg. Sc. Ing. Néstor Wilfredo Huamán Guerrero, y Dr. Ing. Joaquín Samuel Tamara Rodríguez, por los conocimientos y formación en el área de pavimentos que nos han otorgado.

A todas aquellas personas que confiaron en nosotros y contribuyeron en el desarrollo de esta investigación.

Irene Bonilla y Diego De la cruz

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
1.1 Formulación y delimitación del problema .....	1
1.1.1 Descripción del Problema .....	1
1.1.2 Problema general.....	1
1.1.3 Problemas específicos.....	1
1.2. Objetivo general y específico .....	2
1.2.1 Objetivo general .....	2
1.2.2 Objetivo específico .....	2
1.3 Delimitación de la investigación .....	2
1.3.1 Delimitación espacial .....	2
1.3.2 Delimitación Temática .....	2
1.3.3 Limitaciones de la investigación.....	2
1.4 Justificación e Importancia .....	3
1.4.1 Justificación del estudio .....	3
1.4.2 Importancia .....	3
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1 Antecedentes del estudio de investigación .....	4
2.2 Investigaciones relacionadas .....	6
2.2.1 Investigaciones internacionales.....	6
2.2.2 Investigaciones nacionales.....	8
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	10
2.3.1 Estudio de la carretera .....	10
2.3.2 Clasificación de carreteras .....	10
2.3.3 Pavimentos.....	11
2.3.4 Pavimentos Asfálticos .....	11
2.3.5 Sistema de gestión de pavimentos .....	21
2.3.6 Niveles de intervención en la conservación vial .....	35
2.3.7 Mantenimiento y Rehabilitación .....	36

2.4 Definición de términos básicos .....	39
2.4.1 El Índice Internacional de Rugosidad.....	39
2.4.2 Herramienta HDM-4.....	39
2.4.3 Valor actual neto (VAN) o valor presente neto (VPN).....	39
2.4.4 Tasa interna de retorno (TIR) .....	39
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>40</b>
3.1 Hipótesis.....	40
3.1.1 Hipótesis general.....	40
3.1.2 Hipótesis Específico .....	40
3.2 Variables.....	40
3.2.1 Definición conceptual de las variables .....	40
3.2.2 Operacionalización de las variables.....	41
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>43</b>
4.1 Tipo y método de investigación .....	43
4.1.1 Método de investigación .....	43
4.1.2 Tipo de investigación.....	43
4.1.3 Nivel de la investigación.....	43
4.1.4 Diseño de la investigación .....	44
4.2 Población de estudio .....	44
4.3 Diseño muestral .....	44
4.4 Relaciones entre variables.....	45
4.4.1 Identificación de variables .....	45
4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	45
4.6 Procedimientos para la recolección de datos.....	45
4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos. ....	46
4.8 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos .....	46
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
5.1 Diagnóstico y situación actual.....	47
5.1.1 Antecedentes de la Carretera Lima – Canta – La Viuda - Unish.....	47
5.1.2 Generalidades .....	47
5.1.3 Plano de ubicación .....	48
5.1.4 Plano clave .....	49
5.1.5 Plano de secciones típicas y sectorización.....	49
5.2 Características de la carretera Lima – Canta – La Viuda - Unish.....	52

5.2.1 Topografía.....	53
5.2.2 Características técnicas del trazo existente.....	53
5.2.3 Tráfico y carga.....	54
5.2.4 Geología y geotecnia.....	56
5.2.5 Hidrología, hidráulica y drenaje.....	57
5.2.6 Estructuras de concreto, obras de arte y drenaje.....	58
5.2.7 Evaluación de pavimentos.....	63
5.3 Desarrollo de la Modelación de la carretera en HDM-4.....	73
5.3.1 Patrón de intensidad de tráfico.....	73
5.3.2 Tipo velocidad/capacidad.....	74
5.3.3 Zona climática.....	75
5.3.4 Moneda.....	76
5.3.5 Red de carreteras.....	76
5.3.6 Parque automotor.....	79
5.3.7 Estándar de conservación.....	84
5.3.8 Creación de proyecto.....	87
5.4 Presentación de Resultados.....	93
5.4.1 Tránsito diario promedio anual (TDPA) por alternativa.....	93
5.4.2 Tránsito diario promedio anual (TDPA) por tramo.....	95
5.4.3 Progreso de regularidad promedio en el tiempo por tramos.....	98
5.4.4 Progreso de la regularidad media (IRImed) en el tiempo por proyecto.....	101
5.4.5 Resumen de la condición del Pavimento.....	102
5.4.6 Resumen de Relaciones Beneficios Coste.....	114
5.5 Análisis de Resultados.....	115
5.6 Contrastación de hipótesis.....	119
5.6.1 Hipótesis específica 1.....	119
5.6.2 Hipótesis específica 2.....	119
5.6.3 Hipótesis específica 3.....	119
5.7 Discusión de resultados.....	120
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>124</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>125</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>130</b>
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	130

Anexo 2: Operacionalización de las variables.....	131
Anexo 3: Permiso de la empresa .....	132

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Operacionalización de la variable X.....	41
Tabla N°2. Operacionalización de la variable Y.....	42
Tabla N°3. Tramos homogéneos .....	52
Tabla N°4. Datos generales de la carretera .....	52
Tabla N°5. Parámetros de diseño .....	53
Tabla N°6. Resultado de PCI en la carretera Canta – Huayllay .....	70
Tabla N°7. Condición estructural del pavimento .....	72
Tabla N°8. Condición funcional del pavimento .....	73
Tabla N°9. Características básicas de parqueo de vehículos HDM-4 .....	79
Tabla N°10. Costes económicos unitarios de vehículos HDM-4.....	80
Tabla N°11. Costos económicos de alternativas de mantenimiento periódico .....	88
Tabla N°12. Costos financieros de alternativas de mantenimiento periódico.....	88
Tabla N°13. Inventario vial de carretera (tramo: Canta – Huayllay).....	115
Tabla N°14. Índice de condición del pavimento de carretera Canta – Huayllay ...	117
Tabla N°15. Discusión de resultados .....	120
Tabla N°16. Matriz de consistencia .....	130
Tabla N°17. Operacionalización de variables.....	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Pavimentos Asfálticos.....	11
Figura N°2. Deterioros o fallas de los pavimentos asfaltados.....	13
Figura N°3. Escala de calificación de la serviciabilidad.....	14
Figura N°4. Rugosidad inicial IRI m/km.....	15
Figura N°5. Los equipos para determinar la regularidad superficial.....	16
Figura N°6. Rangos de clasificación del PCI.....	17
Figura N°7. Definición de deflexión característica.....	17
Figura N°8. Gráfico de deflexiones admisibles.....	18
Figura N°9. Deflectómetro de impacto.....	19
Figura N°10. Esquema de la viga benkelman.....	20
Figura N°11. Deterioros o fallas estructurales.....	20
Figura N°12. Niveles de calidad de información o IQL.....	23
Figura N°13. Relación entre IQL.....	24
Figura N°14. Datos requeridos por un sistema de gestión vial.....	24
Figura N°15. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.....	25
Figura N°16. Ciclo de gestión de carreteras.....	28
Figura N°17. Funciones de gestión y las aplicaciones HDM-4 correspondientes... ..	28
Figura N°18. Concepto del análisis del ciclo del HDM-4.....	29
Figura N°19. Clasificación de las actuaciones.....	31
Figura N°20. Gestores de datos del HDM-4.....	33
Figura N°21. Modelo del HDM-4.....	33
Figura N°22. Arquitectura del sistema HDM-4.....	34
Figura N°23. Definición de las medidas de deterioro.....	35
Figura N°24. Actividades de conservación rutinaria.....	37
Figura N°25. Actividades de conservación periódica.....	38
Figura N°26. Ubicación del tramo Canta – Huayllay.....	48
Figura N°27. Plano de ubicación del tramo Canta – Huayllay.....	48
Figura N°28. Plano clave del tramo Canta – Huayllay.....	49
Figura N°29. Secciones típicas en terraplén (Sin barreras de seguridad).....	50
Figura N°30. Sección típica en corte cerrado.....	50
Figura N°31. Sección típica en media ladera.....	51
Figura N°32. Sección típica con barrera de seguridad.....	51
Figura N°33. Tasa de crecimiento del tráfico por tipo de vehículo.....	55

Figura N°34. Cálculo del número total de ejes equivalentes (Canta-Huayllay) .....	55
Figura N°35. Cálculo del número total de ejes equivalentes (Canta-Huayllay) .....	56
Figura N°36. Resumen de sectores inestables (Canta-Huayllay).....	56
Figura N°37. Características climáticas del área de estudio (Canta-Huayllay).....	57
Figura N°38. Estaciones pluviométricas (Canta-Huayllay).....	58
Figura N°39. Precipitaciones corregidas según la OMM (Canta-Huayllay) .....	58
Figura N°40. Puentes existentes (Canta - Huayllay) .....	59
Figura N°41. Alcantarillas para reemplazar (Canta - Huayllay).....	59
Figura N°42. Estructura existente puente Cullhuay 02 (km 22+946) .....	60
Figura N°43. Estructura existente del puente Cushpa (km 24+354.90).....	61
Figura N°44. Listado de Alcantarilladas Especiales (Canta-Huayllay) .....	62
Figura N°45. Rangos de calificación del PCI.....	63
Figura N°46. Fotografía en tramo 1 km 2 +000 .....	64
Figura N°47. Fotografía en tramo 3 km 31 +000 .....	64
Figura N°48. Fotografía se observa el tramo 5 km 80 +000.....	65
Figura N°49. Fotografía se observa el tramo km 6 +000 .....	65
Figura N°50. Erosión severa de la berma.....	66
Figura N°51. Socavación del suelo en berma de la vía .....	66
Figura N°52. Socavación del suelo en berma de la vía .....	67
Figura N°53. Erosión y desprendimientos de rocas .....	67
Figura N°54. Fallas de bache severo media del suelo .....	68
Figura N°55. Formato de exploración de condición para carreteras. ....	69
Figura N°56: Espesores de las capas.....	72
Figura N°57. Patrón de intensidad tráfico .....	74
Figura N°58. Parámetros de modelos velocidad / capacidad.....	74
Figura N°59. Tipo de velocidad / capacidad.....	75
Figura N°60. Zona climática .....	75
Figura N°61. Divisas.....	76
Figura N°62. Red de carreteras.....	76
Figura N°63. Datos del tramo – 1.....	77
Figura N°64. Ingreso del tramo - geometría del tramo.....	77
Figura N°65. Firme del tramo 1 .....	78
Figura N°66. Coeficientes y espesores .....	78
Figura N°67. Textura superficial .....	78

Figura N°68. Estado del tramo 1 .....	79
Figura N°69. Características del vehículo .....	81
Figura N°70. Características básicas del vehículo .....	81
Figura N°71. Costes económicos unitarios del vehículo.....	82
Figura N°72. Características del vehículo .....	82
Figura N°73. Características básicas del vehículo .....	83
Figura N°74. Costes económicos unitarios del vehículo.....	83
Figura N°75. Parque de vehículos de Carretera Canta – Huayllay .....	84
Figura N°76. Conservación de pavimentos flexibles.....	84
Figura N°77. Alternativas de solución en programa HDM-4.....	85
Figura N°78. Alternativa base.....	85
Figura N 79. Estándar de conservación de la alternativa1 .....	86
Figura N°80. Estándar de conservación alternativa 2.....	86
Figura N°81. Estándar de conservación de la alternativa 2 .....	87
Figura N°82. Alternativa 4 – Estándar de mejora .....	87
Figura N°83. Proyecto: evaluación socioeconómica .....	88
Figura N°84. Costes del trabajo misceláneos .....	89
Figura N°85. Costes del trabajo de sellado de fisuras .....	89
Figura N°86. Selección de tramos del proyecto: evaluación socioeconómica.....	90
Figura N°87. Selección de alternativas del proyecto: evaluación socioeconómica.	90
Figura N°88. Evaluación socioeconómica .....	91
Figura N°89. Generar informes del proyecto: evaluación socioeconómica .....	91
Figura N°90. Módulo de análisis de estrategias .....	92
Figura N°91. Elección de optimización de estrategia para obtener la inversión.....	92
Figura N°92. Intensidad media diaria para alternativa base .....	93
Figura N°93. Intensidad media diaria para alternativa 1 .....	93
Figura N°94. Intensidad media diaria para alternativa 2.....	94
Figura N°95. Intensidad media diaria para alternativa 3.....	94
Figura N°96. Intensidad media diaria para alternativa 4.....	95
Figura N°97. Tránsito diario promedio anual para tramo 1 .....	95
Figura N°98. Tránsito diario promedio anual para tramo 2.....	96
Figura N°99. Tránsito diario promedio anual para tramo 3 .....	96
Figura N°100. Tránsito diario promedio anual para tramo 4.....	97
Figura N°101. Tránsito diario promedio anual para tramo 5.....	97

Figura N°102. Tránsito diario promedio anual para tramo 6.....	98
Figura N°103. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 1 .....	98
Figura N°104. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 2 .....	99
Figura N°105. Progreso de la Regularidad media en el tiempo para el tramo 3.....	99
Figura N°106. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 4 ....	100
Figura N°107. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 5 ....	100
Figura N°108. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 6 ....	101
Figura N°109. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el proyecto....	101
Figura N°110. Resumen de la condición del pavimento alternativa base.....	102
Figura N°111. Resumen de la condición del pavimento alternativa 1 .....	102
Figura N°112. Resumen de la condición del pavimento alternativa 2 .....	103
Figura N°113. Resumen de la condición del pavimento alternativa 3 .....	103
Figura N°114. Resumen de la condición del pavimento alternativa 4 .....	104
Figura N°115. Resumen de relación beneficios coste del proyecto.....	114
Figura N°116. Alternativas de intervención propuesta para la carretera .....	118

## RESUMEN

En la presente tesis se investigó la planificación de sistema de gestión de pavimentos para la identificación de necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de carretera en el tramo de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish (tramo: Canta – Huayllay) (Km. 0+000 al km 95+500). El objetivo de la tesis fue determinar la planificación del sistema de gestión de pavimentos para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera con el software HDM-4. La investigación fue de tipo descriptiva porque realizaremos la descripción de la planificación del sistema de gestión de pavimentos y tendrá el nivel de explicativo para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación en la carretera, además de correlacional porque se analizó la relación entre la variable independiente: planificación del sistema de gestión de pavimentos y la variable dependiente: mantenimiento y rehabilitación de carretera. La planificación del sistema de gestión de pavimentos se realizó con los datos obtenidos del expediente de la carretera para que sea eficiente para el análisis económico del administrado y la elección de priorización, fueron cuatro alternativas de intervención generadas según la condición del pavimento y con el software HDM-4 se pudo analizar y generar los gráficos de progreso de la regularidad media en el tiempo de 20 años, que ayudaron a evaluar el costo-beneficio del proyecto. Finalmente, con la planificación del sistema de gestión de pavimentos se identifica la estrategia de intervención de las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de carretera tramo: Canta – Huayllay.

**Palabras claves:** Sistema de gestión de pavimentos, Mantenimiento y rehabilitación, Software HDM-4.

## **ABSTRACT**

In this thesis we investigated the pavement management system planning for the identification of initial maintenance and rehabilitation needs of the Lima - Canta - La Viuda - Unish road section (section: Canta - Huayllay) (km 0+000 to km 95+500). The objective of the thesis was to determine the planning of the pavement management system to identify the initial maintenance and rehabilitation needs of the road with the help of the HDM-4 software. The research was descriptive because we will perform the description of the pavement management system planning and will have the explanatory level to identify the initial maintenance and rehabilitation needs in the road, in addition to correlational because the relationship between the independent variable: pavement management system planning and the dependent variable: road maintenance and rehabilitation was analyzed. The planning of the pavement management system was carried out with the data obtained from the road file to make it efficient for the economic analysis of the administrator and the choice of prioritization, there were four intervention alternatives generated according to the condition of the pavement and with the HDM-4 software it was possible to analyze and generate the progress graphs of the average regularity in the time of 20 years, which helped to evaluate the cost-benefit of the project. Finally, with the planning of the pavement management system, the intervention strategy for the initial maintenance and rehabilitation needs of the Canta - Huayllay section of the road was identified.

**Keywords:** Pavement management system, Maintenance and rehabilitation, HDM-4 software.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de la actualidad peruana está relacionada con la infraestructura vial, entre ellos están los niveles de servicios del pavimento asfáltico que no cumplen con los estándares reglamentarios, y el deterioro de las mismas a causas de factores como la temperatura, humedad y el tránsito vehicular que existe en las carreteras nacionales. Es por ello que en la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay) (Km. 20+000 al km 21+000) ubicado en el departamento de Lima , presenta altos índices de deterioro del pavimento asfáltico según su condición superficial, funcional y estructural que fue realizado en el último expediente técnico del año 2018, ante ello se requiere determinar las estrategias de mantenimiento y rehabilitación del pavimento asfáltico para tener un análisis en la elección de prioridades, por ello se realizara para cada tramo de la carrera se realiza el análisis económico.

Los objetivos son determinar la planificación del sistema de gestión de pavimentos para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación, identificar las características de la red, analizar el nivel de servicio de la vía, analizar el método de elección de prioridades de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

Para la investigación se realizó la modelación del pavimento asfáltico aplicando la herramienta HDM-4, se proyectó para un tiempo de 20 años, se analizaron las estrategias de mantenimiento y rehabilitación , para poder identificar el tipo de conservación del pavimento a lo largo de su vida útil se realizó el análisis económico y se determinó el tipo de conservación del tramo Canta – Huayllay, para este propósito se utilizaron los métodos del análisis del beneficio - costo, también se determinó las prioridades de conservación de la red.

La presente investigación está estructurada por cinco capítulos de la siguiente manera:

- Capítulo I consiste en presentar el planteamiento y delimitación del problema, donde se formula y delimita el problema general y específico, objetivos generales como específicos, la delimitación, justificación e importancia de la investigación.
- Capítulo II consiste en presentar el marco teórico, conformado por los antecedentes del estudio de investigación, con antecedentes nacionales como internacionales, estructura teórica y científica que sustenta el estudio, por último, presenta definiciones de términos básicos.

- Capítulo III consiste en presentar el sistema de hipótesis, hipótesis general como los específicos y las variables de la investigación.
- Capítulo IV consiste en presentar la metodología del estudio, detallando el tipo y método de investigación, población y muestra, la relación entre variables, técnicas y procedimiento de recolección de datos, por último, las técnicas de procesamiento y análisis de datos.
- Capítulo V nos detalla la presentación y análisis de resultados, compuesto por el diagnóstico y situación actual, características de la carretera Lima – Canta – La Viuda - Unish (tramo: Canta – Huayllay), desarrollo de la modelación de la carretera en HDM-4, presentación y análisis de resultados, la contratación de hipótesis.
- Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos de la investigación.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Formulación y delimitación del problema

### 1.1.1 Descripción del Problema

En el Perú la infraestructura vial es fundamental para el transporte, pero su principal problema del pavimento asfáltico es que se va deteriorando gradualmente con el tiempo, si los deterioros del pavimento son mayores genera mayor gasto económico y social, evidenciando muchos costos de operación de los vehículos, incomodidad, inseguridad, también generando mayor tiempo en la movilización de los usuarios y también causando mayores costos de mantenimiento del pavimento.

Los problemas relacionados con el deterioro del pavimento, es importante tener una implementación de un sistema de gestión de infraestructura vial, que comprende el establecimiento de planificación, diseño, construcción y conservación del pavimento.

El estudio de investigación se realizó para determinar la planificación del sistema de gestión de pavimentos para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay), forma parte de la ruta nacional número 20 y se desarrolla en el departamento de Lima, distrito de Huayllay. Tramo: Canta – Huayllay. En el último estudio de mantenimiento del año 2018, presentó altos índices de deterioro en la carpeta asfáltica.

### 1.1.2 Problema general

¿En qué medida la planificación del sistema de gestión de pavimentos identifica la estrategia de intervención de las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay)?

### 1.1.3 Problemas específicos

- a) ¿Cómo identificar las características de la red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay)?
- b) ¿Cómo analizar el nivel de servicio de la vía de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay)?

c) ¿Cómo analizar el método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay)?

## 1.2. Objetivo general y específico

### 1.2.1 Objetivo general

Determinar la planificación del sistema de gestión de pavimentos para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

### 1.2.2 Objetivo específico

a) Identificar las características de la red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

b) Analizar el nivel de servicio de la vía de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

c) Analizar el método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

## 1.3 Delimitación de la investigación

### 1.3.1 Delimitación espacial

La presente investigación se sitúa en el departamento de Lima, tomando como muestra el tramo de la carretera Lima – Canta – La viuda – Unish (tramo: Canta – Huayllay), y su expediente técnico en donde se encuentran las medidas necesarias para ser insertadas en el software HDM-4.

### 1.3.2 Delimitación Temática

La presente investigación se busca realizar el estudio de la planificación del sistema de gestión de pavimentos para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de carretera tramo: Canta - Huayllay, a través del manual de conservación vial, el software HDM-4, optimizar la programación, costos de mantenimiento y conservación de los pavimentos.

### 1.3.3 Limitaciones de la investigación

La presente investigación se limita en la vía de la carretera Lima – Canta – La viuda – Unish (tramo: Canta – Huayllay). En la que se desarrollará en el periodo de mes de julio a noviembre del 2022, usando como herramienta de apoyo HDM-4 y los manuales de conservación vial y el libro de gestión de infraestructura

vial, para poder planificar el sistema de gestión de pavimento en el tramo de la carretera a estudiar.

## 1.4 Justificación e Importancia

### 1.4.1 Justificación del estudio

La tesis de la investigación se realiza para determinar la planificación del sistema de gestión de pavimentos para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda - Unish (tramo: Canta – Huayllay).

Es importante conocer el concepto de gestión de pavimentos pues avanzó de forma rápida, pasando en la actualidad al concepto de gestión de infraestructura vial, con el objetivo de usar información segura y consistente para tener criterios de decisión y conseguir un programa de acción económicamente óptimo. El sistema que apoya en la toma de decisiones en la gestión de infraestructura vial es el sistema Highway Development and Management (HDM- 4) es una herramienta analítica de planificación de la conservación vial y realiza evaluaciones técnico-económicas de inversión.

### 1.4.2 Importancia

La importancia de la investigación en la etapa de planificación comprende la adquisición de información del tráfico, asignación de prioridades y programación para realizar los trabajos necesarios. La importancia de tomar las decisiones de inversión considerando las restricciones del presupuesto.

Esta investigación de planificación del sistema de gestión de pavimentos se identifica la estrategia de intervención de las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

Se utilizará es el software HDM – 4 para tener una evaluación técnica y económica, con un modelo que simula para cada tramo de carretera, también se asignará los recursos que serán utilizados para conservación con cada estrategia.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio de investigación

En el año 1968 el Banco Mundial dio inicio al modelo de evaluación de los proyectos de carretera. “El Banco Mundial le encargó al Instituto Tecnológico de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology) (MIT) que llevará a cabo una investigación bibliográfica y que construyera un modelo con base en la información recabada” (Ríos,2019, p.16). La validez de modelos de estudios del TRRL se emplearon para desarrollar el modelo RTIM2, el Banco Mundial desarrolla un modelo completo del HDM-III.

En año de 1994, el Banco Mundial creó dos versiones que son las siguientes HDM-Q se incorporó los efectos del congestionamiento vial en el programa HDM-III y HDM manager, proporciona utilidad para el uso del menú de HDM-III.

Para el año 1995 las técnicas contenidas entre los modelos RTIM3 y HDM-III ya excedían los 10 años de antigüedad. Es por ello que los modelos de deterioro de carreteras aun eran válidos pues había una importancia de incorporar los resultados obtenidos de la amplia investigación hecha alrededor del mundo, también es importante mencionar que los modelos se están utilizando en los países en vías de desarrollo y en estos últimos años los países industrializados empezaron con el uso del modelo. “Esto creó la necesidad de incluir nuevos modelos de efectos de congestionamiento vial, efectos de climas fríos, una gama más amplia de tipos de pavimentos y estructuras, seguridad vial, efectos ambientales (consumo de energía, ruido y emisiones de los vehículos)” (Ríos,2019, p.19). Estos antecedentes sirvieron como fundamento para el desarrollo del HDM-4.

Aplicación del HDM-4 en Latinoamérica:

En Perú estos últimos años nuestra población ha aumentado tanto urbano como rural, se debe a la potencial búsqueda de trabajo y mejorar la calidad de vida. Este aumento ha ocasionado nuevas gestiones para los gobiernos regionales como locales que son lo que deben brindar los servicios básicos para los ciudadanos, en donde se prioriza la infraestructura vial para mover la economía y tener acceso a servicios. Es por ello que la gestión de infraestructura ha surgido como una especialidad de gran importancia, porque nos ayuda de manera técnica y objetiva a distribuir acertadamente a las inversiones de todo elemento infraestructural, la gestión aplicada a infraestructura vial nos ayudará a tener actualizado y conservar nuestras vías y ser implementado a las

diferentes vías de las redes viales, según el caso de fallas que estas presenten. Las fallas de los pavimentos dificultan la accesibilidad, y reducen en la eficiencia del transporte. Es por ello que el Banco Mundial realizó un programa HDM-4 para que se pueda tener una única metodología para evaluar a los proyectos de mejoramiento y conservación de caminos para que se puedan reducir y justificar los préstamos que se les da a los países subdesarrollados y así puedan desarrollarse.

En Chile, se ha “utilizado HDM-4, tuvo lugar un proceso de investigación de forma continuada a lo largo del tiempo desarrollada en conjunto por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y entes académicos como la Pontificia Universidad Católica de Chile” (Hurtado y Palomino, 2020, p.97). Todos los estudios se realizaron bajo la financiación del Banco Mundial, creándose en 1982 un departamento específico de planificación de la conservación, dependiente del estado chileno. Los programas de formación que se organizan periódicamente, han motivado que actualmente el HDM-4 se utilice en gran medida por consultores y concesionario.

En Venezuela, en el año 1996 se inicia el proceso de descentralización, se decide “rehabilitar un total de 949 km de vías, cofinanciado por el BID y el Banco Mundial. Para ello, se realizó un análisis socio-económico mediante HDM-4 a nivel estratégico, con el que se ayudó a establecer el presupuesto necesario” (Hurtado y Palomino, 2020, p.98).

En México se están utilizando modelos de HDM. Actualmente y desde el año 2003, la “dirección general de conservación de carreteras del ministerio de obras públicas y transportes de México, utiliza el software HDM-4 para realizar los programas nacionales de conservación de carreteras federales libres de peaje secretaría de comunicaciones y transportes del MOPT, 2015” (Hurtado y Palomino, 2020, p.99)

En Brasil, el número de aplicaciones es menor que en otros países de Sudamérica. “Se pueden encontrar algunas calibraciones de modelos realizadas en partes muy concretas del país, que, debido a su gran extensión y a la diversidad climática y prestacional de sus vías, no pueden considerarse como calibraciones genéricas” (Hurtado y Palomino, 2020, p.99).

## 2.2 Investigaciones relacionadas

### 2.2.1 Investigaciones internacionales

Muños (2012) en su tesis de investigación “Optimización de políticas de conservación de pavimentos asfálticos en la zona central de Chile” – Universidad de Chile – Chile, el objetivo general fue realizar una optimización de las políticas de conservación con un “enfoque socio-económico y consideraciones técnicas, que represente una solución preventiva del deterioro de pavimentos asfálticos de la red vial interurbana de la zona central de Chile y que contribuya a realizar una asignación eficiente de recursos en conservación”(p.4). Muños (2012) en su tesis concluye que las alternativas de conservación se debe considerar los refuerzos de espesor delgado que debe ser aplicado cuando el estado de deterioro del pavimento no resulte muy dañado y es adecuado para la aplicación de carpeta de refuerzo cuando su irregularidad está con un IRI de valores entre 3 y 4,5 m/Km.

Barajas y Buitrago (2017) en su tesis de investigación denominada “Análisis comparativo del sistema de gestión de los pavimentos o mantenimiento vial la ciudad de Bogotá con la ciudad de Sao Paulo” – Universidad Católica de Colombia – Colombia, su objetivo general fue “realizar el estudio comparativo de los sistemas de gestión para el mantenimiento de los pavimentos del país de Brasil de la ciudad de Sao Paulo comparando con el país de Colombia de la ciudad de Bogotá” (p.12). Para realizar el análisis de los planes existentes de gestión de pavimentos de ambas ciudades, con los modelos de priorización para la detección de fallas de las dos ciudades. “El modelo de priorización HDM-4, debido a que este modelo es direccionado por el Banco Mundial, por lo cual es un modelo de uso internacional soportado por investigaciones e investigadores que garantizan el total funcionamiento y la total confianza” (Barajas y Buitrago, 2017, p.70).

Buj (2017) en su tesis de investigación “Propuesta de Metodología para la gestión de pavimentos de la avenida las Torres, en ciudad Juárez” – Universidad Autónoma de Ciudad Juárez - México, nos indica que el objetivo para la metodología es la elaboración de planes de gestión vial en la ciudad de Juárez, el caso de estudio es la avenida Las Torres, también priorizando la

gestión para poder optimizar los costos al municipio y al usuario, para elevar los índices de servicio de vial. Para analizar un plan de gestión vial es importante tener la información de la carretera, estado actual del pavimento y requerimientos del usuario para poder utilizarlos cuando se requiera el análisis de vida útil del pavimento con el programa HDM-4 (Buj, 2017).

Jarrín (2019) en su tesis de investigación denominada “Aplicación del Modelo HDM-4 en el análisis y evaluación de las alternativas para el mantenimiento vial de avenida Cristóbal Colón, Quito” - Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Ecuador, nos indica en su objetivo general es “analizar las alternativas de mantenimiento del pavimento flexible de la avenida Cristóbal Colón en la ciudad de Quito, aplicando el modelo HDM-4, además determinar el índice de condición del pavimento (PCI) con una inspección visual identificando los tipos de fallas” (p.3). El autor concluye que HDM-4 “es una herramienta muy completa ya que permite ingresar datos de drenaje, medioambientales, tráfico, geometría de la vía, estado pavimento y costos obteniendo así un análisis más cercano a la realidad” (p.181).

Gavilánez (2019) en su tesis de investigación denominada “Determinación de los factores de deterioro del pavimento en las vías: Balcashi – Chambo y Licto-Tunshi; de la provincia de Chimborazo y planteamiento de un sistema de gestión de mantenimiento, mediante el software HDM-4” – Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Ecuador, nos indica que el objetivo “Determinar los factores que generan el deterioro y desgaste de las vías Balcashi – Chambo y Licto-Tunshi para a partir de datos reales definir un plan de gestión de mantenimiento preventivo de las vías” (p.4). Se concluye que “el plan de mantenimiento debe ser implementado de tal manera que la vida útil de las carreteras no se vea afectada severamente por condiciones externas, por tal motivo se ve propicio mantenimientos como rutinarios y periódicos, así como la reconstrucción” (p.119).

### 2.2.2 Investigaciones nacionales

Lluncor (2012) en su tesis de investigación denominada “Aplicación del modelo HDM en la evaluación de proyectos de carreteras en Perú: Carretera Bagua chica - Flor de la esperanza”. Universidad Ricardo Palma - Perú. El objetivo general fue establecer el modelo HDM III para estudiar “la mejor alternativa de construcción entre el tramo Bagua Chica – Flor de la Esperanza para ello se realizará una evaluación mediante el uso del programa HDM III a fin de evaluar cuál es la mejor alternativa de construcción” (p.12).

El autor a partir de los resultados, concluye que la “rugosidad de un camino se ha convertido en uno de los factores que influyen de manera directa en los costos de operación de los vehículos, por ello fue necesario contar con una escala que permitiera correlacionar” (Lluncor, 2012, p.204). Los valores dados de diversos equipos en el mundo para medición de rugosidad y “la evaluación económica se determina por indicadores de rentabilidad como la TIR, VAN y B/C. Los cuales definen la viabilidad de un proyecto siempre que estos cumplan con los parámetros de calificación impuestos por la agencia de carreteras” (Lluncor, 2012, p.204).

Matos y Núñez (2018), en la tesis de investigación denominada “Evaluación del sistema de gestión de pavimentos de la carretera central tramo: La Oroya - Concepción PE003-S” - Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas – Perú, el objetivo general fue “evaluar y establecer el sistema de gestión de pavimentos en la carretera central (tramo: La Oroya – Concepción PE003-S)” (p.13). Se analizó la información del estado actual del pavimento para poder conocer el costo del mantenimiento del pavimento utilizando el software HDM-4. A partir de los resultados los autores concluyen para determinar un “sistema de gestión de pavimentos primero cuando se recolecta los datos del tráfico vehicular, después parámetros del pavimento y la geometría de vía, segundo se analiza los datos de proyección de vehículos, con relación con los ejes equivalentes” (Matos y Núñez, 2018, p.103).

Galindo (2019) en su tesis de investigación “Gestión del Pavimento de la avenida San Carlos mediante el uso del modelo HDM-4” - Universidad Peruana Los Andes - Perú. Nos señala como objetivo general que “gestionar el

pavimento de la avenida San Carlos mediante el modelo HDM-4, además de determinar el tipo de conservación mediante el modelo y calcular el costo de conservación que se aplicaría por actividad” (p.12). El autor, concluye que el “modelo HDM-4 optimiza la gestión del pavimento de la avenida San Carlos, se determinan 2 alternativas de soluciones económicas para cada uno de los tramos que conforman la vía, evaluando para cada tramo el tipo de conservación o de mantenimiento” (Galindo, 2019, p.96).

Hurtado y Palomino (2020) en su tesis de investigación “Análisis del deterioro del pavimento asfáltico en la determinación de estrategias de mantenimiento utilizando la herramienta HDM-4 caso: carretera Puno – Desaguadero - Universidad Ricardo Palma - Perú. Su objetivo general es “determinar la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico a partir del análisis del deterioro del pavimento asfáltico aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero” (p.5). Es importante analizar los deterioros del pavimento para poder establecer los tipos de intervenciones en cada tramo del pavimento asfáltico.

A partir de los resultados, se concluye que “la aplicación del modelo HDM-4 determina la proyección de la condición del pavimento a lo largo del tiempo en función de la condición actual del pavimento a través de sus características estructurales y factores externos al pavimento” (Hurtado y Palomino, 2020, p.224).

Campana y Vilca (2021) en su tesis de investigación denominada “Programa de intervención para optimización de los recursos aplicando el modelo Highway Development and Management (HDM4)” – Universidad Ricardo Palma – Perú. Su objetivo general es “establecer el programa de intervención para optimizar los recursos aplicando el modelo Highway Development and Management (HDM-4), en la nueva vía Av. Los Héroes, San Juan de Miraflores, Lima, Año 2021” (p.5).

A partir de los resultados, se concluye que el uso del modelo HDM-4 “se define el programa de intervención que permite optimizar los recursos según las alternativas propuestas, apoyándonos en los informes que nos da el HDM-4 en base a la tasa interna de rentabilidad (TIR) y beneficio económico neto (VAN)”

(Campana y Vilca ,2021, p.127). Para definir los umbrales de intervención en el HDM-4, se llegó a la conclusión que “el índice de regularidad internacional (IRI) es el umbral de intervención que permite determinar los tipos de intervención en base a las fallas, severidad y magnitud” (Campana y Vilca ,2021, p.127).

## 2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1 Estudio de la carretera

Según Carciente (2011) nos indica que es “un proceso complejo que solo se emprende tras una planificación del transporte a nivel regional, nacional o local, según el rango de la vía” (p.3), además indica que “surge según los propósitos del desarrollo del país, según un proceso minucioso de planificación” (p.3), en donde se cumple algunos puntos y características de la vía. “Posterior a eso se realiza el estudio detallado y elaborado del proyecto, en donde están las siguientes fases: selección y evaluación de las rutas, estudio de los trazados alternos, evaluación de los trazados, elaboración del proyecto de la vía.” (p.3).

### 2.3.2 Clasificación de carreteras

#### Reglamento de Jerarquización Vial

Define del sistema nacional de carreteras (SINAC) lo siguiente:

a) Red vial nacional.

“Corresponde a las carreteras de interés nacional, sirve como elemento receptor de las carreteras departamentales o regionales y de las carreteras vecinales o rurales” (Ministerio de transporte y comunicaciones, 2007, p.2).

b) Departamental o regional.

“Conformadas por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito de un gobierno regional. Articula básicamente a la red vial nacional con la red vial vecinal” (Ministerio de transporte y comunicaciones, 2007, p.2).

c) Red vial vecinal o rural.

“La red vial circunscrita al ámbito local, cuya función es articular las capitales de provincia con capitales de distritos, estos entre sí, con centros poblados o zonas de influencia local y con las redes viales nacional y departamental o regional” (Ministerio de transporte y comunicaciones, 2007, p.2).

### 2.3.3 Pavimentos

Según Campana y Vilca (2021) en su tesis definen el concepto de “pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados” (p.15). Las “estructuras se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y deben resistir los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo determinado” (Campana y Vilca, 2021, p.15).

### 2.3.4 Pavimentos Asfálticos

“Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento asfáltico. Recibe el nombre de pavimento flexible debido a la forma en que se transmiten las cargas desde la carpeta de rodadura hasta la subrasante” (Becerra ,2012, p.6).

“El asfalto no absorbe la totalidad de las cargas vehiculares, actúa más como un transmisor. Por ello, los pavimentos flexibles requieren, por lo general de un mayor número de capas intermedias entre la carpeta de rodadura y la subrasante” (Becerra ,2012, p.6). Ver figura N°1 se visualiza las partes del pavimento.

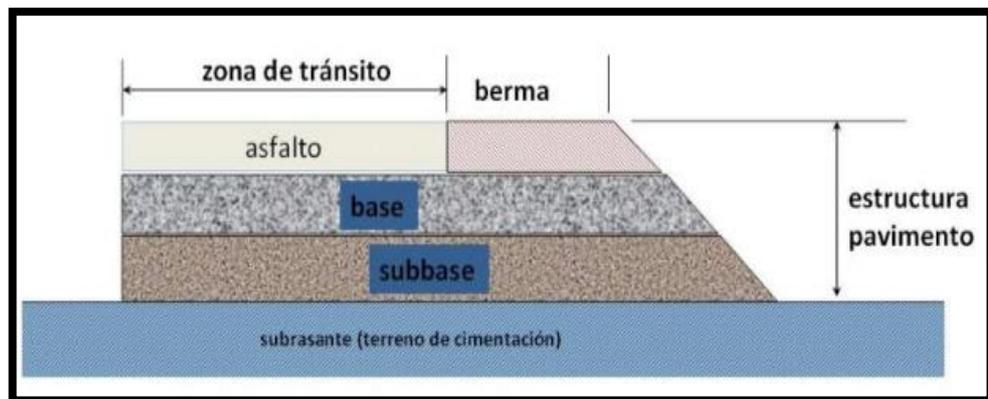


Figura N°1. Pavimentos Asfálticos.

Fuente: (Becerra ,2012, p.6)

- Funciones de las capas de pavimento asfáltico:

La subbase granular

“Es una capa de transición que actúa como un filtro que separa a la base de la subrasante impidiendo que los finos penetren en la primera y la dañen estructuralmente. Según el MTC tiene un Mr. de 17,000 psi” (Ramos, 2021, p.29).

La base granular

“Sirve de apoyo a la carpeta asfáltica, además es de tipo granular o estabilizada con emulsión asfáltica y transmite los esfuerzos producidos por el tránsito a las capas inferiores en un nivel adecuado” (Ramos, 2021, p.29). Según el MTC tiene un Mr. de 30,000 psi.

Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica tiene tres funciones principales: “Servir como superficie de rodamiento uniforme y estable para permitir el tránsito, impermeabilizar la estructura para evitar en lo posible la percolación del agua al interior del pavimento y ser resistente a los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas” (Ramos, 2021, p.29). Según el MTC tiene un Mr entre 400,000 a 450,000 psi a 20°C.

- Diseño de pavimentos asfálticos

Menéndez (2009) El autor menciona que las “estructuras de pavimentos tienen muchas variables que se relacionan sobre su respuesta ante los esfuerzos a los que se encuentra sometido a las simplificaciones y aproximaciones con el fin de determinar su respuesta y comportamiento” (p.10). “Los esfuerzos y deformaciones en cada capa del pavimento se relacionan con el deterioro de la estructura del pavimento que tienen un comportamiento en su condición estructural y condición funcional” (Menéndez ,2009,10).

- Estructura de un pavimento asfáltico

Según Hurtado y Palomino (2020) nos define como:

La estructura de un pavimento se halla formada por diferentes, “capas las cuales son: la subrasante, subbase, capa de rodamiento y sello; la ausencia de una o varias de ellas depende de factores como la capacidad de soporte del terreno de fundación, la clase de material, intensidad de tránsito” (p.17-18). Es importante mencionar el factor es la carga de diseño.

- Fallas en el pavimento asfáltico

Las fallas se pueden categorizar en dos tipos: estructurales y superficiales.

#### Tipo de daños estructural

Según Ministerio de transporte y comunicaciones (2016) nos indica:

“Los deterioros estructurales caracterizan un estado estructural del pavimento, concerniente al conjunto de las diferentes capas del mismo o bien solamente a la capa de superficie, estas fallas no aparecen de inmediato, sino al cabo de las repeticiones de cargas definida por la curva de fatiga de cada material” (p.85).

#### Tipo de daños superficiales

“Se originan por un defecto de construcción, por un defecto de calidad de producto o una condición local particular que el tráfico acentúa. Además, pueden resultar de la evolución de deterioros o fallas estructurales” Ministerio de transporte y comunicaciones, 2016, p.86). En la siguiente figura N°2 se observan los deterioros o fallas de los pavimentos.

Clasificación de los deterioros/fallas	Código de deterioro/falla	Deterioro / Falla	Gravedad
Deterioros o fallas Estructurales	1	Piel de cocodrilo	1: Malla grande (> 0.5 m) sin material suelto 2: Malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) sin o con material suelto 3: Malla pequeña (< 0.3 m) sin o con material suelto
	2	Fisuras longitudinales	1: Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho ≤ 1 mm) 2: Fisuras medias corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y ≤ 3 mm) 3: Fisuras gruesas corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm). También se denominan grietas.
	3	Deformación por deficiencia estructural	1: Profundidad sensible al usuario < 2 cm 2: Profundidad entre 2 cm y 4 cm 3: Profundidad > 4 cm
	4	Ahuellamiento	1: Profundidad sensible al usuario pero ≤ 6 mm 2: Profundidad > 6 mm y ≤ 12 mm 3: Profundidad > 12 mm
	5	Reparaciones o parchados	1: Reparación o parchado para deterioros superficiales. 2: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado. 3: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado.
Deterioros o fallas superficiales	6	Peladura y Desprendimiento	1: Puntual sin aparición de la base granular (peladura superficial). 2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular. 3: Continuo con aparición de la base granular.
	7	Baches (Huecos)	1: Diámetro < 0.2 m 2: Diámetro entre 0.2 y 0.5 m 3: Diámetro > 0.5 m
	8	Fisuras transversales	1: Fisuras Finas (ancho ≤ 1 mm) 2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y ≤ 3 mm) 3: Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm). También se denominan grietas.

Figura N°2. Deterioros o fallas de los pavimentos asfaltados

Fuente: (Ministerio de transporte y comunicaciones, 2016, p.86)

- Nivel de servicio de la Vía

a) Estado funcional de la vía

Según De Solminihac et al (2019) menciona que:

“La serviciabilidad es un indicador de la calidad de un pavimento, que intenta representar la apreciación general de los usuarios acerca del confort y seguridad que proporcionan los pavimentos” (p.126). “Con el fin de construir un método de diseño estructural de pavimento que combine la calidad estructural y funcional objetiva, y en concordancia con la apreciación subjetiva de los usuarios” (p.126).

“Algunas características físicas del pavimento se pueden medir objetivamente y se pueden relacionar con las evaluaciones subjetivas. Esto permite obtener un índice objetivo denominado índice de Serviciabilidad (Present Serviciability Index, PSI)” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro ,2019, p127). La escala varía de 0 a 5, siendo 0 la peor y 5 la mejor, en la siguiente figura N°3 se detalla la escala de clasificación de serviciabilidad.

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5.0 a 4.0	Muy buena	Solo los pavimentos nuevos son lo suficientemente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recapados durante el año de inspección normalmente se clasificarían como muy buenos.
4.0 a 3.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.
3.0 a 2.0	Regular	La calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento.
2.0 a 1.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento, y ocurren en un 50% o más de la superficie.
1.0 a 0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Figura N°3. Escala de calificación de la serviciabilidad

Fuente: Chávez (AASHTO, 1962) piensa que la descripción de la escala de serviciabilidad es importante.

- La rugosidad

Según De Solminihac et al. (2019) el investigador define la rugosidad como, “irregularidades presentes en la superficie de un pavimento que determinan desviaciones alrededor de su micro perfil. Es una característica del pavimento que afecta la calidad de rodadura, la velocidad, la seguridad y los costos de operación de los usuarios” (p.133).

- El IRI como indicador de la rugosidad

“El IRI es un indicador que se obtiene de aplicar un modelo de simulación que permite estimar los desplazamientos verticales que sufre un vehículo al circular a una cierta velocidad por una superficie rugosa” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.133). Medición de la Rugosidad Registra IRI (m/Km) continuamente, en cada huella.

“Para la rugosidad inicial de un pavimento nuevo y de un pavimento existente reforzado, asimismo para la rugosidad durante el período de servicio, se recomienda los siguientes valores” (MTC, 2014). En la siguiente figura N°4 se describe la rugosidad.

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

Figura N°4. Rugosidad inicial IRI m/km

Fuente: (MTC, 2014, p.159)

- Equipos para evaluar la rugosidad

Los equipos para determinar la regularidad superficial de los pavimentos, se detallan en la siguiente figura N°5.

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del Equipo	Observaciones
Perfilógrafos	Media	Control de calidad y recepción de obras	Simple	Estos equipos no son prácticos para evaluar la condición de redes viales
Tipo respuesta para medir la regularidad de las carreteras	Media	Monitoreos de red vial	Compleja	Los resultados obtenidos entre equipos no son comparables, ya que dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo y no son estables en el tiempo.
Nivel y estadía (Road and level)	Muy alta	Mediciones de perfil del pavimento y calibraciones	Simple	El uso de estos equipos para proyectos largos es impráctico y los costos son muy elevados
Dipstick	Muy alta	Mediciones de perfil del pavimento y calibraciones	Muy simple	Se utiliza para mediciones del perfil de pavimentos en longitudes relativamente pequeñas.
Perfilómetro laser	Muy alta	Monitores y recepción de proyectos viales	Muy compleja	Equipo con alta precisión, que permiten la comparación de resultados y son estables en el tiempo. Además, pueden ser utilizados para calibración de los equipos tipo respuesta

Figura N°5. Los equipos para determinar la regularidad superficial

Fuente: (Montoya, 2007, p.117)

b) Índice de condición pavimento (PCI)

Vásquez (2002) nos detalla que: “el PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado” (p.2). “El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie” (p.2). En la siguiente figura N°6 se encuentran los rangos de calificación del PCI.

RANGO	CLASIFICACIÓN
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy Bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy Malo
10 - 0	Fallado

Figura N°6. Rangos de clasificación del PCI

Fuente: (Vásquez, 2002, p.2)

c) Estado estructural de la vía

De Solminihac et al. (2019), menciona en su libro que “la deflexión es una medida de la deformación elástica que experimenta el pavimento con el paso de una carga. Es función del tipo y estado del pavimento, del método y equipo de medición” (p.171).

“La deflexión es una medida de la respuesta del conjunto pavimento – sub rasante frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuabilidad del pavimento desde el punto de vista estructural” (MTC, 2014). En la siguiente figura N°7 se encuentra la deflexión característica.

Tipo de Carretera	Deflexión Característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.282xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.282xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	$D_c = D_m + 1.036xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 85%

Figura N°7. Definición de deflexión característica

Fuente: (MTC, 2014)

Leyenda:

Tipo	Descripción
DC	Deflexión característica
Dm	Deflexión media
Ds	Desviación estándar

“Las deflexiones se comparan con el valor límite admisible, que es la deflexión tolerable que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en relación con el tráfico que debe soportar” (MTC,2014).

“Para el presente manual se ha adoptado la relación propuesta para el paquete estructural del pavimento, por CONREVIAL (estudio de rehabilitación de carreteras del país. MTC-Perú)” (MTC, 2014)

Según (MTC, 2014) nos expresa la fórmula de deflexión admisible en mm:

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25} \dots\dots 1$$

Donde:

Dadm = Deflexión admisible en mm (a comparar con deflexiones viga benkelman)

N = Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones

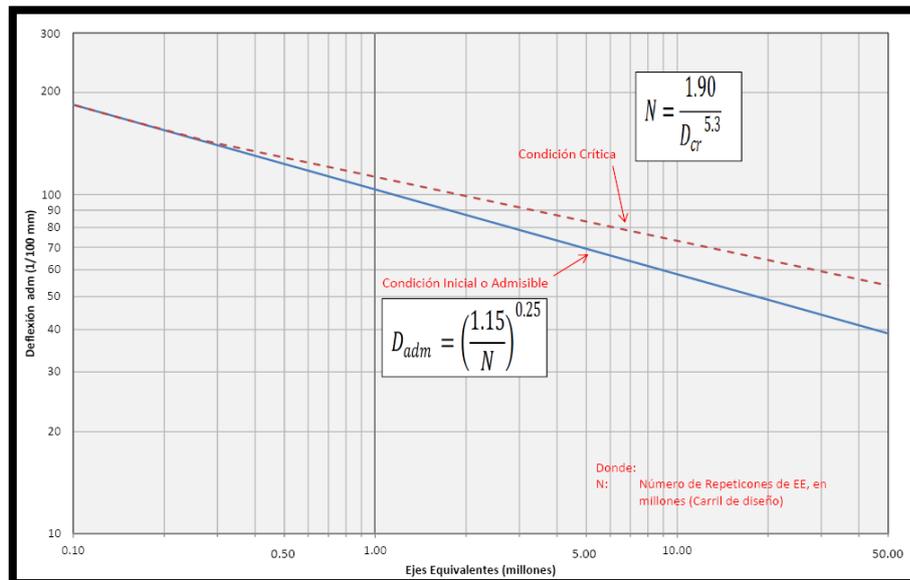


Figura N°8. Gráfico de deflexiones admisibles.

Fuente: (MTC, 2014)

- Deflectómetro de impacto FWD

Para De Solminihac et al. (2019), indica que:

“La identificación de las secciones de los pavimentos que son estructuralmente uniformes, la identificación de las zonas débiles y /o deterioradas, el cálculo de la capacidad estructural del pavimento, el diseño de recarpeteos o de rehabilitación” (p.171). Equipo de deflectómetro de impacto (Ver figura N°9).



Figura N°9. Deflectómetro de impacto

Fuente: (Chávez, 2008, p.90)

“Este equipo aplica una carga dinámica variable sobre el pavimento, tiene 7 sensores (geófonos) que registran la curva completa de deflexión, y la medición se registra directamente en un computador”. (Chávez, 2008, p.90).

- Deflexión de un pavimento flexible empleando la viga benkelman

Según Chipana y Medina (2019) señalan en su tesis que: “el deflectómetro viga benkelman pertenece al grupo de los ensayos estáticos o quasi estáticos, fue diseñada como parte el programa de ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test) por Daniel Benkelman” (p.68).

Según Manual de Ensayo de Materiales (2016) indica que “el campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio, empleándose principalmente para determinar la vida útil remanente de un pavimento, evaluar estructuralmente los pavimentos con fines de mantenimiento, mejoramiento o rehabilitación” (p.962). En la siguiente figura N°10 se observa la viga benkelman.

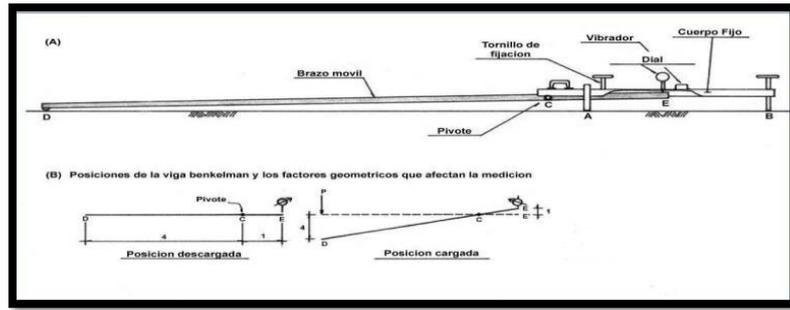


Figura N°10. Esquema de la viga benkelman

Fuente:(Manual de Ensayo de Materiales (MTC),2016. p. 1002)

- Causa del deterioro del pavimento asfáltico

En la siguiente figura N°11 se encuentran los deterioros o fallas estructurales.

Deterioro / falla	Descripción	Causas	Niveles de gravedad
1: Piel de cocodrilo	La piel de cocodrilo está constituida por fisuras que forman polígonos irregulares de ángulos agudos. Puede ser en su principio, poco grave, mostrando polígonos incompletos dibujados en la superficie por fisuras cerradas (es decir, de ancho nulo).	El deterioro / falla es consecuencia del fenómeno de fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible.	1: Malla grande (> 0.5 m) sin material suelto. 2: Malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) sin o con material suelto. 3: Malla pequeña (< 0.3 m) sin o con material suelto.
2: Fisuras longitudinales	En este rubro se incluyen las fisuras longitudinales de fatiga. Discontinuas y únicas al inicio, evolucionan rápidamente hacia una fisuración continua y muchas veces ramificada antes de multiplicarse debido al tráfico, hasta convertirse en muy cerradas.	El deterioro / falla es consecuencia del fenómeno de fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible.	1: Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho $\leq$ 1 mm) 2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y $\leq$ 3 mm) 3: Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm).
3: Deformación por deficiencia estructural	1. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas (deterioro 3a) o localizadas (deterioro 3b) 2. El ahuecamiento (deterioro 4) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.	Los deterioros o fallas 3a y 3b son consecuencias del fenómeno de fatiga de una o varias capas del pavimento y de la subrasante sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible.	1: Profundidad sensible al usuario < 2 cm 2: Profundidad entre 2 cm y 4 cm 3: Profundidad $\geq$ 4 cm
4: Ahuecamiento	1. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas (deterioro 3a) o localizadas (deterioro 3b) 2. El ahuecamiento (deterioro 4) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.	*Defecto de dosificación del asfalto. *Inadecuación entre el tipo de asfalto y la temperatura de la capa de rodadura. * Inadecuación entre la gradación de los agregados y la temperatura de la capa de rodadura.	1: Profundidad $\leq$ 6 mm 2: Profundidad > 6 mm y $\leq$ 12 mm 3: Profundidad > 12 mm
5: Reparaciones o parchado	Las reparaciones están destinadas a mitigar los defectos del pavimento, de manera provisional o definitiva: su número, su extensión y su frecuencia son elementos del diagnóstico	Las reparaciones son indicativas de insuficiencia estructural del pavimento o de deterioros / fallas superficiales. No requieren medidas correctivas.	

Figura N°11. Deterioros o fallas estructurales

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones ,2016, p.87)

### 2.3.5 Sistema de gestión de pavimentos

Según Chang (2020) el investigador menciona el concepto de gestión de pavimentos como una orientación que desarrolla la estrategia de mantenimiento y rehabilitación costo-efectivas. Las herramientas como los softwares son utilizadas para organizar la información con características de la red, agilizando el almacenamiento, recuperación de datos y análisis de las estrategias de gestión.

“Los sistemas de gestión de pavimentos permiten evaluar el impacto de diversas estrategias de gestión en el desempeño futuro de los pavimentos, identificando los sectores de la red vial que requieren de mantenimiento y/o rehabilitación, y el momento más oportuno para realizar las intervenciones” (Chang, 2020, p.232).

- Importancia de sistemas de gestión de pavimento

Chang (2020) el autor menciona en su artículo el análisis de estrategias de mantenimiento, “las actividades de mantenimiento incluyen tratamientos de fisuras, sellos asfálticos, y recubrimientos para preservar el desempeño funcional del pavimento, mientras que las actividades de rehabilitación involucran refuerzos para restaurar la capacidad estructural del pavimento” (p.233).

- La planificación de un sistema de gestión

De Solminihac, Echaveguren y Chamorro (2019) define como:

“Al planificar el desarrollo de un sistema de gestión se debe tener en cuenta: la disponibilidad de recursos, los requisitos de información, el nivel de sofisticación y la gestión de datos” (p.58).

Para ello se deben considerar los siguientes aspectos:

- Estrategia

“Disposición de un plan maestro que involucre a todos los elementos del sistema tanto en la implementación como en la operación a largo tiempo” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.58).

- Organización

“Que cubra todas las actividades del sistema, incluyendo el personal y estructura organizacional, desde la toma de datos en terreno hasta la toma de decisiones a alto nivel, sin omitir las instancias de investigación a aplicar” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.59).

- Equipamiento y tecnología

“Debe ser apropiado para llevar a cabo los diferentes procesos que implica la gestión de infraestructura” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.59).

- Investigación

“Es un aspecto fundamental para la fase inicial y el desarrollo global del sistema” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.59).

El sistema de gestión debe articularse alrededor de los siguientes aspectos:

“Elaborar un banco de datos donde queden inventariadas las características de la red o proyecto que se desea gestionar” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.59).

“Proceder a una recolección sistematizada y periódica de información cuantitativa del estado del pavimento y de los restantes elementos de la infraestructura vial” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.59).

“Establecer los índices y parámetros para la cuantificación global del nivel de servicio de las vías, con la posibilidad de fijación de umbrales de intervención” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.59).

“Definir un método de elección de prioridades para establecer un orden de aplicación de los recursos disponibles” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.59).

“Elegir las técnicas de conservación que deben aplicarse en cada caso en función de la información recogida y proceder a su valoración” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.59).

- Sistemas de información dentro de la gestión de pavimentos

“Uno de los elementos centrales de la gestión de infraestructura en cada uno de los procesos es la información. Sin esta, no es posible desarrollar tareas básicas de gestión (planificación, programación, preparación y operación” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p.67).

- La calidad de información

La “Información o IQL por su significado en inglés (Information Quality Levels) fue introducido por el banco mundial para ayudar a determinar las necesidades de datos e información y facilitar el desarrollo de sistemas de información para la gestión vía” (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro, 2019, p75).

Según De Solminihac et al. (2019), menciona que:

“El concepto de IQL se reconoce que la cantidad, nivel, de detalle y calidad de los datos necesarios depende no sólo del ciclo de vida del proceso de gestión, expresado a través de las funciones planificación, programación, diseño y ejecución” (p.75).

El nivel de las funciones de gestión: nivel de red o nivel de proyecto, “generalmente a nivel de red se ejecuta la planificación y programación a nivel estratégico, por lo que no requiere de un nivel de detallado de datos” (p.76). El autor menciona, “nivel de proyecto, que es la escala en que se diseñan y ejecutan las operaciones de mantenimiento, es necesario generalmente una mayor cantidad de datos y un mayor nivel de detalle para programar la ejecución de inversiones” (p.76). En la siguiente figura N°12 se describen los IQL.

Nivel	Detalle
IQL-1	Este nivel de información es el más detallado. Generalmente se utiliza para desarrollar investigación detallada de campo y para comparar la precisión de diversas técnicas de toma de datos
IQL-2	Este nivel de detalle es adecuado para el diseño de los trabajos de mantenimiento. A nivel de planificación puede usarse para lograr una mejor cobertura del muestreo y para determinar los efectos en los beneficios de diversas técnicas de mantenimiento
IQL-3	Este nivel de detalle es adecuado a nivel de planificación y programación. Para el diseño requiere de técnicas básicas de toma de datos, generalmente basadas en sistemas semiautomáticas o manuales y en catálogos de inspección
IQL-4	Es el nivel más sencillo para resumir datos de inventario, condiciones y desempeño de la infraestructura vial. Es adecuado a escala de planificación y programación. Requiere de técnicas de adquisición de datos sencillos, generalmente manual y eventualmente semiautomática. Los resultados que se obtienen no son de gran precisión, pero suficientes para la toma de decisiones. Es adecuado para agencias viales que cuentan con poco presupuesto o que administran redes viales pequeñas de muy bajo volumen de tráfico.

Figura N°12. Niveles de calidad de información o IQL

Fuente: (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro ,2019, p.76 -77)

En la siguiente figura N°13 se menciona la relación entre IQL

Función de gestión	Horizonte de análisis	Cobertura	IQL
Planificación	Largo plazo (estratégico)	Toda la red	IQL-4
Programación	Mediano plazo (táctico)	Toda la red o subredes	IQL-3 o IQL-4
Diseño	Año presupuestario(proyecto)	Sección o un camino completo	IQL-2 o IQL-3
Ejecución	Muy corto plazo (proyecto)	Subsecciones	IQL-1 o IQL-2

Figura N°13. Relación entre IQL

Fuente: (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro ,2019, p.77)

- **Requerimientos de información**

La utilidad de los datos requeridos por un sistema de gestión vial al mismo proceso de gestión, se pueden conceptualizar las siguientes clases de datos y características en la figura N°14.

Clases de dato	Características
Inventario	Características de la red, geometría, condiciones ambientales, activos viales presentes, entre ellos pavimentos y puentes.
Condición	Condición actual de los activos viales, características estructurales o funcionales según corresponda.
Tráfico	Caracterización del tráfico actual, composición, volumen, tasa de crecimiento.
Intervenciones	Historia de mantenciones, localización, frecuencia, cambios de condición.
Ambientales	Topografía, precipitación, temperatura, redes hidráulicas.
Económicos	Costos a los usuarios, costos de mantenimiento, presupuestos, costos adicionales, características de las operaciones de mantenimiento.
Datos históricos	Se refiere al registro histórico de todas las clases de datos anteriores.

Figura N°14. Datos requeridos por un sistema de gestión vial

Fuente: (De Solminihac, Echaveguren y Chamorro ,2019, p.80)

- Inventario Vial

Según MTC (2016) menciona que 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” (p.21).

“La finalidad de contar con información técnica oficial, que permita la planificación de la infraestructura vial y la priorización de inversiones, realizan y/o actualizan los inventarios viales, siendo estos de carácter básico y calificado” (MTC, 2016, p.21).

- Estructura de un sistema de gestión de pavimentos

De Solminihac et al. (2019), nos indica que: “la estructura comienza con una planificación, el diseño, la construcción, el mantenimiento, la evaluación y las actividades que se encuentran integradas en cada una de las etapas” (p.31). Además de la relación entre cada una de los componentes del sistema de información. Se visualiza la figura N°15.

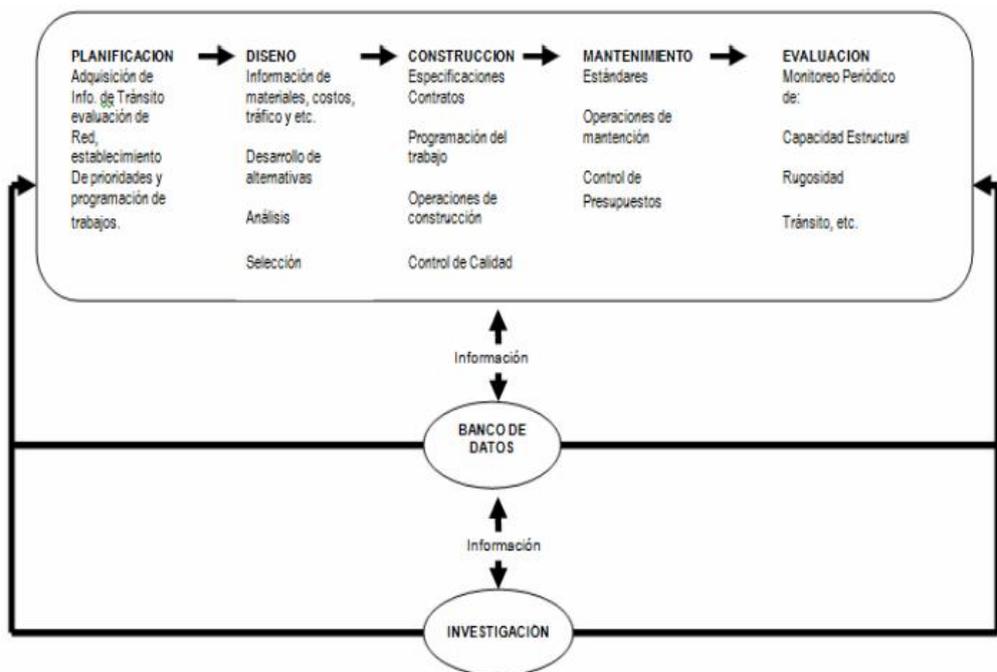


Figura N°15. Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos

Fuente: De Solminihac, Echaveguren y Chamorro (2019). Gestión de infraestructura vial.

- Modelo de desarrollo y gestión de carreteras (HDM-4)

Según Muños (2012) en su tesis menciona que el modelo HDM es un modelo de “simulación del comportamiento del ciclo de vida de las carreteras considerando todas las relaciones entre ésta, el ambiente y el tráfico dentro de una economía nacional o regional que determina la composición y la estructura de costos de las variables” (p.12). El modelo realiza un análisis detallado con base en los datos suministrados por el usuario.

a) El papel del HDM-4 en la gestión de carreteras

Cuando se consideran las aplicaciones del HDM-4 es necesario observar el proceso de gestión de pavimentos a partir de las siguientes funciones.

- Planificación

La planificación “representa el análisis del sistema vial como un todo, lo que normalmente requiere la estimación de los gastos de mediano a largo plazo o de los gastos estratégicos para desarrollar y conservar carreteras bajo distintos escenarios presupuestales y económicos” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p.9). En esta etapa de planificación el sistema físico de carreteras se define por: sus características en toda la red de la carretera, también es importante indicar la definición de categorías y parámetros que son los siguientes: tipo o jerarquía de carretera, flujo vehicular, tipos de pavimentos y la condición de pavimento.

- Programación

La programación comprende la preparación de los programas plurianuales de trabajos y gasto que están sujetos a restricciones del presupuesto, se “identifican y analizan los tramos de la red que probablemente necesiten conservación, mejora o construcción nueva. Se trata de un ejercicio de planificación táctica. Es recomendable llevar a cabo un análisis costo-beneficio para determinar la viabilidad económica” de cada grupo de estos trabajos (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p.10).

- Preparación

En la etapa de planificación a corto plazo en la cual se agrupan los “proyectos para su implementación. En esta fase, los diseños se preparan y afinan con mayor precisión; se elaboran los listados de cantidades de obra y las cotizaciones, así como las órdenes de trabajo y contratos necesarios para efectuar los trabajos” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p.10).

- Operación

Son trabajos cotidianos de una organización, también son las decisiones relacionadas con la “gestión de operaciones se toman de manera diaria o semanal, e incluyen la programación del trabajo que se planea realizar, la supervisión de la mano de obra, el equipo y los materiales, el registro del trabajo concluido” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p .11). El uso de la información con fines de seguimiento y control.

b) El ciclo de gestión

Para obtener las cuatro funciones de gestión es recomendable un análisis integrado del sistema y además tener un enfoque adecuado es usar el concepto de ciclo de gestión. “El ciclo proporciona una serie de pasos bien definidos que ayudan a tomar las decisiones del proceso de gestión. El ciclo de gestión se realiza típicamente una vez al año o en un período presupuestario” (Kerali, Odoki y Stannard , 2000.p.7). Se puede visualizar la figura N°16 el ciclo de gestión de carreteras.

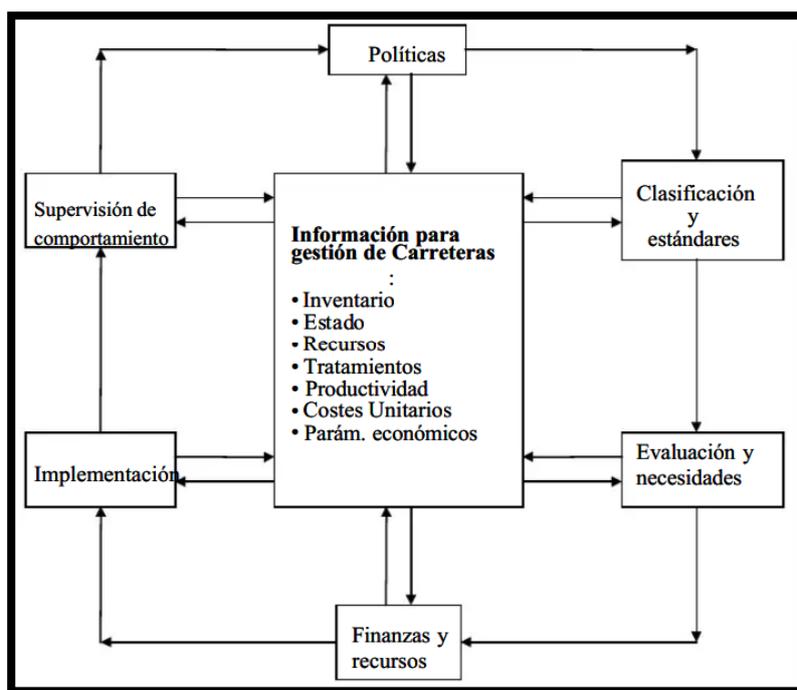


Figura N°16. Ciclo de gestión de carreteras

Fuente: Kerali (Robinson ,1998) piensa que es importante conocer el ciclo de gestión de carreteras

c) Ciclos de las funciones de gestión

Se puede entender el proceso de gestión de carreteras como un conjunto y de un ciclo de actividades que se realizan como parte de cada una de las funciones de gestión: planificación, programación, preparación y operaciones. Se puede observar la figura N°17 de la función de gestión.

<b>Función de gestión</b>	<b>Descripciones comunes</b>	<b>Aplicaciones HDM-4</b>
Planificación	Sistemas de análisis de estrategias Sistema de planificación de la red Sistema de gestión del firme	HDM-4: Análisis de estrategias
Programación	Sistema de análisis del programa Sistema de gestión del firme Sistema presupuestario	HDM-4: Análisis del programa
Preparación	Sistema de análisis del proyecto Sistema de gestión del firme Sistema de gestión de puentes Sistema de diseño del firme/refuerzo Sistema de contratación	HDM-4: Análisis del proyecto
Operaciones	Sistema de gestión del proyecto Sistema de gestión de la conversación Sistema de gestión de equipos Sistema de gestión financiera/contable	(No cubierto por HDM-4)

Figura N°17. Funciones de gestión y las aplicaciones HDM-4 correspondientes

Fuente: (Kerali, Odoki y Stannard, 2000.p.9)

- Marco analítico del HDM-4

Según Kerali, Odoki y Stannard (2000), el concepto del “análisis de la vida útil del pavimento. Este marco se aplica para predecir, a lo largo de la vida útil de un proyecto de carreteras que suele durar entre 15 y 40 años” (p.11).

- El deterioro de la vía.
- Los efectos de los trabajos de mantenimiento.
- Los efectos en los usuarios de la vía.
- Efectos socioeconómicos y medioambientales.

Las vías se deterioran por diversos factores como:

- Las cargas de tráfico.
- Los efectos medioambientales.
- Los efectos de sistemas de drenaje inadecuados.

Se observa análisis del ciclo del HDM-4, en la figura N°18.

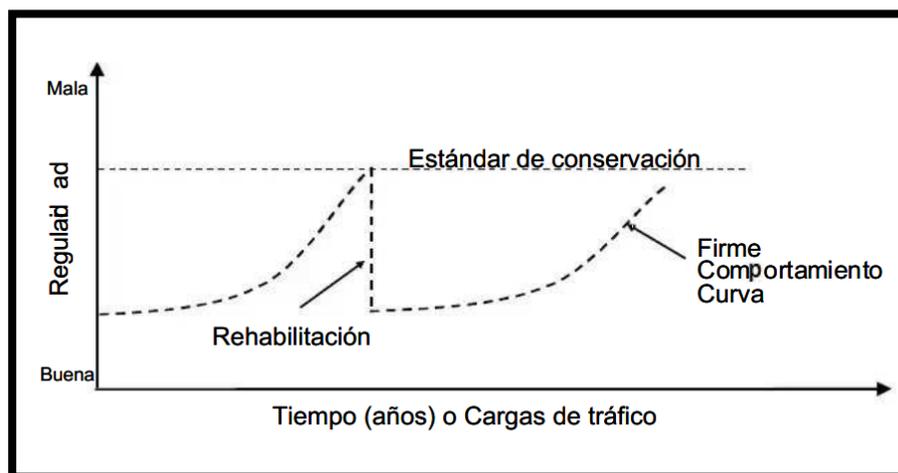


Figura N°18. Concepto del análisis del ciclo del HDM-4

Fuente: (Kerali, Odoki y Stannard, 2000.p.11)

- Aplicaciones del HDM-4

- a) Análisis de estrategias

Según Kerali, Odoki y Stannard, (2000) para predecir las “necesidades a medio y largo plazo de toda una red o subred de carreteras, HDM-4 aplica el concepto de una matriz de red de carreteras que comprende las categorías de la red definidas en función de los atributos” (p.14). Influyen en el comportamiento y en los costes de los usuarios, es posible crear modelos de tramos parciales de carreteras en la “aplicación del análisis estratégico, teniendo en cuenta que la

mayoría de las administraciones suelen ser responsables de varios miles de miles de kilómetros, resulta muy laborioso modelizar individualmente cada segmento de carretera” (Kerali, Odoki y Stannard, 2000, p.14). Una matriz típica de red de carreteras se puede clasificar de la siguiente manera:

- Volumen de tráfico o carga
- Tipos de firme
- Estado del firme
- Zonas medioambientales o climáticas
- Clasificación funcional (si es necesaria)

El análisis de las estrategias se deben tener la siguiente información adicional, para la optimización presupuestal se tiene las siguientes opciones: primero maximizar el valor presente neto, segundo maximizar la mejora del IRI y tercero minimizar el costo para un objetivo de IRI. Los parámetros del análisis económico son el año de inicio, el periodo de análisis y también la tasa de actualización.

La alternativa de intervención del HDM-4, consiste en tener estándares de conservación que inicia en un año, la metodología solo considera dos estándares de conservación: mantenimiento rutinario y conservación periódica. Las dos alternativas iniciales son: una alternativa base para el mantenimiento rutinario y la otra alternativa de proyecto para la conservación periódica.

A continuación, se muestra la clasificación de las actuaciones en la figura N°19.

Categoría	Clase	Tipo	Actividad/Operación
Conservación	Conservación rutinaria	Actuaciones sobre el firme	Bacheo, reparación del borde, sellado de fisuras, relleno puntual, reparación de los arcenes, etc.
		Drenaje	Reparación de alcantarillas y limpieza de drenajes
		Rutinas diversas	Control de la vegetación, marcas viales, señalización, etc.
	Conservación periódica	Tratamiento preventivo	Sellado de humo, rejuvenecimiento, ajuste de pasadores de transferencia de carga, sellado de juntas, etc.
		Renovación superficial o restauración	Tratamiento superficial, lechada bituminosa, sellado de la capa de rodadura, reemplazo de la losa, molida de diamante, etc.
		Rehabilitación	Refuerzo fino, fresado y reemplazo, incrustación, refuerzo.
		Reconstrucción	Reconstrucción parcial, reconstrucción total del firme.
	Actuaciones especiales	Emergencia	Limpieza de escombros, limpieza y reparación de socavones, retirada de accidentes, etc.
		Invierno	Retirada de nieve, adición de sal, gravilla, etc.
Desarrollo	Mejora	Ampliaciones	Ensanchado parcial, adición de un carril.
		Mejora del trazado	Mejoras geométricas verticales y horizontales, mejoras geométricas en las intersecciones.
		Obras fuera de la calzada	Adición y mejora de arcenes, adición de carril para TNM, mejora del drenaje lateral, etc.
	Construcción	Aumento de capacidad	Cambio del tipo de capa de rodadura y mejora geométrica longitudinal y transversal de una carretera existente.
		Tramos nuevos	Construcción de un tramo de carretera nuevo o desdoblamiento de una existente.

Figura N°19. Clasificación de las actuaciones

Fuente: Fuente: (Núñez y Pérez, 2005, p.8)

#### b) Análisis de programa

(Kerali, Odoki y Stannard, 2000) Se empieza con la asignación de prioridades a una larga lista definida de “proyectos de carreteras candidatos para un programa de obras de uno o más años bajo restricciones presupuestarias definidas. Es esencial tener en cuenta que aquí tratamos con una larga lista de proyectos candidatos, seleccionados como discretos de una red” (p.19). Los criterios de selección para identificar proyectos candidato son:

- Los umbrales de conservación periódica, se tiene el resellado de la superficie del firme cuando el daño es del 20%.
- Los umbrales de mejora, se realiza para ampliar el ancho de las carreteras a una relación volumen/capacidad superior al 0,8.
- Los estándares de desarrollo, se realiza para mejorar las carreteras de grava a firme sellado si la media anual de tráfico diario excede de 200 vehículos por día.

Campana y Vilca (2021) Cuando se identifique proyecto candidato se aplicará el análisis de programa HDM-4 para comparar los “costes del ciclo de vida previstos bajo el régimen existente de conservación de firme es el caso sin

proyecto frente a los costes del ciclo de vida previstos para las alternativas de conservación periódica, mejora de carreteras” (p.66). El caso con proyecto “esto proporciona la base para estimar los beneficios económicos que se derivarían de incluir todos los proyectos candidatos en el marco de tiempo del presupuesto” (Campana y Vilca ,2021, p.66).

Para el análisis de estrategias del programa, es importante buscar la mejor combinación de alternativas de tratamiento en varios tramos de la red de la carretera para poder optimizar en función a una restricción del presupuesto. Si el objetivo es maximizar el valor actual neto (VAN). El problema es “seleccionar aquella combinación de opciones de tratamiento de tramos que maximiza el VAN para toda la red, sujeta a que la suma de costos de tratamiento sea inferior al presupuesto disponible” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p.23).

“La aplicación de análisis de programa del HDM-4 se puede usar para preparar un programa para varios años, sujeto a recursos limitados el método de asignación de prioridades utiliza la relación incremento del VAN/costo como índice de valoración” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p.23). Esto proporciona un índice confiable para realizar la priorización.

#### c) Análisis de proyecto

Tiene relación con la evaluación de uno o más proyectos de carreteras y opciones de inversión, se “analiza un itinerario o tramo de carretera con los tratamientos seleccionados por el usuario, con los costos y beneficios asociados, proyectados anualmente a lo largo del periodo del análisis. Los indicadores económicos vienen determinados por las diferentes opciones de inversión” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p.25).

#### d) Módulos del HDM-4

Las tres herramientas de análisis (estrategia, programa y proyecto) operan sobre datos definidos en la siguiente figura N°20.

<b>Módulos del HDM-4</b>	
<b>Gestores de datos</b>	<b>Definición</b>
Red de carreteras	Define las características físicas de tramos de carreteras en una red o subred que se 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 costes unitarios que serán aplicados a los distintos tramos de la carretera a analizar.
Configuración del 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.

Figura N°20. Gestores de datos del HDM-4

Fuente: (Kerali , Odoki y Stannard , 2000.p.20)

El análisis técnico en el HDM-4 se realiza usando cuatro modelos, se observa la figura N°21 donde está el modelo.

<b>Modelo</b>	<b>Definición</b>
RD (Deterioro de la carretera)	Predice el deterioro del firme en carreteras asfaltadas, de hormigón y no pavimentadas.
WE (Efecto de las obras)	Simula los efectos de las obras en el estado del firme y determina los costes correspondientes.
RUE (Efectos para los usuarios)	Determina los costes de operación de vehículos, accidentes y tiempo de viaje.
SEE (Efectos sociales y medioambientales)	Determina los efectos de las emisiones de vehículos y el consumo de energía.

Figura N°21. Modelo del HDM-4

Fuente: (Kerali , Odoki y Stannard , 2000.p.20)

En la siguiente figura N°22 se observa la Arquitectura del sistema HDM-4.

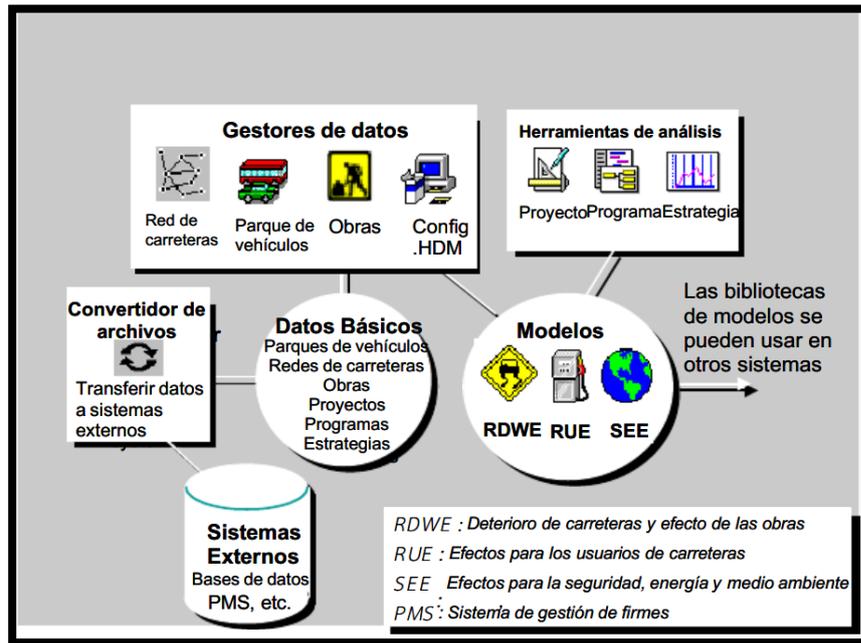


Figura N°22. Arquitectura del sistema HDM-4

Fuente: (Kerali , Odoki y Stannard , 2000.p.21)

e) Parámetros principales de la modelización

Las medidas de deterioro del pavimento asfáltico a considerar en la modelización en HDM-4 se visualiza en la siguiente figura N°23.

Medida	Definición
Area del deterioro	Suma de las áreas rectangulares adyacentes que manifiestan deterioro (a las líneas de fisuración se le asignan un ancho de 0,5 m), expresada como un porcentaje del área de la calzada
Fisuración total	Fisuración estructural a lo largo y a lo ancho
Fisuración estrecha	Líneas con fisuración de 1-3 mm de ancho o interconectadas (equivalente a AASHTO Clase 2)
Fisuración ancha	Líneas con fisuración de 3 mm o más de ancho con desconchado o interconectadas (equivalente a AASHTO Clase 4)
Fisuración indexada	Suma de AASHTO Clases 2 a 4 de fisuración medida por clase, ver sección 5.3
Fisuración ternal transversal	Fisuras no conectadas a través del firme
Desprendimiento del árido	Pérdida del material del perfilado
Bacheo	Hoyos abiertos en el perfilado con 150 mm de diámetro mínimo y al menos 25 mm de profundidad
Rotura del borde	Pérdida de material bituminoso del perfilado (y posibles materiales de la base) del borde del firme
Rodera	Permanente o irrecuperable deformación asociada al tráfico a través de las capas del firme en las cuales, si se canalizan en rodada, aumentan con el tiempo convirtiéndose en roderas.
Profundidad de la rodera	Profundidad máxima por debajo de los 2 m que cruza transversalmente una rodada
Regularidad	Desviaciones del perfilado a partir de una superficie totalmente plana con dimensiones características que afectan a la dinámica de los vehículos, la calidad de la rodada, la dinámica del peso y del drenaje (ASTM E-867-82A) – típicamente en la escala de 0.1 a 100 m de arqueamiento y entre 1 y 100 mm de amplitud
IRI	Índice internacional de regularidad, medida que expresa la regularidad como un promedio sin medida de declive rectificado del perfil longitudinal definido en <i>Sayers et al. (1986)</i>
Profundidad media de la textura	Profundidad promedio del perfilado expresado como el cociente de un volumen de material estandarizado, (arena, prueba de mancha de arena, esferas de cristal) entre el área en la que el material se expande en manchas circulares sobre la superficie estudiada ( <i>PIARC, 1997</i> )
Coefficiente de rozamiento	Resistencia al deslizamiento expresada por el coeficiente de rozamiento (CTR) medido usando el Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)

Figura N°23. Definición de las medidas de deterioro

Fuente: (Hurtado y Palomino, 2020, p.84)

### 2.3.6 Niveles de intervención en la conservación vial

Según Menéndez (2003) menciona las “Diversas acciones relacionadas con la vida, clasificadas de acuerdo a la magnitud de los trabajos, desde una intervención sencilla pero permanente (mantenimiento rutinario), hasta una intervención costosa y complicada (reconstrucción o rehabilitación)” (p.8).

### 2.3.7 Mantenimiento y Rehabilitación

Según Ministerio de transporte y comunicaciones (2016) nos detalla que:

Es el estudio que se elabora a fin de “determinar las actividades que deben realizarse para cumplir los estándares admisibles, las cuales no se miden por las cantidades ejecutadas, sino por niveles de servicio” (p.2). Además, indica que “los niveles de servicio son indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía y que, normalmente, se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad” (p.2).

#### a) Mantenimiento Rutinario

Según Menéndez (2003) nos indique:

La reparación localizada de los defectos en la “superficie de rodadura; nivelación de las mismas y de bermas; los sistemas de drenaje (cunetas, zanjas, etc.); taludes laterales, de los bordes y otros elementos accesorios de las vías; control de polvo y vegetación, limpiezas de zonas de descanso” (p.8).

En la figura N°24 se encuentran las actividades de conservación rutinaria.

Número	Descripción	Materiales
<b>1.Sello de fisuras y grietas en calzada</b>	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.	De aplicación en frío: Asfaltos líquidos: emulsiones y cutback, solo o modificados con polímeros.
<b>2.Sello de fisuras y grietas en bermas</b>	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	De aplicación en frío: Asfaltos líquidos: emulsiones y cutback, solo o modificados con polímeros.
<b>3.Parchado superficial en calzada</b>	El parchado superficial comprende la reparación de baches y el reemplazo de áreas del pavimento que se encuentren deterioradas.	Ligantes: Cuando la mezcla de reemplazo deba apoyarse sobre una base granular.
<b>4.Parchado profundo en calzada</b>	El parchado profundo consiste en la reparación, bache o reemplazo de una parte severamente deteriorada de la estructura del pavimento flexible.	Base y Subbases: Las subbases y bases existentes por remover serán reemplazadas por materiales
<b>5.Bacheo de bermas con material granular</b>	La actividad se refiere a reparación de bermas granulares no pavimentadas, que se encuentran desniveladas con respecto al borde del pavimento.	Los materiales a utilizar para la ejecución de esta actividad dependerán de las características de la berma por reparar.
<b>6.Nivelación de bermas con material granular</b>	Esta actividad consiste en la nivelación de bermas granulares no pavimentadas, que se encuentren desniveladas respecto del borde del pavimento.	Los materiales a utilizar para la ejecución de esta actividad dependerán de las características de la berma por nivelar.
<b>7. parchado superficial de bermas con tratamiento asfáltico</b>	Este trabajo consiste en la reparación de baches y el reemplazo de áreas del pavimento que se encuentran deterioradas.	Ligantes: Cuando la mezcla de reemplazo deba apoyarse sobre la base granular, como imprimante se utilizan emulsiones imprimante.
<b>8. Parchado profundo de bermas con tratamiento asfáltico</b>	Este trabajo consiste en la reparación de baches y el reemplazo de áreas del pavimento que se encuentren deterioradas.	Bases y Subbases. Las subbases y bases existentes por remover serán reemplazadas por materiales que cumplan los requisitos.

Figura N°24. Actividades de conservación rutinaria

Fuente: (Ministerio de transporte y comunicaciones, 2016, p.287)

#### b) Mantenimiento Periódico

Menéndez (2003) el autor menciona en la investigación que las actividades de mantenimiento periódico, “se aplica generalmente al tratamiento y renovación de la superficie de la vía, se orienta a restablecer algunas características de la superficie de rodadura, sin constituirse en un refuerzo estructural” (p.9).

El autor concluye que las actividades periódicas tienen, “entre sus características para preservar en buena forma la textura de la superficie de rodadura, de manera que asegure la integridad estructural del camino por un tiempo prolongado y evite su destrucción” (Menéndez ,2003, p.9).

En la siguiente figura N°25 se observan las actividades de conservación periódica.

Número	Descripción	Materiales	Equipos y herramientas
1.Sellos asfálticos	Este trabajo consiste en la ejecución de riegos asfálticos, sobre la superficie de rodadura de la vía.	Para sellos con emulsión asfáltica y con lechadas asfálticas se deben utilizar emulsiones catiónicas.	Los sellos de emulsión se aplicarán con distribuidor a presión.
2. Recapeos asfálticos	Este trabajo consiste en la colocación de una o más capas de mezcla asfáltica sobre la superficie de rodadura del pavimento.	Los materiales a utilizar para la ejecución de esta actividad deben cumplir con los requisitos establecidos en las secciones 417.	Los equipos y herramientas son los indicados en las secciones 417.
3. Fresado de carpeta asfáltica	Este trabajo consiste en cortar total o parcialmente la capa de rodadura del pavimento de la vía.	Esta operación no requiere materiales.	Maquina fresadora.
4. Microfresado de carpeta asfáltica	Este trabajo consiste en cortar superficialmente la capa de rodadura del pavimento de la vía.	Esta operación no requiere materiales.	El microfresado se ejecuta con una maquina autopropulsada .
5.Reconformación de base granular en bermas	Este trabajo consiste en escarificar, conformar, nivelar y compactar la base granular existente.	Para la ejecución de esta actividad se utilizará material seleccionado que debe cumplir los requisitos subsección 403.02	Los equipos deben ser compatibles con los procedimientos de construcción.
6. Imprimación reforzada en bermas con material granular	Este trabajo consiste en la aplicación de un riego asfáltico reforzado con una capa de arena, sobre la superficie de la berma.	La cantidad de material bituminoso por m2, por lo general, para el primer riego debe tener comprendidas entre 1.7 2.01/m2 para una penetración dentro de la capa granular de apoyo de 13mm.	Motoniveladora, elementos mecánicos de limpieza y camiones cisterna y regadores de agua y asfalto, rodillos liso vibratorio y neumático
7.Nivelación de bermas con mezcla asfáltica	Esta actividad consiste en la nivelación de bermas con mezclas asfálticas, con la finalidad de corregir los desniveles con respecto del borde del pavimento.	Para riego de imprimación: Según lo estipulado en la sección 416 Manual de Carreteras.	Para los trabajos de imprimación se requieren motoniveladora, elementos mecánicos de limpieza y camiones cisterna

Figura N°25. Actividades de conservación periódica

Fuente: (Ministerio de transporte y comunicaciones, 2016, p.324)

### c) Rehabilitación

Según Menéndez (2003) el autor menciona en la investigación que la rehabilitación, “consiste en reparación selectiva y de refuerzo estructural, previa demolición parcial de la estructura existente, la cual procede cuando se encuentra demasiado deteriorado como para poder resistir una mayor cantidad de tránsito en el futuro” (p.10).

El autor menciona la inclusión de “algunos mejoramientos en los sistemas de drenaje y de contención. Tiene como propósito restablecer la capacidad estructural y calidad de la superficie de rodadura” (p.10).

## 2.4 Definición de términos básicos

### 2.4.1 El Índice Internacional de Rugosidad

El “IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino” Ríos (como se citó en, Arriaga P., Garnica A., Rico R., 1998) piensa del IRI es como un estándar estadístico de la rugosidad.

### 2.4.2 Herramienta HDM-4

Según Buj (2017) en su tesis define una herramienta para la gestión de redes viales. “Esta herramienta facilita la toma de decisiones durante el ciclo de gestión, el cual comprende: planificación, programación, preparación y operaciones” (p.38). “Para lo anterior se considera: el costo de las obras, el costo de operación de los vehículos, efectos de la congestión del tráfico, el clima, condiciones estructurales de las vialidades, seguridad vial y los efectos medio ambientales” (Buj, 2017, p.38).

### 2.4.3 Valor actual neto (VAN) o valor presente neto (VPN)

Es un indicador financiero muy utilizado para valorar, determinar la viabilidad y la rentabilidad de un proyecto de inversión. “Se determina mediante la actualización de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto, menos la inversión inicial. Si el resultado de esta operación es positivo, es decir, si refleja ganancia se puede decir que el proyecto es viable” (Campana y Vilca ,2021, p.72).

### 2.4.4 Tasa interna de retorno (TIR)

“Es uno de los métodos de evaluación de proyectos de inversión más recomendables. Se utiliza frecuentemente para analizar la viabilidad de un proyecto y determinar la tasa de beneficio o rentabilidad que se puede obtener de dicha inversión” (Campana y Vilca ,2021, p.72).

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis general

Con la planificación del sistema de gestión de pavimentos se identifica la estrategia de intervención de las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

#### 3.1.2 Hipótesis Específico

- a) Se puede identificar las características de la red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).
- b) Se puede analizar el nivel de servicio de la vía de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).
- c) Se puede analizar método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

### 3.2 Variables

Variable Independiente.

Planificación del sistema de gestión de pavimentos.

Variable Dependiente.

Mantenimiento y Rehabilitación.

#### 3.2.1 Definición conceptual de las variables

- Planificación del sistema de gestión de pavimentos

De Solminihac et al. (2019), nos indica que: un sistema de gestión de pavimentos es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo “conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones de tráfico, clima y entorno de la zona en que se ubica una determinada vía, considerando los costos” (p.32).

- Mantenimiento y Rehabilitación

Según Ministerio de transporte y comunicaciones (2016) nos detalla que:

“Es el estudio que se elabora a fin de determinar las actividades que deben realizarse para cumplir los estándares admisibles, las cuales no se miden por las cantidades ejecutadas sino por niveles de servicio” (p.2). “Los niveles de servicio son indicadores que, normalmente, se utilizan como límites admisibles

hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y seguridad” (p.2).

### 3.2.2 Operacionalización de las variables

- Operacionalización de la variable X:

Tabla N°1. Operacionalización de la variable X

Variable Independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Planificación del Sistema de Gestión de Pavimentos	Un sistema de gestión de pavimentos es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo “conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones de tráfico, clima y entorno de la zona en que se ubica una determinada vía, considerando los costos” (Solminihaç, Echaveguren y Chamorro ,2019, p.32).	Características de la red.	Inventario vial.	Expediente técnico.
		Nivel de servicio de la vía.	Condición superficial, funcional, estructural.	Expediente técnico
		Método de elección de prioridades.	Análisis económico.	Expediente técnico

Fuente: Elaboración propia (2022)

- Operacionalización de la variable Y:

Tabla N°2. Operacionalización de la variable Y

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Independiente				
Mantenimiento y Rehabilitación	Es el estudio que se elabora a fin de “determinar las actividades que deben realizarse para cumplir los estándares admisibles, las cuales no se miden por las cantidades ejecutadas, sino por niveles de servicio” (MTC, 2016,p.2).Además, indica que “Los niveles de servicio son indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía y que, normalmente, se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad” (MTC, 2016, p.2).	Condición superficial  Condición estructural  Condición funcional	PCI  Deflexiones  Índice de rugosidad internacional (IRI)  Índice de seguridad presente (PSI)	Expediente técnico  Expediente técnico

Fuente: Elaboración propia (2022)

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 4.1 Tipo y método de investigación

#### 4.1.1 Método de investigación

Método Deductivo.

Según Caballero (2014) el método deductivo es “aquella orientación que va de lo general a lo específico; es decir, que parte de un enunciado general del que se van desentrañando partes o elementos específicos” (p.83).

La investigación es de método deductivo porque se estudiará la teoría y conceptos del sistema de gestión de pavimentos para luego llevarlo a la práctica y buscar la solución de las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

#### 4.1.2 Tipo de investigación

Según Montero y De la cruz (2019) la investigación descriptiva se define como:

Consiste en señalar los elementos, características del problema de estudio tal como se presenta en un espacio y tiempo determinado, no se pretende dar una explicación del porqué del problema, sino simplemente una narración detallada y ordenada de los hechos de la realidad tal como se presenta. (p.124)

La investigación es de tipo descriptiva ya que se señalará todos los elementos, características de la planificación sistema de gestión de pavimentos para la identificación de necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

#### 4.1.3 Nivel de la investigación

Según Montero y De la cruz (2019) el nivel descriptivo define como: “consiste en describir metódica y sistemáticamente las características del problema, para su desarrollo se utilizan hipótesis descriptivas con expresiones predictivas que la final se comprobará los supuestos planteados en la investigación” (p.133).

Montero y De la cruz (2019) el nivel explicativo como:

Es la búsqueda de las razones, motivos, causas y factores que han ocasionado para la ocurrencia de un hecho o fenómeno llamado variable dependiente. Este nivel pretende estudiar es aclarar, definir, interpretar el de como una variable independiente afecto, incidió, influyó en la variable dependiente, es decir la

variable dependiente ya ocurrido, o está ocurriendo, por lo tanto, los datos empíricos permitirán la comprobación de la hipótesis planteada. (p.133)

La investigación de la tesis tendrá el nivel de descriptivo en cuanto al análisis del sistema de gestión de pavimentos y explicativo para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación en la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay) para planificar el sistema de gestión de pavimentos.

#### 4.1.4 Diseño de la investigación

Las variables que hemos propuesto en la investigación son de carácter real sin generar ninguna alteración por lo tanto será una investigación no experimental. Transversal; correlacional.

Según Carrasco (2005) el autor menciona, “son aquellas cuyas variables independientes carecen de manipulación intencional, y no poseen grupo de control, ni mucho menos experimental. Analizan y estudian los hechos y fenómenos de la realidad después de su ocurrencia” (p.71).

Montero y De la cruz (2019) nos dice sobre el diseño correlacional “permite hacer un estudio sobre la relación que existe entre dos o más variables, a fin de determinar el grado de relación existente entre ambas variables en una sola muestra de estudio” (p.141).

#### 4.2 Población de estudio

En la investigación la población estará compuesta entre las regiones de Lima, Cerro de Pasco y Junín; que pertenece a la ruta nacional PE-20A de la red vial nacional (Lima – Canta – La Viuda -Unish, tramo: Canta – Huayllay) (Km. 20+000 al km 22+000), el área a investigar se trata del departamento de lima, provincia de canta, distrito de huaros, la investigación se realizará en la estructura de pavimento asfáltico.

#### 4.3 Diseño muestral

La muestra es toda la información recogida del expediente estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay respecto al mantenimiento y rehabilitación de la zona del pavimento asfáltico para realizar la planificación del sistema de gestión de pavimentos.

#### 4.4 Relaciones entre variables

##### 4.4.1 Identificación de variables

- Variable Independiente.

Planificación del sistema de gestión de pavimentos.

- Variable Dependiente.

Mantenimiento y Rehabilitación.

#### 4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación usará técnicas de recopilación de datos basados en expedientes y tesis del 2015 a 2022, libros técnicos, papers, manuales y normas nacionales.

a) Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay, 12 tesis nacionales, 10 tesis internacionales, 4 papers o artículos científicos, investigaciones, publicaciones, 3 libros y 6 manuales nacionales.

b) Recolección de condición de parámetros estructurales y funcionales del pavimento asfáltico en el tramo Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay, con información obtenida del estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay obtenido.

c) Documentación de diferentes investigaciones nacionales sobre sistema de gestión de pavimentos y necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de las diferentes carreteras.

d) Análisis y modelación del software HDM-4 para la planificación del sistema de gestión de pavimentos.

#### 4.6 Procedimientos para la recolección de datos

El procedimiento para la recolección de datos fue la búsqueda de información bibliográfica para las condiciones de parámetros funcionales y estructurales de los pavimentos asfáltico en tramo Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay, que nos ayudará a la identificación de necesidades básicas de mantenimiento y rehabilitación de la carretera para planificar el sistema de gestión de pavimento.

#### 4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Las técnicas de procesamiento de información se obtuvieron por el Ministerio de transporte y comunicaciones, Provias Nacional empresa consorcio Cesel – Cal y Mayor la cual nos dio la información, adicional a esto mencionar las normas y manuales técnicos nacionales y poder procesarla en el software HDM-4, Para plantear el sistema de gestión de pavimentos en la carretera tramo Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay. El análisis de datos nos ayudará a identificar las necesidades iniciales de los mantenimientos y rehabilitación con el fin de establecer y planificar el sistema de gestión de pavimentos en mención.

#### 4.8 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

En la investigación se utilizó como instrumento el software HDM-4, versión 1.3, versión estudiantil; con el fin de planificar el sistema de gestión de pavimentos que identifica la estrategia de intervención de las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

## **CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### 5.1 Diagnóstico y situación actual

#### 5.1.1 Antecedentes de la Carretera Lima – Canta – La Viuda - Unish

Canta es un departamento ubicado en la sierra del norte chico de Lima que está creciendo económicamente por el turismo, así como ganadería, esto nos llevó a ver a carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish (tramo: Canta – Huayllay) un nuevo acceso para salir de Lima y llegar al centro del Perú que como carretera necesita de gestión en los trabajos de mantenimiento y rehabilitación, con el fin de mantener su nivel de servicio y además tener el activo del Patrimonio Vial durante 20 años más.

#### 5.1.2 Generalidades

##### Ubicación

La ubicación de la carretera Lima – Canta – La Viuda - Unish (tramo: Canta – Huayllay), el tramo: Canta - Huayllay, parte integrante del Corredor Vial: Lima - Canta - Huayllay - Dv. Cochamarca - Empalme PE 3N, está situado en la parte central del país, en la jurisdicción de los departamentos de Lima, Cerro de Pasco y Junín; pertenece a la Ruta Nacional PE-20A de la Red Vial Nacional; se inicia (km. 0+000) a la salida de la ciudad de Canta, inmediaciones del Hotel Cancay Vento, con una altura de 2,800 msnm, y termina cerca de Huayllay empalmando con el tramo asfaltado que va hacia Cochamarca. En la figura N°26 se observa la ubicación del tramo: Canta – Huayllay.

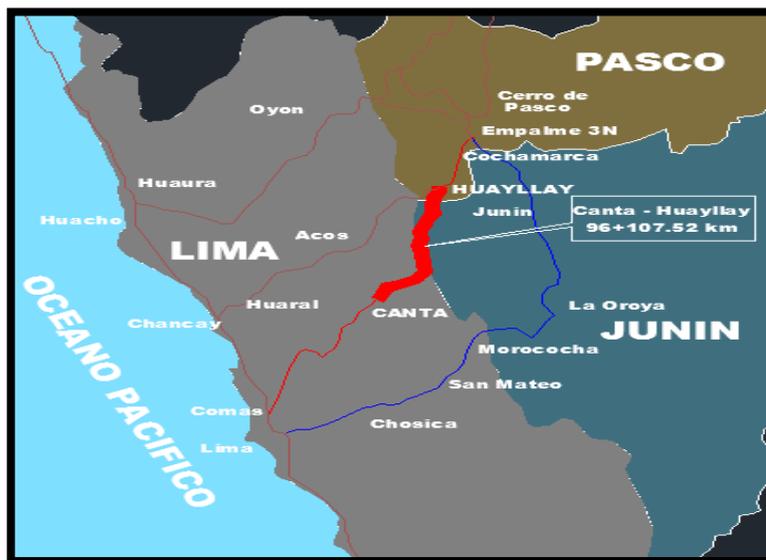


Figura N°26. Ubicación del tramo Canta – Huayllay

Fuente: (Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

### 5.1.3 Plano de ubicación

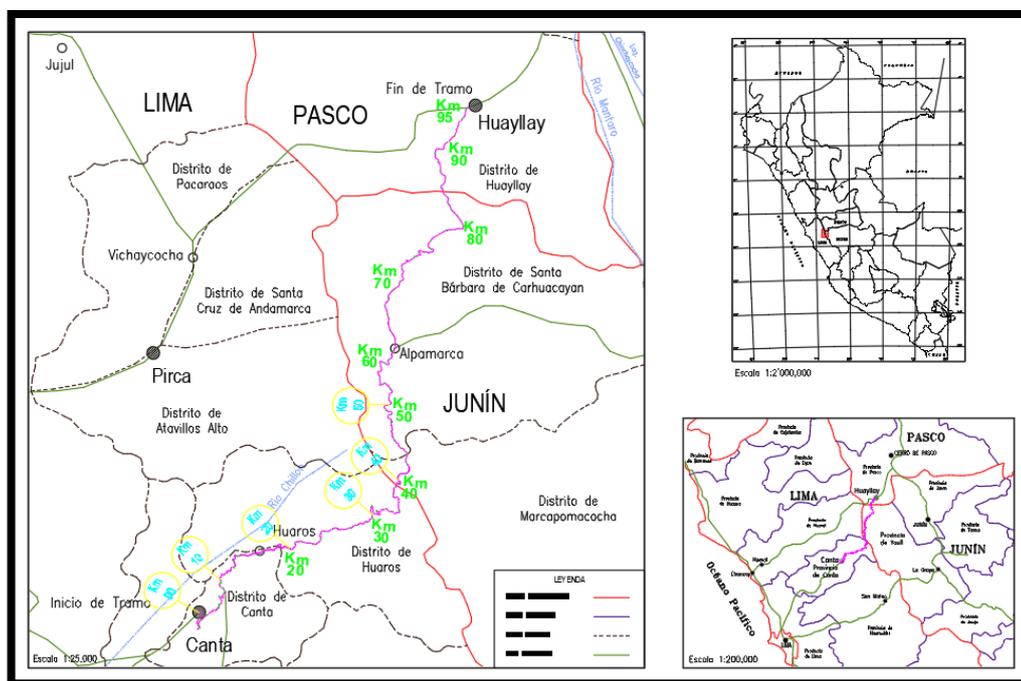


Figura N°27. Plano de ubicación del tramo Canta – Huayllay.

Fuente: (Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

### 5.1.4 Plano clave

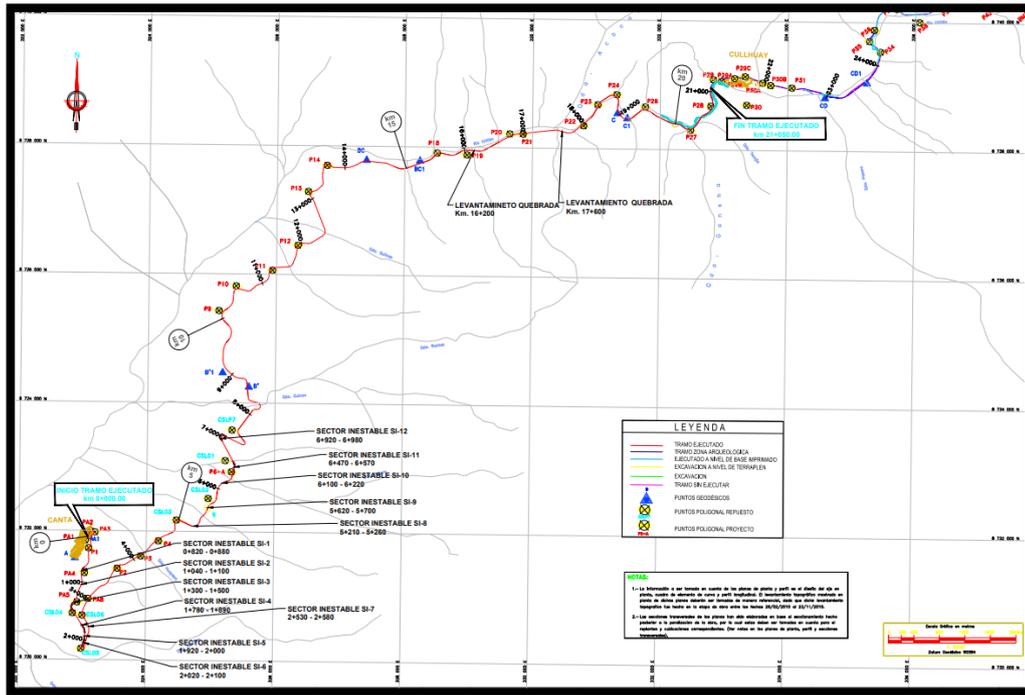


Figura N°28. Plano clave del tramo Canta – Huayllay.

Fuente: (Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

### 5.1.5 Plano de secciones típicas y sectorización

Según la tabla 304.01 de la DG-2001, para una vía de segunda clase y orografías del tipo 4 y 3, el ancho de calzada definida es de 6.60 m, el cual también es concordante con la norma DG-2018. Sin embargo, en el estudio original se adoptó un ancho de calzada de 7.20 m, lo cual está cumpliendo con ambas normativas. Por lo tanto, se mantiene la definición del ancho de calzada de 7.20 m para los sectores diseñados.

Los planos de secciones típicas de la sectorización 1 según el tipo son:

a) Secciones típicas 1 en terraplén del tramo Canta – Huayllay.

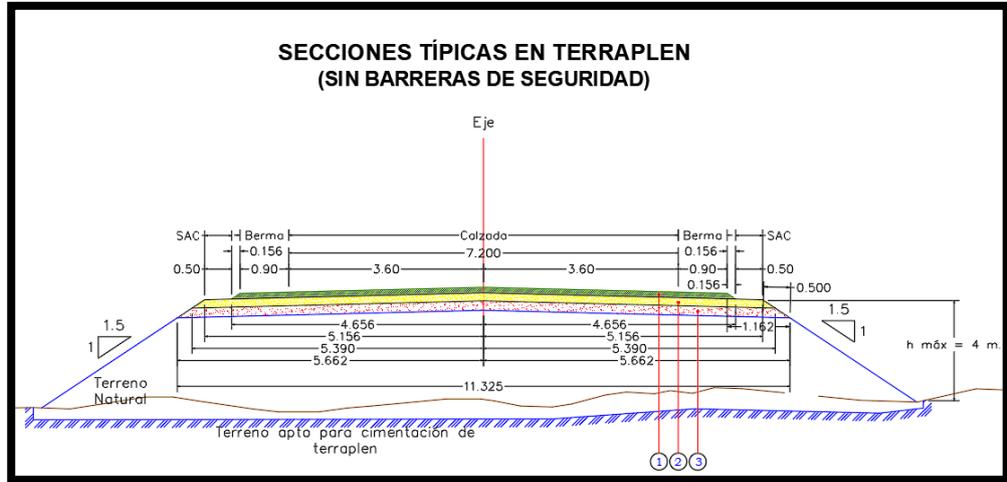


Figura N°29. Secciones típicas en terraplén (Sin barreras de seguridad)

Fuente: (Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

b) Secciones típicas 2 en corte cerrado del tramo Canta – Huayllay.

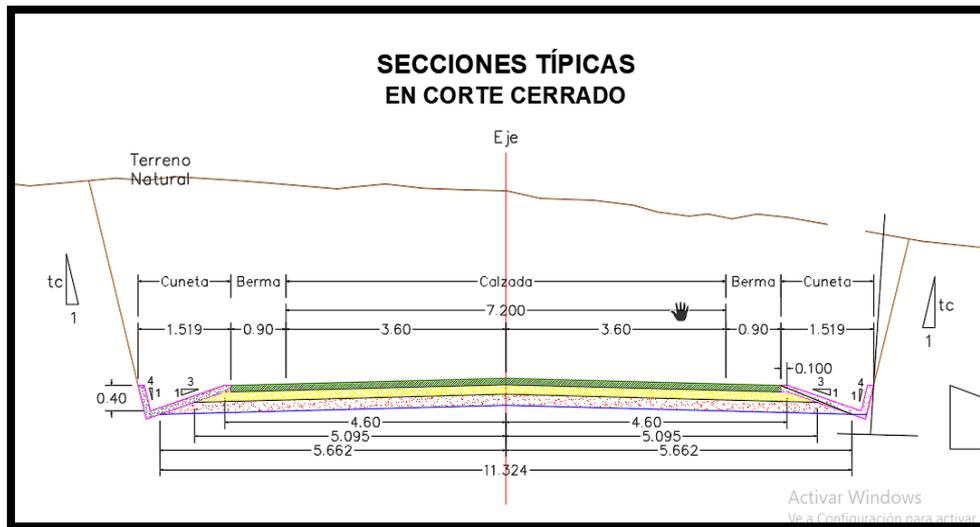


Figura N°30. Sección típica en corte cerrado

Fuente: (Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

c) Secciones típicas 3 en media ladera.

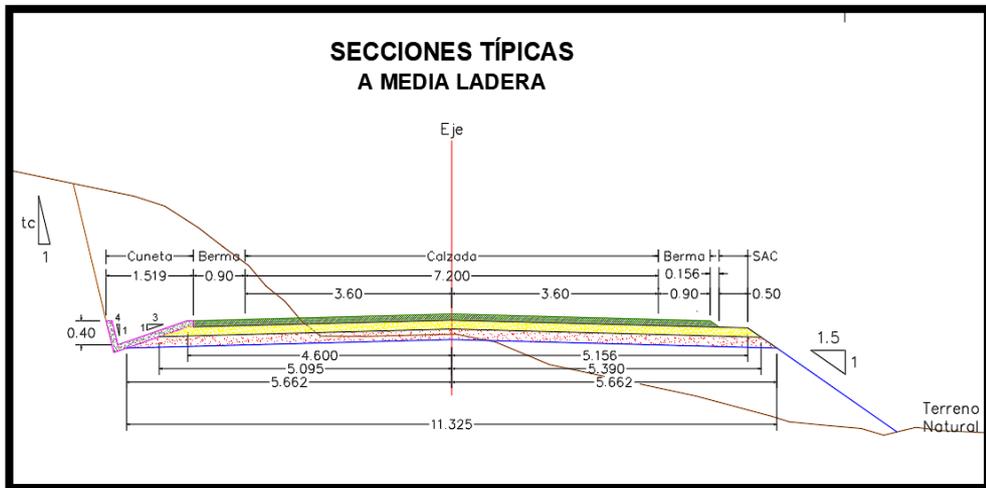


Figura N°31. Sección típica en media ladera

Fuente: (Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

d) Secciones típicas 4 con barreras de seguridad

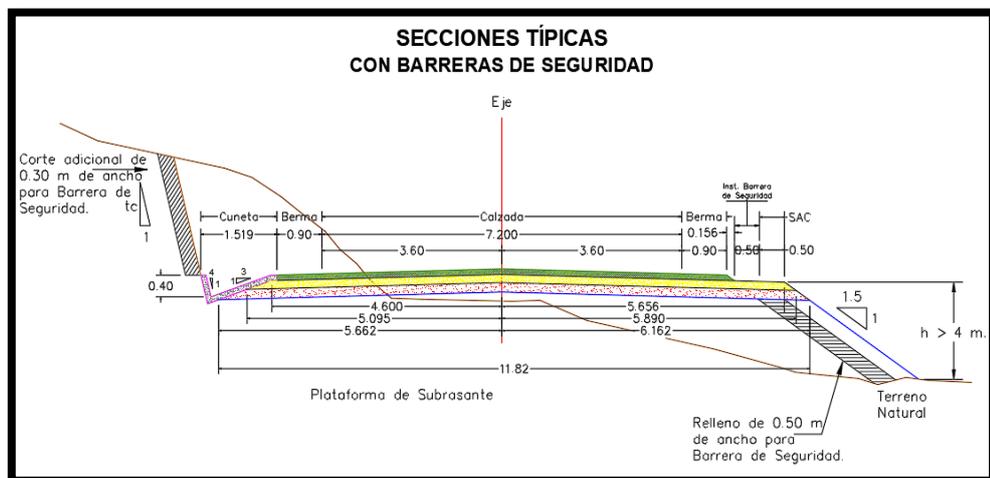


Figura N°32. Sección típica con barrera de seguridad

Fuente: (Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

- Tramos de la carretera

Los tramos de nuestra carretera son las siguientes consideraciones para la identificación de tramos homogéneos: se agrupan tramos de espesor de carpeta asfáltica igual y también se agrupan tramos de clima o tránsito igual. En la tabla N°3 se presentan los 6 tramos homogéneos.

Tabla N°3. Tramos homogéneos

<b>Tramos</b>	<b>Km. Inicio</b>	<b>Km. Final</b>	<b>Longitud (Km)</b>
1	0+000	21+050	21.05
2	21+050	24+680	3.63
3	24+680	35+000	10.32
4	35+000	75+000	40.00
5	75+000	95+200	20.20
6	95+200	95+500	300.00

Fuente: Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

## 5.2 Características de la carretera Lima – Canta – La Viuda - Unish

Tabla N°4. Datos generales de la carretera

<b>Datos Generales</b>	
Nombre de la carretera	Lima – Canta – La Viuda - Unish (tramo: Canta – Huayllay)
Longitud de la carretera	95Km
Tipo de vía	Carretera de segunda clase
Poblaciones	Canta, Huaros, Marcapomacocha, Santa Bárbara de Carhuacayan y Huayllay.
Departamento	Lima, Cerro de Pasco y Junín
Nivel actual de la vía	Rehabilitación y mejoramiento

Fuente: Elaboración propia (2022)

### 5.2.1 Topografía

El trazo se desarrolla por una topografía accidentada a muy accidentada, con taludes de corte existentes de altura variable, luego continúa por zonas planas a onduladas llegando a 4 000 msnm, con este tipo de geografía se llega hasta el kilómetro 95+200 cerca a localidad de Huayllay.

#### Punto de inicio del tramo

La carretera en estudio se inicia a la salida de la localidad de Canta y se desarrolla en terrenos con topografía predominantemente accidentada a muy accidentada hasta el Km 41 pasando la Laguna Chuchón, desde este punto próximo al abra La Viuda hasta el final del tramo, al ingreso de la localidad de Huayllay, la topografía predominante es del tipo llana a ondulada. La carretera se desarrolla en un área netamente rural, siendo el Pueblo de Cullhuay el único que atraviesa la carretera en una longitud aproximada de 500 metros.

#### Punto final del tramo

El final del tramo se ubica en la progresiva 95+200, de la ruta N° 20A de la Red Vial Nacional, muy cerca de la Zona Urbana del distrito de Huayllay.

### 5.2.2 Características técnicas del trazo existente

Tabla N°5. Parámetros de diseño

<b>PARÁMETROS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Velocidad Directriz (Km/h)	40 y 50	
Pendiente Mínima (%)	0.5	
Pendiente Máxima (%)	8.0	8.5 excepcional
N° Carriles	2	
Ancho de la superficie de Rodadura (m)	7.20	
Ancho de Bermas (m)	0.90	
Sobreecho (m)	Según norma	
Sobreecho de compactación (m)	0.50	Solo en zonas de relleno a nivel de subrasante
Radio mínimo (m)	45 70	Para una velocidad de diseño de 40 km/h Para una velocidad de diseño de 50 km/h

Longitud Mínima de Curva de	40	Para una velocidad de diseño de 40
Transición (m)	45	km/h
		Para una velocidad de diseño de 50
		km/h
Longitud mínima de curva	80	
vertical (m)		
Bombeo (%)	2.50	
Peralte (%)	8 máximo	
Derecho de Vía (m)	20	

Fuente:(Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

### 5.2.3 Tráfico y carga

El estudio de tráfico es para determinar la intensidad y composición del tráfico proyectado para el tramo Canta – Huayllay, a fin de clasificar el tipo de carretera de acuerdo a la intensidad de tráfico y parámetros de diseño geométrico. Además, se obtendrá el número de ejes equivalentes para el período de diseño necesarios para el diseño de pavimentos y evaluación económica.

El tráfico generado es el que aparece como consecuencia de una mejora o de la construcción de una carretera y que no existiría de otro modo.

Los valores adoptados para el tráfico generado o inducido, se han estimado en 15% para vehículos ligeros, ómnibus y tráfico pesado, valor que también es considerado en la Actualización del Estudio de Factibilidad e Impacto Ambiental de la Carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish. Se presenta la tasa de crecimiento del tráfico por tipo de vehículo en la figura N°33.

TIPO DE VEHICULO	TASA		
	NORMAL (%)	DESVIADO (%)	GENERADO (%)
AUTO	4.20	4.20	15.00
PICK-UP	4.20	4.20	15.00
CAMIONETA RURAL	4.20	4.20	15.00
MICRO	4.20	4.20	15.00
BUS	4.20	4.20	15.00
CAMIÓN 2E	4.20	4.20	15.00
CAMION 3E	4.20	4.20	15.00
CAMION 4E	4.20	4.20	15.00
ARTICULADO	4.20	4.20	15.00

Figura N°33. Tasa de crecimiento del tráfico por tipo de vehículo

Fuente: (Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

#### Cálculo de número de ejes equivalentes

VEHICULOS	IMDA 2011	FACTOR DIRECCIONAL	ESAL	FA	G (10 AÑOS)	EE (10 AÑOS)	G (20 AÑOS)	EE (20 AÑOS)
AUTO	202	1.0	0.001	1.000	12.118	891	30.404	2236
PICK UP	69	1.0	0.001	1.000	12.118	305	30.404	764
CAMIONETA RURAL	24	1.0	0.001	1.000	12.118	108	30.404	271
MICRO	16	1.0	0.001	1.000	12.118	72	30.404	180
BUS 2 EJES	36	1.0	4.651	1.900	12.118	1410555	30.404	3539023
BUS 3 EJES	65	1.0	2.811	1.900	12.118	1535263	30.404	3851912
CAMIÓN 2 EJES	86	1.0	2.802	1.900	12.118	2031305	30.404	5096458
CAMIÓN 3 EJES	44	1.0	3.615	1.900	12.118	1336810	30.404	3353999
CAMIÓN 4 EJES	12	1.0	5.455	1.900	12.118	550147	30.404	1380297
T2S2	0	1.0	5.252	1.900	12.118	0	30.404	0
T2S3	41	1.0	8.095	1.900	12.118	2789165	30.404	6997899
T3S2	8	1.0	4.448	1.900	12.118	299021	30.404	750231
T3S3	93	1.0	7.655	1.900	12.118	5982653	30.404	15010226
C2T2	0	1.0	4.158	1.900	12.118	0	30.404	0
C2T3	0	1.0	0.000	1.900	12.118	0	30.404	0
C3T2	6	1.0	6.678	1.900	12.118	336706	30.404	844782
C3T3	7	1.0	5.648	1.900	12.118	332282	30.404	833682
<b>TOTAL</b>	<b>709</b>					<b>1.661.E+07</b>		<b>4.166.E+07</b>

Figura N°34. Cálculo del número total de ejes equivalentes (Canta-Huayllay)

Fuente: (Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

Para el diseño de pavimentos se deberá considerar el factor direccional (0.5 para carreteras de una calzada y dos sentidos de circulación), obteniendo los siguientes valores para 10 y 20 años de período de diseño (Figura N°35).

VEHICULOS	IMDA 2011	FACTOR DIRECCIONAL	ESAL	FA	G (10 AÑOS)	EE (10 AÑOS)	G (20 AÑOS)	EE (20 AÑOS)
AUTO	202	0.5	0.001	1.000	12.118	446	30.404	1118
PICK UP	69	0.5	0.001	1.000	12.118	152	30.404	382
CAMIONETA RURAL	24	0.5	0.001	1.000	12.118	54	30.404	136
MICRO	16	0.5	0.001	1.000	12.118	36	30.404	90
BUS 2 EJES	36	0.5	4.651	1.900	12.118	705277	30.404	1769512
BUS 3 EJES	65	0.5	2.811	1.900	12.118	767632	30.404	1925956
CAMIÓN 2 EJES	86	0.5	2.802	1.900	12.118	1015652	30.404	2548229
CAMIÓN 3 EJES	44	0.5	3.615	1.900	12.118	668405	30.404	1677000
CAMIÓN 4 EJES	12	0.5	5.455	1.900	12.118	275074	30.404	690148
T2S2	0	0.5	5.252	1.900	12.118	0	30.404	0
T2S3	41	0.5	8.095	1.900	12.118	1394583	30.404	3498950
T3S2	8	0.5	4.448	1.900	12.118	149510	30.404	375115
T3S3	93	0.5	7.655	1.900	12.118	2991327	30.404	7505113
C2T2	0	0.5	4.158	1.900	12.118	0	30.404	0
C2T3	0	0.5	0.000	1.900	12.118	0	30.404	0
C3T2	6	0.5	6.678	1.900	12.118	168353	30.404	422391
C3T3	7	0.5	5.648	1.900	12.118	166141	30.404	416841
<b>TOTAL</b>	<b>709</b>					<b>8.303.E+06</b>		<b>2.083.E+07</b>

Figura N°35. Cálculo del número total de ejes equivalentes (Canta-Huayllay)

Fuente: (Expediente Informe Técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

#### 5.2.4 Geología y geotecnia

Las evaluaciones realizadas en el presente estudio de la carretera se dieron con mayor número de ensayos ejecutados por métodos directos e indirectos en todos los sectores considerados como inestables. A continuación, se presentan los sectores con sus respectivas ubicaciones y eventos geodinámicas ocurridos en la figura N°36.

N°	Sector Inestable	Progresiva		Eventos Geodinámica
		Inicio km	Fin km	
1	SI-1	0+820	0+880	Deslizamiento antrópico
2	SI-2	1+080	1+130	Derrumbe
3	SI-3	1+330	1+400	Derrumbe
4	SI-4	1+780	1+890	Deslizamiento antrópico
5	SI-5	1+920	2+000	Deslizamiento antrópico
6	SI-6	2+020	2+100	Deslizamiento antrópico
7	SI-7	2+560	2+600	Derrumbe
8	SI-8	5+170	5+220	Asentamiento antrópico
9	SI-9	5+600	5+650	Asentamiento antrópico
10	SI-10	6+470	6+570	Deslizamiento
11	SI-11	6+920	6+980	Deslizamiento antrópico
12	SI-12	9+060	9+110	Derrumbe
13	SI-13	9+670	9+720	Derrumbe
14	SI-14	16+000	16+350	Deslizamiento traslacional por arrastre de lodo
15	SI-15	17+400	17+680	Deslizamiento traslacional por arrastre de lodo
16	SI-16	29+250	29+270	Derrumbe

Figura N°36. Resumen de sectores inestables (Canta-Huayllay)

Fuente: (Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

### 5.2.5 Hidrología, hidráulica y drenaje

Hidrográficamente se encuentra conformado por dos cuencas principales que son la cuenca del río Chillón, la cual tiene sus nacientes en el flanco occidental de la cordillera la Viuda siendo parte de la vertiente del Pacífico en la cota 4600 msnm y discurre con dirección NE-SO; y la cuenca del río Mantaro que se encuentra emplazado en la cordillera de los Andes perteneciente a la vertiente del Atlántico.

El clima en la zona de proyecto es variable dado que se encuentra en un rango de altitud de 2800 msnm y 4800 msnm, por lo cual se identifican diversas condiciones climatológicas tal como se muestra en la siguiente figura N°37.

Clima	Altitud (msnm)	Precipitación (mm)	Temperatura (°)
Clima seco y semiárido	2500 - 3000	300 - 450	12-15
Clima semi-seco y semi-frio	3000-3200	450-500	11-12
Clima semi-humedo y semi-frio	3200-3600	500-600	9-11
Clima ligeramente húmedo y semifrío	3600-3900	600-700	7-9
Clima moderadamente húmedo y frio	3900-4300	700-900	5-7
Clima húmedo y frio	4300-4800	900-1000	3-5

Figura N°37. Características climáticas del área de estudio (Canta-Huayllay)

Fuente: (Expediente informe técnico CSL-14500-DG-IT-01 “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

#### - Análisis hidrológico

En el presente estudio, como resultado de la inspección de campo, del tramo Km. 0+0000 al Km. 95+200, se ha concluido que trece (13) puntos identificados serán revisados desde el punto de vista hidrológico dada la magnitud de los eventos observados.

#### - Análisis de información

Se han identificado cinco (5) estaciones con información pluviométrica de precipitaciones máximas en 24 horas cercanas al tramo de estudio del saldo de obra, denominadas Canta, Huaros, Pariacancha, Yantac y Cerro de Pasco, con las cuales se generaron los polígonos de Thiessen de acuerdo con lo indicado en el ETAP, para determinar el área de influencia hidrológica de estas estaciones (Figura N°38).

N°	Nombre	Coordenadas Geográficas		Altitud (msnm)	Periodo de Registro
		Latitud	Longitud		
P1	Canta	11°28' S	76°37' W	2832	1969 – 1980 1986 – 1990 1992 – 2017
P2	Huaros	11°24' S	76°34' W	3585	1989 - 2017
P3	Pariacancha	11°23' S	76°30' W	3800	1989 - 2017
P4	Yantac	11°20' S	76°24' W	4600	1989 - 2017
P5	Cerro de Pasco	10°41' S	76°15' W	4260	1987 – 2008, 2017

Figura N°38. Estaciones pluviométricas (Canta-Huayllay)

Fuente:(Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda un coeficiente de corrección para datos de estaciones que se registran una vez al día de 1,13, es así que en la siguiente figura N°39 se muestra las precipitaciones corregidas.

Tiempo de retorno (años)	Canta	Huaros	Pariacancha	Yantac	Cerro de Pasco
5.00	30.51	27.37	30.78	27.73	40.71
10.00	36.60	29.56	34.00	32.23	45.75
25.00	44.30	31.90	37.87	37.50	52.27
50.00	50.01	33.40	40.62	41.19	57.25
71.00	52.88	34.10	41.98	42.97	59.80
100.00	55.68	34.76	43.28	44.68	62.33
140.00	58.42	35.38	44.54	46.33	64.85
175.00	60.24	35.76	45.38	47.40	66.53
500.00	68.78	37.50	49.21	52.33	74.77

Figura N°39. Precipitaciones corregidas según la OMM (Canta-Huayllay)

Fuente: (Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018).

## 5.2.6 Estructuras de concreto, obras de arte y drenaje

### - Puentes existentes

A lo largo de la vía existen 5 puentes, 2 son de distintas geometrías de construcción artesanal, la estructura es de madera y vigas, apoyadas en estribos de piedra acomodada, los cuales serán reemplazados en su totalidad como se puede observar en la figura N°40.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PROGRESIVA (KM)	LONG. (M)	SITUACIÓN
1	Huaros 01	18+388.30	9.80	Construido en fase de ejecución de obra
2	Huaros 02	18+877.27	9.80	Construido en fase de ejecución de obra
3	Cullhuay 01	20+510.30	9.80	Construido en fase de ejecución de obra
4	Cullhuay 02	22+946.00	4.30	Existente en el eje de vía proyectada a reemplazar
5	Cushpa	24+355.00	6.20	Existente en el eje de vía proyectada a reemplazar

- Pontón Cullhuay 2 - Km 22+946.51 (una sola vía de 4.20 y longitud de 6.50 m)
- Pontón Cushpa - Km 24+354.90 (una sola vía de 4.50 y longitud de 7.00 m)

Figura N°40. Puentes existentes (Canta - Huayllay)

Fuente: (Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Canta – Huayllay”, 2018).

- Baden existente.

En la quebrada Tambopata Km 27+890, existe un badén de piedra de 8.5 m, de longitud y 6.7 m, de ancho, para el paso de la quebrada por la vía. La quebrada respecto al eje de la vía, cruza en un ángulo de 36° aproximadamente, éste se encuentra en mal estado por lo que debe ser reemplazado por una estructura nueva que garantice la transitabilidad de la vía.

- Alcantarillas menores existentes.

Existen alcantarillas tipo TMC (tubería metálica corrugada) que deben ser reemplazadas por nuevas estructuras. Para ejecutar el reemplazo, es necesario efectuar la demolición de las alcantarillas en mal estado.

Las alcantarillas nuevas a reemplazar son 3 unidades: son 2 alcantarillas de TMC 36” y 1 alcantarillas TMC 48”. A continuación, se presenta la lista detallada de las alcantarillas TMC a ser reemplazadas (Figura N°41).

N°	PROGRESIVA (Km)	Dimensión Diam. Ø	N° DE OJOS	ESVIAJE	LONG.	TIPO DE CABEZAL	
				(°)	(m)	INGR.	SAL.
1	01+800.00	36 "	1.00	90°	16.20	CB	MSR
2	05+650.00	36 "	1.00	90°	16.20	CR	CB
3	06+498.00	48 "	1.00	109°	18.63	CB	MSR

Figura N°41. Alcantarillas para reemplazar (Canta - Huayllay)

Fuente: (Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018).

- Inventario de estructuras de concreto

De acuerdo a lo observado en campo existen 5 puentes. En el expediente técnico original se aprobaron la ejecución de cinco 5 puentes tipo pórtico de

9.8 m. de luz (todos ellos permiten el paso de las aguas del río Chillón), de los cuales se han ejecutado 3, quedando pendiente de ejecución 2, Puente Cullhuay 2 y Puente Cushpa.

#### Puente Cullhuay 02 - Km 22+946.51

La estructura existente consta de un tablero de madera soportado con vigas, los cuales presentan indicios de pudrimiento por su exposición a la humedad propia del río (ver fotografías). Respecto a la altura libre inferior, señalamos que es insuficiente, dado que lo observado en inspección de campo mostraba una altura de aproximadamente 0.80 m. por encima del nivel de agua. La luz hidráulica de la estructura emplazada es alrededor de 4.00 m.

La estructura existente debe ser reemplazada por no contar con las dimensiones hidráulicas mínimas requeridas en la normativa vigente, además de encontrarse en malas condiciones por el tránsito continuo de camiones de carga pesada debido a la falta de mantenimiento (Figura N°42).



Figura N°42. Estructura existente puente Cullhuay 02 (km 22+946)

Fuente: (Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018).

#### Puente Cushpa Km 24+354.90

La estructura existente consta de un tablero de madera soportado con vigas, los cuales presentan indicios de pudrimiento por su exposición a la humedad propia del paso del río. Respecto a la altura libre inferior, señalamos que es

insuficiente, dado que durante el recorrido de campo se observó una altura de aproximadamente 2.00 m. por encima del nivel de agua en época de lluvias. La luz hidráulica de la estructura emplazada es alrededor de 6.00 m.

La estructura existente debe ser reemplazada también por su estado de conservación, pues se encuentra en malas condiciones debido al tránsito continuo de camiones de carga pesada y la falta de mantenimiento de la misma (Figura N°43).



Figura N°43. Estructura existente del puente Cushpa (km 24+354.90)

Fuente: (Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018).

#### - Alcantarillas especiales

Al efectuarse el replanteo topográfico efectuado al trazo de la vía, se evaluaron las estructuras proyectadas en el expediente técnico original, obligando a reubicar algunas alcantarillas y proyectar algunas nuevas.

Se han identificado como obras nuevas a 10 alcantarillas con diseño particular, considerando evaluar para tales casos de 9 alcantarillas marcos de sección rectangular tipo MCA y 1 alcantarilla tipo arco de radio doble. Estas alcantarillas atenderán básicamente cruce de quebradas y sus dimensiones mínimas a considerar van desde 2 ojos de 1.50x1.50 m en MCA. La elección del tipo de alcantarilla se efectuó de acuerdo a las condiciones, características hidráulicas y morfológicas del cauce. Se puede observar el listado de alcantarillas especiales en la figura N°44.

Item	Tipo	Progresiva (Km)	Sección	Situación	Longitud (m)	Comentario
1	MCA	16+220.00	3.30 x 1.50	Reemplazo	12.20	Reemplaza a alcantarilla colapsada Ø 48"
2	MCA	17+475.00	3.30 x 1.50	Reemplazo	14.00	Reemplaza a alcantarilla colapsada Ø 36"
3	MCA	17+650.00	3.30 x 1.50	Proyectada	13.00	Atiende la bifurcación de una quebrada
4	MCA	37+425.00	4.00 x 3.00	Proyectada	14.00	Se redimensionó la estructura considerada en el ETAP por actualización de la hidrología y verificación hidráulica del proyecto de estudio.
5	MCA	50+920.00	2 ojos 1.50 x 1.50	Proyectada	17.15	Se redimensionó la estructura considerada en el ETAP por actualización de la hidrología y verificación hidráulica del proyecto de estudio.
6	MCA	52+020.00	2 ojos 1.50 x 1.50	Proyectada	13.50	Se redimensionó la estructura considerada en el ETAP por actualización de la hidrología y verificación hidráulica del proyecto de estudio.
7	MCA	55+555.00	2 ojos 1.50 x 1.50	Proyectada	21.60	Se redimensionó la estructura considerada en el ETAP por actualización de la hidrología y verificación hidráulica del proyecto de estudio.
8	MCA	56+385.00	2 ojos 1.50 x 1.50	Proyectada	39.25	Se redimensionó la estructura considerada en el ETAP por actualización de la hidrología y verificación hidráulica del proyecto de estudio.
9	MCA	58+265.00	3.30 x 2.50	Proyectada	36.50	Se redimensionó la estructura considerada en el ETAP por actualización de la hidrología y verificación hidráulica del proyecto de estudio.
10	Arco de radio doble	69+995.00	8.30 x 3.05	Proyectada	13.60	Se modificó pendiente de apoyo de la estructura metálica en la cimentación y se mejoró los muros cabezales.

Figura N°44. Listado de Alcantarilladas Especiales (Canta-Huayllay)

Fuente:(Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

- Alcantarillas menores

De los trabajos de campo se han determinado que deben realizarse diferentes trabajos de intervención en las alcantarillas dentro de los cuales podemos mencionar los siguientes: mantenimiento de las alcantarillas existentes y alcantarillas proyectadas.

Se requieren trabajos de mantenimiento en una cantidad de 99 unidades alcantarillas menores, 92 unidades corresponden a alcantarillas menores TMC y 7 a alcantarillas MCA. Estas alcantarillas se encuentran en buen estado, tanto en la parte hidráulica como estructural, por lo cual el mantenimiento consistirá en realizar las siguientes actividades:

Limpieza y mantenimiento.

- Construcción de emboquillados en la entrada y salida de alcantarilla.
- Resane y pintado de los parapetos existentes.
- Elevación de parapeto de cabezal de alcantarillas

### 5.2.7 Evaluación de pavimentos

#### a) Evaluación de la condición superficial del pavimento

Se realizó la evaluación de la condición superficial del pavimento en una inspección visual de la vía de Canta- Huayllay, el índice de condición del pavimento (PCI), es un indicador que evalúa la condición superficial del pavimento, identificamos los diferentes tipos de fallas que puedan existir y establecidos por el PCI (Índice de Condición de Pavimento), y su posterior calificación exacta. Para hacer esta evaluación se realizó un recorrido por toda la carretera Canta- Huayllay. Realizando los respectivos PCI con un área no mayor a 250 m<sup>2</sup> en sus primeros km. de cada tramo homogéneo para así tener un panorama de cada PCI de cada tramo escogido, todo esto siempre con los parámetros de la metodología del PCI para así poder calificar a nuestro pavimento a nivel superficial, y así además realizamos un inventario de las diferentes fallas más concurrentes en la carretera tales como fisuras, baches, grieta de borde, entre otras fallas que hemos encontrado en la visita realizada. Los parámetros del PCI están de 0 al 100 para su calificación.

**RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PCI**

<b>Rango</b>	<b>Clasificación</b>
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Figura N°45. Rangos de calificación del PCI

Fuente: Manual de PCI

Se analizó la condición superficial de la carretera con los parámetros de PCI y se identificó la clase de severidad y cantidad de cada daño que presenta la carretera en un inventario. El formato que se utilizó fue basado en el manual del PCI, este formato nos ayudó para realizar la inspección de pavimento asfáltico.

En la siguiente figura N°46 podemos observar el inicio del tramo.

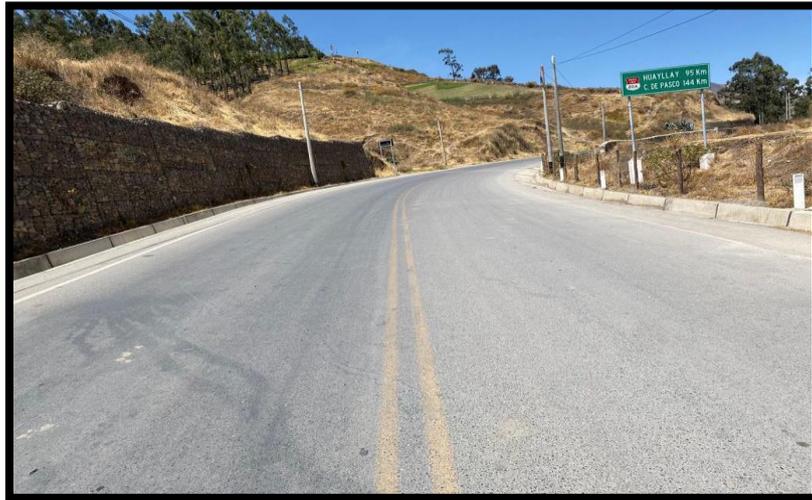


Figura N°46. Fotografía en tramo 1 km 2 +000

Fuente: Elaboración propia (2022)

El pavimento asfáltico de la carretera está en óptimas condiciones como se puede observar en la figura N°47.



Figura N°47. Fotografía en tramo 3 km 31 +000

Fuente: Elaboración propia (2022)

El pavimento asfáltico está en óptimas condiciones como se puede ver en la figura N°48.



Figura N°48. Fotografía se observa el tramo 5 km 80 +000

Fuente: Elaboración propia (2022)

Identificación de longitud de cuneta de la vía, se puede observar en la figura N°49.



Figura N°49. Fotografía se observa el tramo km 6 +000

Fuente: Elaboración propia (2022)

En nuestro recorrido por la carretera se encontraron fallas geológicas en algunos tramos. En km 6 +000 de la carretera tramo: Canta – Huayllay, se identificó de erosión severa de la berma. (Figura N°50)



Figura N°50. Erosión severa de la berma  
Fuente: Elaboración propia (2022)

En el km 9 +520 de la carretera tramo: Canta – Huayllay, se identificó la socavación del suelo en berma de la vía (Figura N°51).



Figura N°51. Socavación del suelo en berma de la vía  
Fuente: Elaboración propia (2022)

En el km 9 +520 de la carretera tramo: Canta – Huayllay, se midió la longitud y el ancho de socavación del suelo en berma de la vía, se observa en la figura N°52.



Figura N°52. Socavación del suelo en berma de la vía

Fuente: Elaboración propia (2022)

En km 12 +000 de la carretera tramo: Canta – Huayllay, se identificó la erosión severa media del suelo efecto de desprendimiento de rocas. (Figura N°53)



Figura N°53. Erosión y desprendimientos de rocas

Fuente. Elaboración propia (2022)

En el km 12 +000 se identificó el bache severo media del suelo efecto de desprendimiento de rocas. (Figura N°54)



Figura N°54. Fallas de bache severo media del suelo

Fuente. Elaboración propia (2022)

Al realizar nuestro PCI en la carretera se distorsiona mucho a la realidad de nuestro pavimento ya que por fallas geológicas y externa está resulta con un PCI muy bajo a lo que realmente se evaluaría el PCI en el pavimento por factores como tráfico y el tiempo para el deterioro de nuestro pavimento de la carretera. Según la figura N°55 muestra el formato de PCI en el área donde se encuentran las fallas geológicas.

Formato de la hoja de inspección de carretera pavimento asfáltico.

HOJA DE INSPECCION DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO							
1. RUTA	CARRETERA SANTA HUAYLLAY	2. TRAMO: TRAMO 1 - 24+680			3. FECHA 09/2022		
4. UNIDAD DE MUESTRA		5. AREA DE MUESTRA	7.20 x 34	244.8	6. TESIS DE PRE-GRADO		
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA					
		1. PIEL DE COCURILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. REFLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. BACHES 14. CRUCE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS		
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA							
TIPO		1	4	10	13		
CANTIDAD Y SEVERIDAD		6.6	4	20	1		
				20	1		
				4	2		
				20			
TOTAL SEVERIDAD	BAJO			20			
	MEDIO	6.6	4	44	2		
	ALTO				2		
9. CALCULO DEL PCI ( INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO )							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD a	SEVERIDAD c	VALOR DEDUCIBLE d	10. OBSERVACIONES			
1	2.70%	M	30				
4	1.63%	M	14				
10	8.17%	L	5				
10	17.97%	M	22				
13	0.82%	M	26				
13	0.82%	H	48				
e. VALOR TOTAL DEDUCIBLE			145				
f. q =		g. PCI		100-75	25	h. CLASIFICACION MALO	

Las fallas se miden en m2, excepto la : 4, 7, 8, 9 y 10 que se miden en metros lineales y la 13 que se mide en numero de huecos

mi = 5.78  
GESTION CAMINOS

N/O	VALORES DEDUCIDOS						Total	q	CDV
1	48	30	26	22	14	5	145		
2	48	30	26	22	14	3.9	143.9	6	
3	48	30	26	22	14	2	142	5	
4	48	30	26	22	2	2	130	4	
5	48	30	26	2	2	2	110	3	
6	48	30	2	2	2	2	86	2	
7	48	2	2	2	2	2	58	1	

Figura N°55. Formato de exploración de condición para carreteras.

Fuente: Manual de PCI

El PCI es importante para identificar las fallas más concurrentes de la carretera en estudio, con identificación de las estrategias de conservación en la zona de estudio, por lo que influye mucho el clima y zona geográfica para poder elegir las estrategias. En este caso nuestra carretera salió un PCI de bueno con un puntaje de 94 ya que en nuestra visita están realizando hasta el día de hoy la rehabilitación de la carretera y desde el km 21+000 está realizando la construcción de rehabilitación hasta la carpeta de rodadura asfáltica.

Tabla N°6. Resultado de PCI en la carretera Canta – Huayllay

Progresivas		PCI del tramo	Condición
Inicio	Fin		
<b>0+000</b>	2+000	90	Bueno
<b>2+000</b>	4+000	95	Bueno
<b>4+000</b>	6+000	80	Satisfactorio
<b>6+000</b>	8+000	82	Satisfactorio
<b>8+000</b>	10+000	95	Bueno
<b>10+000</b>	12+000	81	Satisfactorio
<b>12+000</b>	14+000	85	Satisfactorio
<b>14+000</b>	16+000	80	Satisfactorio
<b>16+000</b>	18+000	93	Bueno
<b>18+000</b>	20+000	82	Satisfactorio
<b>20+000</b>	22+000	98	Bueno
<b>22+000</b>	24+000	97	Bueno
<b>24+000</b>	26+000	98	Bueno
<b>26+000</b>	28+000	93	Bueno
<b>28+000</b>	30+000	97	Bueno
<b>30+000</b>	32+000	98	Bueno
<b>32+000</b>	34+000	91	Bueno
<b>34+000</b>	36+000	95	Bueno
<b>36+000</b>	38+000	98	Bueno
<b>38+000</b>	40+000	95	Bueno
<b>40+000</b>	42+000	98	Bueno
<b>42+000</b>	44+000	98	Bueno
<b>44+000</b>	46+000	93	Bueno
<b>46+000</b>	48+000	95	Bueno
<b>48+000</b>	50+000	94	Bueno
<b>50+000</b>	52+000	98	Bueno
<b>52+000</b>	54+000	95	Bueno
<b>54+000</b>	56+000	98	Bueno
<b>56+000</b>	58+000	91	Bueno
<b>58+000</b>	60+000	92	Bueno
<b>60+000</b>	62+000	97	Bueno
<b>62+000</b>	64+000	99	Bueno

<b>64+000</b>	66+000	95	Bueno
<b>66+000</b>	68+000	99	Bueno
<b>68+000</b>	60+000	92	Bueno
<b>60+000</b>	62+000	89	Bueno
<b>62+000</b>	64+000	97	Bueno
<b>64+000</b>	66+000	95	Bueno
<b>66+000</b>	68+000	93	Bueno
<b>68+000</b>	70+000	90	Bueno
<b>70+000</b>	72+000	99	Bueno
<b>72+000</b>	74+000	93	Bueno
<b>74+000</b>	76+000	99	Bueno
<b>76+000</b>	78+000	99	Bueno
<b>78+000</b>	80+000	99	Bueno
<b>80+000</b>	82+000	91	Bueno
<b>82+000</b>	84+000	98	Bueno
<b>84+000</b>	86+000	97	Bueno
<b>86+000</b>	88+000	92	Bueno
<b>88+000</b>	90+000	95	Bueno
<b>90+000</b>	92+000	98	Bueno
<b>92+000</b>	94+000	95	Bueno
<b>94+000</b>	95+000	98	Bueno
<b>95+000</b>	95+500	99	Bueno
<b>PCI Promedio</b>		<b>94</b>	<b>Bueno</b>

Fuente: Elaboración propia (2022)

El cálculo de PCI ayudó a analizar las fallas más recurrentes en la carretera de estudio y poder así realizar nuestras propuestas de mantenimiento y rehabilitación.

#### b) Condición estructural del pavimento

Para la evaluación estructural se realiza para medir la deflexión de la parte superficial de una carretera, que es generada por el mismo tránsito y peso de los vehículos que pasan sobre esta. En esta ocasión se realizó con la viga benkelman para la carretera Canta- Huayllay que consiste en una viga que es colocada entre los neumáticos de un vehículo pesado y el contacto del pavimento a realizar la prueba, esta viga tiene una longitud de 2.50 m y la

medición se realiza cuando se pasa durante el área que se desea realizar. Se tiene una relación de extremos y puntos de apoyo de 4:1. Estas curvas de deflexiones nos ayudarán a calcular y modelar los parámetros elásticos del pavimento durante el paso de una carga. Las mediciones realizadas del expediente informe técnico. Obteniendo los siguientes datos en la tabla N°7 de condición estructural del pavimento.

Tabla N°7. Condición estructural del pavimento

<b>Tramos</b>	<b>Km. Inicio</b>	<b>Km. Final</b>	<b>Longitud (Km)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>
1	0+000	21+050	21.05	3.90
2	21+050	24+680	3.63	3.90
3	24+680	35+000	10.32	3.90
4	35+000	75+000	40.00	3.90
5	75+000	95+200	20.20	3.90
6	95+200	95+500	300.00	3.90

Fuente: (Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018).

Espesores de las capas de la carretera Canta – Huayllay (Figura N°56).

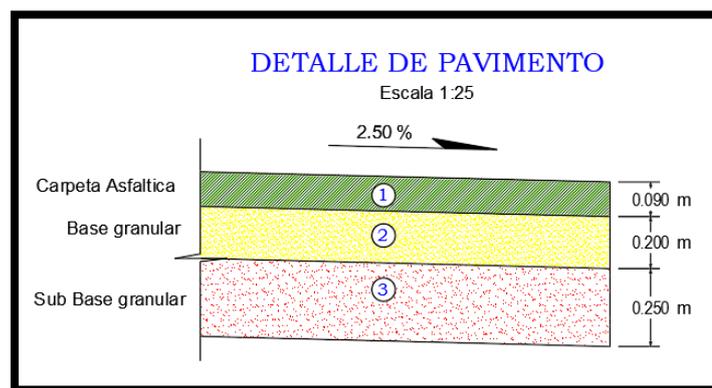


Figura N°56: Espesores de las capas

Fuente: Elaboración propia.

### c) Condición funcional del pavimento

Para la evaluación funcional se realizó la medición de la rugosidad, este dato como la deflexión se realizó en el estudio del expediente de saldo de obra de la carretera Canta – Huayllay que se realizó con un perfilómetro láser que está montado sobre una camioneta rural de tracción simple que está georefenciado con un GPS. La rugosidad en pavimentos es el parámetro que usa el Banco Mundial para esta medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Se observa la condición funcional del pavimento en la tabla N°8.

Tabla N°8. Condición funcional del pavimento

<b>Tramos</b>	<b>Km. Inicio</b>	<b>Km. Final</b>	<b>Longitud (Km)</b>	<b>IRI (m/km)</b>
1	0+000	21+050	21.05	2.0
2	21+050	24+680	3.63	2.0
3	24+680	35+000	10.32	2.0
4	35+000	75+000	40.00	2.0
5	75+000	95+200	20.20	2.0
6	95+200	95+500	300.00	2.0

Fuente: (Expediente informe técnico “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018)

## 5.3 Desarrollo de la Modelación de la carretera en HDM-4

### 5.3.1 Patrón de intensidad de tráfico

En la ventana de Modelo de Tránsito se ingresa:

- Número de horas en cada período de frecuencia de flujo,  $p$  (HRYP), el cual debe ser igual a 8760.
- Porcentaje de IMD en cada período de frecuencia de flujo,  $p$  (PCNADTP) que debe ser igual a 100.

Patrón de intensidad de tráfico: TRAFICO CANTA-HUAYLLAY

Definición:

Nombre: TRAFICO CANTA-HUAYLLAY

Uso de la carretera: Interurbano

Aceptar

Cancelar

Por defecto...

Datos de distribución del tráfico

Seleccionar método:  HV  PCNADT

Periodo	Descripción	Horas por año (HRYRp)	Tráfico horario (HVp)	% de IMD (PCNADTp)
1	Periodo 5	8760.00	0.042	100.00

Añadir periodo

Borrar periodo

8760.00 100.00

NB. HRYRp debe ser igual a 8760, y PCNADTp debe ser igual a 100

Nombre de este modelo de tráfico

Figura N°57. Patrón de intensidad tráfico

Fuente: Software HDM-4

### 5.3.2 Tipo velocidad/capacidad

En nuestro caso se seleccionó el tipo de carretera de dos carriles, para nuestros tramos que están dentro del ancho de 5.5 a 9 m. (Figura N°58).

Tipo de carretera	Ancho (m)	XQ <sub>1</sub>	XQ <sub>2</sub>	QL <sub>ult</sub> (PCSE/carril/h)	S <sub>ult</sub> (km/h)	Σmaxr (m/s <sup>2</sup> )
Carril sencillo	< 4	0.0	0.70	600	10	0.75
Intermedia	4 a 5.5	0.0	0.70	900	20	0.70
De dos carriles	5.5 a 9	0.1	0.90	1400	25	0.65
Ancho de dos carriles	9 a 12	0.2	0.90	1600	30	0.60
Cuatro carriles	>12	0.4	0.95	2000	40	0.60

Figura N°58. Parámetros de modelos velocidad / capacidad

Fuente: Kerali, McMullen y Odoki, Guía de aplicaciones (2000)

Los tipos de velocidad/capacidad del HDM-4, tienen las siguientes características de capacidad de la carretera Canta – Huayllay, se le coloca el número de carriles y el tipo de carretera (Figura N°59).

Tipo de velocidad/capacidad: VEL/CAP - CANTA HUAYLLAY

Nombre: VEL/CAP - CANTA HUAYLLAY

Capacidad

Tipo de carretera: Carretera de dos carriles

Capacidad última: 1400 PCSE/carril/hr

Cap. en tráfico libre: 0.1 (0 < XQ1 < 1)

Capacidad nominal: 0.9 (0 < XQ2 < 1)

Velocidad de atasco en capacidad: 25 km/h

Índice de accidentalidad (en nº/ 100 millones veh-km)

por composición: Mortal: 0  
Heridos: 0  
Solo daños: 0

total: Todos los accidentes: 0

Relativo a la velocidad

amax: 0.65 m/s²

CALBFAC: 1

Factor multiplicación velocidad deseada: 1

Etiqueta de tipo de velocidad/capacidad

Figura N°59. Tipo de velocidad / capacidad

Fuente: Software HDM-4

### 5.3.3 Zona climática

En la ventana zona climática, se clasificará por humedad y los datos son de las condiciones actuales de precipitación media mensual (mm), temperatura (°C) serán obtenidos del expediente técnico de la carretera Canta- Huayllay (Figura N°60).

Zona climática: CANTA - HUAYLLAY

Clima

Nombre: CANTA - HUAYLLAY

Clasificación por humedad: Semiárido

Índice de humedad: -40

Duración estación seca: 0.75 (como parte de un año)

Precipitación media mensual: 50 mm

Clasificación temperatura: Moderadamente frío

Temperatura media: 12 °C

Rango temperaturas medias: 15 °C

Días T>32°C: 15 días

Índice de helada: 55 °C-día

Porcentaje de tiempo que se conduce

Carreteras cubiertas nieve: 10 0<=PCTDS<=100

Carreteras cubiertas agua: 5 0<=PCTDW<=100

Porcentaje de tiempo que se conduce con carreteras mojadas

Figura N°60. Zona climática

Fuente: Software HDM-4

### 5.3.4 Moneda

El tipo de moneda que usaremos en nuestro caso para realizar todos los mantenimientos es en soles S/. (Figura N°61).



Figura N°61. Divisas

Fuente: Software HDM-4

### 5.3.5 Red de carreteras

La red de carreteras de HDM-4, se almacenan detalles de la carretera Canta – Huayllay, en nuestro caso la red está conformada por 6 tramos (Figura 62).

ID	Descripción	Fecha últ. modif.	Tipo de capa de rodadura	Tipo de firme	Longitud (km)	Ancho c/cazad(m)	Intensidad de Tráfico	Carriles	Ancho Ancl(m)	Tipo de velocidad/cap	Modelo de tráfico	Zona climática	Clase carretera	IMD TM	IMD TMM	Año de la IMD
T1	TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY)	13/09/2022	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr.	21.1	7.20	Ambos se	2.00	0.90	VEL/CAP - C	TRAFICO CA	CLIMA CANT	Secundaria c	709.00	0.00	201
T2	TRAMO 2 (CANTA-HUAYLLAY)	11/09/2022	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr.	3.6	7.20	Ambos se	2.00	0.90	VEL/CAP - C	TRAFICO CA	CLIMA CANT	Secundaria c	709.00	0.00	201
T3	TRAMO 3 (CANTA-HUAYLLAY)	11/09/2022	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr.	10.3	7.20	Ambos se	2.00	0.90	VEL/CAP - C	TRAFICO CA	CLIMA CANT	Secundaria c	709.00	0.00	201
T4	TRAMO 4 (CANTA-HUAYLLAY)	11/09/2022	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr.	40.0	7.20	Ambos se	2.00	0.90	VEL/CAP - C	TRAFICO CA	CLIMA CANT	Secundaria c	709.00	0.00	201
T5	TRAMO 5 (CANTA-HUAYLLAY)	11/09/2022	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr.	20.2	7.20	Ambos se	2.00	0.90	VEL/CAP - C	TRAFICO CA	CLIMA CANT	Secundaria c	709.00	0.00	201
T6	TRAMO 6 (CANTA-HUAYLLAY)	11/09/2022	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr.	21.1	7.20	Ambos se	2.00	0.90	VEL/CAP - C	TRAFICO CA	CLIMA CANT	Secundaria c	709.00	0.00	201

Figura N°62. Red de carreteras

Fuente: Software HDM-4

Creación de la red de carretera, se ingresaron todos los datos geométricos del expediente técnico de la carretera Canta- Huayllay, seleccionamos el tipo de vel/cap, seleccionamos el modelo de tráfico creado, la zona climática, la clase de carretera y el tipo de tráfico. Es importante especificar el año de construcción de la carretera, el tipo de carpeta de rodadura en nuestro caso es bituminosa y también el número de carriles (Figura N°63).

Tramo: TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY) ×

Definición		Geometría		Firme		Estado	
Nombre del tramo:	TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY)	Longitud:	21.05 km				
ID del tramo:	T1	Ancho de calzada:	7.2 m				
Nombre ruta:	CANTA-HUAYLLAY	Ancho de arcén:	0.9 m				
ID de ruta:	001	Número de camiles:	2				
Tipo de vel/cap:	VEL/CAP - CANTA- HUAYLLAY	Trafico					
Modelo de tráfico:	TRAFICO CANTA-HUAYLLAY	Motorizado:	709 IMD				
Zona climática:	CLIMA CANTA HUAYLLAY	No motorizado:	0 IMD				
Clase carretera:	Secundaria o principal	Año:	2018				
Tipo c.rodadura:	Bituminosa	Sentido:	Ambos sentidos				
Tipo firme:	Mezcla bituminosa sobre base granular						

Nombre del tramo

Figura N°63. Datos del tramo – 1

Fuente: Software HDM-4

#### - Geometría

En la ventana de geometría del tramo Canta - Huayllay, se detallan la velocidad límite y altitud (Figura N°64).

Tramo: TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY) ×

Definición		Geometría		Firme		Estado	
Rampas + pendientes:	38.1 m/km						
Curvatura horizontal media:	335.6 %/km						
Velocidad límite:	50 km/h						
Altitud:	3500 m						
Tipo dren:	Forma de V - duro						

Rampa más pendiente media de la carretera (en m/km)

Figura N°64. Ingreso del tramo - geometría del tramo

Fuente: Software HDM-4

#### - Firme

En la ventana se muestra la capacidad estructural del firme y colocamos los datos del tipo de material del pavimento y espesor más reciente (Figura N°65).

Tramo: TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY)

Definición | Geometría | Firme | Estado

Capa de Rodadura

Tipo material: Mezcla bituminosa

Espesor más reciente: 90 mm

Espesor anterior/antiguo: 0 mm

Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)

Últ. reconst. o nueva const.: 2018 año

Última rehabilitación (capa rodadura): 2018 año

Último repavimentado (resellado): 2018 año

Último tratamiento preventivo: 2018 año

Capacidad de Soporte

Parámetros calc. para estación seca

SNP: 1.43 DEF: 3.60 mm

[1]  Número estructural: 3.9

CBR explanada: 40 %

Estación seca  Estación húmeda

[2]  SNP calculado:

Base (sólo para bases estabilizadas)

Espesor base: mm

Módulo Resistente: GPa

Detalles...

Material de la capa de rodadura

Figura N°65. Firme del tramo 1

Fuente: Software HDM-4

Se define los parámetros requeridos para calcular el SNP (Figura N°66)

Asistente para cálculo del SNP - Paso 2 de 3

**Paso 2: Definir parámetros requeridos para calcular el SNP usando espesores y coeficientes de capas:**

Coefs. de resistencia definidos para:

Estación seca

Estación húmeda

Coeficientes y espesores

Capa:	Coefs:	Espesores:
Rodadura:	0.35	90 mm
Base:	0.15	200 mm
Subbase:	0.15	250 mm
Explanada:	40	%

Explicada: CBR

< Atrás  Cancelar

Espesor de la subbase en mm

Figura N°66. Coeficientes y espesores

Fuente: Software HDM-4

El estado del tramo se puede observar en la figura N°67.

TEXTURA SUPERFICIAL	SUPERFICIE DE RODADURA TRATAMIENTO SUPERFICIAL		SUPERFICIE DE RODADURA MEZCLA ASFÁLTICA	
	TEXTURA (MM)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN (SCRIM A 50 KM/H)	TEXTURA (MM)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN (SCRIM A 50 KM/H)
Buena	1.50	0.60	0.70	0.50
Regular	0.70	0.45	0.50	0.40
Mala (superficie resbaladiza)	0.30	0.30	0.30	0.30

Figura N°67. Textura superficial

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014)

En la ventana de estado tenemos las características del pavimento del tramo: Canta- Huayllay, el cual se muestra en la siguiente (Figura N°68).

Tramo: TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY) X

Definición | Geometría | Fime | Estado

Estado a final de año	2018
Regularidad (IRI - m/km)	2.00
Área total fisurada (%)	5.00
Área con desp. de áridos (%)	30.00
Número de baches (N <sup>o</sup> /km)	5.00
Área con rotura de borde (m <sup>2</sup> /km)	5.00
Profundidad media de roderas	15.00
Textura (mm)	0.50
Rozamiento (SCRIM 50 km/h)	0.40
Drenaje	Regular ▼

Nuevo año  
Borrar año  
Ordenar años

Detalles... Aceptar Cancelar

Datos de estado anuales

Figura N°68. Estado del tramo 1

Fuente: Software HDM-4

### 5.3.6 Parque automotor

Tabla N°9. Características básicas de parqueo de vehículos HDM-4

	Características Básicas								
	Autos	Veh. De reparto ligero	Minibús	Autobús Medio	Autobús Pesado	Camión ligero	Camión mediano	Camión pesado	Camión articulado
Tiempo de pasajero (PAS-HR)	6.56	6.56	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94
Tiempo de carga (TON-HR)	0.00	0.49	0.49	0.49	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Tiempo de ocio	2.17	2.17	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Esalf (E4)	0	0	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
N° de Ejes	2	2	2	2	2	2	2	3	5
N° de Neumáticos	4	4	6	6	6	6	6	10	18
N° de Pasajeros	3	5	25	40	40	2	2	2	2

Peso bruto (kg)	1580	2590	5900	15000	20000	8500	18400	28218	48850
Corrección N° Eje					3		3	4	
Corrección N° Neumáticos					10		10	14	
KM Anual	25000	40000	100000	120000	120000	70000	90000	100000	100000

Fuente: MTC, Parámetros requeridos y opcionales para uso de HDM-4 (2011).

Tabla N°10. Costes económicos unitarios de vehículos HDM-4

	Costes Económicos Unitario (Soles)								
	Autos	Veh. De reparto ligero	Minibús	Autobús Medio	Autobús Pesado	Camión ligero	Camión mediano	Camión pesado	Camión articulado
Vehículo Nuevo	73595. 00	107010. 00	246943. 00	520700. 00	606800. 00	606800. 00	517830. 00	623323. 00	713605. 00
Neumático Repuesto	200.90	340.30	623.20	1529.30	1529.30	1939.30	1939.30	1939.30	1939.30
Combustible (Lt)	4.30	4.30	4.30	4.30	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01
Aceite Lubricante (Lt)	32.26	32.26	32.26	32.26	24.78	24.78	24.78	24.78	24.78
Mantenimiento TO (hr)	10.78	10.78	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34
Tripulación (hr)	0.00	5.00	5.00	16.20	16.20	9.64	12.71	14.64	14.64
Gastos Generales	2087.2 7	2087.27	2087.27	2087.27	2087.27	2385.46	2385.46	2385.46	2385.46
Interés Anual (%)	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Fuente: MTC, Parámetros requeridos y opcionales para uso de HDM-4 (2011).

- Definición de flota vehicular (Autos)

En esta opción se realiza el llenado del nombre de vehículo y además definiciones básicas y tipo de clase y categoría de vehículo (Figura N°69).

Características del vehículo: Autos

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

Nombre: Autos

Tipo base: Coche medio

Clase: Coche de pasajeros

Categoría: Motorizado

Descripción: vehículos de pasajeros medios

Método de vida:  Vida constante  Vida óptima

Calibración...  
Valores por Defecto

Aceptar  
Cancelar

Realizar el análisis RUE con el modelo de duración de la vida constante

Figura N°69. Características del vehículo

Fuente: Software HDM-4

- Características básicas (Autos)

En esta ventana se muestran las principales características básica del Auto de circulación de nuestra carretera Canta – Huayllay (Figura N°70).

Características del vehículo: Autos

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

Físicas

Espacio equiv. en vehículo de pasajeros: 1

Nº de ruedas: 4

Nº de ejes: 2

Neumáticos

Tipo neumático: Radial

Nº de recauchutados: 1.3

Coste recauchutado: 15 %

Utilización

Km anuales: 25000 km

Horas trabajo: 550 h

Vida media: 10 años

Uso privado: 100 %

Pasajeros: 3 persona

Viajes de trabajo: 75 %

Carga

ESALF: 0

Peso en marcha: 1.58 toneladas

Calibración...  
Valores por Defecto

Aceptar  
Cancelar

Factor de equivalencia del espacio de coche pasajeros (PCSE)

Figura N°70. Características básicas del vehículo

Fuente: Software HDM-4

- Costes económicos (Autos)

Características del vehículo: Autos

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

Recursos del vehículo

Vehículo nuevo: 73595

Neumático repuesto: 200.9

Combustible: 4.3 por litro

Aceite lubricante: 32.26 por litro

Mantenimiento: 10.78 por hora

Tripulación: 0 por hora

Gastos Generales: 2087.27

Interés anual: 14 %

Valor del tiempo

Pasajero: tiempo de trabajo: 6.56 por hora

Pasajero: tiempo de ocio: 2.17 por hora

Retraso carga: 0 por hora

Todos los costes deben expresarse en la moneda del parque - Soles

Calibración...

Valores por Defecto

Aceptar

Cancelar

Coste medio de compra de un vehículo nuevo de este tipo

Figura N°71. Costes económicos unitarios del vehículo

Fuente: Software HDM-4

- Definición de flota vehicular (Camiones)

Las características básicas de los camiones en donde detallamos su tipo, categoría y descripción del vehículo a realizar (Figura N°72).

Características del vehículo: Camion 2E

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

Nombre: Camion 2E

Tipo base: Camión ligero

Clase: Camiones

Categoría: Motorizado

Descripción: pequeño camión de dos ejes (aprox. < 3,5 toneladas)

Método de vida:  Vida constante  Vida óptima

Calibración...

Valores por Defecto

Aceptar

Cancelar

Ver las características del vehículo

Figura N°72. Características del vehículo

Fuente: Software HDM-4

- Características básicas (camiones ligeros)

Se detallan las principales características de los camiones que circulan por la carretera Canta – Huayllay (Figura N°73).

Características del vehículo: Camion 2E

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

**Físicas**

Espacio equiv. en vehículo de pasajeros : 1.3  
 Nº de ruedas: 6  
 Nº de ejes: 2

**Neumáticos**

Tipo neumático: Diagonal  
 Nº de recauchutados: 1.3  
 Coste recauchutado: 15 %

**Utilización**

Km anuales: 70000 km  
 Horas trabajo: 1300 h  
 Vida media: 8 años

Uso privado: 0 %  
 Pasajeros: 2 persona  
 Viajes de trabajo: 75 %

**Carga**

ESALF: 3.4  
 Peso en marcha: 8.5 toneladas

Calibración...  
 Valores por Defecto

Aceptar  
 Cancelar

Factor de equivalencia del espacio de coche pasajeros (PCSE)

Figura N°73. Características básicas del vehículo

Fuente: Software HDM-4

- Costes económicos (camiones 2E)

Características del vehículo: Camion 2E

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

**Recursos del vehículo**

Vehículo nuevo: 606800  
 Neumático repuesto: 1939.3  
 Combustible: 4.01 por litro  
 Aceite lubricante: 24.78 por litro

Mantenimiento: 12.34 por hora  
 Tripulación: 9.64 por hora  
 Gastos Generales: 2385.46  
 Interés anual: 14 %

**Valor del tiempo**

Pasajero: tiempo de trabajo: 3.94 por hora  
 Pasajero: tiempo de ocio: 1.01 por hora  
 Retraso carga: 0.37 por hora

Todos los costes deben expresarse en la moneda del parque - Soles

Calibración...  
 Valores por Defecto

Aceptar  
 Cancelar

Coste medio de compra de un vehículo nuevo de este tipo

Figura N°74. Costes económicos unitarios del vehículo

Fuente: Software HDM-4

Los datos generales de toda nuestra flota vehicular con todos los tipos de vehículos que circulan por la carretera de estudio. (Figura N°75).

Nombre	Clase	Fecha últ. modif.	Tipo base	Categoría
Autos	Coche de pasajero	11/09/2022	Coche medio	Motorizado
Bus Inteprovincial	Autobuses	20/09/2022	Autobús pesado	Motorizado
Bus Interurbano	Autobuses	20/09/2022	Autobús medio	Motorizado
Camion 2E	Camiones	20/09/2022	Camión ligero	Motorizado
Camion 3E	Camiones	20/09/2022	Camión mediano	Motorizado
Camion 4E	Camiones	20/09/2022	Camión pesado	Motorizado
Semi trailer	Camiones	20/09/2022	Camión articulado	Motorizado

Figura N°75. Parque de vehículos de Carretera Canta – Huayllay

Fuente: Software HDM-4

### 5.3.7 Estándar de conservación

Los estándares de conservación nos ayudan a ver los niveles de conservación de las carreteras y realizar las estrategias o alternativas con un conjunto de actividades para establecer el nivel mínimo de servicio permitido.

Cada estándar de conservación está definido por el tipo de capa de rodadura, tráfico, operatividad, costos económicos, tipos de fallas, entre otras cosas. En la figura N°76 se puede observar la lista de actividades del manual de conservación de carreteras.

3a. Niveles de servicio para: CALZADA (Tratamiento Superficial)		Nivel de Servicio Tipo de Vía				
		Autopista 1ª clase	Autopista 2ª clase	Carretera 1ª clase	Carretera 2ª Clase	Carretera 3ª Clase
Parámetro	Medida	IMD > 6000	4001 ≤ IMD ≤ 6000	2001 ≤ IMD ≤ 4000	400 ≤ IMD ≤ 2000	IMD < 400
Piel de Cocodrilo	Porcentaje máximo de área con piel de cocodrilo	-	-	-	-	0%
Fisuras Longitudinales	Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor	-	-	-	-	0%
	Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor	-	-	-	-	5%
Deformación por deficiencia estructural	Porcentaje máximo de área con hundimientos mayores que 25 mm.	-	-	-	-	0%
Ahuellamiento	Porcentaje máximo de área con ahuellamiento mayor que 12 mm.	-	-	-	-	5%
Reparaciones o parchados	Porcentaje máximo de parches en mal estado	-	-	-	-	0%
	Porcentaje máximo de áreas con peladuras	-	-	-	-	5%
Peladura y Desprendimiento	Porcentaje máximo de áreas con desprendimiento	-	-	-	-	0%
	Porcentaje máximo de áreas con Baches (huecos)	-	-	-	-	0%
Baches (Huecos)	Porcentaje máximo de área con Baches (huecos)	-	-	-	-	0%
	Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor	-	-	-	-	0%
Fisuras Transversales	Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor	-	-	-	-	5%
	Porcentaje máximo de longitud con desprendimiento de bordes	-	-	-	-	5%
Desprendimiento de bordes	Porcentaje máximo de longitud con desprendimiento de bordes	-	-	-	-	5%
Rugosidad Obra Nueva	Rugosidad característica del tramo (TSB nuevo)	-	-	-	-	3.0 IRI <sub>s</sub> (1)
Rugosidad Obra con Recapa Asfáltica	Rugosidad característica del tramo (TSB con Recapa Asfáltica)	-	-	-	-	3.5 IRI <sub>s</sub> (1)
Rugosidad Periodo de Servicio	Rugosidad característica del tramo (TSB Periodo de Servicio)	-	-	-	-	4.3 IRI <sub>s</sub> (1)
Fricción Superficial	Coefficiente de fricción medido en pavimento mojado	-	-	-	-	No menor de 0.50

(\*) De acuerdo al Manual de Suelos y Pavimentos del MTC las superficies de rodadura con Tratamiento Superficial se aplican en caminos con IMD ≤ 4000 no obstante en caso de presentarse Tratamientos Superficiales en Caminos con IMD > 4000 vehiculos, los niveles de servicio serán los que determine la Entidad encargada de la Conservación Vial.

(1) IRI<sub>s</sub> característico (IRI<sub>s</sub>), a la confiabilidad de 70%

IRI<sub>s</sub> = IRI<sub>p</sub> + 0.524 × ds

IRI<sub>p</sub> = IRI promedio

ds = desviación estándar

Fuente: Elaboración Propia, en base a Contratos de Concesión Vial, Contratos por Niveles de Servicio, Tabla de parámetros globales del HDM4, Manual de Suelos y Pavimentos del MTC.

Figura N°76. Conservación de pavimentos flexibles

Fuente: MTC, Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial (2016)

En la siguiente figura se muestra el tipo de intervención de cada actividad de trabajo en el HDM-4. (Figura N°77)

Actividad de Mantenimiento	Tipo de Intervención
Mantenimiento Rutinario	Miscelaneos
Bacheo Superficial en Calzada	Bacheo
Sello de Fisuras con Emulsión	Sello de Fisuras
Fog Seal	Fog Seal
Chip Seal de 3/8"	Tratamiento Superficial Monocapa
Slurry Seal Tipo II	Ligante de Sellado
Slurry Seal Tipo III	Sello de Capa
Cape Seal	Sello de Capa
Recapeo de 4.0 cm	Refuerzo Delgado
Reciclado de Pavimento	Reconstrucción del Firme

Figura N°77. Alternativas de solución en programa HDM-4

Fuente: Elaboración propia

### Estándar de conservación de carretera Canta -Huayllay

Alternativa base.

Estándar de conservación: ALTERNATIVA BASE

General

Nombre: ALTERNATIVA BASE

Código: MR

Tipo capa rodadura: Bituminosa

Tareas

Tarea	Código
MANTENIMIENTO RUTINARIO	MR

Nombre de este estándar de conservación

Figura N°78. Alternativa base

Fuente: Software HDM-4

## Alternativa 1.

Estándar de conservación: ALTERNATIVA 1

General

Nombre: ALTERNATIVA 1

Código: ALT-1

Tipo capa rodadura: Bituminosa

Aceptar

Cancelar

Tareas

REFUERZO ASFALTICO	RA25
BACHEO	BCH
SELLADO DE FISURAS Y GRIETAS	SFG
MANTENIMIENTO RUTINARIO	MR

Nueva tarea...

Copiar tarea

Borrar tarea

Editar...

Nombre de este estándar de conservación

Figura N 79. Estándar de conservación de la alternativa 1

Fuente: Software HDM-4

## Alternativa 2.

Estándar de conservación: ALTERNATIVA 2

General

Nombre: ALTERNATIVA 2

Código: ALT02

Tipo capa rodadura: Bituminosa

Aceptar

Cancelar

Tareas

REFUERZO ASFALTICO E=40MM	RA40
BACHEO	BCH
SELLADO DE FISURAS Y GRIETAS	SFG
MANTENIMIENTO RUTINARIO	MR

Nueva tarea...

Copiar tarea

Borrar tarea

Editar...

Nombre de este estándar de conservación

Figura N°80. Estándar de conservación alternativa 2

Fuente: Software HDM-4

### Alternativa 3.

Tareas	
SLURRY SEAL	SSII
BACHEO	BCH
SELLADO DE FISURAS Y GRIETAS	SFG
MANTENIMIENTO RUTINARIO	MR

Figura N°81. Estándar de conservación de la alternativa 2

Fuente: Software HDM-4

Alternativa 4. Estándar de mejora: mejora de pavimento asfáltico, duración 5 años. El estándar de mejora se puede observar en la figura N°82.

Tipo de Intervención	
<input checked="" type="radio"/> Programada	<input type="radio"/> Correctiva

Figura N°82. Alternativa 4 – Estándar de mejora

Fuente: Software HDM-4

#### 5.3.8 Creación de proyecto

- Descripción general del proyecto

Para realizar el proyecto debemos completar todas opciones dadas en el software como los 4 puntos de trabajos ubicados en el lado izquierdo de la ventana, y definir el proyecto de la carretera. En donde se detalla la

descripción y desde el año de inicio y selección de carretera y parque de vehículos como la salida de moneda a analizar. (Figura N°83)

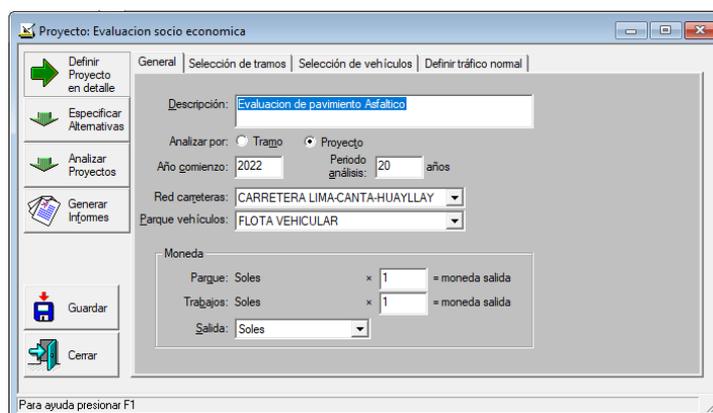


Figura N°83. Proyecto: evaluación socioeconómica

Fuente: Software HDM-4

Tabla N°11. Costos económicos de alternativas de mantenimiento periódico

Descripción	Unidades	Precio unitario
Mantenimiento rutinario	Soles/km-año	15 295,94
Lechada asfáltica (slurry seal)	Soles/m2	18,11
Refuerzo asfáltico de 25 mm	Soles/m2	17,34
Refuerzo Asfáltico de 37,5 mm	Soles/m2	31,98
Parchado superficial	Soles/m2	42,59
Parchado profundo	Soles/m3	79,15
Sellado de fisuras y grietas	Soles/ m2	70,51

Fuente: Vargas, J.C (2017). Evaluación técnica y económica entre las modalidades ejecutivas de conservación vial aplicando el modelo HDM-4 en la carretera PE-38 tramo: Tacna Tarata. (Tesis de Licenciatura) Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann- Tacna, Tacna. Perú

Tabla N°12. Costos financieros de alternativas de mantenimiento periódico

Descripción	Unidades	Precio unitario
Mantenimiento rutinario	Soles/km-año	20 394,59
Lechada asfáltica (slurry seal)	Soles/m2	24,14
Refuerzo asfáltico de 25 mm	Soles/m2	23,12
Refuerzo Asfáltico de 37,5 mm	Soles/m2	42,64
Parchado superficial	Soles/m2	56,78
Parchado profundo	Soles/m3	105,54
Sellado de fisuras y grietas	Soles/ m2	94,01

Fuente: Vargas, J.C (2017). Evaluación técnica y económica entre las modalidades ejecutivas de conservación vial aplicando el modelo HDM-4 en la carretera PE-38 tramo: Tacna Tarata. (Tesis de Licenciatura) Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann- Tacna, Tacna. Perú

Costes de los trabajos y consumo de energía por defecto

Operación	Coste econ. unit.	Coste finan. unit.	Unidades	Línea presupuestari
Restauración de la transferencia de carga	0.00	0.00	por m <sup>2</sup>	Capital
Sellado de juntas	0.00	0.00	por m	Capital
Refuerzo adherido	0.00	0.00	por m <sup>2</sup>	Capital
Misceláneos	15295.94	20394.59	por km y por a	Recurrente
Reparación de arcén	0.00	0.00	por km y por a	Recurrente
Reparación del carril de vehículos no	0.00	0.00	por km y por a	Recurrente
Emergencia	0.00	0.00	por km y por a	Especial
Invierno	0.00	0.00	por km y por a	Especial

Moneda: Soles    Aceptar    Cancelar    Energía >>

Figura N°84. Costes del trabajo misceláneos

Fuente: Software HDM-4

Costes de los trabajos y consumo de energía por defecto

Operación	Coste econ. unit.	Coste finan. unit.	Unidades	Línea presupuestari
Sellado de fisuras	70.51	94.01	por m <sup>2</sup>	Recurrente
Bacheo	33.56	25.16	por m <sup>2</sup>	Recurrente
Reparación de borde	0.00	0.00	por m <sup>2</sup>	Recurrente
Riego antipolvo	0.00	0.00	por m <sup>2</sup>	Recurrente
Drenaje	0.00	0.00	por km	Recurrente
Ligante de sellado	0.00	0.00	por m <sup>2</sup>	Capital
Regeneración	0.00	0.00	por m <sup>2</sup>	Recurrente
Refuerzo delgado	17.34	23.12	por m <sup>2</sup>	Capital

Moneda: Soles    Aceptar    Cancelar    Energía >>

Figura N°85. Costes del trabajo de sellado de fisuras

Fuente: Software HDM-4

- Definición del proyecto a detalle

El siguiente paso es la selección de tramos en nuestro caso son los 6 tramos homogéneos realizados por nuestro expediente, así mismo como la selección de vehículos y tráfico normal. (Figura N°86)

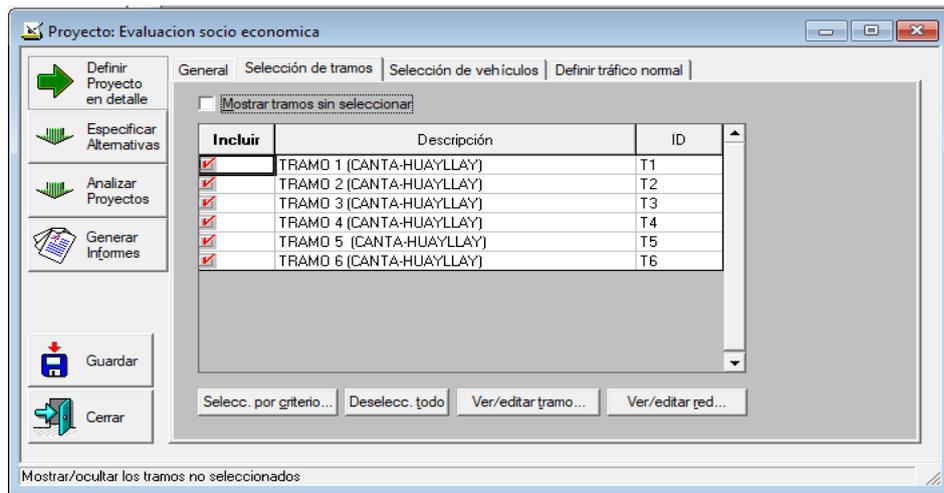


Figura N°86. Selección de tramos del proyecto: evaluación socioeconómica

Fuente: Software HDM-4

- Especificación de alternativas

Se realiza la definición de nuestras alternativas o estrategias realizadas anteriormente que se desean analizar y que podamos ver sus informes (Figura N°87).

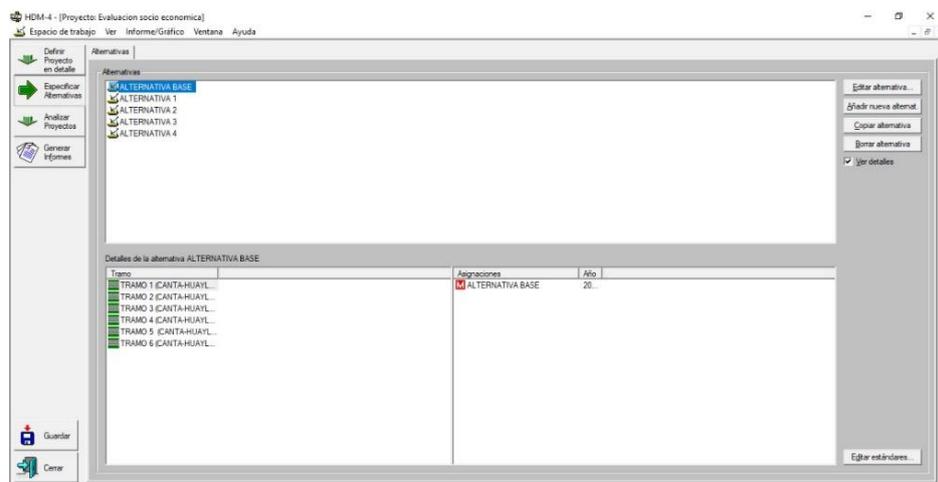


Figura N°87. Selección de alternativas del proyecto: evaluación socioeconómica

Fuente: Software HDM-4

- Análisis de proyecto

Se realizó la configuración de ejecución, análisis del proyecto y evaluación socioeconómica de los datos en donde seleccionamos la alternativa 1. (Figura N°88)

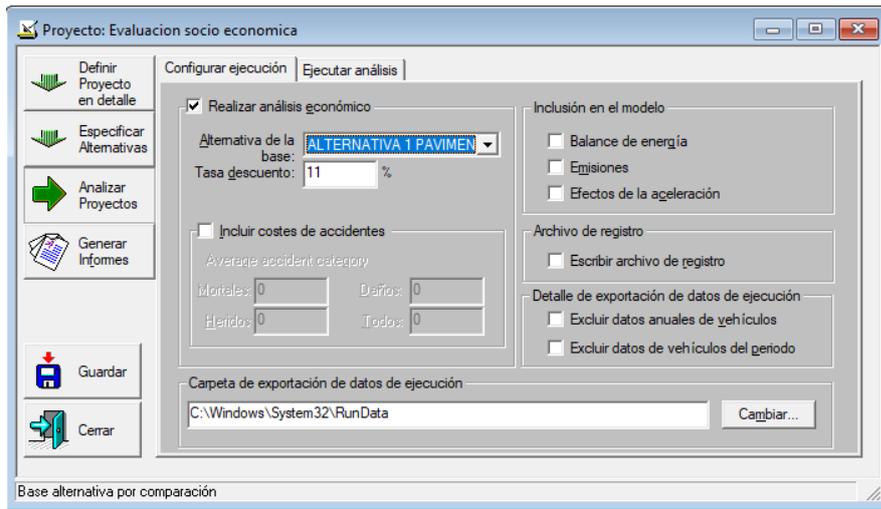


Figura N°88. Evaluación socioeconómica

Fuente: Software HDM-4

- Generar informes

En esta ventana se detalla los informes generados por el software y examinamos los resultados de la carretera en estudio para la alternativa base (Figura N°89).

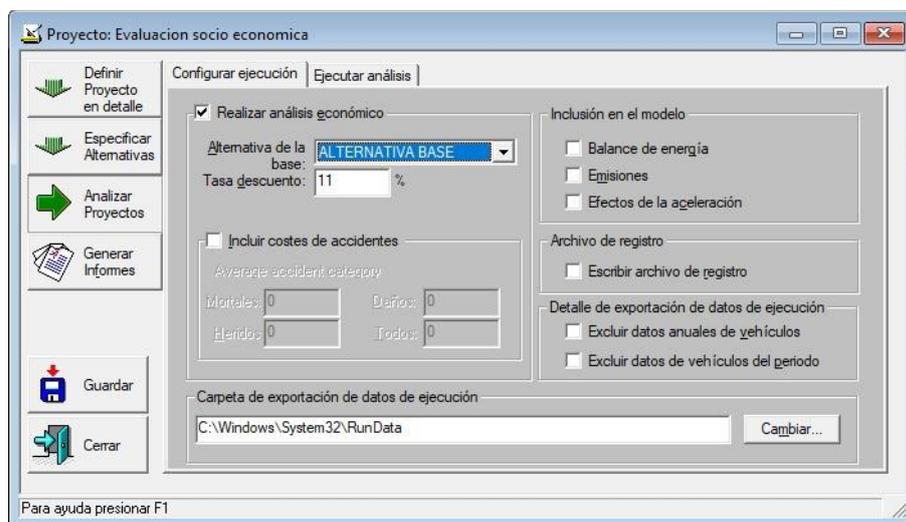


Figura N°89. Generar informes del proyecto: evaluación socioeconómica

Fuente: Software HDM-4

Se realizó el módulo de análisis de estrategias con opción de maximizar el DIRI, como se puede observar en la figura N°90.

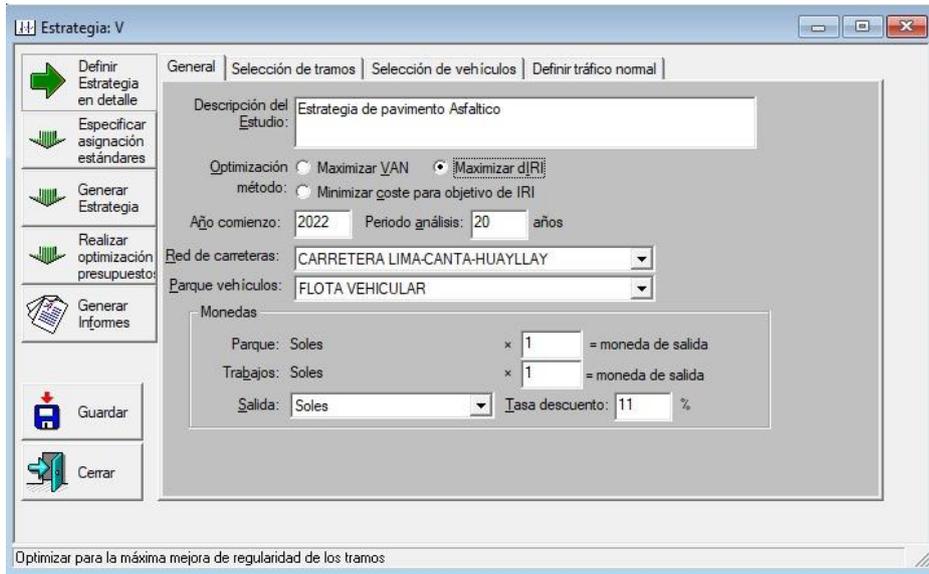


Figura N°90. Módulo de análisis de estrategias

Fuente: Software HDM-4

Se realizó la elección de optimización de estrategias para la obtención de la inversión es maximizar VAN, como se puede observar en la figura N°91.

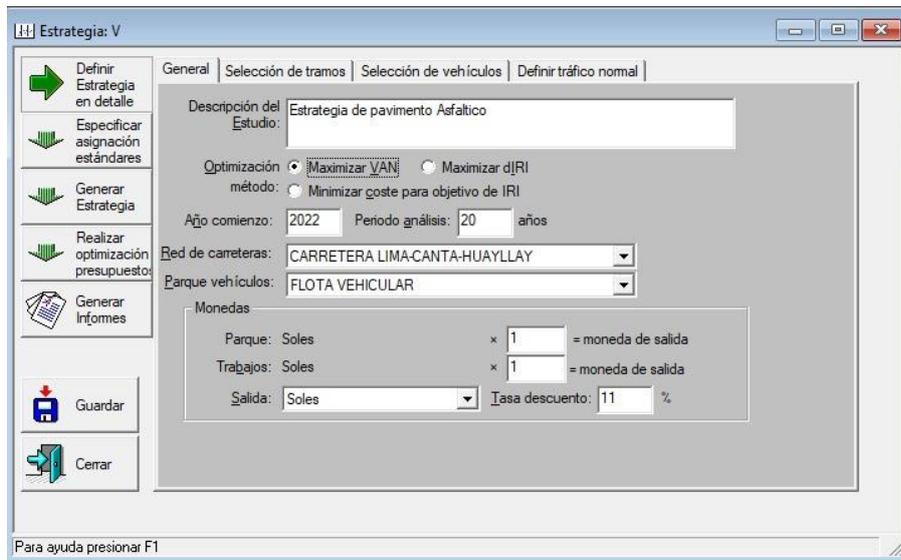


Figura N°91. Elección de optimización de estrategia para obtener la inversión

Fuente: Software HDM-4

## 5.4 Presentación de Resultados

### 5.4.1 Tránsito diario promedio anual (TDPA) por alternativa

#### Alternativas de conservación:

#### Alternativa Base

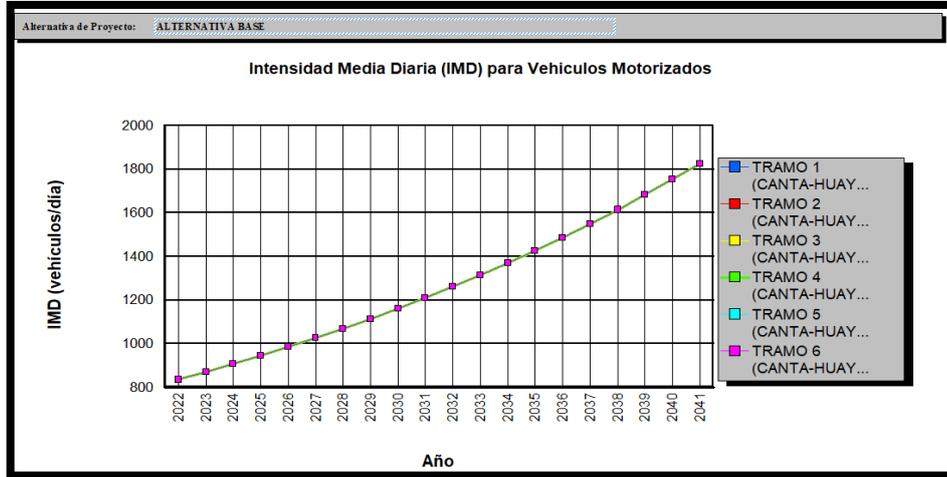


Figura N°92. Intensidad media diaria para alternativa base

Fuente: Software HDM-4

#### Alternativa 1

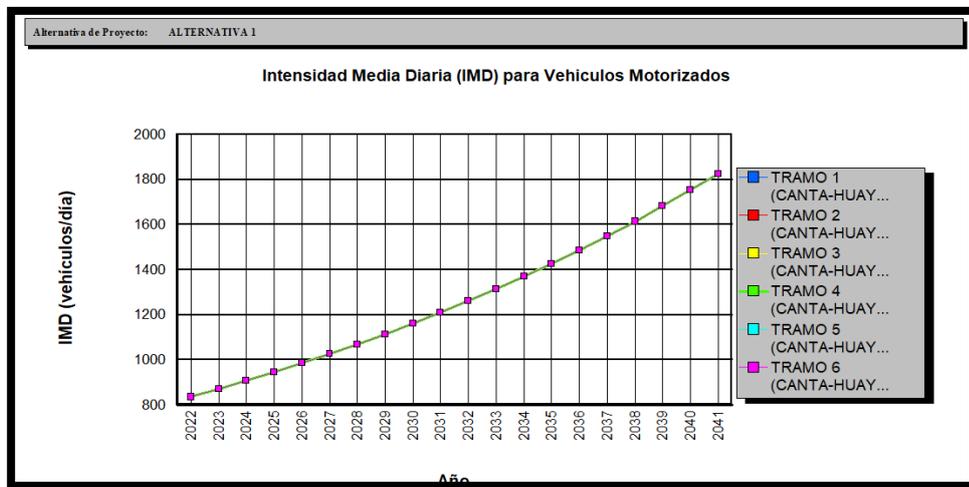


Figura N°93. Intensidad media diaria para alternativa 1

Fuente: Software HDM-4

## Alternativa 2

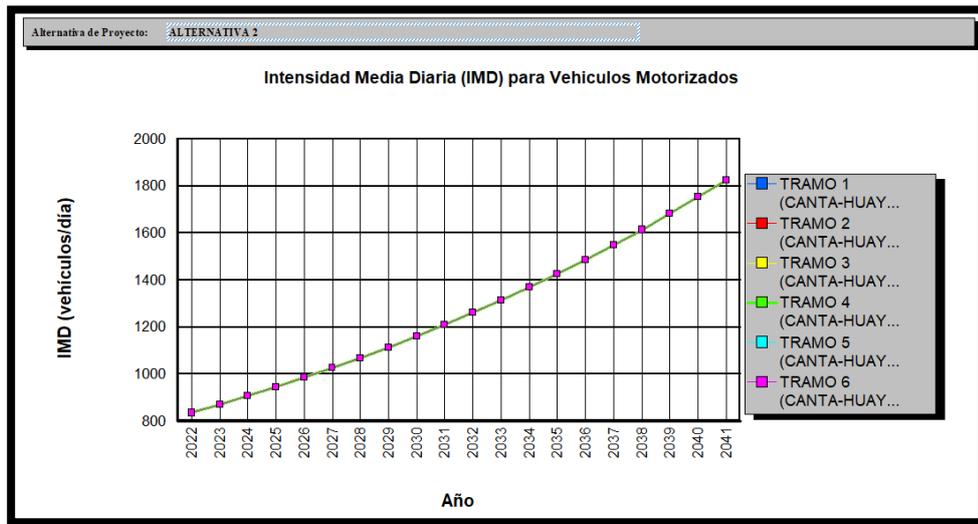


Figura N°94. Intensidad media diaria para alternativa 2

Fuente: Software HDM-4

## Alternativa 3

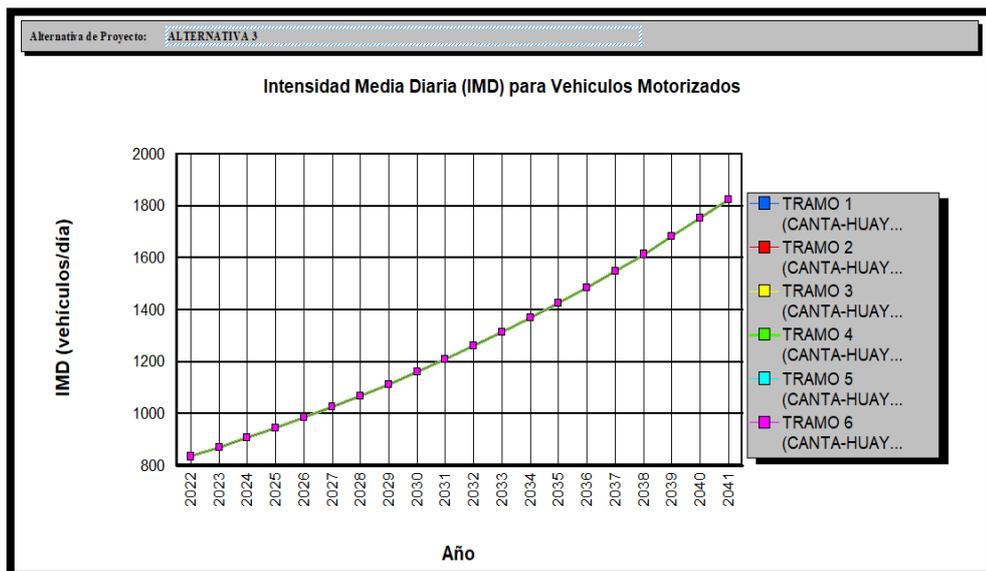


Figura N°95. Intensidad media diaria para alternativa 3

Fuente: Software HDM-4

## Alternativa de Mejora - Alternativa 4

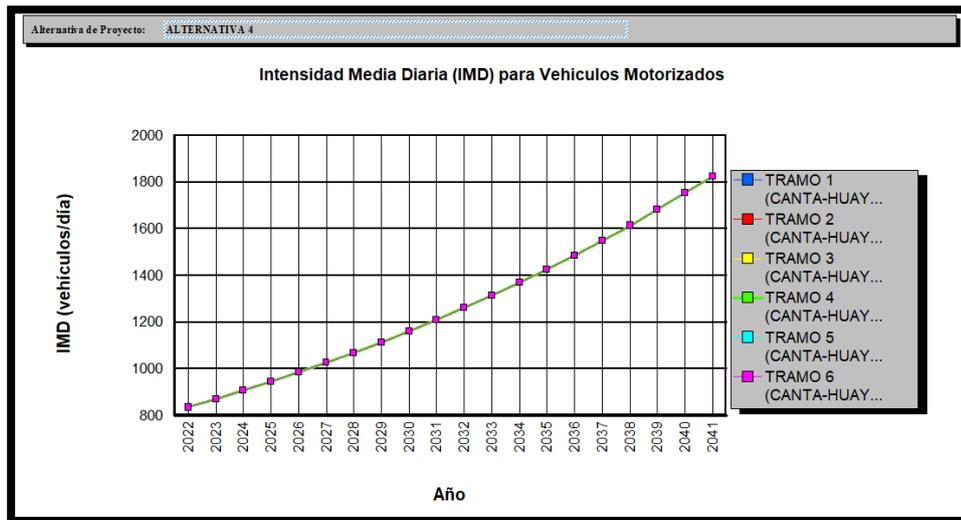


Figura N°96. Intensidad media diaria para alternativa 4

Fuente: Software HDM-4

### 5.4.2 Tránsito diario promedio anual (TDPA) por tramo

#### Tramo 1

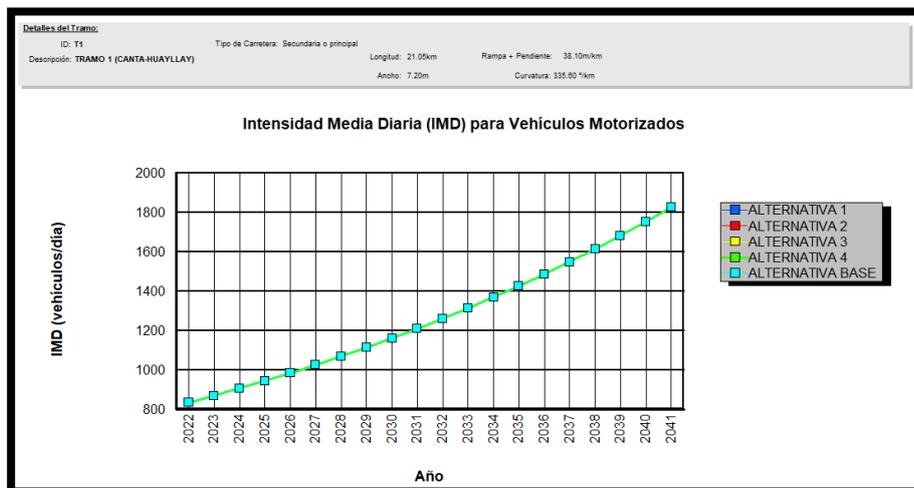


Figura N°97. Tránsito diario promedio anual para tramo 1

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 2

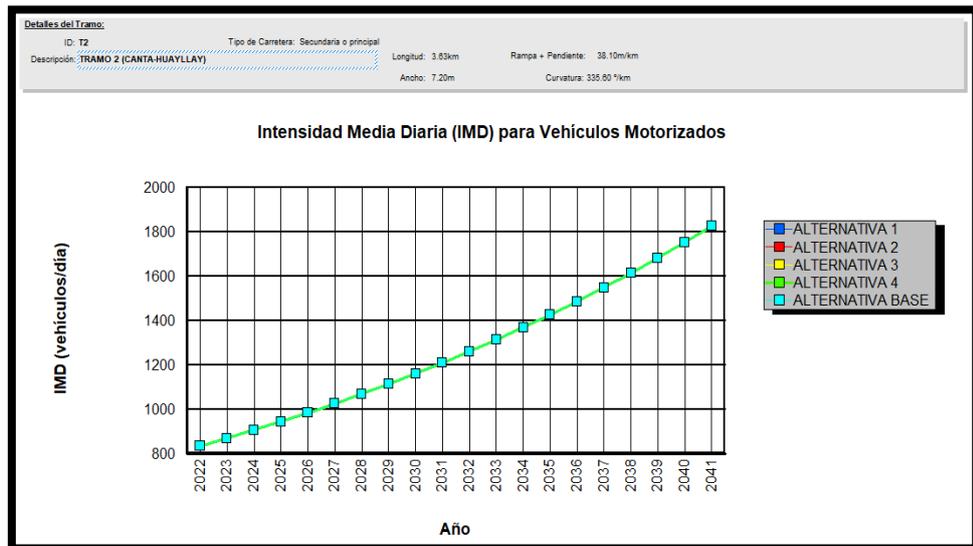


Figura N°98. Tránsito diario promedio anual para tramo 2

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 3

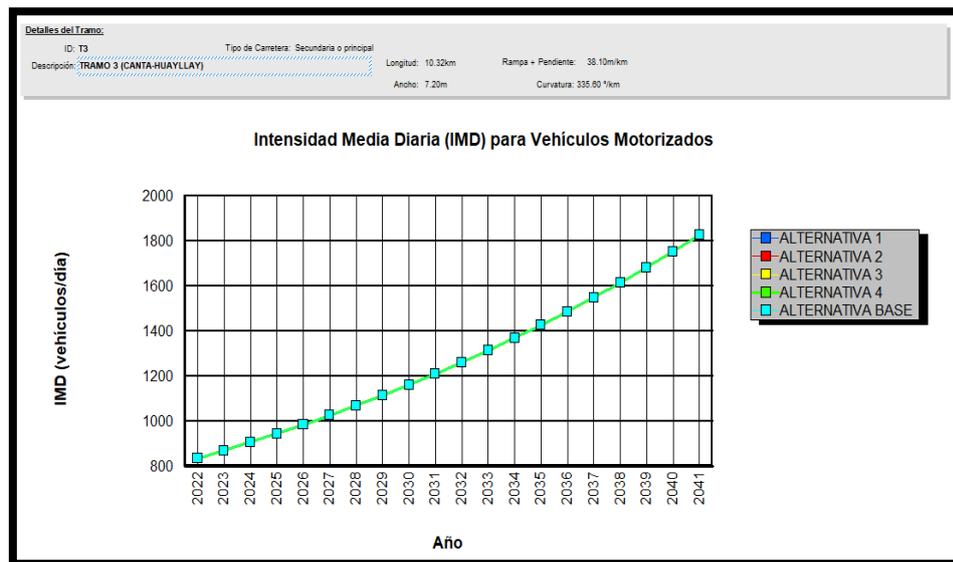


Figura N°99. Tránsito diario promedio anual para tramo 3

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 4

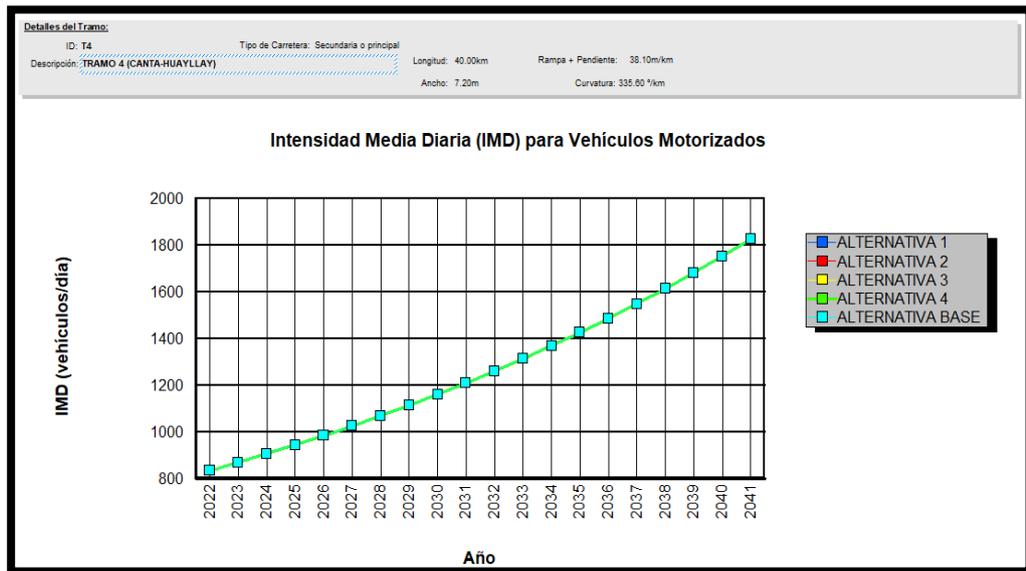


Figura N°100. Tránsito diario promedio anual para tramo 4

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 5

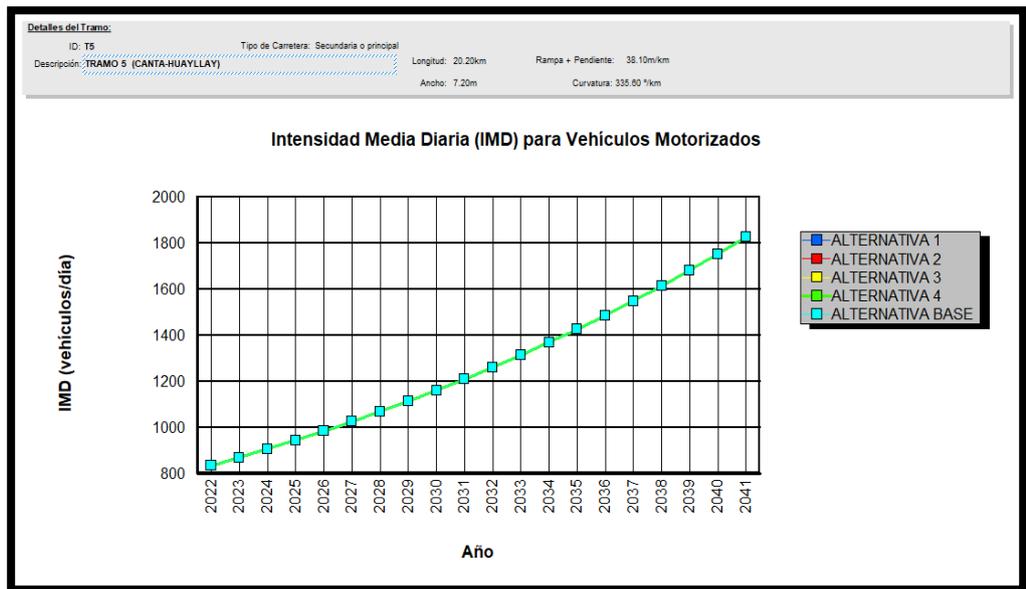


Figura N°101. Tránsito diario promedio anual para tramo 5

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 6

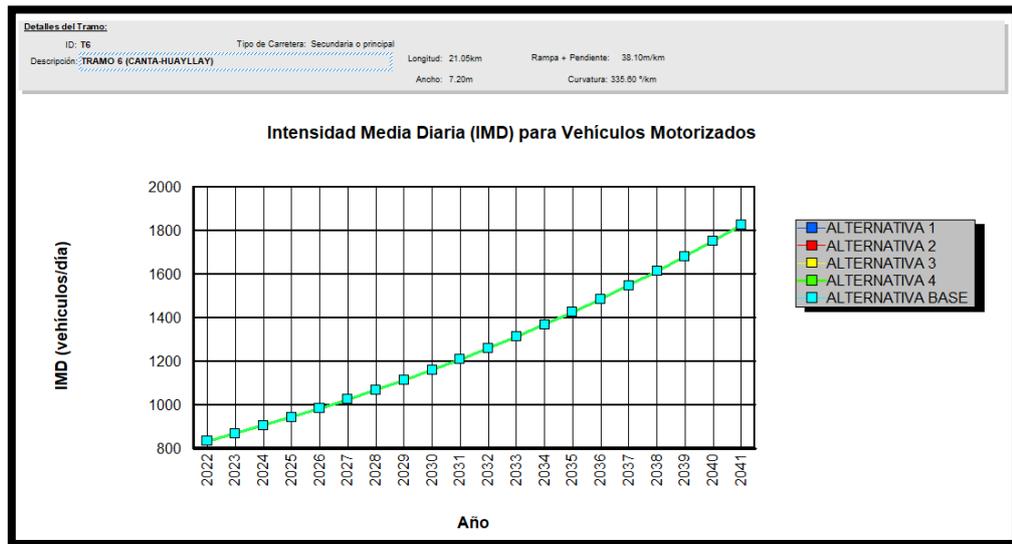


Figura N°102. Tránsito diario promedio anual para tramo 6

Fuente: Software HDM-4

### 5.4.3 Progreso de regularidad promedio en el tiempo por tramos

#### Tramo 1

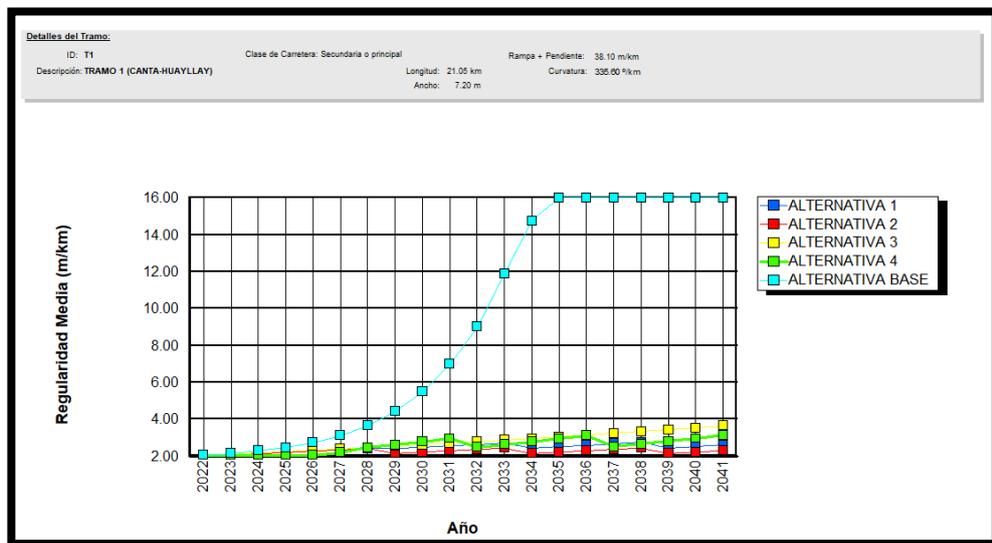


Figura N°103. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 1

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 2

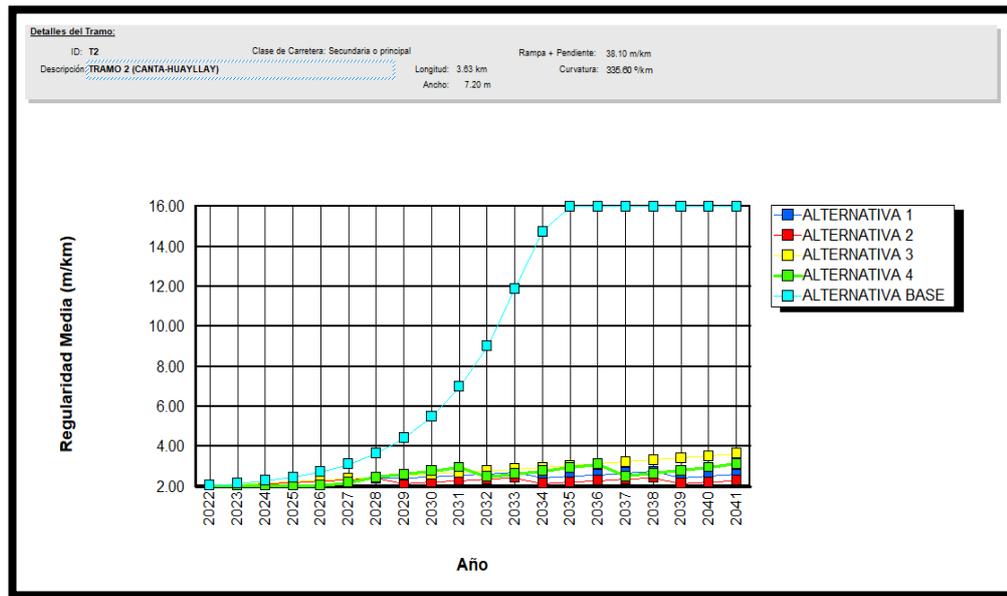


Figura N°104. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 2

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 3

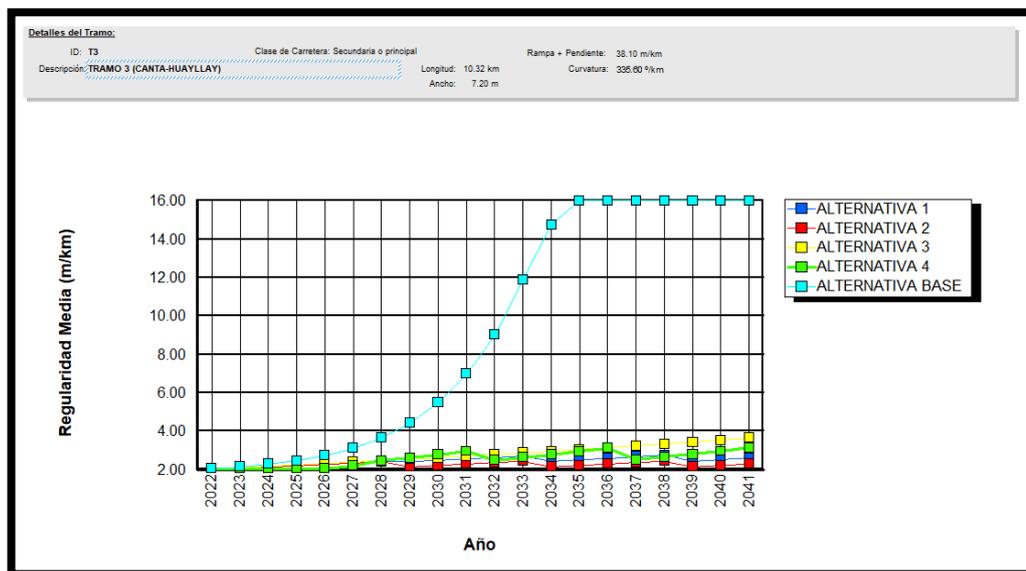


Figura N°105. Progreso de la Regularidad media en el tiempo para el tramo 3

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 4

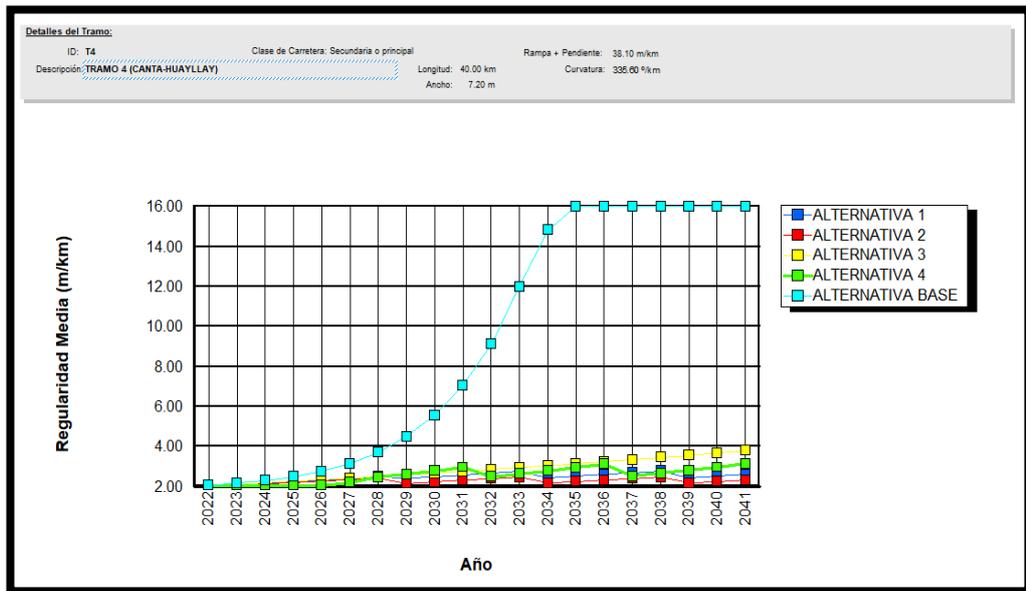


Figura N°106. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 4

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 5

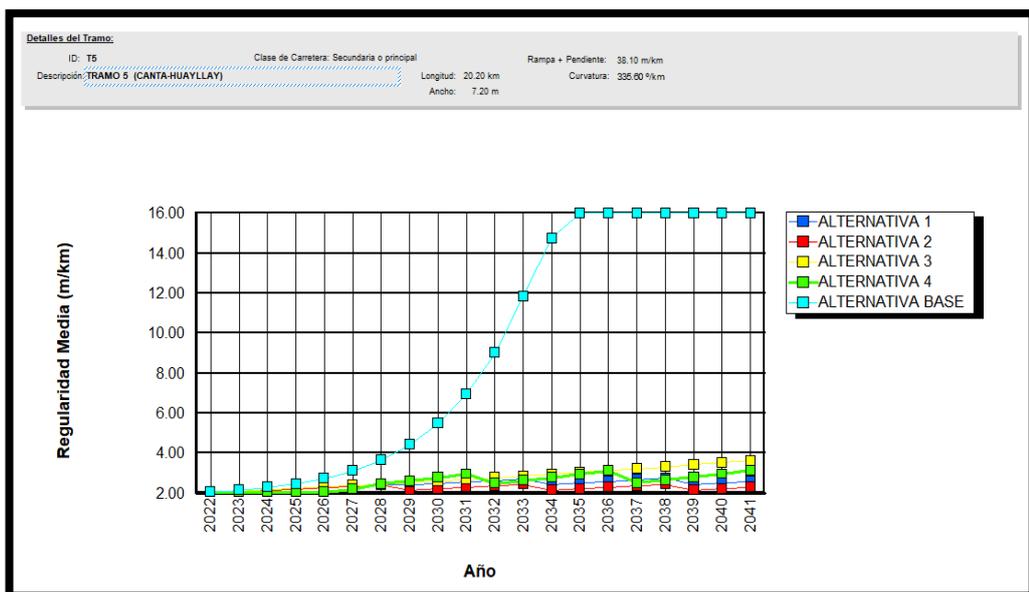


Figura N°107. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 5

Fuente: Software HDM-4

## Tramo 6

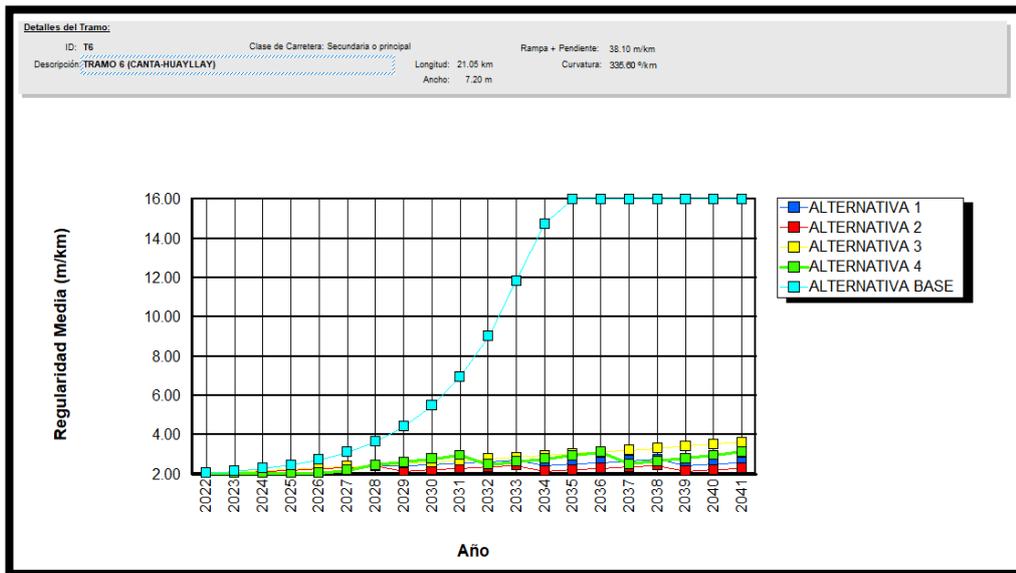


Figura N°108. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el tramo 6

Fuente: Software HDM-4

### 5.4.4 Progreso de la regularidad media (IRImed) en el tiempo por proyecto

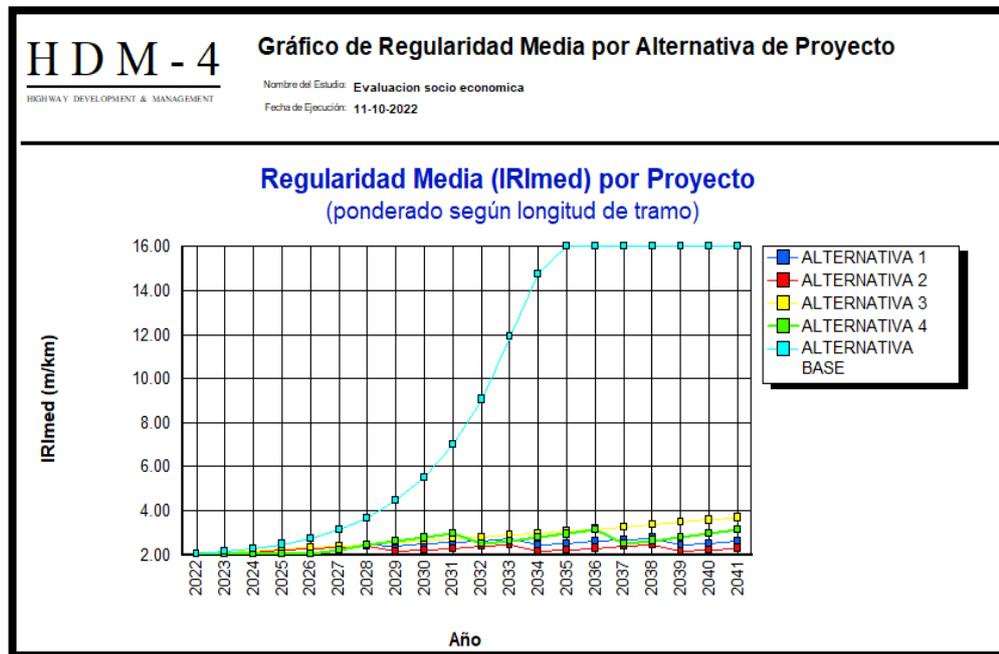


Figura N°109. Progreso de la regularidad media en el tiempo para el proyecto

Fuente: Software HDM-4

## 5.4.5 Resumen de la condición del Pavimento

### Alternativa Base – Tramo 1

Alternativa: ALTERNATIVA BASE																
Tramo: TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY) Clase carretera Secundaria o princip:																
Tipo Firme: Bituminoso																
Longitud: 21.05km Ancho: 7.20m																
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. áridos %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espesor árido mm	Escalón. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. Ns/km
2022	836	0.30	2.10	2.05	9.47	42.69	5.00	15.15	5.51	5.52						
2023	871	0.31	2.21	2.15	15.49	56.43	5.00	15.31	18.97	5.47						
2024	908	0.33	2.35	2.28	23.13	68.04	5.00	15.47	38.66	5.41						
2025	946	0.34	2.56	2.46	32.40	67.40	5.00	15.63	99.40	5.34						
2026	965	0.35	2.88	2.72	43.36	58.31	5.00	15.80	183.95	5.25						
2027	1,027	0.37	3.33	3.10	55.37	44.15	5.00	15.98	298.10	5.13						
2028	1,070	0.39	3.97	3.65	66.05	33.27	5.00	16.17	442.88	5.00						
2029	1,115	0.40	4.88	4.42	75.07	23.98	5.00	16.37	630.06	4.90						
2030	1,162	0.42	6.11	5.49	82.50	16.25	5.00	16.57	854.36	4.85						
2031	1,210	0.44	7.83	6.97	88.41	9.95	5.00	16.78	1,133.52	4.79						
2032	1,261	0.45	10.22	9.02	92.89	4.99	5.00	17.00	1,476.03	4.74						
2033	1,314	0.47	13.51	11.86	96.07	1.23	5.00	17.22	1,892.59	4.69						
2034	1,369	0.49	16.00	14.75	96.60	0.00	5.00	17.45	2,396.74	4.65						
2035	1,427	0.51	16.00	16.00	95.78	0.00	5.00	17.68	3,003.89	4.61						
2036	1,487	0.54	16.00	16.00	94.75	0.00	5.00	17.92	3,732.69	4.59						
2037	1,549	0.56	16.00	16.00	93.52	0.00	5.00	18.15	4,612.09	4.58						
2038	1,614	0.58	16.00	16.00	92.04	0.00	5.00	18.38	5,678.91	4.57						
2039	1,682	0.61	16.00	16.00	90.24	0.00	5.00	18.62	6,980.32	4.56						
2040	1,753	0.63	16.00	16.00	89.93	0.00	5.00	18.85	8,577.04	4.54						
2041	1,826	0.66	16.00	16.00	89.93	0.00	5.00	19.06	10,553.26	4.51						

Figura N°110. Resumen de la condición del pavimento alternativa base

Fuente: Software HDM-4

### Alternativa 1 – Tramo 1

Alternativa: ALTERNATIVA 1																
Tramo: TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY) Clase carretera Secundaria o princip:																
Tipo Firme: Bituminoso																
Longitud: 21.05km Ancho: 7.20m																
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. áridos %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espesor árido mm	Escalón. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. Ns/km
2022	836	0.30	2.10	2.05	5.33	42.69	5.00	15.15	3.31	5.52						
2023	871	0.31	2.13	2.08	1.81	28.40	2.50	8.80	7.05	5.54						
2024	908	0.33	2.19	2.15	0.00	0.00	0.00	2.44	0.00	5.74						
2025	946	0.34	2.28	2.22	0.00	0.00	0.00	2.59	0.00	5.73						
2026	965	0.35	2.33	2.29	0.00	0.00	0.00	2.74	0.00	5.73						
2027	1,027	0.37	2.40	2.36	0.00	0.00	0.00	2.88	0.00	5.72						
2028	1,070	0.39	2.48	2.44	0.00	0.00	0.00	1.74	0.00	5.72						
2029	1,115	0.40	2.44	2.40	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	5.91						
2030	1,162	0.42	2.51	2.47	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	5.90						
2031	1,210	0.44	2.59	2.55	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00	5.90						
2032	1,261	0.45	2.67	2.63	0.00	0.00	0.00	1.04	0.00	5.90						
2033	1,314	0.47	2.75	2.71	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	5.89						
2034	1,369	0.49	2.47	2.43	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	6.08						
2035	1,427	0.51	2.54	2.50	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	6.07						
2036	1,487	0.54	2.62	2.58	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	6.07						
2037	1,549	0.56	2.70	2.66	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	6.07						
2038	1,614	0.58	2.79	2.75	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	6.07						
2039	1,682	0.61	2.47	2.43	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	6.26						
2040	1,753	0.63	2.55	2.51	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	6.26						
2041	1,826	0.66	2.63	2.59	0.00	0.00	0.00	0.56	0.00	6.26						

Figura N°111. Resumen de la condición del pavimento alternativa 1

Fuente: Software HDM-4

## Alternativa 2– Tramo 1

Alternativa:		ALTERNATIVA 2														
Tramo:		TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY)														
Tipo Firme:		Bituminoso														
Longitud:		21.05km														
		Clase carretera:		Secundaria o princip:												
		Ancho:		7.20m												
											Valores Medios Anuales					
Año	TM IMD	ESAL millones ELANE	IRI anl. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. áridos %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espesor árido mm	Escalón. medio mm	Junta desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. Nq/km
2022	836	0.30	2.10	2.05	5.33	42.69	5.00	15.15	4.14	5.52						
2023	871	0.31	2.13	2.08	1.81	28.40	2.50	8.80	7.97	5.54						
2024	908	0.33	2.15	2.12	0.00	0.00	0.00	2.44	0.00	5.85						
2025	946	0.34	2.22	2.18	0.00	0.00	0.00	2.58	0.00	5.85						
2026	985	0.35	2.29	2.25	0.00	0.00	0.00	2.73	0.00	5.84						
2027	1,027	0.37	2.36	2.32	0.00	0.00	0.00	2.87	0.00	5.84						
2028	1,070	0.39	2.44	2.40	0.00	0.00	0.00	1.74	0.00	5.84						
2029	1,115	0.40	2.18	2.15	0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	6.14						
2030	1,162	0.42	2.25	2.22	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	6.14						
2031	1,210	0.44	2.32	2.29	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	6.13						
2032	1,261	0.45	2.39	2.36	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	6.13						
2033	1,314	0.47	2.47	2.43	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	6.12						
2034	1,369	0.49	2.19	2.15	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	6.42						
2035	1,427	0.51	2.25	2.22	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	6.42						
2036	1,487	0.54	2.32	2.29	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	6.42						
2037	1,549	0.56	2.40	2.36	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	6.42						
2038	1,614	0.58	2.47	2.43	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	6.42						
2039	1,682	0.61	2.19	2.15	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	6.73						
2040	1,753	0.63	2.25	2.22	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	6.73						
2041	1,826	0.66	2.32	2.29	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	6.73						

Figura N°112. Resumen de la condición del pavimento alternativa 2

Fuente: Software HDM-4

## Alternativa 3 – Tramo 1

Alternativa:		ALTERNATIVA 3														
Tramo:		TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY)														
Tipo Firme:		Bituminoso														
Longitud:		21.05km														
		Clase carretera:		Secundaria o princip:												
		Ancho:		7.20m												
											Valores Medios Anuales					
Año	TM IMD	ESAL millones ELANE	IRI anl. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. áridos %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espesor árido mm	Escalón. medio mm	Junta desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. Nq/km
2022	836	0.30	2.10	2.05	5.33	42.69	5.00	15.15	2.76	5.52						
2023	871	0.31	2.12	2.08	1.81	28.40	2.50	15.30	6.44	5.54						
2024	908	0.33	2.19	2.18	0.00	0.00	0.00	15.45	0.00	5.74						
2025	946	0.34	2.26	2.23	0.00	0.00	0.00	15.60	0.00	5.73						
2026	985	0.35	2.34	2.30	0.00	0.00	0.00	15.74	0.00	5.73						
2027	1,027	0.37	2.41	2.37	0.00	0.00	0.00	15.89	0.00	5.72						
2028	1,070	0.39	2.49	2.45	0.00	0.00	0.00	16.04	0.00	5.72						
2029	1,115	0.40	2.56	2.53	0.00	0.00	0.00	16.18	0.00	5.91						
2030	1,162	0.42	2.65	2.60	0.00	0.00	0.00	16.33	0.00	5.90						
2031	1,210	0.44	2.73	2.69	0.00	0.00	0.00	16.48	0.00	5.90						
2032	1,261	0.45	2.81	2.77	0.00	0.00	0.00	16.62	0.00	5.90						
2033	1,314	0.47	2.90	2.86	0.00	0.00	0.00	16.77	0.00	5.89						
2034	1,369	0.49	2.99	2.95	0.00	0.00	0.00	16.91	0.00	6.08						
2035	1,427	0.51	3.08	3.04	0.00	0.00	0.00	17.06	0.00	6.07						
2036	1,487	0.54	3.18	3.13	0.00	0.00	0.00	17.20	0.00	6.07						
2037	1,549	0.56	3.27	3.23	0.00	0.00	0.00	17.34	0.00	6.07						
2038	1,614	0.58	3.38	3.32	0.00	0.00	0.00	17.49	0.00	6.07						
2039	1,682	0.61	3.48	3.43	0.00	0.00	0.00	17.63	0.00	6.26						
2040	1,753	0.63	3.58	3.53	0.00	0.00	0.00	17.77	0.00	6.26						
2041	1,826	0.66	3.69	3.64	0.00	0.00	0.00	17.92	0.00	6.26						

Figura N°113. Resumen de la condición del pavimento alternativa 3

Fuente: Software HDM-4

## Alternativa 4 – Tramo 1

Alternativa:		ALTERNATIVA 4				Clase carretera:						Secundaria o principi:				
Tramo:		TRAMO 1 (CANTA-HUAYLLAY)														
Tipo Firme:		Bituminoso														
Longitud:		21.05km				Ancho:						7.20m				
					Valores Medios Anuales											
Año	TM IM D	ESAL millones. ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. %	Desp. estr. áridos %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espesor árido mm	Escalón. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. Ng/km
2022	836	0.30	2.10	2.05	9.47	42.89	5.00	15.15	5.51	5.52						
2023	871	0.31	2.10	2.05	9.47	42.89	5.00	15.15	5.51	5.52						
2024	908	0.33	2.10	2.05	9.47	42.89	5.00	15.15	5.51	5.52						
2025	946	0.34	2.10	2.05	9.47	42.89	5.00	15.15	5.51	5.52						
2026	985	0.35	2.10	2.05	4.74	21.35	2.50	7.58	2.78	5.52						
2027	1,027	0.37	2.39	2.19	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	2.96						
2028	1,070	0.39	2.53	2.46	0.00	0.00	0.00	4.82	0.00	2.95						
2029	1,115	0.40	2.68	2.60	0.50	0.00	0.00	5.14	0.00	2.95						
2030	1,162	0.42	2.85	2.78	2.69	0.00	0.00	5.46	0.00	2.95						
2031	1,210	0.44	3.04	2.95	3.46	0.00	0.00	3.33	0.00	2.94						
2032	1,261	0.45	2.56	2.49	0.00	0.00	0.00	1.17	0.00	3.13						
2033	1,314	0.47	2.70	2.63	0.00	0.00	0.00	1.47	0.00	3.13						
2034	1,369	0.49	2.85	2.77	0.50	0.00	0.00	1.78	0.00	3.13						
2035	1,427	0.51	3.02	2.93	1.51	0.00	0.00	2.08	0.00	3.13						
2036	1,487	0.54	3.20	3.11	1.78	0.00	0.00	1.38	0.00	3.12						
2037	1,549	0.56	2.57	2.50	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	3.31						
2038	1,614	0.58	2.71	2.64	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	3.31						
2039	1,682	0.61	2.86	2.79	0.50	0.00	0.00	1.23	0.00	3.31						
2040	1,753	0.63	3.03	2.95	1.51	0.00	0.00	1.52	0.00	3.31						
2041	1,826	0.66	3.21	3.12	1.78	0.00	0.00	1.05	0.00	3.30						

Figura N°114. Resumen de la condición del pavimento alternativa 4

Fuente: Software HDM-4

#### 5.4.6 Resumen de Relaciones Beneficios Coste



### Relaciones Beneficio Coste

Nombre del estudio: Evaluación socio economica

Fecha de ejecución: 11-10-2022

Moneda: Soles (millones)

Tasa de descuento: 11.00%.

Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
ALTERNATIVA BASE	15.718	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALTERNATIVA 1	48.778	28.173	33.081	371.375	0.000	338.314	6.938	12.009	41.4 (1)
ALTERNATIVA 2	72.583	51.958	58.845	372.811	0.000	315.966	4.354	6.081	34.8 (1)
ALTERNATIVA 3	50.027	29.424	34.310	364.771	0.000	330.461	6.606	11.231	40.8 (1)
ALTERNATIVA 4	27.285	11.588	11.588	650.788	0.000	639.201	23.427	55.257	178.5 (1)

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

Figura N°115. Resumen de relación beneficios coste del proyecto

Fuente: Software HDM-4

## 5.5 Análisis de Resultados

### a) Inventario vial

Tabla N°13. Inventario vial de carretera (tramo: Canta – Huayllay)

<b>Inventario Vial</b>						
<b>Tramo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Abscisa de inicio (Km)	0+000	21+050	24+680	35+000	75+000	95+200
Abscisa final (Km)	21+050	24+680	35+000	75+000	95+200	95+500
Longitud del tramo (Km)	21.05	3.63	10.32	40.00	20.20	300.00
Topografía	Terreno accidentad o (Tipo 3)	Terreno accidentado (Tipo 3)	Terreno accidentado (Tipo 3)	Terreno accidentad o (Tipo 3)	Terreno accidentad o (Tipo 3)	Terreno accidentado (Tipo 3)
Pendientes	8%	8%	8%	8%	8%	8%
Clima	Seco y Semiárido	Seco y Semiárido	Seco y Semiárido	Seco y Semiárido	Seco y Semiárido	Seco y Semiárido
Precipitaciones (mm)	300 - 450	300 - 450	300 - 450	300 - 450	300 - 450	300 - 450
Temperatura (°C)	12°C – 15°C	12°C –15°C	12°C –15°C	12°C – 15°C	12°C – 15°C	12°C –15°C
Tráfico (IMDA)	IMDA 709	IMDA 709	IMDA 709	IMDA 709	IMDA 709	IMDA 709
Tasa de crecimiento (IMDA)	4.20%	4.20%	4.20%	4.20%	4.20%	4.20%
Geología y Geotecnia	Deslizamie nto antrópico Derrumbe	Deslizamie nto traslacional por arrastre de lodo	Deslizamie nto antrópico Derrumbe	Derrumbe	Derrumbe	Derrumbe
Estructuras (Puentes)	Descripció n: Huaros Puentes =3 Longitud= 9.80m Construido	Descripción: Cullhuay Puente = 3 Longitud=4.3 0m Construido 1	Descripción: Cushpa Puente = 1 Longitud =6.20m Pendiente de ejecutar 1 puente			
		Pendiente de ejecutar 2 puentes				

Estructuras (Pontón)	Descripción: Cullhuay Pontón =2 (Una sola vía de 4.20) Longitud=6.5 0m Construido	Descripción: Cushpa Pontón =1 (Una sola vía de 4.50m) Longitud =7.00m Construido
Estructuras (Baden)	En la quebrada Tambopata, existe un baden de piedra. longitud = 8.50m y ancho = 6.7m	
Alcantarillas Especiales	Alcantarillas as tipo: MCA son 7 y tipo arco es 1 alcantarilla	

Fuente: Elaboración propia (2022)

b) Nivel de servicio de la vía - Condiciones de pavimentos

Para realizar la planificación de sistema de gestión de pavimentos es muy importante tener un buen nivel servicio de la vía, también la carretera tiene 3 condiciones de pavimentos.

- Condición superficial.

Se realizó el análisis de la condición del PCI de la carretera general de los 95+500 km con la inspección general de la vía en donde se pudo observar las fallas externas y geologías, se tiene un PCI muy bajo visiblemente está en óptimas condiciones ya que esta carretera es nueva, además nos enfocaremos en los factores de fallas que están dentro del formato de PCI en el pavimento, podemos ver estos resultados en la tabla N°14 donde se encuentra el estado de los 6 tramos homogéneos y su resultado del PCI.

Tabla N°14. Índice de condición del pavimento de carretera Canta – Huayllay

TRAMOS	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO
ESTADO	B	B	B	B	B	B	BUENO
PCI	87	97	96	94	97	99	94

Fuente: Elaboración Propia (2022)

- Condición estructural

La evaluación estructural siempre se debe realizar constantemente para ver la actualización de esta evaluación ya que a pesar de tener un tráfico generado para el proyecto igual siempre hay factores que puede variar y provocar un mayor tráfico de carga, además la zona es minera entonces encontramos mayor cantidad de camiones de carga pesada y tenemos la deflexión de 3.9 mm para todos los tramos para la carretera Canta – Huayllay en el expediente técnico cuando se analizó para realizar el mantenimiento y rehabilitación en el año 2014, este dato no cumple con los parámetros establecidos según norma, en este caso no se tomará en consideración.

Entonces se usará el parámetro espesores de las capas, se puede observar estos datos en la figura N°56 son los siguientes: carpeta asfáltica 90mm, base granular 200mm, sub base granular 250mm. Es un parámetro requerido para el ingreso del software HDM-4.

- Condición funcional del pavimento

La evaluación funcional de la rugosidad del pavimento el IRI es 2m/km que se realizó con el perfilómetro laser, esta medición es importante ya que es uno de los parámetros que se usa el Banco Mundial de medición de Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

El incremento del IRI del pavimento influye siempre del tráfico - IMD y los ejes equivalentes (ESAL), además del clima y factores externos en nuestro caso la carretera tiene fallas geológicas.

Según los resultados del HDM-4, las alternativas están diseñadas con un umbral de intervención para un IRI de 3.m/km en cada tramo y es por ello que varían el tiempo según la ejecución de actividades según cada estrategia propuesta en cada alternativa.

Las alternativas de intervención propuestas para la carretera son las siguientes.

Alternativa Base	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Mantenimiento Rutinario	Mantenimiento Rutinario + Bacheo (80%) + Sello de Fisuras y Grietas + Refuerzo Asfáltico 25 mm	Mantenimiento Rutinario + Bacheo (100%) + Sello de Fisuras y Grietas + Refuerzo Asfáltico 40mm	Mantenimiento Rutinario + Bacheo (50%) + Sello de Fisuras y Grietas + Slurry Seal 25mm	Rehabilitación + Mantenimiento Rutinario

Figura N° 116. Alternativas de intervención propuesta para la carretera

Fuente: Elaboración propia

En gráfica regularidad media (IRImed) vs tiempo del proyecto es figura N° 109 nos ayudará a también ver cuánto se holgura tiene cada alternativa propuesta para proporcionar los años correspondiente en cada intervención de la vía. La mejor propuesta es dependiendo del análisis económico que tiene cada alternativa.

### c) Análisis Económico

En el análisis económico que dio como resultado el HDM-4 la relación beneficio - coste como se puede observar en la figura N° 115 la de conservación con mayor tasa interna de retorno, siendo la alternativa 1 propuesta quien tiene mayor performance del pavimento y adicional que tiene un VAN de S/ 338.314 millones y TIR de 41.4%, indicadores económicos que dan como viable a la estrategia de conservación de la carretera.

Es importante tener una alternativa base para identificar la vida útil del pavimento sin ninguna actividad de intervención de la vía para la explicación de la gestión de pavimento para diferenciar toda acción de intervención que aplicaremos para mantener un nivel de servicio adecuado y también se analizó la alternativa 4 es una mejora del pavimento, pero no será considerada porque el IRI tendría que ser mayor a 4 m/Km y en nuestro caso el umbral de IRI de 3.8 m/km. La alternativa 1 es viable por los indicadores económicos, nuestra carretera tendrá una intervención de mantenimiento rutinario + bacheo (80%) + sello de fisuras y grietas + refuerzo asfáltico de 25mm.

El Software HDM-4 con modelos matemáticos genera el deterioro que con el tiempo va ocurriendo en los tramos de pavimentos introducidos y genera los informes obtenidos para un periodo de análisis de 20 años.

## 5.6 Contratación de hipótesis

La contratación de la hipótesis se realizará mediante la comparación entre la hipótesis planteada y los resultados obtenidos del análisis de las 4 alternativas de estrategias de intervención de la carretera (tramo: Canta – Huayllay).

### 5.6.1 Hipótesis específica 1

Hipótesis alterna (Hi1):

Se puede identificar las características de la red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

Hipótesis nula (Ho1):

No se puede identificar las características de la red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay).

- Se identificó las características de red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay). Se realizó un inventario vial para poder identificar las características como: longitud de 95 Km, se dividió en 6 tramos homogéneos, la topografía es terreno accidentado (tipo 3), su pendiente es de 8%, su clima es seco semiárido. Se puede observar en la tabla N°13 todas las características de la vía

### 5.6.2 Hipótesis específica 2

Hipótesis alterna (Hi2):

Se puede analizar el nivel de servicio de la vía de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay).

Hipótesis nula (Ho2):

No se puede analizar el nivel de servicio de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).

- Se puede analizar el nivel de servicio de la vía de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay), se analizó con la condición superficial de los 6 tramos homogéneos estos resultados se encuentran en la tabla 6, el estado PCI promedio es bueno. Se puede observar en la tabla N°8 la condición funcional del pavimento para los 6 tramos homogéneos con el IRI 2m/Km. Se valida la hipótesis alterna Hi1 y se rechaza la hipótesis nula Ho1.

### 5.6.3 Hipótesis específica 3

Hipótesis alterna (Hi3):

Se puede analizar método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay).

### Hipótesis nula (Ho3):

No se puede analizar método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay).

- Si se puede analizar el método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay), con las diferentes alternativas de conservación. Se analizaron las estrategias de conservación siendo la alternativa base un mantenimiento rutinario, primero un refuerzo asfáltico de 25mm, segundo un refuerzo asfáltico 40 mm y tercero slurry seal SSII. Se realizó el análisis económico y la alternativa 1 es quien tiene la mayor tasa interna de retorno  $TIR = 41.4 \%$ ,  $VAN = S/ 338.314$  millones. Los indicadores económicos señalan como viable a la estrategia de conservación de la carretera y la conservación es por un tiempo de 20 años. Se puede ver los valores obtenidos en la figura N°115. Se valida la hipótesis alterna Hi3 y se rechaza la hipótesis nula Ho3.

## 5.7 Discusión de resultados

Tabla N°15. Discusión de resultados

Hipótesis Planteadas	Marco teórico	Antecedentes Nacionales	Resultados
Hipótesis específica 1: Se puede identificar las características de la red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay).	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,2016, p.21).	Se puede determinar a un “sistema de gestión de pavimentos primero cuando se recolecta los datos del tráfico vehicular, después parámetros del pavimento y la geometría de vía, segundo se analiza los datos de proyección de vehículos, con relación con los ejes equivalentes”. (Matos y Núñez, 2018, p.103)	Se realizó un inventario vial para poder identificar las características como: longitud de 95 Km, se dividió en 6 tramos homogéneos, la topografía es terreno accidentado (tipo 3), su pendiente es de 8%, su clima es seco semiárido. Se puede observar en la tabla N°13 todas las características de la vía.

<p>Hipótesis específica 2: Se puede analizar el nivel de servicio de la vía de la carretera Lima – Canta – La Viuda-Unish (tramo Canta – Huayllay).</p>	<p>Estado funcional de la vía: “El IRI es un indicador que se obtiene de aplicar un modelo de simulación que permite estimar los desplazamientos verticales que sufre un vehículo al circular a una cierta velocidad por una superficie rugosa” (De Solminihaç, Echaveguren y Chamorro, 2019, p133) Índice de condición pavimento (PCI): El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado” (Vásquez ,2002, p.2). “El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie” (Vásquez ,2002, p.2).</p>	<p>La rugosidad de un camino se ha convertido en uno de los factores que influyen de manera directa en los costos de operación de los vehículos, por ello fue necesario contar con una escala que permitiera con los valores dados de diversos equipos en el mundo para medición de rugosidad (Lluncor, 2012, p.204). “La aplicación del modelo HDM-4 determina la proyección de la condición del pavimento a lo largo del tiempo en función de la condición actual del pavimento a través de sus características estructurales y factores externos al pavimento”. (Hurtado y Palomino, 2020, p.224)</p>	<p>Se analizó con la condición superficial de los 6 tramos homogéneos estos resultados se encuentran en la tabla N°6, el estado PCI promedio es bueno. Se puede observar en la tabla N°8 la condición funcional del pavimento para los 6 tramos homogéneos con el IRI 2m/Km.</p>
<p>Hipótesis específica 3: Se puede analizar método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay).</p>	<p>La tasa interna de retorno “es uno de los métodos de evaluación de proyectos de inversión más recomendables. Se utiliza frecuentemente para analizar la viabilidad de un proyecto y determinar la tasa de beneficio o rentabilidad que se puede</p>	<p>“La evaluación económica se determina por indicadores de rentabilidad como la TIR, VAN y B/C. Los cuales definen la viabilidad de un proyecto siempre que estos cumplan</p>	<p>Con las diferentes alternativas de conservación. Se analizaron las estrategias de conservación siendo la alternativa base un mantenimiento rutinario, primero un refuerzo asfáltico de 25mm, segundo un refuerzo</p>

	<p>obtener de dicha inversión” (Campana y Vilca ,2021, p.72). El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero muy utilizado para valorar, determinar la viabilidad y la rentabilidad de un proyecto de inversión. “Se determina mediante la actualización de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto, menos la inversión inicial. Si el resultado de esta operación es positivo, es decir, si refleja ganancia se puede decir que el proyecto es viable” (Campana y Vilca ,2021, p.72). “La aplicación de análisis de programa del HDM-4 se puede usar para preparar un programa para varios años, sujeto a recursos limitados el método de asignación de prioridades utiliza la relación incremento del VAN/costo como índice de valoración” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p.23). Esto proporciona un índice confiable para realizar la priorización.</p>	<p>con los parámetros de calificación impuestos por la agencia de carreteras” (Lluncor, 2012, p.204) El uso del modelo HDM-4 “se define el programa de intervención que permite optimizar los recursos según las alternativas propuestas, apoyándonos en los informes que nos da el HDM-4 en base a la tasa interna de rentabilidad (TIR) y Beneficio económico neto (VAN)” (Campana y Vilca ,2021, p.127).</p>	<p>asfáltico 40 mm y tercero slurry seal SSII. Se realizó el análisis económico y la alternativa 1 es quien tiene la mayor tasa interna de retorno TIR = 41.4 %, VAN = S/ 338.314 millones y podemos ver estos valores obtenidos en la figura N° 115. La conservación será por un tiempo de 20 años.</p>
<p>Hipótesis general: Con la planificación del sistema de gestión de pavimentos se identifica la estrategia de intervención de las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de carretera Lima – Canta</p>	<p>Un sistema de gestión de pavimentos es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo “conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las</p>	<p>El “modelo HDM-4 optimiza la gestión del pavimento de la avenida San Carlos, se determinan 2 alternativas de soluciones económicas para cada uno de los tramos que</p>	<p>Se identifica la estrategia de intervención de las diferentes alternativas de conservación, la conservación será por un tiempo de 20 años. La alternativa 1, tiene una intervención de mantenimiento rutinario + bacheo (80%) + sello de</p>

- La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay)	condiciones de tráfico, clima y entorno de la zona en que se ubica una determinada vía, considerando los costos”	conforma la vía, evaluando para cada tramo el tipo de conservación o de mantenimiento”. (Galindo, 2019, p.96).	fisuras y grietas + refuerzo asfáltico de 25mm. Se realizó el análisis económico y la alternativa 1 es quien tiene la mayor tasa interna de retorno TIR = 41.4 %, VAN = S/ 338.314 millones y podemos ver estos valores obtenidos en la figura N° 115.
---	--	--	---

Fuente: Elaboración propia (2022)

Los resultados de la investigación son obtenidos de la Carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay). La herramienta utilizada fue el software HDM-4, las alternativas de conservación empleadas permitieron determinar la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, certificando la validez de los resultados que se consiguieron.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó las características de la carretera Canta - Huayllay, con un inventario vial, donde se identificó los parámetros del diseño geométrico, la longitud, la división de 6 tramos homogéneos, el tráfico y carga vehicular en un periodo de 20 años. Ver tabla N°13. Inventario vial de carretera (tramo: Canta - Huayllay).
2. Se obtuvo el análisis de la condición del nivel del servicio en los 6 tramos de la carretera Canta – Huayllay, con una condición superficial del pavimento de PCI promedio de bueno, una condición funcional del pavimento de IRI 2m/km, y una condición estructural con los espesores de sección de la carretera: carpeta asfáltica 90mm, base granular 200mm, sub base granular 250mm.
3. Se estableció la priorización de la carretera Canta – Huayllay con un análisis económico de las estrategias de intervenciones propuestas, en donde la alternativa 1 es la que tiene la mayor tasa interna de retorno  $TIR = 41.4 \%$ ,  $VAN = S/ 338.314$  millones, indicadores económicos que dan viabilidad a la estrategia de conservación de la carretera Canta – Huayllay, la conservación será por un tiempo de 20 años. (Ver Figura N°115. Resumen de relación beneficio coste del proyecto)
4. Se determinó cuatro estrategias de intervención propuestas en donde la mejor propuesta para la carretera Canta - Huayllay es la alternativa 1 y son las siguientes actividades: mantenimiento rutinario + bacheo (80%) + sellado de fisuras y grietas + refuerzo asfáltico 25 mm, con un umbral máximo de intervención IRI de 3.00 m/km cada 5 años durante un periodo de 20 años.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda el uso adecuado del software HDM-4 para la planificación del sistema de gestión de pavimentos, debido a que optimiza los proyectos o mantenimientos viales que se realicen a nivel nacional, siempre y cuando se apoyen con los manuales de carreteras de conservación vial del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).
  
2. Se recomienda añadir una base de datos con la información de los inventarios viales obtenidos de toda la red vial nacional con el propósito de tener una adecuada información de la realidad de la infraestructura vial nacional y proponer un sistema de gestión para mantener el patrimonio vial.
  
3. Se recomienda tener en cuenta toda información de los factores externos que perjudiquen al pavimento como desprendimiento de rocas, taludes, factores naturales como el agua, clima y ambiente de la zona, en vista que esta puede alterar la información de la condición del pavimento.
  
4. Se recomienda la aplicación de gestión de infraestructura vial para aportar con nuevas alternativas de intervención con el fin de favorecer la infraestructura vial nacional del país, siendo más eficiente y sostenible para una red vial nacional acorde para la población.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barajas Reina, E., & Buitrago Martinez, B. E. (2017). *Análisis comparativo del sistema de gestión de los pavimentos o mantenimiento vial de la ciudad de Bogotá con la ciudad de Sao Paulo*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Becerra Salas, M. R. (2012). *Tópico de pavimentos de concreto: Diseño, construcción y supervisión*. Lima, Perú: Flujo Libre.
- Buj Burciaga, R. (2017). *Propuesta de metodología para la gestión de pavimentos de la avenida las torres, en Ciudad Juárez*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez - Mexico.
- Caballero Romero, A. (2014). *Metodología integral innovadora para planes y tesis*. México.
- Campana Huamani, D. S., & Vilca Huamani, J. M. (2021). *Programa de Intervención para Optimización de los recursos aplicando el Modelo Highway Development and Management (HDM4)*. Lima - Perú.
- Carciente, J. (2011). *Carreteras estudio y proyecto*. Venezuela: Ediciones Vega s.r.l.
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima, Perú: San Marcos.
- Chang, C. M. (2020). *Sistemas de gestión de pavimentos: pasado, presente y futuro. Desastres naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 19-20(1), 232-238.
- Chávez Isla, C. M. (2008). *Propuesta de Planificación de un sistema de gestión de pavimentos*. (Tesis de Maestría). Universidad de Piura, Lima, Perú.
- Chipana Salazar, W. R., & Medina Apeña, R. C. (2019). *Evaluación de un pavimento asfáltico de la av. prolongación defensores del morro para analizar su condición estructural y superficial*. Lima.
- De Solminihac T., H., Echaveguren N., T., & Chamorro G., A. (2019). *Gestión de infraestructura vial*. Santiago, Chile: Alfaomega U.C. de Chile.

- Galindo Galvan, D. P. (2019). *Gestión del Pavimento de la avenida San Carlos mediante el uso del modelo HDM-4, Huancayo - 2017*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.
- Gavilánez Echeverrú, M. A. (2019). *Determinación de los factores de deterioro del pavimento en las vías: Balcashi – Chambo y Licto-Tunshi; de la provincia de Chimborazo y Planteamiento de un Sistema de Gestión de Mantenimiento, mediante el Software HDM-4*. Quito - Ecuador.
- Hurtado Asto, N. W., & Palomino Felix, K. (2020). *Análisis del deterioro del pavimento asfáltico en la determinación de estrategias de mantenimiento utilizando la herramienta HDM-4 caso: carretera Puno - Desaguadero*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Ricardo Palma, Lima - Perú.
- Jarrín Coral, I. P. (2019). *Aplicación del modelo HDM-4 en el análisis y evaluación de las alternativas para el mantenimiento vial de avenida Cristóbal Colón, Quito*. (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Kerali, H., Odoki, J., & Stannard, E. (2000). *Overview of HDM-4*. Paris - Francia : The World Road Association (PIARC).
- Lluncor Yataco, G. X. (2012). *Aplicación del modelo HDM en la evaluación de proyectos de carreteras en Perú: "Carretera Bagua chica - Flor de la esperanza"*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Matos Bendezu, D. R., & Nuñez Tolentino, F. B. (2018). *Evaluación del sistema de gestión de pavimentos de la carretera central (tramo: La Oroya - Concepcion "PE003-S")*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Menéndez Acurio, J. R. (2009). *Ingeniería de Pavimentos: materiales, diseño y conservación* (Vol. 1ra Edición). Lima, Perú: Instituto de la Construcción y gerencia.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas metodológicas para el uso y aplicación del HDM-4 en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de transportes*. Lima -Perú.

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). (2014). *Manual de Carreteras: suelos geología, geotecnia y pavimentos*. Lima.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). (2016). *Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima - Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). (2016). *Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2007). *Reglamento de Jerarquización Vial*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2011). *Parámetros requeridos y opcionales para uso de HDM-4*. Lima - Perú.
- Ministerio de transporte y comunicaciones. (2016). *Manual de Inventarios viales RD*. Lima, Perú.
- Montañez Tupayachi, A. (2018). *Sistema de gestión de manteminiento vial para las vías urbanas de la ciudad del Cusco - caso estudio Av. De la Cultura*. (Tesis de maestría). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Montero Yaranga, I. W., & De la cruz Ramos, M. (2019). *Metodología de la investigación científica*. Huancayo, Perú.
- Montoya Goicochea, 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, Lima - Perú.
- Muñoz Suárez, S. A. (2012). *Optimización de políticas de conservación de pavimentos asfálticos en zona central de Chile*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

- Núñez, C., & Pérez, I. (2005). *El modelo HDM-4: descripción y posibilidades de aplicación dentro de un sistema de gestión de carreteras*.
- Rafael Menéndez, J. (2003). *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas - Manual técnico*. Lima, Perú: Oficina subregional para los países andinos.
- Ramos Libandro, R. R. (2021). *Evaluación estructural y superficial del pavimento de la Av. Lambramani con fines de diagnóstico y rehabilitación*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú.
- Ríos De la Cruz, I. (2019). *Modelos de deterioro del pavimento y su correlación con las evaluaciones funcionales de los años 2010-2016, en la carretera Inambari – Azángaro*. Lima.
- Vargas, L. J. (2017). *Evaluación técnica y económica entre las modalidades ejecutivas de conservación vial aplicando el modelo HDM-4 en la carretera PE-38 (Tramo: Tacna -Tarata )*. Tacna- Perú.
- Vasquez Varela, L. R. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Manizales, Colombia: Ingeniería en pavimentos (INGEPAV).

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

Tabla N°16. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>				
¿En qué medida la planificación del sistema de gestión de pavimentos identifica la estrategia de intervención de las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay)	Determinar la planificación del sistema de gestión de pavimentos para identificar las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay).	Con la planificación del sistema de gestión de pavimentos se identifica la estrategia de intervención de las necesidades iniciales de mantenimiento y rehabilitación de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay)	VARIABLE INDEPENDIENTE:  XI: Planificación del sistema de gestión de pavimentos	Características de la red  Nivel de servicio de la vía  Método de elección de prioridades	Inventario vial  Condición superficial, funcional, estructural  Análisis económico	Método : Deductivo Orientación : Aplicada Enfoque : Mixto(cualitativo y cuantitativo) Recolección de datos : Prospectivo y retrospectivo Tipo: Descriptivo correlacional Nivel: Descriptivo y explicativo Diseño: No experimental transversal ; retrospectivo. Población: Carretera (Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay) (Km. 20+000 al km 22+000) Muestra : Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera (Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay)
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVO ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICOS</b>				
a) ¿Cómo identificar las características de la red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay) ?	a) Identificar las características de la red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay).	a) Se puede identificar las características de la red de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay).	VARIABLE DEPENDIENTE:  Y1: Mantenimiento y rehabilitación	Condición superficial  Condición estructural	PCI (Índice de Condición de Pavimento)  Deflexiones	
b) ¿Cómo analizar el nivel de servicio de la vía de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay) ?	b) Analizar el nivel de servicio de la vía de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay) .	b) Se puede analizar el nivel de servicio de la vía de la carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay) .				
c) ¿Cómo analizar el método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay) ?	c) Analizar el método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo: Canta – Huayllay) .	c) Se puede analizar método de elección de prioridades de carretera Lima – Canta – La Viuda -Unish (tramo Canta – Huayllay) .		Condición funcional	Índice de rugosidad internacional (IRI)	

Fuente: Elaboración propia (2022)

## Anexo 2: Operacionalización de las variables

Tabla N° 17. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA	INSTRUMENTO	HERRAMIENTA	ÍTEMS
<b>(Variable Independiente)</b> <b>Planificación del Sistema de Gestión de Pavimentos</b>	Un sistema de gestión de pavimentos es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones de tráfico, clima y entorno de la zona en que se ubica una determinada vía, considerando los costos.	Al planificar el desarrollo de un sistema de gestión se debe tener en cuenta: la disponibilidad de recursos, los requisitos de información, el nivel de sofisticación y la gestión de datos. Además, el sistema de gestión debe articularse alrededor de los siguientes aspectos: Elaborar un banco de datos donde queden inventariadas las características de la red o proyecto que se desea gestionar, proceder a una recolección sistematizada y periódica de información cuantitativa del estado del pavimento y de los restantes elementos de la infraestructura vial, establecer los índices y parámetros para la cuantificación global del nivel de servicio de las vías, con la posibilidad de fijación de umbrales de intervención, definir un método de elección de prioridades para establecer un orden de ampliación de los recursos disponibles, elegir las técnicas de conservación que deben aplicarse en cada caso en función de la información recogida y proceder a su valoración.	Características de la red	Inventario vial	Longitud	km	Cuantitativa continua	Expediente técnico	(MTC) Manual de inventarios viales	
			Nivel de servicio de la vía	Condición superficial	PCI 0-100		Cuantitativa discontinua	Expediente técnico	Manual de PCI	Pg.2
				Condición funcional	IRI 0 - 12	m/km	Cuantitativa continua	Expediente técnico	Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos (2014)	Pg.158
				Condición estructural	Deflexiones D<0.5mm Clima (temperatura y humedad) Tránsito	mm °C IMDA	Cuantitativa continua	Expediente técnico	(MTC) Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos (2014)	Pg.158, Pg.159
				Método de Elección de prioridades	Análisis económico	Valor actual neto (VAN) Tasa interna retorno (TIR)	Cuantitativa continua	Expediente técnico	Manual del HDM-4, Software HDM-4, Manual de carreteras Mantenimiento o conservación vial (2016)	Pg.10, Pg.287 y Pg.324
<b>(Variable Dependiente)</b> <b>Mantenimiento y Rehabilitación</b>	Es el estudio que se elabora a fin de determinar las actividades que deben realizarse para cumplir los estándares admisibles. Las cuales no se miden por las cantidades ejecutadas sino por niveles de servicio. Los niveles de servicio son indicadores que normalmente, se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y seguridad.	Los niveles de servicio son indicadores que, normalmente, se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y seguridad.	Condición superficial	PCI	0-100	m o m2	Cuantitativa discontinua	Expediente técnico	Manual de PCI	Pg. 2
			Condición estructural	Deflexiones D<0.5mm	Rc ( Radio de curvatura característica) Dc (Deflexión característica) L0 ( Longitud característica ) Da (Deflexión admisible)	mm mm mm	Cuantitativa continua	Expediente técnico	MTC) Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos (2014)	Pg.159
			Condición funcional	Índice de rugosidad internacional (IRI)	0-12	m/km	Cuantitativa continua	Expediente técnico		Pg. 159
				Índice de seguridad presente (PSI)	Muy buena 4-5, buena 3-4, regular 2-3, mala 1-2, muy mala 0-1		Cuantitativa continua	Expediente técnico	MTC) Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos (2014)	Pg. 127

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo 3: Permiso de la empresa



Lima, 8 de noviembre de 2022

Por la presente, autorizamos al Sr. Diego Herschel De la cruz Isuhuaylas y Irene Elizabeth Bonilla Baldarrago a fin de que pueda utilizar los datos, figuras, o fotografías del Expediente Técnico: “Estudio definitivo del saldo de obra: rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, tramo: Canta – Huayllay”, 2018 de la empresa Consorcio Cesel - Cal y Mayor para la elaboración de su tesis.

Sin otro particular, me despido

Atentamente,

  
.....  
NICOLAS EVARISTO  
ALVINO GARCIA  
INGENIERO CIVIL  
..... Reg. CIP. N° 58.296 .....

Nicolás Evaristo Albino García

DNI: 06129899