

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**APLICACIÓN DEL MODELO HDM-4 EN LA PLANIFICACIÓN VIAL DE LA  
CARRETERA HUACARPAY - VICHO, EN EL DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023**

**PRESENTADO POR:**

- **Br. ULISES CCORAHUA NAYHUA**
- **Br. EDWIN JUAN DE DIOS MEDINA ROJAS**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. ORLANDO BARRETO JARA**

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada:

.....  
..... APLICACIÓN DEL MODELO HDH-4 EN LA PLANIFICACIÓN VIAL  
..... DE LA CARRETERA HUACARPAY - VICHO, EN EL DEPARTAMENTO  
..... DEL CUSCO - 2023

presentado por: Ulises Corahua Nayhua con DNI Nro.: 73767707 presentado  
por: Edwin Juan de Dios Medina Rojas con DNI Nro.: 72252322 para optar el  
título profesional/grado académico de Ingeniero Civil

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el  
Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la  
UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o  
título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<input type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	<input checked="" type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 8 de Junio de 2024



Post firma Edwin Juan de Dios Medina Rojas

Nro. de DNI 23877097

ORCID del Asesor 0000-0002-8608-270X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259-359606429

NOMBRE DEL TRABAJO

APLICACIÓN DEL MODELO HDM-4 EN LA  
PLANIFICACIÓN VIAL DE LA CARRETERA  
A HUACARPAY-VICHO[1].pdf

AUTOR

ULISES CORAHUA Y CIA

RECUENTO DE PALABRAS

**53887 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**270769 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**251 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**9.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jun 6, 2024 4:36 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jun 6, 2024 4:39 PM GMT-5****● 9% de similitud general**

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

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 13 palabras)

## DEDICATORIA

A Dios, por darme esta vida y permitir que pueda cumplir con este objetivo. A mis padres Jorge y Luisa, por su amor y apoyo incondicional que me motivaron a cumplir mis objetivos a pesar de cualquier circunstancia. A mis hermanos por mostrarme su cariño y apoyo en todo momento.

**Br. Ccorahua Nayhua, Ulises**

A Dios primeramente por darme la vida, fuerzas en todo este camino profesional. A mis padres (Remigio y Paulina), por su incondicional apoyo, cariño y aliento, a mi papá grande Juan de Dios por el aliento e apoyo constante durante toda la carrera, para poder lograr este objetivo. A mi esposa Ibet y mi hijo Timothy son motor y motivo en este camino constante. A mi hermana Julia por su apoyo incondicional.

**Br. Medina Rojas, Edwin Juan De Dios**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darnos la vida y permitir que la disfrutemos junto a nuestros seres queridos y amigos.

A nuestros padres por hacer lo imposible para poder educarnos y apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. A la Facultad de Ingeniería Civil y su selecta plana de docentes.

Al Dr. Ing. Orlando Barreto Jara por apoyarnos durante el desarrollo de la tesis, impartiéndonos sus conocimientos, absolviendo nuestras dudas y supervisando nuestro trabajo.

A la Ing. Laura Montoya Baca, por el apoyo desinteresado mediante el aporte de conocimientos y experiencia.

## RESUMEN

La siguiente tesis titulada “Aplicación del modelo HDM-4 en la planificación vial de la carretera Huacarpay - Vicho, en el departamento del Cusco – 2023”, consistió en la Planificación de Conservación Vial de la vía de estudio Huacarpay – Vicho haciendo uso de la herramienta de análisis HDM-4, por lo que los objetivos de esta investigación son: Aplicar el Modelo HDM-4 para optimizar la planificación vial en la carretera Huacarpay-Vicho en el departamento del Cusco, realizar la calibración del Modelo HDM-4 para obtener un modelo de predicción representativo de la zona a evaluar, aplicar el modelo HDM-4 para determinar la intervención vial más recomendable en el aspecto técnico - económico y Determinar la diferencia de los costos de los trabajos de conservación vial realizados, con la planificación vial planteada mediante la herramienta del HDM-4.

Por lo cual, se realizó una evaluación del estado actual de la vía tanto en condiciones superficiales y estructurales de la carpeta de rodadura del tramo evaluado durante el año 2023, realizando ensayos de rugosidad del pavimento, ensayo de viga Benkelman, estudio de tránsito, textura del pavimento, mediciones de fallas o deterioros en la calzada y berma del pavimento y también se realizó ensayos de laboratorio para determinar las características mecánicas del material de la subrasante del pavimento. Posteriormente, a la recolección de información de la evaluación de la vía, se generó un modelo de predicción de deterioro del pavimento, en la herramienta HDM-4, que fue calibrado a las condiciones representativas de la vía de estudio y la zona donde se ubica, así como también teniendo en cuenta las intervenciones anteriores realizadas en la vía. Una vez generado el modelo se evaluó la condición superficial, funcional y estructural para así determinar las mejores actividades de intervención para mantener los estándares de conservación vial según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así se obtuvieron los costos de Conservación de la vía de estudio para una predicción de 20 años. Para luego realizar un análisis económico comparativo entre la planificación vial planteada mediante la herramienta HDM-4 y la planificación vial ejecutada, y determinar la optimización del presupuesto destinado a la conservación de las vías de comunicación. En base a los resultados obtenidos en la investigación se concluyó que la aplicación del modelo de predicción de deterioro del pavimento del HDM-4 permite visualizar las futuras patologías en el pavimento como también los años en los cuales se producirán cambios significativos en estos, también se determinó que una correcta calibración del modelo de deterioro permite predicciones fiables de valores de deterioro en base a la comparación de los datos obtenidos del inventario vial

realizado y los resultados obtenidos en la herramienta HDM-4, se concluyó que la alternativa de conservación más óptima desde el aspecto técnico – económico es la alternativa C, la cual comprendía trabajos puntuales de conservación en base a las fallas encontradas.

**Palabras clave:** Planificación vial, HDM-4, Huacarpay, Vicho, modelo de deterioro, conservación vial.

## ABSTRACT

The following thesis titled "Application of the HDM-4 model in the road planning of the Huacarpay - Vicho highway, in the department of Cusco - 2023", consisted of the Road Conservation Planning of the Huacarpay - Vicho study road using the HDM-4 analysis tool, so the objectives of this research are: Apply the HDM-4 Model to optimize road planning on the Huacarpay-Vicho highway in the department of Cusco, perform the calibration of the HDM-4 Model to obtain a prediction model representative of the area to be evaluated, apply the HDM-4 model to determine the most recommended road intervention in the technical-economic aspect and Determine the difference in the costs of the road conservation works carried out, with the proposed road planning. using the HDM-4 tool.

Therefore, an evaluation of the current state of the road was carried out both in Surface and Structural conditions of the rolling surface of the section evaluated during the year 2023, carrying out Pavement Roughness tests, Benkelman Beam Test, Traffic Study, Texture of the pavement, measurements of failures or deteriorations in the roadway and pavement shoulder and laboratory tests were also carried out to determine the mechanical characteristics of the pavement subgrade material. Subsequently, after collecting information from the road evaluation, a pavement deterioration prediction model was generated in the HDM-4 tool, which was calibrated to the representative conditions of the study road and the area where it is located, as well as taking into account the previous interventions carried out on the road. Once the model was generated, the surface, functional and structural condition was evaluated to determine the best intervention activities to maintain road conservation standards according to the Ministry of Transportation and Communications, thus the conservation costs of the study road were obtained. a 20 year prediction. To then carry out a comparative economic analysis between the road planning proposed using the HDM-4 tool and the road planning executed, and determine the optimization of the budget allocated to the conservation of communication routes. Based on the results obtained in the research, it was concluded that the application of the HDM-4 pavement deterioration prediction model allows visualization of future pathologies in the pavement as well as the years in which significant changes will occur. In these, it was also determined that a correct calibration of the deterioration model allows reliable predictions of deterioration values based on the comparison of the data obtained from the road inventory carried out and the results obtained in the HDM-4 tool, it was concluded that the alternative



The most optimal conservation from the technical-economic aspect is alternative C, which included specific conservation work based on the flaws found.

**Keywords:** Road planning, HDM-4, Huacarpay, Vicho, deterioration model, road conservation.

## INDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE IMÁGENES .....</b>	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xx</b>
<b>JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>xxi</b>
<b>1.1 Justificación práctica.....</b>	<b>xxi</b>
<b>1.2 Justificación metodológica .....</b>	<b>xxi</b>
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Descripción de la situación actual.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema .....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Problema general .....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
<b>1.3 Objetivos de la investigación .....</b>	<b>2</b>
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivo específico .....	2
<b>1.4 Limitaciones de la investigación.....</b>	<b>3</b>
1.4.1 Limitaciones en los ensayos in-situ.....	3
1.4.2 Limitaciones administrativas de permisos .....	3
1.4.3 Limitaciones espaciales .....	3
1.4.4 Limitaciones normativas.....	3
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Bases teóricas .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 La herramienta HDM-4.....	5
2.1.1.1 Alcance.....	5

2.1.1.2	Antecedentes.....	5
2.1.1.3	Estructura general del software hdm-4 .....	6
2.1.1.3.1	Requisitos de datos.....	6
2.1.1.3.2	Herramientas de análisis.....	7
2.1.1.3.3	Modelos.....	9
2.1.1.4	Evaluación económica con HDM-4.....	10
2.1.2	Planificación vial .....	11
2.1.2.1	Definición .....	11
2.1.2.2	Beneficios de la planificación vial.....	11
2.1.2.3	Características de la planificación de vial.....	12
2.1.2.4	Parámetros de la planificación vial.....	12
2.1.2.5	Los niveles de proyecto y red en la conservación de pavimentos.....	12
2.1.2.6	Conservación del pavimento a nivel proyecto .....	13
2.1.3	Estrategias para la conservación de pavimentos .....	14
2.1.3.1	Técnicas de conservación de pavimentos .....	14
2.1.3.1.1	Definición y generalidades.....	14
2.1.3.2	Tipos de intervenciones para la conservación de pavimentos.....	14
2.1.3.2.1	Mantenimiento rutinario.....	14
2.1.3.2.2	Mantenimiento periódico .....	14
2.1.3.2.3	Rehabilitación .....	15
2.1.3.2.4	Mejoramiento o reconstrucción.....	16
2.1.3.3	Tipos de deterioro del pavimento .....	16
2.1.3.4	Tipos de soluciones al daño del pavimento .....	18
2.1.4	El pavimento como elemento de la conservación vial .....	22
2.1.4.1	Definición de pavimentos .....	23
2.1.4.2	Clasificación de pavimentos.....	23
2.1.4.3	Estructura de pavimento flexible.....	24
2.1.5	Evaluación técnica para la elección de la estrategia de conservación de pavimentos .....	25
2.1.5.1	Evaluación funcional .....	26
2.1.5.1.1	Condición funcional o superficial de la carpeta de rodadura .....	26
2.1.5.1.2	Índice de serviciabilidad del pavimento .....	26
2.1.5.1.3	Auscultación visual de fallas.....	28
2.1.5.1.4	Estudio de tránsito.....	29
2.1.5.1.5	Textura del pavimento .....	31
2.1.5.2	Evaluación estructural .....	35
2.1.5.2.1	La deflexión como parámetro de evaluación estructural.....	35
2.1.5.2.2	Método para calcular el número estructural del pavimento.....	36
2.1.5.2.3	Características mecánicas de la subrasante .....	38
<b>2.2</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>51</b>
2.2.1	A nivel internacional .....	51

2.2.1.1	Antecedente internacional 1 .....	51
2.2.1.2	Antecedente internacional 2 .....	51
2.2.1.3	Antecedente internacional 3 .....	52
2.2.2	A nivel nacional .....	53
2.2.2.1	Antecedente nacional 1.....	53
2.2.2.2	Antecedente nacional 2.....	53
2.2.2.3	Antecedente nacional 3.....	53
2.2.3	A nivel local .....	54
2.2.3.1	Antecedente local 1 .....	54
2.2.3.2	Antecedente local 2 .....	54
<b>2.3</b>	<b>Marco Conceptual .....</b>	<b>55</b>
<b>CAPITULO III: HIPOTESIS Y VARIABLES .....</b>		<b>61</b>
<b>3.1</b>	<b>Formulación de hipótesis .....</b>	<b>61</b>
3.1.1	Hipótesis general.....	61
3.1.2	Hipótesis Específica.....	61
<b>3.2</b>	<b>Definición de variables .....</b>	<b>61</b>
3.2.1	Variable de estudio n°1 .....	61
3.2.1.1	Indicadores de las variables n°1 .....	61
3.2.2	Variable de estudio n°2 .....	62
3.2.2.1	Indicadores de las variables n°2 .....	62
3.2.3	Cuadro de operacionalización de variables.....	63
<b>CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>		<b>64</b>
<b>4.1</b>	<b>Tipo de investigación .....</b>	<b>64</b>
<b>4.2</b>	<b>Nivel o alcance de la investigación .....</b>	<b>64</b>
<b>4.3</b>	<b>Diseño de investigación .....</b>	<b>65</b>
<b>4.4</b>	<b>Población de estudio .....</b>	<b>65</b>
<b>4.5</b>	<b>Muestra.....</b>	<b>66</b>
<b>4.6</b>	<b>Selección de muestra .....</b>	<b>66</b>
<b>4.7</b>	<b>Tamaño de la muestra .....</b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE LA CARRETERA HUACARPAY – VICHO ANTES DE LA PLANIFICACIÓN VIAL.....</b>		<b>68</b>
<b>5.1</b>	<b>Recolección de información existente .....</b>	<b>68</b>
5.1.1	Características geométricas de la vía .....	68

5.1.2	Datos de conservación vial .....	68
5.1.3	Temperatura y humedad.....	69
5.1.3.1	Humedad.....	69
5.1.3.2	Temperatura .....	73
5.1.4	Estudio de tránsito.....	75
<b>5.2</b>	<b>Ensayos in-situ de la carpeta de rodadura .....</b>	<b>94</b>
5.2.1	Índice de rugosidad internacional .....	94
5.2.1.1	Diagnóstico de la serviciabilidad de la vía Huacarpay – Vicho (condición funcional) 101	
5.2.2	Ensayo de viga benkelman.....	102
5.2.3	Ensayo de textura - círculo de arena .....	111
<b>5.3</b>	<b>Ensayos de laboratorio de la estructura del pavimento .....</b>	<b>120</b>
5.3.1	Ensayo de california bearing ratio (CBR).....	120
5.3.1.1	Excavaciones y muestreo.....	120
5.3.1.2	Ensayos Para Determinar La Propiedad De Índice De Plásticidad.....	121
5.3.1.3	Ensayos de granulometria .....	126
5.3.1.4	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas.....	131
5.3.1.4.1	Proctor modificado ASTM D-1557, MTC – E115 .....	131
5.3.1.4.2	Ensayo CBR-california bearing ratio ASTM D-1883, MTC – E132 .....	136
5.3.1.4.3	Módulo resiliente de suelos de subrasante AASHTO T 274, MTC – E128 .....	146
5.3.1.4.4	Clasificación de suelos según MTC - índice de plasticidad .....	146
<b>5.4</b>	<b>Evaluación de deterioro o fallas en la carpeta asfáltica del pavimento. 149</b>	
<b>CAPITULO VI: GENERACIÓN DEL MODELO DE COMPORTAMIENTO</b>		
<b>CON EL SOFTWARE HDM-4 .....</b>		
		<b>168</b>
<b>6.1</b>	<b>Datos necesarios para ingresar al software .....</b>	<b>168</b>
6.1.1	Ingreso de datos a configuración.....	169
6.1.2	Ingreso de datos a flotas vehiculares.....	171
6.1.3	Ingreso de datos para a redes de vías .....	174
6.1.4	Ingreso de datos a estándares de trabajo .....	176
<b>6.2</b>	<b>Calibración de modelo de predicción de deterioro .....</b>	<b>180</b>
<b>6.3</b>	<b>Predicción del deterioro de la vía Huacarpay – Vicho .....</b>	<b>187</b>
<b>CAPITULO VII: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ESTRATEGIAS DE</b>		
<b>CONSERVACIÓN VIAL.....</b>		
		<b>200</b>
<b>7.1</b>	<b>Historial de intervenciones de conservación vial en la carretera</b>	
	<b>Huacarpay – Vicho .....</b>	<b>200</b>

7.2	Presupuesto De Las Alternativas De Conservación Vial.....	201
7.3	Elección De La Alternativa De Conservación Vial Para La Vía	
	<b>Huacarpay - Vicho .....</b>	<b>204</b>
7.3.1	Comparación De Los Estándares De Conservación Vial .....	205
	<b>CAPITULO VIII: DISCUCIONES .....</b>	<b>211</b>
	<b>CAPÍTULO IX CONCLUSIONES.....</b>	<b>214</b>
9.1	Conclusiones.....	214
	<b>CAPÍTULO X RECOMENDACIONES .....</b>	<b>221</b>
9.2	Recomendaciones.....	221
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>222</b>
	<b>CAPÍTULO XI anexos .....</b>	<b>229</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Concepto general de comparación económica del HDM. ....	11
Ilustración 2: Actividades componentes a nivel Proyecto y Red .....	13
Ilustración 3: Daños en el Pavimento Flexible .....	17
Ilustración 5 Esquema de deterioro de un pavimento en el tiempo .....	23
Ilustración 6: Estructura del Pavimento .....	25
Ilustración 6 Instrumento MERLIN .....	28
Ilustración 8:Tipos de Textura de un pavimento .....	32
Ilustración 9:Ensayo de textura del pavimento .....	33
Ilustración 10:Escala de textura ensayada con el círculo de la arena .....	34
Ilustración 11 Diagrama del ensayo de deflexión con Viga Benkelman.....	36
Ilustración 12: esquema del bulbo de presiones y cuenco de deflexiones .....	37
Ilustración 13: características del cuenco de deflexiones .....	37
Ilustración 13: Formato de Clasificación Vehicular .....	75
Ilustración 14: Distribución Porcentual Por Tipo De Vehículo, Estación De Aforo Vilcabamba.....	86
Ilustración 15: Variación Horaria del Promedio Vehicular, Estación Vilcabamba.....	87
Ilustración 16: Variación Diaria de Vehículos, Estación Vilcabamba .....	88
Ilustración 17: Distribución Porcentual Por Tipo De Vehículo, Estación De Aforo Huambutio.....	91
Ilustración 18: Variación Horaria del Promedio Vehicular, Estación Huambutio.....	92
Ilustración 19: Variación Diaria de Vehículos, Estación Huambutio .....	93
Ilustración 20: Formato SIC-30 para inventario vial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015).....	99
Ilustración 21: Distribución Del Índice De Rugosidad Internacional Característico (IRIc) De La Vía Huacarpay - Vicho .....	100
Ilustración 22: Escala de Índice de Serviabilidad .....	101
Ilustración 23: Formato SIC-27 para inventario vial .....	110
Ilustración 24: Distribución de deflexiones en la vía Huacarpay - Vicho.....	110
Ilustración 25: Formato SCI -32 para inventario vial .....	119
Ilustración 26: Distribución de la textura de la vía Huacarpay – Vicho .....	119
Ilustración 27: Resultados de Densidad Seca Máxima de Progresiva 0+700(C-1) .....	133
Ilustración 28: Resultados de Densidad Seca Máxima de Progresiva 3+200(C-2) .....	134
Ilustración 29: Resultados de Densidad Seca Máxima de Progresiva 6+500(C-3) .....	135

Ilustración 30: Resultados de Densidad Seca Máxima de Progresiva 9+000(C-4) .....	136
Ilustración 31: Ilustración Esfuerzo vs Penetración De Progresiva 0+700(C-1) .....	139
Ilustración 32: Ilustración Esfuerzo vs Penetración De Progresiva 3+200(C-2) .....	141
Ilustración 33: Ilustración Esfuerzo vs Penetración De Progresiva 6+500(C-3) .....	143
Ilustración 34: Ilustración Esfuerzo vs Penetración De Progresiva 9+000(C-4) .....	145
Ilustración 35: Pantalla de ingresos de datos .....	168
Ilustración 36: modelo de tránsito vía Huacarpay – Vicho .....	169
Ilustración 37: Tipo de velocidad vía de dos carriles .....	170
Ilustración 38: tipo de accidentes .....	170
Ilustración 39: zona climática en la vía Huacarpay - Vicho.....	171
Ilustración 40: serie de calibración Huacarpay - Vicho .....	171
Ilustración 41: ingreso de datos a flotas vehiculares.....	172
Ilustración 42: tipo de vehículo.....	172
Ilustración 43: atributos de vehículos .....	172
Ilustración 44: características básicas de autos .....	173
Ilustración 45: Costos económicos unitarios de autos .....	173
Ilustración 46: tasa se crecimiento Huacarpay – Vicho .....	174
Ilustración 47: Ingreso de datos a redes de vías .....	174
Ilustración 48: características de la vía .....	175
Ilustración 49: datos de pavimento vía Huacarpay - Vicho .....	175
Ilustración 50: Datos de Condición Funcional vía Huacarpay - Vicho.....	176
Ilustración 51: transito motorizado Huacarpay – Vicho .....	176
Ilustración 52: Creación de la red de carretera.....	177
Ilustración 53: Elección de acciones .....	177
Ilustración 54: Diseño de acción .....	178
Ilustración 55: Estándares de conservación .....	178
Ilustración 56: Costos unitarios por trabajo de conservación .....	178
Ilustración 57: Creación de nuevo proyecto.....	179
Ilustración 58: Nombrando el nuevo proyecto.....	180
Ilustración 59: Espacio de trabajo del nuevo proyecto creado.....	180
Ilustración 60: Coeficientes de calibración primaria .....	181
Ilustración 61: Coeficientes de calibración secundaria .....	182
Ilustración 62: Progreso del IRI en vía Huacarpay – Vicho para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015) .....	183



Ilustración 63: Progreso del agrietamiento en vía Huacarpay – Vicho para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015) .....	183
Ilustración 64: Progreso del ahuellamiento o roderas en vía Huacarpay – Vicho para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015).....	184
Ilustración 65: Progreso del tránsito promedio TDPA en vía Huacarpay – Vicho para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015).....	184
Ilustración 66: Coeficientes de calibración primaria .....	185
Ilustración 67: Coeficientes de calibración secundaria.....	185
Ilustración 68: Progreso del IRI en vía Huacarpay – Vicho para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023) .....	186
Ilustración 69: Progreso del agrietamiento en vía Huacarpay – Vicho para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023) .....	186
Ilustración 70: Progreso del ahuellamiento o roderas en vía Huacarpay – Vicho para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023).....	187
Ilustración 71: Progreso del tránsito promedio TDPA en vía Huacarpay – Vicho para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023).....	187
Ilustración 72 Tratamiento de sellado grietas según MTC.....	188
Ilustración 73 Tratamiento de reparación de baches o sellado con mezcla en caliente según MTC.....	189
Ilustración 74 Tratamiento de fresado con reposición según MTC .....	190
Ilustración 75 Tratamiento de recapeo o reposición de carpeta asfáltica según MTC....	191
Ilustración 76: Cuadro de rugosidad inicial según MTC para poder comparar estándares .....	191
Ilustración 77: Evolución del porcentaje de agrietamiento.....	194
Ilustración 78: evolución de la rugosidad de pavimento (IRI).....	194
Ilustración 79: Evolución del ahuellamiento en el pavimento .....	194
Ilustración 80: porcentaje total de área dañada .....	195
Ilustración 81: Evolución del porcentaje de agrietamiento.....	196
Ilustración 82: Evolución de la rugosidad de pavimento (IRI).....	196
Ilustración 83: Evolución del ahuellamiento en el pavimento .....	197
Ilustración 84: porcentaje total de área dañada .....	197
Ilustración 85: Evolución del porcentaje de agrietamiento.....	198
Ilustración 86: evolución de la rugosidad de pavimento (IRI).....	199
Ilustración 87: Evolución del ahuellamiento en el pavimento .....	199

Ilustración 88: Porcentaje total de Área dañada.....	199
Ilustración 85: Evolución del IRI para la alternativa A.....	206
Ilustración 86: Evolución del IRI para la alternativa B.....	207
Ilustración 87: Evolución del IRI para la alternativa C.....	207
Ilustración 88: Evolución del ahuellamiento para la alternativa A .....	208
Ilustración 89: Evolución del ahuellamiento para la alternativa B .....	209
Ilustración 90: Evolución del ahuellamiento para la alternativa C .....	209
Ilustración 91: Comparativa de costos en 20 años según HDM-4 .....	211
Ilustración 92: Evolución del IRI sin ninguna intervención de conservación vial .....	214

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: estaciones de conteo vehicular, estación Huambutio y estación Vilcabamba .....	83
Imagen 2: Ensayo de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la vía Huacarpay - Vicho..	94
Imagen 3: Ensayo de deflexión con Viga Benkelman en la vía Huacarpay - Vicho .....	102
Imagen 4: Ensayo De Macrotextura Del Pavimento - Círculo De Arena .....	111
Imagen 5: Extracción de muestra para el ensayo de CBR .....	121
Imagen 6: Muestras De Suelo Para Ensayos .....	121
Imagen 7: Ensayo de Limite Líquido y Limite Plástico.....	122
Imagen 8: Ensayo de Granulometría.....	126
Imagen 9: Ensayo de Proctor Modificado.....	131
Imagen 10: Ensayo CBR en el laboratorio de suelos y materiales de FIC-UNSAAC.....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Daños en Pavimento Flexible .....	16
Tabla 2: Cuadro de Soluciones al Daño del Pavimento .....	19
Tabla 3 Cuadro de parámetros del PSI - AASHTO 93 .....	26
Tabla 4: Clasificación de textura superficial .....	32
Tabla 5: Escala de textura ensayada con el marco portátil de textura .....	34
Tabla 6: Escala de textura de acuerdo al PT .....	35
Tabla 7: Serie de Tamices para análisis granulométrico .....	40
Tabla 8: Clasificación de Suelos mediante el Sistema SUCS .....	42
Tabla 9: Clasificación de Suelos según (AASHTO, 2017) .....	45
Tabla 10: Metodologías para Compactación de Suelos (AASHTO, 2017) .....	46
Tabla 11: Relación penetración y esfuerzo patrón (AASHTO, 2017) .....	49
Tabla 12 :Cuadro de Operacionalización De Las Variables .....	63
Tabla 13: Precipitación Anual Estaciones Cay Cay y Pisac .....	70
Tabla 14: Precipitación promedio anual .....	71
Tabla 15: Clasificación de acuerdo a la humedad según Thornthwaite .....	72
Tabla 16: Temperatura media mensual estación de Cay Cay .....	73
Tabla 17: Temperatura media mensual estación de Pisac .....	73
Tabla 18: Temperaturas máximas y mínimas de las estaciones Cay Cay y Pisac .....	74
Tabla 19: Clasificación de la Temperatura según Thornthwaite .....	74
Tabla 20: factores de corrección para vehículos pesados (OPMI - MTC, 2017) .....	77
Tabla 21: factores de corrección para vehículos pesados (OPMI - MTC, 2017) .....	78
Tabla 22: Factores de Corrección Estacional .....	78
Tabla 23: tasa de crecimiento promedio anual de la población .....	79
Tabla 24: tasa de crecimiento anual PBI .....	79
Tabla 25: Flujo de vehículos ligeros .....	80
Tabla 26: flujo de vehículos pesados .....	81
Tabla 27: Factor de distribución de carril .....	82
Tabla 28: Resultados del Conteo vehicular de la Estación de Aforo Vilcabamba .....	84
Tabla 29: Resultados del Conteo vehicular de la Estación de Aforo Huambutio .....	89
Tabla 30: Resultados Del Ensayo De Rugosidad Y Medidas De Ahuellamiento, Según Formato SIC-30 .....	95
Tabla 31: Resultados Ensayo De Deflexión Con Viga Benkelman, Según Formato SIC-27 .....	103

Tabla 32: Resultados obtenidos del ensayo de textura del pavimento, según formato ISC-32 .....	112
Tabla 33: Resultados Límite Líquido y Plástico de Progresiva 0+700(C-1).....	122
Tabla 34: Resultados Límite Líquido y Plástico de Progresiva 3+200(C-2).....	123
Tabla 35: Resultados Límite Líquido y Plástico de Progresiva 6+500(C-3).....	124
Tabla 36: Resultados Límite Líquido y Plástico de Progresiva 9+000(C-4).....	125
Tabla 37: Resultados de Análisis Granulométrico de Progresiva 0+700(C-1).....	127
Tabla 38: Resultados de Análisis Granulométrico de Progresiva 3+200(C-2).....	128
Tabla 39: Resultados de Análisis Granulométrico de Progresiva 6+500(C-3).....	129
Tabla 40: Resultados de Análisis Granulométrico de Progresiva 9+000(C-4).....	130
Tabla 41: Resumen de Resultados de Contenido de Humedad e Índice de Plasticidad .....	131
Tabla 42: Resumen de Resultados de Clasificación de Suelos.....	131
Tabla 43: Resultados de Compactación de Suelos de Progresiva 0+700(C-1) .....	132
Tabla 44: Resultados de Compactación de Suelos de Progresiva 3+200(C-2) .....	133
Tabla 45: Resultados de Compactación de Suelos de Progresiva 6+500(C-3) .....	134
Tabla 46: Resultados de Compactación de Suelos de Progresiva 9+000(C-4) .....	135
Tabla 47: Resumen de Resultados de Ensayo Proctor Modificado .....	136
Tabla 48: Resultados de CBR en Progresiva 0+700(C-1) .....	137
Tabla 49: Resultados de CBR en Progresiva 3+200(C-2) .....	140
Tabla 50: Resultados de CBR en Progresiva 6+500(C-3) .....	142
Tabla 51: Resultados de CBR en Progresiva 9+000(C-4) .....	144
Tabla 52: Resumen de Resultados del Ensayo CBR .....	146
Tabla 53: Resultados de Modulo Resiliente .....	146
Tabla 54: Clasificación de Suelos según su Índice de Plasticidad .....	147
Tabla 55: Resultados de la Clasificación de Suelos según su Índice de Plasticidad ..	147
Tabla 56: Clasificación de Suelos Según Índice de Grupo.....	147
Tabla 57: Resultados de Clasificación de Suelos Según Índice de Grupo .....	148
Tabla 58: Clasificación de Suelos Según CBR.....	148
Tabla 59: Resultados de Clasificación de Suelos Según CBR .....	148
Tabla 60: Requisitos Mínimos de CBR para Subrasante, Según MTC .....	148
Tabla 61: Análisis de los Requisitos Mínimos de CBR para Subrasante .....	149
Tabla 62: Deterioros o Fallas en los pavimentos asfálticos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).....	150

Tabla 63: Porcentajes de Área Afectados por Fallas .....	151
Tabla 64: Puntaje De Condición del Pavimento Según Tipo De Falla.....	158
Tabla 65: Calificación de Condición de la Capa de Rodadura.....	165
Tabla 66: Tipos de Condición según calificación de la condición .....	165
Tabla 67: Tipos de Conservación según calificación de condición .....	165
Tabla 68: Tabla Resumen de Condición del Pavimento y Tipo de Conservación, según el Manual de Conservación Vial del MTC .....	165
Tabla 69: Tabla resumen de intervenciones a lo largo de los años desde su habilitación hasta el año de estudio.....	181
Tabla 70: Cuadro resumen de fallas en tendencia calibrado para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015) .....	182
Tabla 71: Cuadro resumen de fallas en tendencia calibrado para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023) .....	185
Tabla 72: Cuadro resumen de alternativas de conservación.....	192
Tabla 73: Cuadro resumen de condición de pavimento según alternativa A.....	193
Tabla 74: Cuadro resumen de condición de pavimento según alternativa B.....	195
Tabla 75: Cuadro resumen de condición de pavimento según alternativa C.....	198
Tabla 76: Presupuesto De Construcción Del Tramo Huacarpay – Vicho.....	200
Tabla 77: Resumen De Presupuestos De Intervenciones de Conservación Vial Realizadas En La Vía Huacarpay-Vicho .....	200
Tabla 78: Alternativas De Conservación Vial Para La Vía Huacarpay – Vicho.....	201
Tabla 79: Cronograma de Intervenciones de la Alternativa A: Mantenimientos Rutinarios + Estándar de Mejoramiento.....	202
Tabla 80 Cronograma de Intervenciones de la Alternativa B: Refuerzo de Concreto Asfáltico e = 5 cm + Mantenimientos Rutinarios. ....	203
Tabla 81: Cronograma de Intervenciones de la Alternativa C: Reparación de Baches + Fresado con Reposición + Sellado de Grietas Transversales + Sellado de Grietas Longitudinales + Lechada Asfática e=1.5 cm + Mantenimientos Rutinarios. ....	204
Tabla 82: Comparación del presupuesto por años de las alternativas de conservación .....	205
Tabla 83: Estándares de Conservación de las Alternativas Propuestas .....	206
Tabla 84: Comparación del presupuesto total por años de las alternativas de conservación.....	215

Tabla 85: Comparación de los valores de deterioro del modelo de predicción del periodo 2016 – 2023 y los valores obtenidos mediante la evaluación in-situ.....	216
Tabla 86: Valores de Deterioro para la Alternativa de Conservación propuesta .....	217
Tabla 87: Comparación del presupuesto totales de las alternativas de conservación.	217
Tabla 88: Resumen De Presupuestos De Intervenciones de Conservación Vial Realizadas En La Vía Huacarpay-Vicho .....	218
Tabla 89 : Presupuesto de la intervención vial propuesta mediante la planificación vial del HDM-4 .....	219

## INTRODUCCIÓN

Las redes viales en nuestro país son la fuente de crecimiento económico, social y cultural de una población ya que estas facilitan la comunicación, transporte y el intercambio comercial entre poblaciones; es por ello la importancia de que estas vías de comunicación se encuentren en buen estado de conservación y es de responsabilidad de los entes gubernamentales, como el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), la gestión de la conservación de las redes viales, esto involucra definir una planificación vial que sea rentable desde el punto de vista técnico económico.

La carretera Huacarpay – Vicho es una vía nacional pavimentada que pertenece a la red vial PE-28B que conecta los distritos de Lucre y San Salvador en la Región del Cusco, esta carretera será el objeto de estudio del presente proyecto de investigación ya que no se encuentra en un buen estado de conservación por lo que es de suma importancia establecer una planificación vial de Conservación.

La finalidad del proyecto de investigación es optimizar los recursos económicos en la planificación vial de una vía asfaltada, caso vía Huacarpay – Vicho mediante la aplicación de la herramienta de análisis de proyectos en gestión vial HDM-4 (Highway Development & Management), este software permite establecer modelos de predicción del comportamiento del pavimento a través del tiempo, y así poder determinar estrategias de intervención vial que optimicen los recursos económicos y puedan prolongar la vida útil del pavimento a través de una planificación vial rentable desde el aspecto técnico económico.

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Justificación práctica**

Para garantizar estándares de conservación deseables en las vías de comunicación se requiere de una planificación de estrategias de intervención vial, las cuales deben ajustarse a la realidad y presupuesto asignado para la conservación de vías, la aplicación de la herramienta HDM-4, durante la planificación vial, permitirá obtener valores de deterioro futuros a través de un periodo de tiempo deseado, lo cual facilitará la elección de la estrategia de conservación más óptima desde el punto de vista técnico – económico, así como también prever ciertos incrementos considerables en el porcentaje de daño de la vía en un tiempo futuro.

La implementación del modelo de deterioro del HDM-4 en la planificación vial de la carretera Huacarpay – Vicho permitirá controlar la futura aparición de fallas o deterioros en la carpeta de rodadura, por lo cual se podrá dar solución a estas patologías y por ende optimizar los recursos económicos destinados a la conservación de esta vía perteneciente a la red nacional PE 28B, en base a lo mencionado, anteriormente, es de importancia los resultados a obtener en esta investigación ya que permitirán mejorar la planificación de conservación de vías de comunicación y optimizar la utilización de recursos económicos.

### **1.2 Justificación metodológica**

Los resultados de la aplicación del modelo HDM-4 en la planificación de conservación de la vía Huacarpay – Vicho permitirá ofrecer una alternativa en la planificación de intervenciones viales en las carreteras, a comparación de la metodología habitual utilizada por las entidades gubernamentales encargadas de la administración y conservación de las vías de comunicación, por lo que con esta alternativa de planificación de conservación vial se podrá mejorar los estándares de conservación según el tipo de vía y maximizar la utilización de los recursos presupuestarios designados a la conservación de la misma.



## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la situación actual**

Actualmente, en el Perú, la red vial está asociada al desarrollo económico y social de toda la población; El desarrollo integral de una comunidad se da en la medida que existe conectividad con otras comunidades, de ahí la necesidad de preservar esta red vial; garantizar un desarrollo poblacional estable. Según (Montoya Baca & Quispe Pariguana, 2015) el incremento del parque automotor y el medio ambiente son factores que causan el deterioro acelerado de las vías, por tal motivo la implementación de los planes de conservación vial es un reto para poder mejorar los niveles de servicio de las mismas y de esa forma garantizar el buen comportamiento de las vías. Ya que si no se garantiza una buena condicional funcional y estructural de las carreteras se incrementarán los costos de operación, números de accidentes, lo cual repercutirá en un aumento de los costos sociales.

En consecuencia, es necesario verificar y planificar las intervenciones rutinarias y periódicas en las carreteras, tomando en consideración predicciones de deterioro las cuales optimizarían los recursos económicos a largo plazo y un mejor control en las intervenciones; además de mantener un buen estándar de funcionalidad de las carreteras las cuales al día de hoy en el Perú se encuentran en déficit, mantener un correcto manejo de las redes de carreteras es beneficioso para el área usuaria y además para el área ejecutante ya que esto mejora las interconexiones poblacionales por ende mejor flujo económico entre los mismo, lo cual impulsa al desarrollo económico integral.

Una adecuada planificación vial permitirá mantener la seguridad, el confort y la capacidad estructural adecuados para el tráfico en la red vial durante un período de tiempo, manteniendo las condiciones climáticas y ambientales de la zona y reduciendo los costos financieros, sociedad y medio ambiente; lo que llamamos estándares óptimos de conservación.

La carretera Huacarpay - Vicho es una vía nacional ubicada en la región del Cusco que, en la actualidad, no presenta niveles de servicio óptimos para una vía de su categoría, lo cual se evidencia en las patologías encontradas en la carpeta de rodadura, en consecuencia se refleja la importancia de una óptima Planificación Vial para evitar así el incremento del costo de las intervenciones futuras; por ello la importancia de realizar una evaluación funcional y estructural de la vía para que, mediante una herramienta de análisis, realizar la toma de decisiones en la planificación vial además de optimizar el presupuesto asignado para su conservación y estableciendo estándares de servicio del pavimento que permitan alargar la vida útil del mismo.

El software HDM-4, es una herramienta de análisis de proyectos en gestión vial, el cual nos permite obtener modelos de predicción de comportamiento de la carpeta de rodadura del pavimento y así establecer una planificación vial. Estos modelos que respaldan el HDM-4 fueron desarrollados en países con condiciones económicas, ambientales y tecnológicas únicas. Por lo tanto, deben ajustarse y calibrarse para las condiciones particulares de cada área de las vías en evaluación.

## **1.2 Planteamiento del problema**

### **1.2.1 Problema general**

**PG:** ¿La aplicación del Modelo HDM-4 optimiza los recursos económicos en la planificación vial de la carretera Huacarpay – Vicho en el departamento del Cusco?

### **1.2.2 Problemas específicos**

**PE1:** ¿Es necesario la calibración del modelo HDM-4 para obtener predicciones representativas de la zona a evaluar?

**PE2:** ¿La aplicación del modelo HDM-4, facilita la elección de la Intervención vial más recomendable en el aspecto técnico - económico?

**PE3:** ¿Existe diferencia entre los costos de los trabajos de conservación vial realizados, con la planificación vial planteada mediante la herramienta del HDM-4?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

**OG:** Aplicar el Modelo HDM-4 para optimizar la planificación vial en la carretera Huacarpay-Vicho, en el departamento del Cusco.

### **1.3.2 Objetivo específico**

**OE1:** Realizar la calibración del Modelo HDM-4 para obtener un modelo de predicción representativo de la zona a evaluar.

**OE2:** Aplicar el Modelo HDM-4, para determinar la intervención vial más recomendable en el aspecto técnico - económico.

**OE3:** Determinar la diferencia de los costos de los trabajos de conservación vial realizados, con la planificación vial planteada mediante la herramienta del HDM-4.

## **1.4 Limitaciones de la investigación**

### **1.4.1 Limitaciones en los ensayos in-situ**

Para la realización de los ensayos in-situ en la vía Huacarpay – Vicho existieron limitaciones para su ejecución con normalidad debido a la alta y peligrosa afluencia de vehículos sobre todo de vehículos pesados, los cuales limitaron la ejecución de los ensayos in-situ como los ensayos de rugosidad del pavimento, ensayo de viga Benkelman, ensayo de textura del pavimento ya que limitaron su realización con la normalidad requerida.

### **1.4.2 Limitaciones administrativas de permisos**

La vía de evaluación PE28B tramo Huacarpay – Vicho se encuentra bajo la administración de la unidad ejecutora Provias Nacional por lo que para la realización de los ensayos en in-situ y extracción de muestras se tuvo que solicitar la autorización correspondiente para el libre uso de la vía durante los ensayos in -situ.

Por la ubicación de la vía Huacarpay – Vicho pertenece a la jurisdicción de la Comisaria de Huambutio por lo que se solicitó apoyo policial para la realización de los ensayos in-situ en la carretera y evitar posibles accidentes de tránsito.

### **1.4.3 Limitaciones espaciales**

Para la realización de los ensayos de laboratorio existió limitaciones con lo respecta a los horarios y disponibilidad de equipos e instrumentos del laboratorio de Mecánica de Suelos de la facultad de ingeniería civil de la UNSAAC, con tiempos limitados y poco acceso a una cantidad y variedad de instrumentos de laboratorio a los investigadores.

### **1.4.4 Limitaciones normativas**

La investigación se limita aplicar las disposiciones generales de normativas y documentos técnicos de aplicación nacional tales como:

- MTC E 110 (límite líquido)
- MTC E 111 (límite plástico)
- NTP 339.185 (contenido de humedad de los agregados gruesos y finos).
- NTP 400.012 (granulometría en la caracterización de los agregados).
- MTC E 115 (compactación de suelos en laboratorio, utilizando energía modificada).
- MTC E 132 (relación de soporte de california).
- MTC E 1005 (determinación de la textura superficial del pavimento mediante ensayo del círculo de arena).

- MTC E 1002 (medida de la deflexion de un pavimento flexible empleando la viga benkelman).
- Manual De Carreteras, Mantenimiento O Conservación Vial , RD N° 05-2016-MTC/14.
- Manual De Carreteras, Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos, RD N° 10-2014-MTC/14.
- Manual De Inventarios Viales, RD N° 22-2015-MTC/14.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 3.1 Bases teóricas

#### 3.1.1 La herramienta HDM-4

##### 3.1.1.1 Alcance

El alcance de HDM-4 según (HDM Global, 2008), nos refiere sobre la ampliación considerablemente más allá de las evaluaciones de proyectos tradicionales, para proporcionar un sistema poderoso para el análisis de la gestión de carreteras y las alternativas de inversión. El énfasis está en recopilar y aplicar el conocimiento existente en lugar de realizar nuevas investigaciones empíricas a gran escala, aunque la recopilación de datos es limitada. Siempre que fue posible, se han desarrollado enfoques nuevos e innovadores para aplicar conocimientos modernos para resolver problemas técnicos y necesidades de gestión en diferentes países.

##### 3.1.1.2 Antecedentes

Más de 100 países han utilizado estos modelos para evaluar la viabilidad económica de proyectos viales y maximizar las utilidades económicas para los usuarios de las carreteras en una variedad de niveles de costos. Como resultado, proporcionan herramientas avanzadas de análisis de inversiones en carreteras que son ampliamente aplicables a una amplia gama de climas y condiciones ambientales. Sin embargo, se reconoció que eran necesarios cambios fundamentales en los distintos modelos para abarcar una gama y condiciones de uso más amplias y reflejar las realidades y expectativas de la informática moderna (Salgado Torres, 2020).

Las conexiones técnicas incluidas en los modelos HDM-III y RTIM3 tenían más de 10 años en 1995. Aunque muchos modelos de deterioro de carreteras todavía son válidos, es necesario incorporar los resultados de la extensa investigación realizada en el ínterin para brindar orientación a el mundo. En cuanto a los costos de operación de los vehículos, se encontró que la tecnología de los vehículos ha mejorado significativamente desde 1980, lo que resulta en que el costo de operación de un vehículo típico sea potencialmente significativamente menor de lo esperado para los modelos HDM III y RTIM3. Por lo tanto, es necesario actualizar los informes técnicos para reflejar el estado actual de la tecnología. Aunque la mayor parte de la adopción de los distintos modelos se ha producido en los países en desarrollo, en los últimos años muchos países industrializados han comenzado a utilizar este modelo. Esto lleva a la necesidad de incluir capacidades adicionales como la modelización de: efectos de la congestión, efectos del clima frío, una gama más amplia de tipos y diseños de superficies, seguridad vial,

impactos ambientales (consumo de energía, ruido de la carretera y emisiones de vehículos). En este contexto, se trabajó en HDM-4 (Bustos, 2021).

### **3.1.1.3 Estructura general del software hdm-4**

#### **3.1.1.3.1 Requisitos de datos**

##### **3.1.1.3.1.1 Redes viales**

Facilita las capacidades básicas necesarias para almacenar las particularidades de una o más carreteras. Favorece a los usuarios configurar diferentes redes y subredes, así como segmentos de línea, que son la unidad básica de análisis. Los objetos de datos soportados en las redes de carreteras son: segmentos, enlaces y nodos. El total de los datos de la red se importan a través de la carpeta Road Network y hay herramientas disponibles para editar, eliminar y guardar estos datos. El enfoque de la referenciación de red es considerablemente más flexible que el utilizado en HDM-III, y está diseñado para manejar una amplia gama de convenciones de referenciación externa como las que podrían usar otros sistemas con los que HDM-4 puede necesitar interactuar (D Harinder, 2023).

##### **3.1.1.3.1.2 Flota de vehículos**

La agrupación le permite almacenar y recuperar características esenciales del vehículo para calcular la velocidad del vehículo, los costos operativos, los costos del tiempo de viaje y otros factores que afectan el vehículo. El método utilizado para representar la flota de vehículos es mucho más flexible que el utilizado en HDM-III, sin limitaciones en el número o tipo de vehículos que se pueden especificar. Motos y vehículos rudimentarios están incluidos en el precio. Se pueden configurar múltiples conjuntos de datos agrupados para su uso en diferentes análisis. También está disponible una variedad de datos predeterminados (Salgado Torres, 2020).

##### **3.1.1.3.1.3 Obras viales**

Los estándares viales se refieren a los objetivos o niveles de condiciones y respuestas que una organización de gestión vial desea lograr. Las organizaciones viales a menudo establecen varios estándares que pueden aplicarse en situaciones de la vida real para lograr objetivos específicos relacionados con las características funcionales del sistema de red vial (Bustos, 2021).

El directorio de carreteras brinda la oportunidad, dentro de un marco flexible, de definir una lista de estándares de mantenimiento y mejora para guiar a las organizaciones viales en sus

actividades de gestión y desarrollo de redes. Los estándares definidos en la carpeta Estándares del sitio de la carretera se pueden utilizar en cualquiera de las tres herramientas de análisis: análisis de proyectos, análisis de programas y análisis estratégico (Ministerio De Desarrollo Social, 2017).

#### **3.1.1.3.1.4 Configuración HDM-4**

Dado que HDM-4 se utilizará en una amplia gama de entornos, la configuración de HDM ofrece la posibilidad de personalizar el funcionamiento del sistema para reflejar las normas habituales en el entorno en estudio. Los datos predeterminados y los coeficientes de calibración se pueden definir de manera flexible para minimizar la cantidad de datos que deben cambiarse para cada aplicación de HDM-4 (Bustos, 2021).

Los valores predeterminados se proporcionan con HDM-4, pero todos estos son definibles por el usuario y se proporcionan funciones para permitir que se modifiquen estos datos. Los módulos de herramientas HDM-4 se pueden agregar a los métodos de gestión de pavimentos existentes. Las atribuciones de importación y exportación asociadas en los módulos facilitan la transferencia de datos entre los módulos HDM-4 y las bases de datos existentes. El formato de intercambio de datos utiliza formatos de archivo de datos estándar para fomentar su amplia adaptación por parte de las organizaciones viales (HDM Global, 2008).

### **3.1.1.3.2 Herramientas de análisis**

#### **3.1.1.3.2.1 Análisis de estrategia**

El concepto de planificación estratégica de los gastos de la red vial a mediano y largo plazo requiere que una organización vial considere los requisitos de todo el activo de su red vial (HDM Global, 2008).

Por tanto, el análisis estratégico concierne a toda la red o subred gestionada por la organización viaria. Ejemplos de redes de carreteras son: redes de carreteras primarias (o arteriales), redes de carreteras rurales (o secundarias), redes de carreteras urbanas (o urbanas), etc. Ejemplos de subredes son: todas las carreteras (o autopistas), todas las vías pavimentadas (o no pavimentadas), diferentes tipos de carreteras, etc. HDM-4 utiliza la idea de una matriz de red de carreteras para predecir los requisitos a mediano y largo plazo de una subred. toda la red o subred de carreteras. Esta matriz incluye los tipos de redes viales clasificados en función de las principales características que más afectan el desempeño del pavimento y sus usuarios. Aunque las aplicaciones de análisis estratégico pueden modelar rutas específicas, la mayoría de los administradores de carreteras suelen ser responsables de varios miles de kilómetros de

carreteras, lo que dificulta modelar segmentos de carreteras individuales. La matriz de la red de carreteras puede ser definida por el usuario para reflejar los factores más importantes que afectan los costos del transporte interno. La matriz de una red vial típica se puede clasificar según: intensidad o carga de tráfico, tipo de superficie, condiciones de la superficie, entorno o zona climática, clasificación funcional (Bustos, 2021).

#### **3.1.1.3.2 Análisis de programa**

Esto se refiere principalmente a priorizar una larga lista de proyectos prometedores sobre un esquema de trabajo que dure un año o más, dependiendo de las limitaciones presupuestarias. Es importante destacar que estamos tratando con una gran cantidad de proyectos viales potenciales que han sido seleccionados como segmentos individuales de la red vial. Los estándares de mantenimiento, mejora o desarrollo que una administración vial pueda haber establecido suelen ser los criterios de selección. Los umbrales de mantenimiento periódico (por ejemplo, volver a sellar la superficie del pavimento al 20 % de daño), los umbrales de mejora (por ejemplo, ampliar vías con una relación volumen/capacidad mayor de 0,8) y los estándares de desarrollo (por ejemplo, mejorar los caminos de grava a pavimentos sellados cuando el tráfico diario promedio anual supera los 200 vehículos por día) son ejemplos de criterios de selección (Kebebew & Tucay Quezon, 2022).

Los ejemplos anteriores no implican recomendaciones firmes para ser utilizadas por las autoridades viales. El empleo de análisis HDM-4 se puede utilizar para comparar los costos esperados del periodo de vida de un sistema de gestión de pavimento existente (es decir, sin el proyecto) con los costos esperados del ciclo de vida del proyecto cuando se han identificado todos los proyectos potenciales mantenimiento regular, mejoras de carreteras o desarrollo de soluciones alternativas (es decir, basadas en proyectos). Esto proporciona la base para estimar los beneficios económicos que se derivarían al incluir cada proyecto candidato dentro del marco de tiempo del presupuesto (D Harinder, 2023).

#### **3.1.1.3.3 Análisis de proyectos**

El análisis del proyecto se ocupa de lo siguiente:

Evaluación de uno o más proyectos viales u opciones de inversión. La aplicación analiza un tramo o enlace vial con tratamientos seleccionados por el usuario, con costos y beneficios asociados, proyectados anualmente durante el período de análisis (Salgado Torres, 2020).

Se determinan indicadores económicos para las diferentes opciones de inversión. El análisis de diseño se puede utilizar para evaluar la factibilidad económica o técnica de proyectos de



inversión vial, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: estructura del pavimento, nivel previsto de deterioro de las carreteras a lo largo de su ciclo de vida, impactos y costos de las obras viales, costos y beneficios para las carreteras. usuarios y consideraciones económicas. Compara diseños alternativos. El mantenimiento y la rehabilitación de las carreteras existentes, los planes de mejora geométrica o de ampliación, la mejora del pavimento y la construcción de nuevas estructuras son proyectos de evaluación típicos (Ministerio De Desarrollo Social, 2017).

No existe modificaciones sustanciales en la filosofía del método en esta área, pero los índices de desgaste de la carretera mejorados se han ampliado para cubrir una variedad más amplia de superficies de carreteras y conducta de materiales en climas tibio y fríos. Las relaciones de costos para los usuarios de las carreteras incluyen impactos en la seguridad vial (Bustos, 2021).

### **3.1.1.3.3 Modelos**

#### **3.1.1.3.3.1 Modelo de deterioro de la carretera**

Según (HDM Global, 2008) ,estos modelos incluyen el acceso a la modelización, así como detalles de las variables clave que afectan al deterioro como lo son los efectos del clima y medioambientales, el tráfico y el historial del firme las cuales se figuran en tres grandes grupos que son los siguientes:

#### **3.1.1.3.3.2 Calibración del modelo HDM-4**

Como parte del Estudio internacional de las herramientas para el desarrollo y conservación de carreteras (ISOHDM, por sus siglas en inglés) se compiló un compendio de países en los que HDM se ha aplicado. Aproximadamente 100 países desarrollados o en vías de desarrollo con diferencias significativas en tecnología, clima y economía han utilizado HDM o sus relaciones. Puesto que el modelo simula los cambios futuros del sistema de carreteras a partir de las condiciones actuales, la confiabilidad de los resultados depende de dos consideraciones primarias: la fiabilidad de la representación de las condiciones actuales y los factores que las influyen en los datos provistos del modelo, y la veracidad de las predicciones de los comportamientos y las interacciones entre los diferentes factores de la variedad de condiciones del modelo (D Harinder, 2023).

El uso del modelo implica dos pasos cruciales:

- Ingreso de datos:

Interpretar adecuadamente los requisitos de entrada de datos y garantizar que la calidad de los datos sea suficiente para alcanzar la confiabilidad deseada de los resultados. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015).

- Calibración de los datos de salida:

Consiste en realizar un ajuste a los parámetros del modelo para que los pronósticos y los datos de salida reflejen con precisión los cambios y las influencias que han ocurrido a lo largo del tiempo y con diferentes intervenciones. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015).

#### **3.1.1.3.3.2.1 Enfoque de la calibración del modelo HDM 4**

Se enfoca en dos componentes primarios que determinan las cantidades físicas y los costes y beneficios definidos para el análisis, que se denominan (Salgado Torres, 2020):

- **Efectos de los usuarios de la carretera (RUE)** – incluye los costes de circulación del vehículo (VOC), el tiempo del trayecto, la seguridad (Bustos, 2021).
- **Deterioro de la carretera y efectos de los trabajos (RDWE)** – incluye los deterioros del firme y el impacto de las actividades de conservación sobre la condición del firme y la tasa futura de deterioro del firme (Salgado Torres, 2020).

#### **3.1.1.4 Evaluación económica con HDM-4**

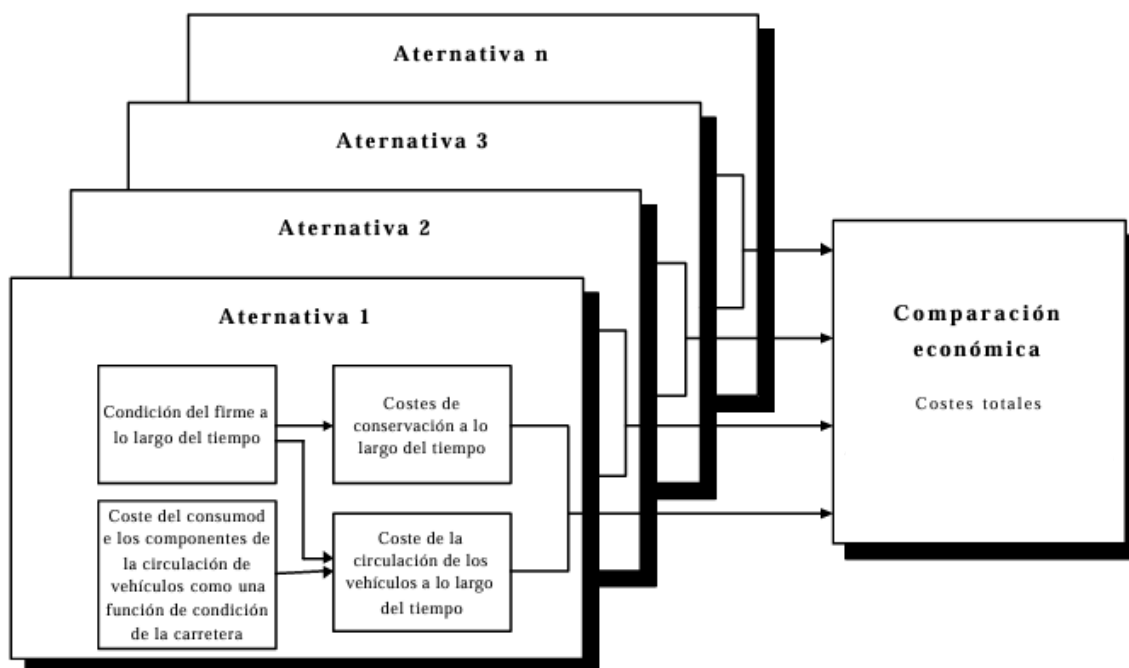
HDM es un modelo informático que simula las condiciones físicas y económicas a través del período de un análisis, generalmente un ciclo de vida, de unas series de alternativas y situaciones especificados por el usuario (HDM Global, 2008).

Ya sea para diseños de carreteras de un perfil específico o un grupo de rutas a lo largo de toda la red, HDM está concertado para proporcionar estimaciones comparativas de costos y evaluación económica de opciones de construcción y mantenimiento, incluidas diferentes opciones de cronograma. HDM pronostica los costes totales de un proyecto con un gran número de alternativas de diseño y de conservación, año por año; descuenta los costes futuros en una escala prorrateada, para que el usuario pueda elegir la alternativa con el menor coste total descontado (Bustos, 2021).

El usuario establece una serie de opciones que describen las diversas alternativas de conservación e inversión en carreteras. Las inversiones tienen un impacto tanto en la condición del firme a lo largo del tiempo como en los costos de mantenimiento de las carreteras. Los efectos de los usuarios de las carreteras se ven afectados por las condiciones del pavimento y

el tráfico. El modelo predice la rapidez de conducción y el uso de componentes RUE como ustibles, neumáticos, etc. Aumentar estos valores por el precio unitario de cada pieza dará como resultado el RUE con el tiempo.. A través de la comparación de los costos obtenidos de las diferentes opciones de inversión, se puede obtener una evaluación de sus méritos relativos, que son los ahorros en costos y beneficios utilizando principios económicos (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015).

Ilustración 1: Concepto general de comparación económica del HDM.



Fuente: HDM GLOBAL

### 3.1.2 Planificación vial

#### 3.1.2.1 Definición

Es un conjunto de soluciones cuya prioridad es mantener las categorías de seguridad, confort y durabilidad estructural suficientes para el tránsito durante un período de tiempo determinado, manteniendo al mismo tiempo las condiciones climáticas y ambientales de una zona con una determinada vía. Todo ello minimiza los costes monetarios, sociales y medioambientales (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

#### 3.1.2.2 Beneficios de la planificación vial

La planificación vial otorga beneficios, tales como: recopila un conjunto de información, la cual puede ser compartida dentro de la organización, entre instituciones o el público en general, logra los mejores beneficios con el dinero disponible, puede dar a conocer

las consecuencias de una u otra medida de conservación en base a experiencias similares anteriores (Flinscht, 2018).

### **3.1.2.3 Características de la planificación de vial**

La planificación vial debe ser capaz de ser usada por el organismo a cargo de los distintos niveles y contribuir a la toma de decisiones respecto de los proyectos individuales y de la red en que se encuentran insertos dichos proyectos (Austroads, 2018).

Para conseguir una adecuada planificación vial es útil conocer algunos de sus requerimientos esenciales: Capacidad de ser fácilmente utilizado, posibilitando agregar y actualizar datos y modificarlo con nueva información sin mayor complicación, capacidad de considerar estrategias alternativas dentro de la evaluación, capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima, capacidad de basar sus decisiones en procedimientos racionales, con atributos, criterios y restricciones cuantificables, capacidad de usar información de retroalimentación para conocer las consecuencias de las decisiones (Sanchit, Arun, & Shaik, 2023).

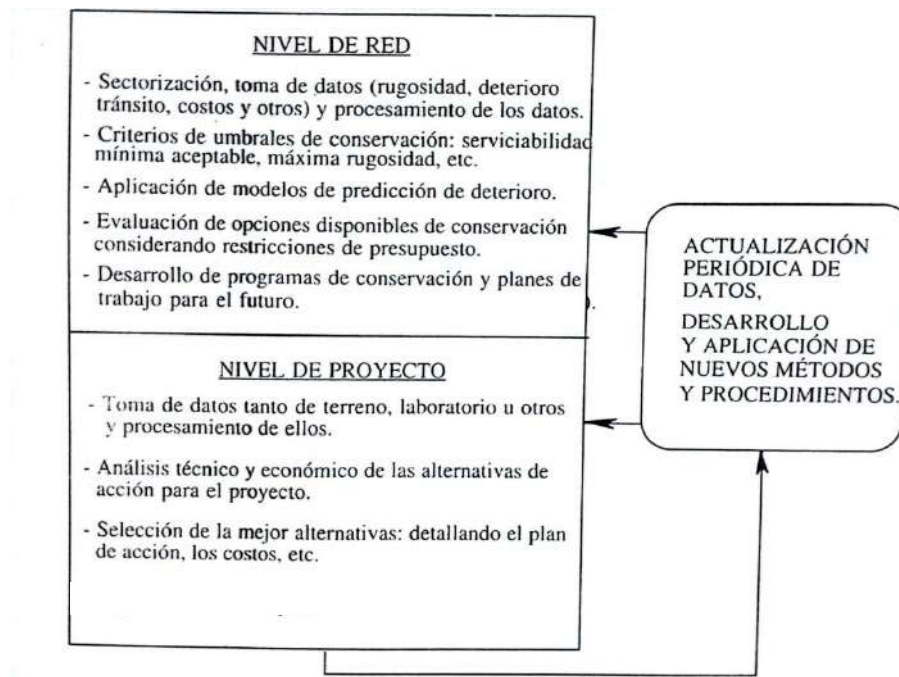
### **3.1.2.4 Parámetros de la planificación vial**

Un método de planificación vial bien comprendido tiene un grupo de variables inmutables que lo definen, de los cuales los parámetros a tener en cuenta dependerán del "estado del arte": el modelo de comportamiento o el utilizado, en base al conocimiento previo. Experiencia con el comportamiento del pavimento y los factores a tener en cuenta en función de la calidad de los equipos de medición y métodos de determinación de los parámetros, la calidad y cantidad de la base de datos disponible, la variabilidad del conjunto de datos necesarios para determinar los parámetros (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

### **3.1.2.5 Los niveles de proyecto y red en la conservación de pavimentos**

Las actividades de gestión de pavimento se definen según el nivel en se esté trabajando, de este modo encontraremos las siguientes características (Austroads, 2018):

Ilustración 2: Actividades componentes a nivel Proyecto y Red



Fuente: Ralph Haas

### 3.1.2.6 Conservación del pavimento a nivel proyecto

La Conservación de Pavimentos a nivel de proyecto corresponde a un conjunto de estrategias que minimicen los costos totales de ciclo de vida del pavimento, en los que se incluye los de construcción y/o mantención, además de los usuarios, mientras se satisfacen las restricciones de tipo físicas y administrativas, tales como requerimientos de comportamiento, rugosidades máximas o mínimas y disponibilidad de fondos (Reyes Lizcano & Rondon Quintana, 2015).

Se utilizan datos para la investigación a nivel de diseño: Sometimiento de cargas que admite la estructura del pavimento, variables ambientales que lo afectan, propiedades del material con el que está construido, propiedades de la base, cimentación y firme, variables y costos de construcción y mantenimiento (Solminihaç, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

En la Conservación de Pavimentos a nivel de proyecto se contemplan las siguientes actividades: generación de alternativas de tratamientos de conservación de pavimentos, selección de período de análisis, tasa de descuento, niveles de calidad mínimos del pavimento, etc., para el análisis técnico económico de los pavimentos, análisis técnico de cada alternativa en función de comportamiento esperado en el pavimento, análisis económico de cada alternativa en función

de los costos y beneficios esperados para el ciclo de vida del pavimento y selección de la alternativa adecuada, en base a criterios cuantitativos y cualitativos (Austroads, 2018).

### **3.1.3 Estrategias para la conservación de pavimentos**

#### **3.1.3.1 Técnicas de conservación de pavimentos**

##### **3.1.3.1.1 Definición y generalidades**

Los métodos de mantenimiento vial son un grupo de actividades que se ejecutan con el fin de conservar en buen estado las condiciones físicas de cada tramo de la vía y así garantizar un viaje cómodo, seguro y económico. De hecho, el objetivo es preservar el capital financiado en el proyecto y así evitar el desgaste físico del proyecto. Las actividades de conservación suelen clasificarse según el número de repeticiones: programadas o periódicas. De hecho, todos son periódicos porque se repiten dentro del mismo elemento a intervalos regulares. Pero, en realidad, las actividades rutinarias se refieren a actividades repetitivas que ocurren continuamente en diferentes tramos de la carretera, mientras que las actividades intermitentes se refieren a actividades que se repiten durante períodos de tiempo más largos, que duran varios meses o más de un año (Solminihaç, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

##### **3.1.3.2 Tipos de intervenciones para la conservación de pavimentos**

Según (Schliessler & Bull, 1994) los tipos de intervenciones viales son las siguientes:

###### **3.1.3.2.1 Mantenimiento rutinario**

Reparación localizada de pequeños defectos en la calzada y el pavimento; nivelación de superficies sin pavimentar y de bermas; mantenimiento regular del drenaje, los taludes laterales, los bordes, los dispositivos para control de tránsito y otros elementos accesorios; limpieza de las fajas de derecho de vía, control del polvo y de la vegetación, limpieza de la nieve o la arena y mantenimiento de zonas de descanso y aditamentos de seguridad. Según las condiciones específicas de cada camino, debe aplicarse una o más veces al año (Montejo Fonseca A. , 2016).

###### **3.1.3.2.2 Mantenimiento periódico**

Todas las actividades de conservación son periódicas, es decir, deben repetirse a intervalos regulares. Por lo tanto, esta expresión puede ser engañosa. Sin embargo, esta denominación se utiliza principalmente para el tratamiento y la renovación de la superficie (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

- Tratamiento de superficie

Se trata de una actividad de conservación de caminos pavimentados que tiene como objetivo restaurar ciertas características del pavimento sin convertirlo en un refuerzo estructural. La textura del pavimento, que proporcione suficiente fricción entre el vehículo y la superficie de la carretera es una de las características que ayuda a mantener el buen estado. La idea es mantener la durabilidad de la mezcla asfáltica en carreteras pavimentadas y evitar el desarrollo prematuro de grietas, muchas veces provocadas por la oxidación y la radiación solar. La conservación superficial generalmente se realiza mientras la superficie aún está en buenas condiciones, incluso antes de que se dañe. Algunas técnicas de conservación de la superficie incluyen el sello (seal), el tratamiento de la superficie (surface treatment), el riego de neblina (fog seal), la lechada asfáltica (slurry seal) y el ranurado (Reyes Lizcano & Rondon Quintana, 2015).

- Renovación de superficie

Se refiere a la reutilización de grava en un camino sin pavimentar. En carreteras pavimentadas, esto significa aumentar una capa de superficie extra sin cambiar la estructura existente. Este precio también incluye el reciclaje de losas. El propósito de la reparación del pavimento es mantener la calidad de rodadura, mantener la capacidad estructural de la carretera y prevenir daños. En general, las carreteras pavimentadas deben repararse cuando están en buenas condiciones y esto debe hacerse antes de que se deterioren. Esto también se aplica a caminos sin pavimentar, siempre y cuando no haya mucho tránsito (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

### **3.1.3.2.3 Rehabilitación**

Refuerzo selectivo y reparación de vías o aceras tras demolición fragmentado de estructuras existentes. Ya sea que el estado de la carretera sea demasiado deficiente para soportar futuros aumentos de tráfico, se reconstruirá, lo que puede incluir algunas mejoras en el drenaje. El propósito de la restauración es restaurar la resistencia estructural y la calidad de la banda de rodadura. La rehabilitación del pavimento es mucho más costosa que la repavimentación de carreteras, especialmente debido al alto costo de demoler y sustituir las partes dañadas de la estructura existente. Debido a la falta de mantenimiento adecuado, lo más frecuente es que se requiera rehabilitación. La rehabilitación solo debería ser necesaria en situaciones excepcionales, como cuando se requieren piezas defectuosas de una construcción recién construida (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

### 3.1.3.2.4 Mejoramiento o reconstrucción

Renovación completa de la estructura del camino, que generalmente se lleva a cabo mediante explanación y alineamiento regulares del camino después de la demolición parcial o completa de la estructura existente. Esta actividad se realiza cuando la rehabilitación ya no es posible y tiene como objetivo remediar las consecuencias causadas por el descuido prolongado. Hay dos razones para la reconstrucción: una construcción deficiente o la falta de un plan de conservación sólido (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

### 3.1.3.3 Tipos de deterioro del pavimento

Tabla 1 Daños en Pavimento Flexible

Clasificación de los daños	Código de daño	Daños	Gravedad
Daños estructurales	1	Piel de cocodrilo	1. Malla grande (> 0,5 m) sin material suelto 2. Malla mediana (entre 0,3 y 0,5 m) con material suelto o sin él 3. Malla pequeña (< 0,3 m) con material suelto o sin él
	2	Fisuras longitudinales	1. Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho < 1 mm) 2. Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm) 3. Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
	3	Deformación por deficiencia estructural	1. Profundidad sensible al <u>usuario</u> pero < 2 cm 2. Profundidad entre 2 cm y 4 cm 3. Profundidad ≥ 4 cm
	4	Ahuellamiento visco-elástico	1: Profundidad sensible al <u>usuario</u> pero < 1 cm 2: Profundidad > 1 cm
	5	Reparaciones o bacheo	1. Reparación o bacheo para daños superficiales 2. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado 3. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado
Daños superficiales	6	Desprendimiento	1. Puntual sin aparición de la base granular 2. Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular. 3. Continuo con aparición de la base granular
	7	Huecos	1. Diámetro < 0.2 m 2. Diámetro entre 0.2 y 0.5 m 3. Diámetro > 0.5 m



	8	Fisuras transversales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Finas (ancho &lt; 1 mm)</li> <li>2. Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho &gt; 1 mm)</li> <li>3. Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho &gt; 1 mm)</li> </ol>
	9	Exudación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puntual</li> <li>2. Continua</li> <li>3. Continua con superficie viscosa</li> </ol>
Daños en bermas	10	Daños	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daños puntuales</li> <li>2. Daños en menos del 30 % de la longitud</li> <li>3. Daños en más del 30 % de la longitud</li> </ol>
	11	Desnivel	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desnivel significativo pero menor que 5 cm</li> <li>2. Desnivel entre 5 y 10 cm</li> <li>3. Desnivel <math>\geq 10</math> cm</li> </ol>

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Además de conocimiento sobre el tipo de daños causados por el ingreso de lluvias y por cargas externas de clima y carga vehicular se formula esta tabla anterior tomando en cuenta además las afectaciones por el paso del tiempo y formaciones por un mal diseño del pavimento y se ven reflejadas en la siguiente imagen (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018):

Ilustración 3: Daños en el Pavimento Flexible



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

#### **3.1.3.4 Tipos de soluciones al daño del pavimento**

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018) el tipo de intervenciones de acuerdo al tipo de daños encontrados se recomienda un tipo específico de medidas de soluciones en el pavimento las cuales se especifica de la siguiente manera en un cuadro de acuerdo al nivel de severidad:

Tabla 2: Cuadro de Soluciones al Daño del Pavimento

Clasificación de los daños	Código de Daño	Daños	Medida de Daño	Reparaciones Correctivas
Daños estructurales	1	Piel de cocodrilo	Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada.	Bajo: No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta. Medio: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción. Alto: Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción.
	2	Fisuras longitudinales	Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (ó metros lineales). La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado.	Bajo: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm. Medio: Sellado de grietas. Alto: Sellado de grietas. Parcheo parcial.
	3			

Daños estructurales		Deformación por deficiencia estructural	Se miden en pies lineales (ó metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación.	Bajo: No se hace nada. Medio: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial. Alto: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobrecarpeta.
	4	Ahuellamiento visco-elástico	El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad media.	Bajo: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta. Medio: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta. Alto: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.
	5	Reparaciones o bacheo	Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de	Bajo: No se hace nada. Medio: No se hace nada.

			<p>área afectada. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).</p>	<p>Sustitución del parche. Alto: Sustitución del parche.</p>
Daños superficiales	6	Desprendimiento	<p>La meteorización y el desprendimiento se miden en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.</p>	<p>Bajo: No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial. Medio: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Alto: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.</p>
	7	Huecos	<p>Los huecos se miden contando aquellos que sean de severidades baja, media y alta, y registrándolos separadamente.</p>	<p>Bajo: No se hace nada. Parcheo parcial o profundo. Medio: Parcheo parcial o profundo. Alto: Parcheo profundo.</p>
	8	Fisuras transversales	<p>Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (ó metros lineales). La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación. Si la</p>	<p>Bajo: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm. Medio: Sellado de grietas. Alto: Sellado de grietas. Parcheo parcial.</p>

Daños superficiales			grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado.	
	9	Exudación	Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.	Bajo: No se hace nada. Medio: Se aplica arena / agregados y cilindrado. Alto: Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).
Daños en bermas	10	Daños por Grietas de Borde	La grieta de borde se mide en pies lineales (ó metros lineales).	Bajo: No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm. Medio: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo. Alto: Parcheo parcial – profundo.
	11	Desnivel	El desnivel carril / berma se miden en pies lineales (ó metros lineales).	Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

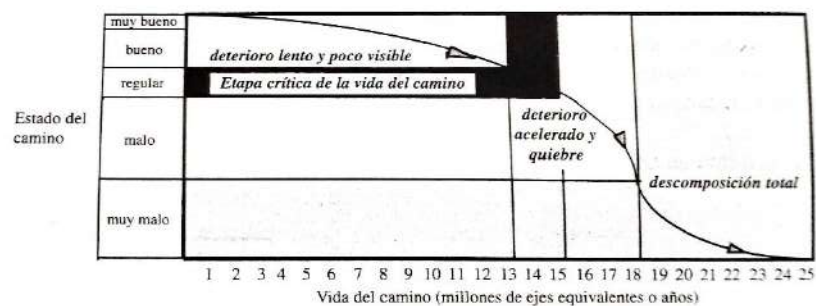
### 3.1.4 El pavimento como elemento de la conservación vial

Las redes viales del país se ha incrementado significativamente y continúa creciendo a un ritmo rápido, lo que destaca la necesidad de información completa sobre las condiciones e instalaciones de las carreteras, así como planes de acción de mantenimiento para prevenir y

superar el deterioro de las carreteras. En el momento adecuado (Solminihaç, Gestión de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

La gestión del pavimento se refiere a todas las medidas de protección que, cuando se aplican en el tiempo, mantienen un nivel adecuado de servicio, tanto funcional como estructural. Se presenta un diagrama que muestra la naturaleza general de los daños al pavimento. Se puede observar que en los primeros años la destrucción se produjo lentamente; Sin embargo, hay un umbral en el que el ritmo de deterioro se acelera y la carretera llega rápidamente al final de su vida útil (Solminihaç, Gestión de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

Ilustración 4 Esquema de deterioro de un pavimento en el tiempo



Fuente: Schliessler

### 3.1.4.1 Definición de pavimentos

Un revestimiento es un elemento estructural formado por una o más capas, ubicadas sobre una superficie y diseñadas para aguantar cargas estáticas o en movimiento durante un lapso de tiempo determinado. En el transcurso este período, debes someterte a ciertos tratamientos para prolongar tu “vida”. Consta de una o más capas de espesor variable, colocadas sobre un sustrato preparado para soportarlo. Su función más importante es proporcionar una superficie deslizante lisa y resistente al desgaste; y un cuerpo estable y continuo bajo carga (Das, 2023).

### 3.1.4.2 Clasificación de pavimentos

Se pueden tomar muchos criterios para la clasificación como la calidad de sus materiales empleados en su construcción, su estructura, el uso al que estarán destinados, el periodo de vida y la forma en que se distribuyen las cargas en el terreno: Pavimentos rígidos y Pavimentos flexibles (Reyes Lizcano & Rondon Quintana, 2015).

#### a) Pavimento Flexible

Esta clase de superficie consta de una capa asfáltica soportada por dos capas duras: la subbase y la subbase. No obstante, puede prescindir de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra (Montejo Fonseca A. , Ingeniería de pavimntos para carreteras, 2016).

#### b) Pavimento Rígido

Básicamente consisten en una losa de hormigón hidráulico colocada sobre el suelo o una capa de un material especial llamado base de pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia (Montejo Fonseca A. , Ingeniería de pavimntos para carreteras, 2016).

### 3.1.4.3 Estructura de pavimento flexible

Un pavimento esencialmente está constituido por las siguientes capas las cuales son:

Sub-base, debe cumplir la principal tarea protectora (drenaje y anticontaminación) de los soportes con revestimiento blando o de los paneles con revestimiento duro; y función de barrera secundaria, principalmente en el caso de superficies flexibles que pueden ser granulares o estables (Solminihaç, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

Base, que es el principal elemento estructural en los pavimentos flexibles y que en los pavimentos rígidos puede reemplazar a la Sub-base, pudiendo ser de agregados aglomerados con asfalto (como en el caso de las Bases Negras y Estabilizadas), de agregados aglomerados con cemento Portland (como en el caso de las bases estabilizadas con cemento, o las bases de Concreto Compactado con Rodillo); o de suelos sin aglomerar como en el caso de las Bases de Grava (Das, 2023).

La capa más superficial, también conocida como capa de desgaste o superficie de rodadura, entra en relación con las aplicaciones y tiene como objetivo principal proporcionar una superficie lisa, antideslizante y resistente a la abrasión. En los pavimentos rígidos, es también el componente principal de la estructura (Reyes Lizcano & Rondon Quintana, 2015).

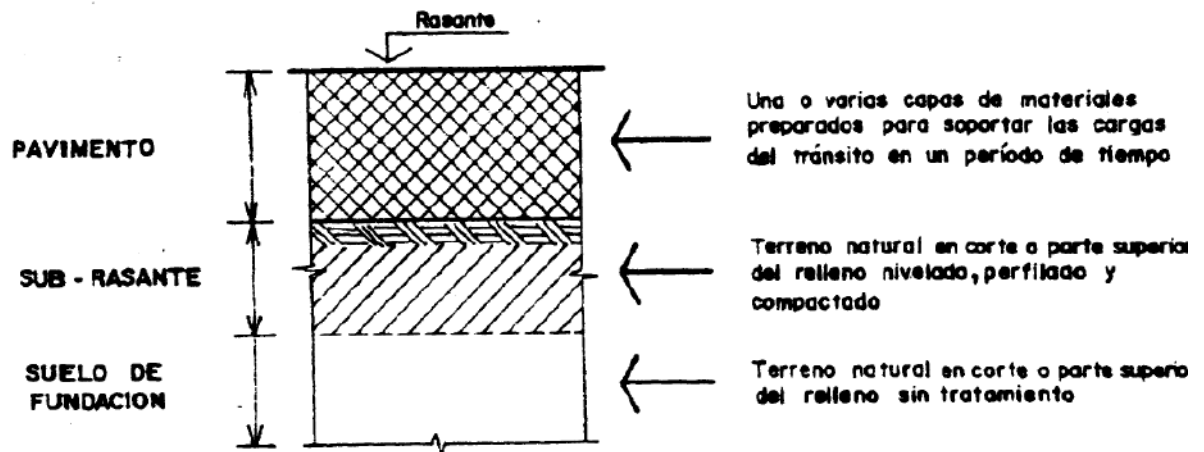
Podemos considerar las capas que se encuentran que se encuentra por debajo de la estructura del pavimento, las cuales son:



Terreno de fundación: La parte que sirva de cimentación del pavimento una vez finalizados los trabajos de excavación y compactación tendrá una sección y pendiente determinada en el plano de diseño (Solminihaç, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2015).

Superficie sub rasante: La correspondiente al terreno de fundación (Reyes Lizcano & Rondon Quintana, 2015).

Ilustración 5: Estructura del Pavimento



Fuente: Vivar Romero, German

### 3.1.5 Evaluación técnica para la elección de la estrategia de conservación de pavimentos

La estructura del pavimento están diseñadas para garantizar una conducción segura y cómoda, por lo que deben proporcionar un nivel de servicio que satisfaga la demanda. Se divide en dos grupos dentro de este aspecto: evaluación funcional y evaluación estructural de pavimentos. La agregación de estas dos evaluaciones sintetiza la evaluación técnica de los pavimentos (Bustos, 2021).

Las evaluaciones de ingeniería de superposición generalmente apuntan a lograr los siguientes objetivos: seleccionar estrategias de diseño y tratamiento a nivel de red, identificar requisitos de mantenimiento específicos a nivel de proyecto (Solminihaç, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

### 3.1.5.1 Evaluación funcional

#### 3.1.5.1.1 Condición funcional o superficial de la carpeta de rodadura

Para que un camino cumpla su función de servir al tránsito en forma segura, confortable y eficiente, debe tener un buen diseño geométrico, esto exige a grandes rasgos cumplir tres requisitos importantes: tener un trazado, dimensionamiento y un diseño de cruces adecuado (Das, 2023).

**Trazado:** Abarca el diseño planimétrico y altimétrico, es decir, diseñar curvas horizontales, verticales, pendientes, peraltes, etc (Bustos, 2021).

**Dimensionamiento:** Precisar, entre otros: número, ancho de carriles de circulación, construcción de medianas, terraplenes, carriles adicionales, carriles de aceleración y desaceleración (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

#### 3.1.5.1.2 Índice de serviciabilidad del pavimento

Condiciones necesarias del firme para garantizar una conducción segura y cómoda a los usuarios en un momento determinado. Inicialmente esta condición se cuantificó a través de la opinión de los conductores, cuyas respuestas se tabulaban en la escala de 5 a 1 (Austroads, 2018).

Tabla 3 Cuadro de parámetros del PSI - AASHTO 93

Índice de Serviciabilidad ( <i>PSI</i> )	Calificación
5 – 4	Muy buena
4 – 3	Buena
3 – 2	Regular
2 – 1	Mala
1 – 0	Muy mala

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

##### 3.1.5.1.2.1 Relación entre PSI e IRI

Los valores de rugosidad y los resultados de PSR muestran la relación entre la serviciabilidad y la rugosidad. El Índice de Regularidad Internacional (IRI), calculado en cada tramo mediante un perfilómetro láser, se expresa en metros por kilómetro. Tenga en cuenta que el IRI del objeto es el valor IRI promedio por configuración de vía, teniendo en cuenta todo el objeto, que tiene 400 metros de largo. PSR es la calificación promedio de cada miembro del panel de evaluación. Luego de establecer ecuaciones que predicen los valores de PSR en base a mediciones objetivas utilizando medidas de rugosidad, resulta que PSI o "Present

Serviceability Index" lo diferencia del "Present Serviceability Rating", proviene directamente del tablero del usuario (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

### **3.1.5.1.2.2 Índice de rugosidad internacional**

El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento, al igual que otros indicadores representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta,  $IRI=0$ ) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida (Bustos, 2021).

Las notas más importantes sobre IRI son las siguientes: Su principal ventaja es que IRI es un modelo matemático cuyos resultados son independientes del método y equipo mediante el cual se obtuvieron los registros. Para calcular el IRI se debe tener en cuenta la representatividad. Entre las coordenadas, es decir, la fiabilidad de la técnica o dispositivo para obtener el perfil y la frecuencia de muestreo, la precisión del dispositivo de medición de rugosidad superficial es una de las más delicadas y complejas (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

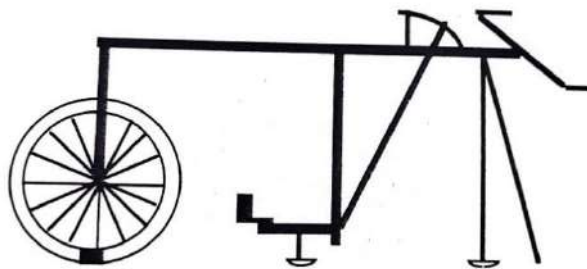
#### **3.1.5.1.2.2.1 Equipos para evaluar la rugosidad del pavimento**

El IRI corresponde a un recorrido determinado a lo largo del camino; los responsables de la medición del perfil deben tener una clara idea de por donde pasa la rueda dentro del carril de tráfico. Las dos huellas de rodadura de los neumáticos de los vehículos que normalmente circulan proporcionarán las medidas más representativas de la rugosidad. Los perfilómetros están divididos en dos categorías principales: estáticos y dinámicos. Los sistemas de precisión estáticos obtienen las medidas de perfil longitudinal más precisas, pero no son adecuados para estudios muy especiales. Los perfilómetros dinámicos proporcionan perfiles a gran velocidad que, aunque no son réplica exacta del perfil longitudinal del camino, sí son exactos en la zona de longitudes de onda que influyen en la regularidad superficial (Das, 2023).

- MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation)

Consiste en una estructura metálica de 1.8 m de longitud, con una rueda al frente, un pie de apoyo fijo atrás y un apoyo central oscilante, este último mide las desviaciones de cota de un punto respecto a la rasante que definen los otros dos puntos. Al soporte central se adjunta una palanca con un indicador luminoso en el extremo superior que permite registrar estas desviaciones en una hoja de papel. (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

Ilustración 6 Instrumento MERLIN



Fuente: Solminihac, 2019

### 3.1.5.1.3 Auscultación visual de fallas

Considerando su importancia, se puede señalar que identificar los defectos del pavimento, evaluar su gravedad y evaluar posibles soluciones es de suma importancia. Para ello se han desarrollado sistemas de auscultación que permiten identificar posibles errores mediante muestreo y caracterización de la zona inspeccionada (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

Entre los métodos de auscultación, los más utilizados son las técnicas visuales, que implican visitas al lugar de la evaluación por parte de personal capacitado para desarrollar una técnica de examen específica (Solminihac, Gestión de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

#### 3.1.5.1.3.1 Método VIZIR

El método VIZIR es un indicador que refleja el deterioro de la superficie del pavimento, reflejando el estado general, permitiendo determinadas acciones de mantenimiento y rehabilitación. Este método define la condición del pavimento mediante un índice de deterioro superficial ( $I_s$ ), el cual es un valor adimensional que se calcula a partir del porcentaje vial del área afectada con respecto a partir de la longitud vial del tramo estudiado (Das, 2023).

### 3.1.5.1.4 Estudio de tránsito

Se lleva a cabo un estudio de tránsito para determinar los principios de diseño y mantenimiento de carreteras para la rehabilitación, mejora, construcción y mantenimiento de carreteras. El propósito de un estudio de tráfico puede ser determinar el flujo de mercancías y pasajeros entre origen y destino o determinar el número de vehículos que viajan en una zona determinada (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015).

#### 3.1.5.1.4.1 Métodos de control de conteo vehicular

El conteo de vehículos puede realizarse manualmente o automáticamente.

- Medios Manuales

Son aquellos que proporcionan data más detallada en poco tiempo pero que requieren un número suficiente de personal bien formado. Es una tecnología cara. El clasificador (observador) registra el recorrido de cada vehículo cada hora completando un formulario especial o utilizando un contador manual para contarlos manualmente. Se puede utilizar una cámara de vídeo para ayudar al observador. Si la intensidad horaria es alta, se necesitan varios clasificadores (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015).

#### 3.1.5.1.4.2 Determinación del índice medio diario (IMD)

Una vez obtenido el resultado de volumen promedio de tránsito, por tipo de vehículo, hora y sentido, se calcula la variación horaria, clasificación vehicular, Índice Medio Diario (IMD) mediante el uso de las siguientes fórmulas (Bustos, 2021):

$$\text{IMDs} = \sum V_i / 7 \quad \text{Estación Principal}$$

$$\text{IMDs} = (s + d + 5l) / 7 \quad \text{Estación Cobertura}$$

$$\text{IMDa} = \text{FC} * \text{IMDs}$$

Donde:

$V_i$  = Volumen vehicular diario de cada uno de los 7 días de conteo

$d$  = Volumen vehicular del día domingo

$s$  = Volumen vehicular del día sábado

$l$  = Volumen vehicular promedio diario de los días útiles

$\text{FC}$  = Factor de corrección estacional

IMDa = Índice Medio Diario Anual

IMDs = Índice Medio Diario Semanal de la muestra vehicular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015).

- Factor de corrección

Para que las mediciones sean confiables a nivel anual, es necesario estimar la dinámica del tráfico anual porque el muestreo del tráfico de vehículos ocurre durante un período de una semana o menos. Para ello se determinan factores o coeficientes de corrección que permita expandir el volumen de esa muestra al universo anual (Salgado Torres, 2020).

Normalmente, los cambios de tráfico se producen de forma rítmica y repetida a lo largo del año, por lo que es necesario ajustar el comportamiento registrado según la hora, día de la semana, mes del año así como los correspondientes cambios estacionales. año por fiestas civiles o religiosas, cosecha, monzón o sequía, verano, etc. El factor de ajuste estacional (FC) se calcula a partir de series históricas del IMD, que pueden obtenerse a partir de datos de encuestas o tarifas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015).

$$FC = \text{IMDa} / \text{IMDm}$$

Donde:

IMDm = Volumen de tránsito promedio diario del mes en la estación i.

IMDa = Volumen de tránsito promedio diario del año en la estación i (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015).

#### **3.1.5.1.4.3 Proyección del crecimiento del tránsito**

El tráfico futuro se puede estimar basándose en los siguientes indicadores: crecimiento económico general, diversificación del tráfico, si se mejoran las carreteras, los vehículos que circulan por vías alternas preferirán la ruta más restaurada y se genera tráfico, que es el tráfico que se espera que se produzca sólo durante las mejoras de las carreteras (Solminihaç, Gestión de Infraestructura Vial , tercera edición, 2019).

- Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento corresponde a la variación porcentual de la cantidad del último año de medición con respecto a la medición anterior, para ello se hace un estudio tomando en cuenta

las mediciones de Índice Medio Diario de cada tipo de vehículo y hacer una comparación IMD vs. Tiempo (Bustos, 2021).

#### 3.1.5.1.4.4 Cuantificación de los volúmenes de demanda

Para cualquier variedad de evaluación del comportamiento de un pavimento, es necesario determinar el número total de "ejes equivalentes" que estarán presentes en el pavimento. Para ello, primero se calcula la conversión de equivalencia de cada vehículo, luego se calcula la tasa de crecimiento de cada vehículo y finalmente el número total de vehículos que utilizarán la vía multiplicándolos por el "Eje de Equivalencia". En base a lo anterior se puede decir que los Ejes Equivalentes Acumulados (EEa) se obtienen a partir de la siguiente expresión (Bustos, 2021):

$$EEa = EE \times \text{Factor de Crecimiento}$$

$$\text{Factor de crecimiento} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r: tasa de crecimiento anual.

n: periodo de diseño en años (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015).

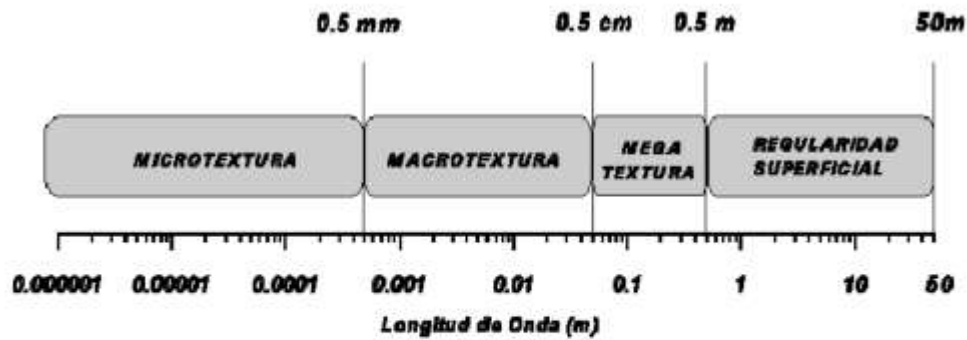
#### 3.1.5.1.5 Textura del pavimento

La característica geométrica de la superficie de carretera creada por la combinación de agregado y asfalto. Se define como "la geometría más fina del perfil longitudinal de una carretera" es la conocida como textura superficial del pavimento (AIPCR, 2018).

Es una característica que debe tener la carpeta de rodadura para alcanzar un nivel de seguridad en su resistencia al patinaje ya sea al momento del frenado, controlando al vehículo en zona de curvas o en distintas maniobras que el conductor se vea obligado a realizar (Pérez, 2020).

Según (Comite tecnico AIPCR de características superficiales, 2018) "la textura superficial se clasifica en Mega textura, Macrotextura y Micro textura, que dependen de la longitud de onda".

Tabla 4: Clasificación de textura superficial

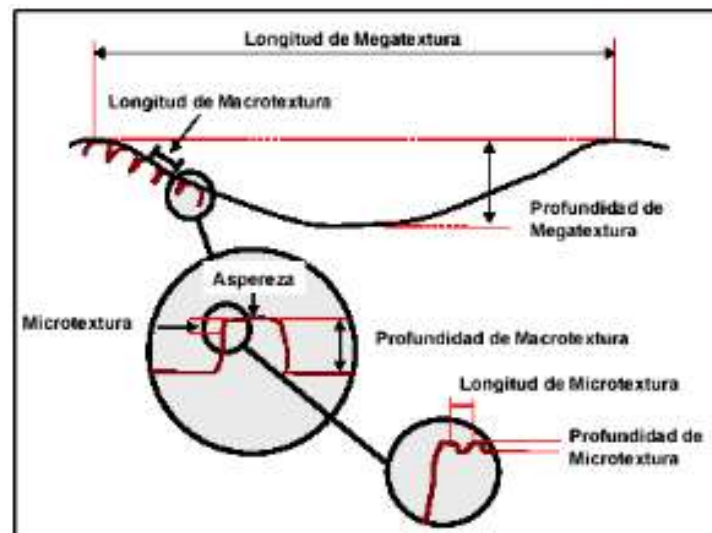


Textura	Longitud de Onda
Mega Textura	50 - 500 mm
Macro Textura	0,5 - 50 mm
Micro Textura	0,0 - 0,5 mm

Fuente: AIPCR

La longitud de onda de textura se define como la distancia mínima existente entre partes de la curva que se repiten periódicamente en dirección longitudinal al plano del pavimento (Merchán, 2015).

Ilustración 7: Tipos de Textura de un pavimento



Fuente: AIPCR

A pesar de esta clasificación, diferentes estudios han llegado a la conclusión que los factores que dependen de un pavimento para lograr niveles de fricción adecuados en contacto con un neumático son únicamente la Macrotextura (Abed, 2020).



### 3.1.5.1.5.1 Macrotextura

La textura superficial del pavimento se conoce como macrotextura. Son las partículas de los agregados pétreos que se extienden por encima de la superficie. Esta es crucial porque permite que el agua se quede en las depresiones al evacuar de la superficie. Como resultado, habrá un mayor contacto entre el neumático y el pavimento. Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una Macrotextura gruesa (Díaz Granados, 2017).

### 3.1.5.1.5.2 Ensayo para evaluar la textura del pavimento

Método Volumétrico, según (Pérez, 2020), este método mide la profundidad media de textura (MTD) y se mide con el método del Círculo de la Arena:

#### a) Círculo de la Arena

Este ensayo es la manera más antigua que se tiene de evaluar el pavimento.

Ilustración 8: Ensayo de textura del pavimento







Fuente: AIRPAC

Se trata de extender una cantidad conocida de arena fina sobre el pavimento. Luego la arena se extiende en forma de círculo. La medida de su diámetro permite determinar el área del círculo y al dividirlo entre el volumen se obtiene la profundidad promedio de las depresiones, como se muestra en la siguiente fórmula (Aschenbrener, 2021):

$$PT = \frac{4V}{\pi D^2}$$

Este ensayo es útil para valores de textura superiores a los 0.25mm y se debe hacer en un pavimento seco, limpio y sin viento. Se debe también indicar la escala de textura de la superficie ensayada con el siguiente cuadro:

Ilustración 9: Escala de textura ensayada con el círculo de la arena

	Superficie	Clases de Textura	
		Macro	Micro
A		Gruesa	Áspera
B		Gruesa	Pulida
C		Fina	Áspera
D		Fina	Pulida

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones - MTC

La altura de la Macrotextura (HA mm) se determina de la siguiente forma:

$$HA(mm) = \frac{12.5}{La(cm)}$$

La(cm) = longitud de la mancha de arena

Tabla 5: Escala de textura ensayada con el marco portátil de textura

La (cm)	TIPO DE TEXTURA
> 66	Muy Fina
45 – 66	Fina
30 – 45	Media
15 – 30	Gruesa
< 15	Muy Gruesa

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones - MTC

Como se puede observar, este ensayo está basado en el círculo de la arena teniendo la ventaja que es aún más económico (Acuña, 2021).

Los criterios de evaluación para la textura en pavimentos se basan en la profundidad de textura (PT) y este se puede estimar de acuerdo a ensayos en campo antes mencionados y a una calificación eventual intervención de acuerdo a la escala siguiente (AIPCR, 2018).

Tabla 6: Escala de textura de acuerdo al PT

CONDICIÓN	CALIFICACIÓN	RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO
$< 0.2$	Muy Fina	Requiere mantenimiento.
$0.2 \leq PT \leq 0.4$	Fina	Sólo para tramos donde raramente se superan los 80 Km/h (áreas urbanas).
$0.4 \leq PT \leq 0.8$	Media	Para tramos normales con velocidades moderadas de 80 a 120 Km/h.
$0.8 \leq PT \leq 1.2$	Gruesa	Para tramos normales con velocidades superiores a 120 Km/h.
$> 1.2$	Muy Gruesa	Para casos especiales con peligro de deslizamiento.

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones - MTC

### 3.1.5.2 Evaluación estructural

La auscultación estructural o evaluación estructural en carreteras es un método que permite obtener un conocimiento detallado del estado de los pavimentos, lo que permite monitorear su proceder a lo largo de un lapso de tiempo y planificar la conservación de una forma más económica y eficiente (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2015).

La evaluación de la condición estructural debe incluir ensayos de medición de deflexión e inspección visual, ya que la función de la estructura depende de la durabilidad (material y espesor) y del grado de envejecimiento del revestimiento (Del Pozo, Implementación y Aplicaciones de un Sistema de Gestion a la Conservación de una Red de Autopistas, 2019).

#### 3.1.5.2.1 La deflexión como parámetro de evaluación estructural

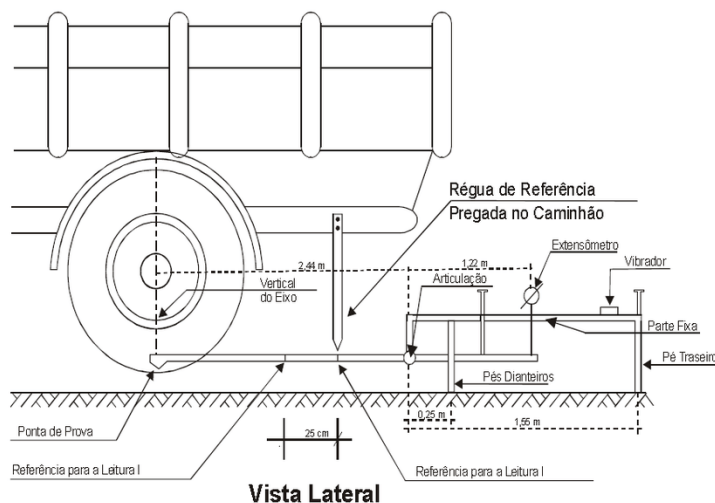
La deflexión es una cantidad de la deformación elástica de un revestimiento cuando se somete a una carga. El tipo y estado del pavimento, así como el método y el equipo utilizados para medir, determinan la deflexión. La medición de ella se relaciona con la capacidad estructural del pavimento y generalmente se realiza en forma no destructiva (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2015).

##### 3.1.5.2.1.1 Ensayo de deflexión con la viga Benkelman

Este ensayo utiliza un equipo que funciona según el principio de palanca y debe usarse con camiones cargados, que normalmente tienen 80 kN por eje y neumáticos inflados con una presión de 0.48 a 0.55 Mpa. Cuando el vehículo esta alejándose, la punta de la viga en medio de los neumáticos se coloca para medir el rebote. Un dial indicador lee los resultados de las deflexiones. En el WASHO, la punta de la viga se coloca 1.20 metros adelante del par de ruedas

para una lectura inicial. La lectura máxima y la lectura final del parámetro se toman al cruzar el camión (Solminihaç, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2015).

Ilustración 10 Diagrama del ensayo de deflexión con Viga Benkelman



Fuente: manual de carreteras MTC

### 3.1.5.2.2 Método para calcular el número estructural del pavimento

El método AASHTO consiste en evaluar la capacidad estructural existente para determinar la capacidad necesaria para soportar el tráfico futuro. Esto permite determinar la deficiencia actual para soportar cargas futuras. Dicha deficiencia en pavimentos asfálticos se mide utilizando la fórmula siguiente. (AASHTO, 2017):

$$SN_{ol} = a_d D_{ol} = SN_f - SN_{eff}$$

$SN_{ol}$  = Número estructural requerido para el recapado

$a_d$  = Coeficiente estructural para el recapado

$D_{ol}$  = Espesor requerido para el recapado

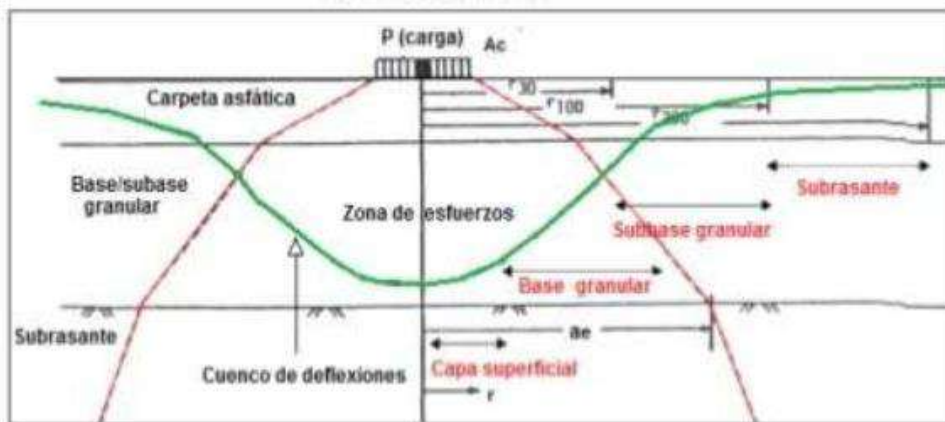
$SN_f$  = Número estructural requerido para soportar la sollicitación del tráfico futuro}

$SN_{eff}$  = Número estructural efectivo del pavimento existente

La guía AASHTO ofrece tres métodos para evaluar la capacidad estructural existente: La capacidad estructural, basada en ensayos de materiales e inspecciones visuales, Capacidad estructural basada en ensayos de deflexiones La capacidad estructural se basa en el daño causado por el tráfico y se calcula utilizando ensayos de deflexión en el software HDM-4. Este

método utiliza ecuaciones de HOGG para el retro cálculo de la capacidad de deflexión (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2015).

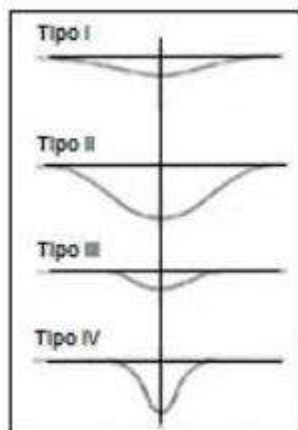
Ilustración 11: esquema del bulbo de presiones y cuenco de deflexiones



Fuente: INVIAS

La característica del cuenco de presión y la tabla establecida para evaluar las deflexiones y dar un resultado optimo es como sigue, de acuerdo a el tipo de deformación que se encuentra se puede estimar el estado de las capas estructurales del pavimento las cuales indican diversas combinaciones de defectos internos las cuales mediante un ensayo de deflectometria se puede estimar y a retro cálculos intrínsecos de método de Hogg.

Ilustración 12: características del cuenco de deflexiones



Tipo	Do	Lo	EVALUACION
I	Bajo	Alto	Buena subrasante/Buen pavimento
II	Alto	Alto	Mala subrasante/Buen pavimento
III	Bajo	Bajo	Buena subrasante/Mal pavimento
IV	Alto	Bajo	Mala subrasante/Mal pavimento

$$D_{adm} = 25,64 N^{-0,2383} \quad : \text{ Instituto del asfalto}$$

$$D_{adm} = 6,237 N^{-0,165} \quad : \text{ Criterio de California, CA de 5"}$$

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones - MTC

### **3.1.5.2.3 Características mecánicas de la subrasante**

Las características mecánicas dentro de la estructura del pavimento son fundamentales tales como capacidad de resistencia del suelo y además de parámetros que se requiere para la construcción de una vía pavimentada como es la vía en estudio; pero según el estudio se analizara a más profundidad en función al objetivo que tiene el estudio y es la determinación de CBR (California Bearing Ratio), que se desarrollará con mayor profundidad en las siguientes líneas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020):

#### **3.1.5.2.3.1 Parámetros de la subrasante según norma peruana**

Según el manual de ensayos de materiales de la normativa peruana refiere al ensayo de capacidad de resistencia del suelo como índice de resistencia en función a la relación de soporte denominado CBR, del cual indica lo siguiente: “El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado. En este caso nosotros lo realizaremos sobre la subrasante, para poder comprobar términos y parámetros exigidos para los ensayos desarrollados para el diseño del pavimento ya existente lo cual nos indica el manual de transportes y comunicaciones para poder conocer el estado del mismo (Del Pozo, Implementación y Aplicaciones de un Sistema de Gestión a la Conservación de una Red de Autopistas, 2019).

#### **3.1.5.2.3.2 Ensayo CBR**

Este ensayo esta normado en el Perú (MTC E 132) como índice de resistencia en función al valor de la relación de soporte una vez que tenemos clasificado los suelos por el sistema SUCS Y AASHTO, para caminos contemplados según norma peruana del ministerio de transportes y comunicaciones, se elaborará un perfil estratigráfico por sector homogéneo encontrado a lo largo de la vía, a partir del cual se determinara la relación de ensayos necesarios para hallar el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima densidad seca) y a la penetración de la carga de 2.54 mm. Los ensayos contemplados para hallar el CBR son las siguientes (Montejo Fonseca A. , INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS, 2017):

a) Ubicación de calicatas

La ubicación de las calicatas se realiza de acuerdo al Estudio de suelos que se ha desarrollado siguiendo los lineamientos y recomendaciones que están contenidos en el “Manual de carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección Suelos y Pavimentos”, aprobado mediante R.D. N° 028-2014-MTC/14, realizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Los ensayos de laboratorio se han desarrollado siguiendo los lineamientos y recomendaciones que están contenidos en el “Manual de Ensayo de Materiales”, aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 que tienen como referencia las normas ASTM (American Society for Testing Materials), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), NTP (Norma Técnica Peruana) entre otros; además seleccionando tramos con condiciones similares de compactación inicial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020).

b) Contenido de humedad de un suelo

El contenido de humedad se calcula mediante la siguiente fórmula (MTC, Relevamiento de Información 2014, 2019):

$$CH = \frac{P_W}{P_S} * 100$$

Donde:

CH: Contenido de humedad, en %

PW: Peso del agua, en gramos

PS: Peso de las partículas sólidas, en gramos

c) Análisis granulométrico de suelos por tamizado

El análisis granulométrico por tamizado se realizó utilizando tamices de malla cuadrada, la serie de tamices que da una separación uniforme entre los puntos en el gráfico, son los siguientes (Santos Ortiz, 2016):

Tabla 7: Serie de Tamices para análisis granulométrico

TAMIZ	ABERTURA (mm)
3"	75
2"	50
1½"	37.5
1"	25
¾"	19
⅜"	9.5
Nº 4	4.75
Nº 10	2
Nº 20	0.85
Nº 40	0.425
Nº 60	0.25
Nº 140	0.106
Nº 200	0.075

Fuente: Manual de ensayos de laboratorio MTC

El porcentaje de material que pasa el tamiz Nº 200 (0.075 mm), se obtiene por lavado y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\%F = \frac{P_T - P_R}{P_T} * 100$$

Donde:

%F: Contenido de limo y arcilla, en %

PT: Peso total de la muestra, en gramos

PR: Peso retenido en el tamiz de lavado (Nº 200), en gramos

El porcentaje de material retenido sobre cada tamiz, se obtiene por tamizado mecánico y se calcula con la siguiente fórmula (AASHTO, 2017):

$$R = \frac{P_R}{P_T} * 100$$



Donde:

R: Retenido sobre un tamiz, en %

PR: Peso seco retenido en el tamiz, en gramos

PT: Peso seco total de la muestra, en gramos

El porcentaje que pasa cada tamiz, se calcula con la siguiente fórmula:

$$%P = 100 - \%RA$$

Donde:

%P: Porcentaje que pasa un tamiz, en %

%RA: Porcentaje retenido acumulado sobre el mismo tamiz, en %

#### d) Determinación del límite líquido de los suelos

Se realizó utilizando el instrumento de cuchara de Casagrande, con diferentes incrementos de humedad de tal forma que produzcan diferentes números de golpes para cerrar la ranura una longitud aproximada de 12.7 mm (1/2”), se realizaron cuatro (04) puntos, obteniendo el contenido de humedad de cada punto. Con estos puntos se realizó una gráfica en escala semi-logarítmica Contenido de humedad vs Número de golpes, donde el contenido de humedad se grafica en el eje de las ordenadas en escala aritmética y el número de golpes se grafica en el eje de las abscisas en escala logarítmica, luego se realizó una regresión logarítmica con el método de mínimos cuadrados, obteniendo la ecuación de la recta de mejor ajuste, el límite líquido se obtiene de esta ecuación, siendo el contenido de humedad correspondiente a veinte y cinco (25) golpes (Acuña, 2021).

#### e) Determinación del límite plástico e índice de plasticidad

El límite plástico se realizó utilizando un vidrio grueso esmerilado, moldeando cilindros de un diámetro aproximado de 3.2 mm (1/8”), hasta que se agriete o adquiera una consistencia sólida, se realizaron tres (03) puntos, obteniendo el contenido de humedad de cada punto. El promedio de los tres (03) contenidos de humedad es el límite plástico (Aschenbrener, 2021).

El índice de plasticidad se obtiene con la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP: Índice de Plasticidad, en %

LL: Límite Líquido, en %

LP: Límite Plástico, en %

- f) Clasificación de suelos según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) – ASTM D-2487

Los símbolos de grupo se utilizan para identificar diferentes tipos de suelos. Cada grupo consta de un sufijo y prefijo, que son abreviaturas de los nombres en inglés de los seis tipos principales de suelo ( limo, arcilla, suelo orgánico, grava, arena y turba), y los sufijos indican la proporción de cada uno de estos tipos de suelos. El análisis granulométrico por tamizado, el límite líquido y el límite plástico son los datos utilizados para clasificar el suelo según el SUCS. La clasificación del SUCS se muestra en la tabla siguiente (Aschenbrener, 2021):

Tabla 8: Clasificación de Suelos mediante el Sistema SUCS

DIVISIÓN MAYOR (Excluyendo las partículas mayores de 3" o 7.6 cm, y basando las fracciones en pesos)		S I M B O L O	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO								
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS (Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200)	Las partículas de 0.074 mm de diámetro (malla N° 200) son más de la mitad del material retenido en la malla N° 200	GRAVAS	Más de la mitad de la fracción gruesa	Para la clasificación visual puede utilizarse 1/2 cm	GRAVAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	W	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	Úse la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo anotadas en la columna de división	Determinense los porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica. Dependiendo del porcentaje de finos	Coeficiente de uniformidad ( $C_U$ ) $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ , mayor de 4; Coeficiente de curvatura ( $C_C$ ) $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$ , entre 1 y 3		
						P	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos				No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW	
						M	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo				Límites de plasticidad abajo de la "línea A" ó $I_P$ menor que 4	Arriba de la "línea A" y con $I_P$ entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles
						C	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla				Límites de plasticidad arriba de la "línea A" con $I_P$ mayor que 7	

SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS (Más de la mitad del material pasa la malla N° 200)	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa		ARENAS LIMPIAS Poco o nada de	W	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos	<p>Coefficiente de uniformidad (<math>C_U</math>)  <math>C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}</math>, mayor de 6;                  Coeficiente de curvatura (<math>C_C</math>)  <math>C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}</math>, entre 1 y 3</p>	
				P	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos		No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa		ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas	M	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	<p>Límites de plasticidad abajo de la "línea A" ó <math>I_P</math> menor que 4</p>	<p>Arriba de la "línea A" y con <math>I_P</math> entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p>
				C	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
	LIMOS Y ARCILLAS		Límite líquido menor de 50	L	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS	
				L	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	<p>G - Grava M - Limo O - Suelos orgánicos                  S - Arena C - Arcilla <math>P_t</math> - Turba</p>	
				L	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	<p>W - Bien graduada L - Baja compresibilidad                  P - Mal graduada H - Alta compresibilidad</p>	
			Límite líquido mayor de 50	H	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos		
		H		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas			
		H		Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad			
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS			T	Turbas y otros suelos altamente orgánicos			

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2022)

g) Clasificación de suelos según la american association of state highway and transportation officials (AASHTO) – AASHTO M-145

La clasificación de suelos según AASHTO se realiza en base a datos que provienen de ensayos realizados en laboratorio, tales como: Análisis granulométrico por tamizado, Límite líquido y Límite plástico; además se requiere datos como el Índice de Plasticidad e Índice de Grupo. La tabla siguiente presenta la clasificación de suelos según la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2017):

Tabla 9: Clasificación de Suelos según (AASHTO, 2017)

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES							MATERIALES LIMO ARCILLOSOS				
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
% que pasa la malla: N° 10 (2 mm) N° 40 (0.425 mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa la malla N° 40 (0.425 mm)	6 máx.	6 máx.	NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín. 31 mín.	41 mín. 11 mín. 30 máx.
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	20 máx.
Tipos comunes de los materiales constituyentes principales	Fragmentos de rocas, gravas y arenas		Arenas finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Clasificación general	Excelente a buena							Regular a mala				

El Índice de Grupo es un índice normado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la fórmula (AASHTO, 2017):

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd,$$

$$a = F - 35, \quad b = F - 15, \quad c = LL - 40, \quad d = IP - 10$$

Donde:

IG: Índice de Grupo, valor entero positivo comprendido entre 0 y 20

a, b: Parámetros expresados por un número comprendido entre 0 y 40

c, d: Parámetros expresados por un número comprendido entre 0 y 20

F: Fracción en peso que pasa la malla N° 200, en %

LL: Límite Líquido, en %

IP: Índice de Plasticidad, en %

Un índice de grupo igual a cero (0) significa un suelo muy bueno y un índice de grupo igual a veinte (20) significa un suelo no utilizable para caminos (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2020).

h) Peso específico aparente de partículas de sobre-tamaño (gravas)

El peso específico aparente de gravas se calcula mediante la siguiente fórmula:

○

$$PE_A = \frac{P_S}{P_{SSS} - P_{SUM}}$$

Donde:

PEA: Peso específico aparente, en gr/cm<sup>3</sup>

PS: Peso en el aire de la muestra seca, en gramos

PSSS: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos

PSUM: Peso sumergido en agua de la muestra saturada, en gramos

Cabe recalcar que el peso específico calculado es el peso específico aparente, dato que se utiliza en el cálculo del grado de compactación in-situ (ensayo de densidad de campo) (Acuña, 2021).

i) Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada (proctor modificado)

Existen tres (03) metodologías para la realización de este ensayo, que se encuentran descritas en el “Manual de ensayo de materiales; sección 1 Suelos; sub-sección MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada”. Cada una de las metodologías se realiza bajo las siguientes características (AASHTO, 2017):

Tabla 10: Metodologías para Compactación de Suelos (AASHTO, 2017)

MÉTODO	A	B	C
Diámetro del Molde	4" (10.16 cm)	4" (10.16 cm)	6" (15.24 cm)
Altura del Molde	4.584" (11.64 cm)	4.584" (11.64 cm)	4.584" (11.64 cm)
Número de Capas	5	5	5
Número de Golpes por capa	25	25	56
Se Emplea el Material que	Pasa el tamiz N° 4	Pasa el tamiz 3/8"	Pasa el tamiz 3/4"
Se utiliza cuando	% Retenido N°4 ≤ 20%	% Retenido N°4 > 20% % Retenido 3/8" ≤ 20%	% Retenido 3/8" > 20% % Retenido 3/4" ≤ 30%

El Pisón o Martillo que se utiliza tiene un diámetro es 2” (5.08 cm), una masa es 10 lb (4.536 Kg) y cae libremente desde una altura de 18” (45.72 cm) (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2020).

Este ensayo se realiza con diferentes incrementos de humedad (2% aproximadamente), de tal forma que se produzcan diferentes contenidos de humedad, se realizaron cinco (05) puntos por muestra, obteniendo dos (02) contenidos de humedad de cada punto. Se ha calculado el peso unitario seco en cada punto con las fórmulas siguientes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018):

$$\gamma_m = \frac{P_{HM} - P_M}{V}, \quad \gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{CH}{100}}$$

Donde:

$\gamma_d$ : Densidad seca, en gr/cm<sup>3</sup>

$\gamma_m$ : Densidad húmeda, en gr/cm<sup>3</sup>

PHM: Peso del suelo húmedo más molde, en gramos

PM: Peso del molde, en gramos

V: Volumen del molde, en cm<sup>3</sup>

CH: Contenido de humedad del suelo, en %

Con los cinco (05) puntos se realizó una gráfica “Densidad seca vs Contenido de humedad”, donde la Densidad seca se grafica en el eje de las ordenadas y el contenido de humedad se grafica en el eje de las abscisas, luego se realizó una regresión polinómica con el método de mínimos cuadrados, obteniendo la ecuación de la curva de segundo grado más probable, la Densidad seca máxima se obtiene de esta ecuación, siendo el punto máximo de la curva de segundo grado; el Contenido de humedad óptimo es el correspondiente a la Densidad seca máxima en la curva de segundo grado (Svantek Academia, 2021).

j) Relación de soporte de california (cbr) en laboratorio

El ensayo de CBR, consta de los procedimientos que se encuentran descritos en el “Manual de ensayo de materiales; sección 1 Suelos; sub-sección MTC E 132 CBR de suelos en laboratorio” (MTC, Relevamiento de Información 2014, 2019).

La cantidad de agua absorbida se calcula de dos (02) formas: la primera de ellas se basa en los datos de humedad antes y después del buceo o inmersión, la diferencia entre estos dos valores se toma como la cantidad de agua absorbida; Otro método consiste en utilizar el contenido de humedad de toda la muestra alojada en el molde, calculado a partir del peso húmedo antes del remojo, el peso húmedo después del remojo y el peso seco de la muestra. Las fórmulas utilizadas en la primera y segunda manera son las siguientes (AASHTO, 2017):

$$A_{ABS} = CH_D - CH_A$$

Donde:

$A_{ABS}$ : Agua absorbida, en %

$CH_D$ : Contenido de humedad después de la inmersión, en %

$CH_A$ : Contenido de humedad antes de la inmersión, en %

$$A_{ABS} = \frac{W_{MD} - W_{MA}}{W_S} * 100, \quad W_S = \frac{W_{MA}}{1 + \frac{CH_A}{100}}$$

Donde:

$A_{ABS}$ : Agua absorbida, en %

$W_{MD}$ : Peso de la muestra después de la inmersión, en gramos

$W_{MA}$ : Peso de la muestra antes de la inmersión, en gramos

$W_S$ : Peso de la muestra seca, en gramos

$CH_A$ : Contenido de humedad antes de la inmersión, en %

La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, este valor se expresa en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde (AASHTO, 2017).



$$Exp = \frac{L_f - L_i}{H} * 100$$

Donde:

Exp: Expansión, en %

Lf: Lectura final del deformímetro, en mm

Li: Lectura inicial del deformímetro, en mm

H: Altura inicial de la muestra, en mm

Para obtener el coeficiente de California (CBR) se construyó una curva que representa la relación entre las fuerzas en el pistón (diafragma) y la penetración (abscisas). Verificar que esta curva muestre un punto de inflexión, en caso contrario tomar penetraciones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1 pulgadas y 0,2 pulgadas). Si una curva tiene un punto de inflexión, es tangente a la curva en el punto de inflexión. Luego se calculan los valores de esfuerzo en el pistón correspondientes. Los CBR de estos esfuerzos se calculan como porcentajes de los esfuerzos patrón, como se muestra en la siguiente tabla (MTC, Relevamiento de Información 2014, 2019):

Tabla 11: Relación penetración y esfuerzo patrón (AASHTO, 2017)

<b>PENETRACIÓN</b>		<b>ESFUERZO PATRÓN</b>	
<b>(pulg)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(psi)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
0.1	2.54	1,000	70.31
0.2	5.08	1,500	105.46
0.3	7.62	1,900	133.58
0.4	10.16	2,300	161.71
0.5	12.70	2,600	182.80

Los CBR se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$CBR = \frac{ESF_E}{ESF_P} * 100$$

Donde:

CBR: Relación de soporte de California, en %

ESFE: Esfuerzo obtenido en el ensayo en laboratorio, en Kg/cm<sup>2</sup>

ESFP: Esfuerzo Patrón o Esfuerzo de Referencia, en Kg/cm<sup>2</sup>

El CBR para el suelo generalmente es el correspondiente a 2.54 mm (0.1”) de penetración, sin embargo, cuando el esfuerzo a 5.08 mm (0.2”) de penetración resulta ser mayor, el ensayo se repite y si en el ensayo de comprobación se confirma el esfuerzo mayor a 5.08 mm (0.2”), se toma como CBR el correspondiente a 5.08 mm (0.2”). Para la obtención de la relación de soporte de California (CBR) al 95% de la densidad seca máxima (DSM), primero se calcula el 95% de la densidad seca máxima con la siguiente fórmula (Salomón, 2021):

$$DS_{95\%} = 0.95 * DSM$$

Donde:

DSM: Densidad seca máxima, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

DS<sub>95%</sub>: 95% de la densidad seca máxima, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

Luego se ha graficado una curva que relacione las densidades secas (ordenadas) y los CBRs (abscisas) obtenidos con diferentes energías de compactación (55, 26 y 12 golpes por capa), se observa que se obtiene una curva. De la curva o de la prolongación de la curva se obtiene el CBR correspondiente al 100% y 95% de la densidad seca máxima (Acuña, 2021).

## **3.2 Antecedentes**

En relación a los antecedentes de la investigación, primero se ha realizado búsqueda de información en la tesis, revistas científicas, artículos científicos relacionando a las dos variables de estudio. A continuación, se detalla los antecedentes internacionales y nacionales, con los que ayudaron a tener una base para el desarrollo de este proyecto de investigación

### **3.2.1 A nivel internacional**

#### **3.2.1.1 Antecedente internacional 1**

Según REJANI, JANANI, VENKATESWARALU, & SUNITHA (2023), cuyo trabajo de investigación se denomina “Strategic Pavement Maintenance and Rehabilitation Analysis of Urban Road Network Using HDM-4” establecieron como objetivo de estudio pronosticar los requisitos presupuestarios y predecir las tendencias de desempeño de una red vial urbana utilizando el método de análisis estratégico de HDM-4, para ello realizaron el análisis para dos funciones objetivo: maximizar el valor actual neto(VAN) y minimizar los costos totales para una rugosidad de la carretera de estudio, para ello formularon un programa de obras sin restricciones para un período de análisis de 20 años, estimaron los requisitos presupuestarios totales para el mantenimiento de la red vial a un nivel de capacidad de servicio predefinido, desarrollaron un programa de obras priorizado y optimizado para mantener la red vial dentro del presupuesto disponible, también realizaron el estudio del efecto de la reducción de los niveles presupuestarios sobre el estado de la red de carreteras. En base a los resultados obtenidos concluyeron que la aplicación de la estrategia HDM-4 tiene un alcance potencial en obras de gestión de pavimentos al pronosticar los requisitos presupuestarios y evaluar el impacto de diversas alternativas de inversión.

#### **3.2.1.2 Antecedente internacional 2**

Según KEBEBEW & TUCAY QUEZON (2022), en su trabajo de investigación “Comparative Analysis on Road Users’ Cost Using HDM-4 Software and Manual Technique A Case of Addis Ababa-Adama Expressway”, cuyo objetivo de investigación es presentar la relación y comparación entre los costos de los usuarios de la carretera a lo largo de la nueva autopista Addis Abeba-Adama utilizando el software de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4) y utilizando manualmente formulaciones desarrolladas en el modelo portugués. La metodología empleada inició con la recopilación de datos. Todos los datos de entrada se recopilaron de fuentes primarias y secundarias. Los datos primarios utilizaron una entrevista y los datos secundarios se obtuvieron de documentos pertinentes, tanto publicados como no publicados. Se recopilaron más datos relacionados con los vehículos. Los vehículos que utilizan

la carretera se clasifican según el manual de la Autoridad de Carreteras de Etiopía en automóviles, servicios públicos, autobuses pequeños, autobuses grandes, camiones pequeños, camiones medianos, camiones pesados y remolques de camiones. Los datos recopilados se ingresaron en la interfaz HDM-4; El resultado del análisis fueron costos de operación del vehículo, tiempo de viaje y costos totales de uso de la vía. Utilizando una técnica manual y el software HDM-4, se encontraron Birr(divisa etíope) 128,62/km/vehículo y Birr 139,23/km/vehículo, respectivamente, a partir del análisis de costos de los usuarios de la vía. El resultado muestra la diferencia de Birr 10,61. Además, se determina el coeficiente de correlación de 0,75, lo que muestra que los dos resultados de los costos de los usuarios de la vía están altamente relacionados. Como resultado, el estudio revela que la aplicación del software HDM-4 y las formulaciones de técnicas manuales del modelo portugués se pueden adoptar indistintamente para calcular el costo de los tramos de carretera para los usuarios de la carretera en Etiopía.

### **3.2.1.3 Antecedente internacional 3**

Según SANCHIT, ARUN, & SHAIK (2023) en su trabajo de investigación titulado “Pavement Deterioration Modelling for Urban and Rural Roads Using HDM-4”, cuyo objetivo general de este estudio es desarrollar modelos de deterioro del pavimento para grietas, desmoronamiento, baches, profundidad de surcos y rotura de bordes utilizando técnicas de regresión no lineal en MATLAB y compararlos con los modelos presentes en HDM-4, para lo cual realizaron la recopilación de información de datos de campo recopilados en el distrito de Jaipur del estado de Rajasthan utilizando métodos de evaluación de campo tanto automatizados como manuales. Estas secciones fueron monitoreadas continuamente durante 5 años para obtener datos sobre el estado de la superficie del pavimento y los deterioros observados para determinar su efectividad. La validez de estos modelos y los modelos HDM-4 calibrados se evaluó examinando las predicciones de deterioro generadas por los modelos de regresión y los modelos de deterioro calibrados para el deterioro observado en las secciones de pavimento seleccionadas, se concluyó que los modelos de deterioro generados con la regresión no lineal en MATLAB arrojaron resultados muy similares a los modelo del HDM-4 , esto debido a la información recolectada durante los 5 años por lo cual estos modelos pueden ser implementados también a otras naciones en desarrollo con patrones de tráfico, tipos de suelo, condiciones meteorológicas, tipos de terreno y composición de pavimento comparables.

### **3.2.2 A nivel nacional**

#### **3.2.2.1 Antecedente nacional 1**

Según HURTADO ASTO & PALOMINO FELIX (2020), cuya investigación se titula “Análisis del deterioro del pavimento asfáltico en la determinación de estrategias de mantenimiento utilizando la herramienta HDM-4 caso: carretera Puno – Desaguadero” El objetivo del trabajo fue determinar la estrategia óptima para el mantenimiento de la superficie asfáltica utilizando la herramienta HDM-4 a partir del análisis del desgaste del pavimento en el tramo de la carretera Puno Ilave v Puno Desaguadero para el cual se realizó la recolección de datos. información. Luego se aplican datos como el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), la textura del pavimento y las pruebas de vigas Benkelman para generar un gráfico de progresión de irregularidad promedio a lo largo del tiempo (IRI) utilizando cuatro estrategias de mantenimiento y los resultados. estrategia de mantenimiento óptimo, definida por la Alternativa 1, incluyendo capa asfáltica de 7,5 cm y sellado de grietas.

#### **3.2.2.2 Antecedente nacional 2**

Según GALINDO GALVAN, (2017) en su investigación denominada “Gestión del pavimento de la avenida San Carlos mediante el uso del modelo HDM-4, Huancayo – 2017” El objetivo del trabajo es desarrollar el manejo del pavimento de la Avenida San Carlos utilizando el modelo HDM-4. Para ello, se realizaron pruebas in situ y evaluaciones de desgaste del pavimento en las vías evaluadas y se desarrolló un modelo de predicción del deterioro. superficie de la vía utilizando la herramienta HDM-4 y obtener una curva de deterioro para optimizar el desarrollo de las vías evaluadas. Se encontró que utilizando el modelo optimizado de gestión de pavimentos HDM-4 en la Avenida San Carlos, se configuraron dos soluciones alternativas para cada tramo de vía (0,68 km y 2,39 km) clasificado para protección o mantenimiento.

#### **3.2.2.3 Antecedente nacional 3**

Según ANASTACIO VILCHEZ & GUTIERREZ ROSAS (2020), en su trabajo de investigación titulado “Evaluación técnica y económica aplicando el Software HDM-4 para el mejoramiento del Circuito Vial Huayabamba, Provincia Rodríguez de Mendoza – Amazonas – Cinco Tramos – Entre progresivas 0+000 hasta 27+341.84”, el objetivo de la investigación es utilizar el software HDM-4 para realizar una evaluación técnica y económica del circuito carretero de Huayabamba. Para ello, recopilaron información in situ mediante pruebas in situ del sistema vial evaluado y se basaron en los resultados de la evaluación. Al darse cuenta de que las condiciones de las carreteras, el tráfico y el mantenimiento son deficientes, se propuso

un método para planificar y evaluar proyectos en el sector del transporte, incluida la gestión y el mantenimiento de carreteras, utilizando el software HDM -4, que se calificó como muy bueno. Una buena planificación del mantenimiento, garantizar un buen acceso a las carreteras y optimizar el uso de los recursos, así como estrategias y políticas de conservación son vitales.

### **3.2.3 A nivel local**

#### **3.2.3.1 Antecedente local 1**

Según MONTOYA BACA & QUISPE PARIGUANA (2015), en su investigación titulada “Modelo de comportamiento vial del circuito valle sagrado: Cusco-Pisac, Cachimayo-Chincheros-Urubamba, Pisac-Urubamba. Usando el software HDM-4” del cual el objetivo de investigación es plantear un modelo de gestión vial para el circuito valle sagrado: Cusco-Pisac, Cachimayo-Chincheros-Urubamba, Pisac-Urubamba, para lo cual realizaron un estudio de tránsito, ensayo de Rugosidad en el pavimento, número estructural y ensayos de características mecánicas de la subrasante del pavimento, dando como conclusión de su investigación que la propuesta técnica planteada para el modelo de comportamiento del tramo Cusco-Pisac es el Reciclado + Tratamiento Superficial Bicapa, para el tramo Cachimayo-Chincheros-Urubamba es el Reciclado + Mezcla Asfáltica en Caliente de 75 mm de espesor, con base en los resultados, también concluyeron que el software HDM-4 es una importante herramienta que permite el análisis y evaluación tecno económica mediante comparación de alternativas, planificación y presupuestación de recursos, programar trabajos, optimizar recursos disponibles y evaluar consumos, superficie de la carretera, pero las decisiones sobre el mantenimiento de la carretera las toma el ingeniero responsable en función de los resultados obtenidos.

#### **3.2.3.2 Antecedente local 2**

Según PALOMINO SOTELO & DIAZ GONZALES(2021), en su investigación “Evaluación de un sistema de gestión de pavimentos aplicando el software HDM-4 en la vía Izcuchaca – Cruzpata, región Cusco – 2021” el objetivo del trabajo es evaluar el sistema de gestión de pavimentos Izcuchaca - Cruzpata utilizando el software HDM-4. Para ello, realizaron pruebas de resistencia y CBR del vehículo, y complementaron datos de la documentación técnica, con base en lo cual concluyeron que la propuesta de solución de mantenimiento y pavimentación continua para los rubros antes mencionados es de S/. 26,161.90 por año y esta es una solución alternativa, mejor presentada.

### 3.3 Marco Conceptual

- **HDM-4:** es un programa computacional, que sirve como herramienta para el análisis, la planificación, gestión y evaluación del mantenimiento, mejora y la toma de decisiones relacionadas con la inversión de carreteras. (HDM Global, 2008)
- **Modelo de predicción de comportamiento de la carpeta de rodadura:** es un modelo proporcionado por el software HDM-4 basado en el análisis del ciclo de vida del pavimento. (Del Pozo, Implementación y Aplicaciones de un Sistema de Gestión a la Conservación de una Red de Autopistas, 2019)
- **Planificación vial:** es un conjunto de operaciones que tiene como objetivo preservar de forma continua y de manera sostenida las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural de forma cual garantice adecuados estándares para la circulación y así minimizando costos monetarios, social y ambiental. (Solminihac, Gestión de Infraestructura Vial , tercera edición, 2015)
- **Calibración del modelo HDM-4:** la calibración dicha en sí, es la adaptación del Software HDM-4 a la zona en específico en estudio, tomando en cuenta sus aspectos climáticos, aforo vehicular, costos de operación, tipos de vehículos en la flota vehicular, costos a usuarios, efectos ambientales de los trabajos de mantenimiento realizados en la vía. (HDM Global, 2008)
- **Tránsito:** Tráfico o número de vehículos que pasan por un segmento de carretera específico en una unidad de tiempo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020).
- **Índice medio diario (IMD):** Esta es la intensidad de tráfico diaria promedio de un vehículo de muestra, válida por un período de tiempo específico (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020).
- **Conservación del pavimento:** es un conjunto de actividades relacionadas a la preservación del pavimento como elemento fundamental en las vías usando tratamientos relacionando el costo beneficio de los mismos de acuerdo a la vida útil y el presupuesto

definido ( Solorio Murillo, Hernández Domínguez, & Gómez López, Análisis de sensibilidad de los modelos de deterioro del HDM-4 para pavimentos asfálticos, 2019).

- **Pavimento:** Es un elemento estructural formado por una o más capas, recubriendo toda su superficie. Está diseñado y fabricado para soportar cargas estáticas o en movimiento durante un período de tiempo específico, tiempo durante el cual debe ser tratado para prolongar su "vida". (Valle Rodas, Carreteras, calles y aeropistas : principios generales de la mecánica de suelos aplicados a la pavimentación y métodos para el cálculo de pavimentos flexibles, 2022).
- **Mantenimiento Rutinario:** Se trata de la reparación local de imperfecciones menores de carreteras y superficies; nivelación y terraplén; mantenimiento de obras de arte, áreas de recreación e instalaciones de conservación (Schliessler, Caminos: Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales, 2018).
- **Mantenimiento Periódico:** El propósito es mantener la durabilidad de la mezcla asfáltica y prevenir el desarrollo prematuro de grietas y hendiduras causadas por la radiación solar y la oxidación, así como mantener la calidad del pavimento, asegurando la integridad estructural de la vía y evitando su destrucción (Schliessler, Caminos: Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales, 2018).
- **Reconstrucción o Rehabilitación:** Se lleva a cabo cuando las condiciones de la carretera están demasiado degradadas para dar cabida a más tráfico en el futuro y también puede incluir algunas mejoras en las capas de drenaje y la estructura del pavimento. La restauración tiene como objetivo restaurar la resistencia estructural y la calidad del producto laminado (Schliessler, Caminos: Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales, 2018).
- **Mejoramiento:** La reconstrucción completa de una estructura viaria después de la demolición parcial o total de la estructura existente, normalmente se lleva a cabo mediante nivelación y nivelación convencional (Schliessler, Caminos: Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales, 2018).



- **IRI:** International Roughness Index o Índice De Regularidad Internacional, los desniveles de la superficie son un fenómeno que depende principalmente de la sección longitudinal de la calzada, pero también depende de las propiedades mecánicas del vehículo y de la velocidad de conducción. Este índice se determina como un indicador de la uniformidad de los pliegues de la banda de rodadura del neumático y del confort de conducción. (Schliessler, Caminos: Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales, 2018).
- **Deflexiones:** La deflexión de un pavimento flexible se define como el desplazamiento vertical de la superficie del pavimento bajo el efecto de una carga externa (Montejo Fonseca A. , INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS, 2017).
- **Textura:** se define como las irregularidades de gran escala en la superficie de la carretera, que desempeñan un papel significativo en el drenaje del agua y la resistencia al deslizamiento (Solminihac, Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición, 2015).
- **Fresado de pavimento:** El fresado de pavimento flexible consiste en cortar total o parcialmente el pavimento, principalmente las partes dañadas, sin dañar las partes en buen estado (Wirtgen Group, 2020).
- **Refuerzo asfáltico:** se utiliza para alargar la vida útil de los pavimentos y reducir los costes de mantenimiento. Los dos tipos de refuerzo más comunes son las geomallas de fibra de vidrio y las mallas de doble trenzado de alambre de acero galvanizado (Carlos Serrano, 2021).
- **Lechada asfáltica:** La lechada asfáltica se aplica en una fina capa para recubrir y proteger el pavimento. Se fabrica por el equipo de aplicación al mismo tiempo que se coloca (Acuña, 2021).
- **Baches:** Un bache es un hoyo o imperfección en la superficie del pavimento de las calles, carreteras o caminos. Los baches pueden variar en tamaño y forma, y pueden ser causados por el uso, la expansión y contracción del agua subterránea, o por una carpeta asfáltica de baja calidad (engineersummit, 2020).

- **Flota vehicular:** es un conjunto de vehículos que posee una empresa, organización o institución para realizar sus actividades operativas. Las flotas pueden incluir distintos tipos de vehículos, como camiones para transporte de carga y mercancías, autos o motos para el uso diario de los miembros de la organización, o vehículos para ventas, servicios, ejecutivos y arrendamiento interno (Flotefi, 2023).
- **Número estructural en el pavimento:** representa la capacidad estructural de un modelo de pavimento flexible. Se calcula a partir de la información del cuenco de deflexión, del módulo equivalente y del espesor total del modelo estructural (Sandoval, 2022).
- **Zona climática:** es una gran extensión de tierra con un clima dominante, que se caracteriza por una temperatura, cantidad de lluvia, vientos, relieves y vegetación específicos. Las zonas climáticas se producen de este a oeste alrededor de la Tierra y se pueden clasificar utilizando diferentes parámetros climáticos (meteoScool, 2024).
- **Red de carreteras:** La red de carreteras está formado por la red nacional y las redes provinciales además de caminos no pavimentos interconectados los cuales perteneces a un inventario vial nacional (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2022).
- **Series de calibración:** es una secuencia de calibraciones que va desde una referencia hasta el sistema de medición final. El resultado de cada calibración depende del resultado de la anterior (Svantek Academia, 2021).
- **Grietas térmicas:** principalmente el resultado del ambiente de baja temperatura. Después de que se desarrolla la grieta térmica, el agua puede entrar en la grieta y provocar el desmoronamiento de la junta y/o la pérdida del soporte de la base. Esto disminuye significativamente la transitabilidad del pavimento (Aschenbrener, 2021).
- **Grietas estructurales:** Este daño se caracteriza por la aparición de grietas interconectadas en un patrón de malla en la superficie de la carretera; Las dimensiones de los bloques que forman la malla indican el estado de desarrollo de la destrucción y en las primeras etapas tienen un valor dosimétrico. En los estados centimétricos y avanzados, esta patología se denomina piel de cocodrilo. (Costa, 2022).

- **Ahuellamiento:** Este es un tipo de daño a la superficie del asfalto que ocurre debido a la carga repetida del tráfico. Se trata de la acumulación de deformaciones verticales permanentes que se producen en todas las capas que componen la estructura viaria se manifiesta como una ondulación bajo las bandas de circulación vehicular y una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos (Spinel, Triviño, & Hormaza, 2021).
- **Estándar de conservación:** se refiere a las actividades destinadas a proporcionar y mantener carreteras mediante el uso de tratamientos, donde se consideran sus costos y beneficios en función de la vida útil restante del pavimento y el presupuesto disponible (Salomón, 2021).
- **Estándar de mejora:** es un proyecto que busca elevar el nivel de una vía mediante la modificación de la geometría y/o del tipo de superficie de rodadura. Este proyecto puede incluir la construcción y/o adecuación de puentes, túneles, obras de drenaje y muros (Ministerio de economía y finanzas Gobierno peruano, 2019).
- **Cronograma de intervenciones:** es una herramienta de gestión de proyectos que muestra el listado de tareas necesarias para realizar un proyecto en orden cronológico. Con un cronograma de intervenciones todos los integrantes de un proyecto pueden visualizar de forma rápida la hoja de ruta del proyecto, los hitos, asignación de tareas individuales e interdependencia entre tareas **Fuente especificada no válida..**
- **Vehículo tipo:** son aquellos vehículos los cuales de acuerdo a la característica única que tiene ya sea por sus características mecánicas, de forma u capacidad de aforo se pueden clasificar y además estos mismo se puede utilizar para determinar un aforo vehicular mas detallado **Fuente especificada no válida..**
- **Aforo vehicular:** es el número de vehículos que pasan por un punto, tramo de vía o intersección en un período de tiempo determinado. Este recuento se realiza de forma manual o mecánica y clasifica diferentes tipos de vehículos. El propósito de determinar

la capacidad del vehículo es muestrear y representar la cantidad y el tipo de tráfico que ocurre en un punto particular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020).

## CAPITULO III: HIPOTESIS Y VARIABLES

### 4.1 Formulación de hipótesis

#### 4.1.1 Hipótesis general

**HG:** La aplicación del modelo HDM-4 optimiza los recursos económicos en la planificación vial en la carretera Huacarpay - Vicho en el departamento del Cusco.

#### 4.1.2 Hipótesis Específica

**HE1:** La calibración del modelo HDM-4 es necesaria para obtener predicciones fiables en la zona a evaluar.

**HE2:** La aplicación del modelo HDM-4, facilita la elección de la Intervención vial más óptima en el aspecto técnico - económico.

**HE3:** Existe diferencia entre el costo de los trabajos de conservación vial realizados, con la planificación vial planteada mediante la herramienta del HDM-4.

### 4.2 Definición de variables

#### 4.2.1 Variable de estudio n°1

- **Planificación Vial:** 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 climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión. Todo lo anterior minimizando los costos monetario, social y ecológico. (Ralph Haas, 1993)

##### 4.2.1.1 Indicadores de las variables n°1

- Índice de Regularidad Internacional (IRI).
- Deterioros o fallas en la carpeta de rodadura (%).
- Conteo Vehicular (IMDA).
- Número Estructural (SN).
- Características mecánicas de la Subrasante (CBR)
- Mantenimiento Rutinario.
- Mantenimiento Periódico.
- Rehabilitación
- Mejoramiento
- Costo/km en Mantenimiento rutinario

- Costo/km en Mantenimiento periódico
- Costo/km en Rehabilitación
- Costo/km en Mejoramiento

#### 4.2.2 Variable de estudio n°2

- **Modelo HDM-4:** Es un programa computacional que sirve como herramienta de gestión y desarrollo de carreteras para el análisis, la planificación, gestión y evaluación del mantenimiento, mejora y la toma de decisiones relacionadas con la inversión de carreteras. (HDM Global, 2008)

##### 4.2.2.1 Indicadores de las variables n°2

- Longitud total de vía (Km).
- Ancho de vía (m).
- Intensidad de Lluvia (mm/m)
- Temperatura (°C).
- Espesores de las capas estructurales del pavimento (cm)
- Pesos de vehículos (Tn).
- Macrotextura del Pavimento (mm).
- Costos de mantenimiento vehicular (S/.)
- Número de accidentes de Tránsito.

### 4.2.3 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 12 :Cuadro de Operacionalización De Las Variables

VARIABLE	DIMENSIONES	SUB-DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE N°1: Planificación Vial	1.1. Estado actual de la Vía	o Condición Funcional o Superficial	o Índice de Regularidad Internacional (IRI).
			o Deterioros o fallas en la carpeta de rodadura (%).
			o Conteo Vehicular (IMDA)
		o Condición Estructural	o Número Estructural (SN)
			o Características mecánicas de la Subrasante (CBR)
			o Mantenimiento Rutinario.
	1.2. Elección del tipo de intervención Vial	o Elección del tipo de intervención Vial	o Mantenimiento Periódico.
			o Rehabilitación
			o Mejoramiento
			o Costo/Km en mantenimiento rutinario
	1.3. Optimizar los recursos económicos	o Optimizar los recursos económicos	o Costo/Km en mantenimiento periódico
			o Costo/Km en rehabilitación
o Costo/Km en mejoramiento			
o Longitud total de vía (km)			
VARIABLE N°2: Modelo HDM-4	2.1. Calibrar modelo de comportamiento del pavimento	o Características físicas de la vía	o Ancho de vía (m)
			o Intensidad de Lluvia (mm/m)
			o Temperatura (°C)
			o Espesores de las capas estructurales del pavimento (cm)
			o Pesos de vehículos (Tn)
			o Macrotextura del Pavimento (mm)
			o Costos de mantenimiento vehicular (S/.)
			o Número de accidentes de Tránsito

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1 Tipo de investigación

Según los propósitos de la investigación y de la naturaleza de los problemas: El tipo de investigación es *Aplicada*.

El proyecto de investigación comprende establecer la planificación de Conservación de pavimentos más rentables desde el punto de vista técnico económico para ello se evaluará el estado actual del pavimento a través del índice de regularidad internacional (IRI), Índice de resistencia de suelos (CBR), espesores de las capas de la estructura del pavimento, características del diseño geométrico y condiciones de tráfico. Para luego obtener un modelo de predicción de comportamiento del pavimento aplicando la herramienta de análisis de proyectos de gestión vial HDM-4 y así establecer estrategias de intervención vial optimas en un periodo de tiempo.

Según el tipo de diseño de investigación: El trabajo de investigación será *No Experimental-transversal*.

El trabajo de investigación consiste en aplicar el Modelo HDM-4 (variable de estudio N°2) para mejorar la planificación de conservación de pavimentos (variable de estudio N°1) en la carretera Huacarpay - Vicho, en el departamento del Cusco, al realizar esta investigación se evaluará la condición actual del pavimento y se recolectará información sobre las intervenciones de conservación del pavimento realizadas y tráfico vehicular,

Según la naturaleza de la información que se recoge: La investigación es de tipo *Cuantitativa*

Durante el trabajo de investigación se usará los resultados de los ensayos de laboratorio e in situ para realizar la evaluación del estado del pavimento, posteriormente se aplicará el modelo HDM-4 el cual nos proporcionará, a través de un presupuesto estimado, la planificación de conservación de pavimentos más optima desde el aspecto técnico económico, además del uso de encuestas, entrevistas, observaciones y demás datos estadísticos los cuales nos proporcionaran datos de tendencia para formular modelos predictivos usando herramientas como el HDM-4.

### 5.2 Nivel o alcance de la investigación

Durante la investigación se realizará la recolección de información y descripción de la condición actual del pavimento a través de ensayos in situ y de laboratorio, a partir de ello formular la planificación de conservación de pavimentos (variable de estudio N°1) aplicable a la carretera Huacarpay - Vicho, haciendo uso del Modelo HDM-4 (variable de estudio N°2)



proyectado a lo largo de 4 años. En este entender la investigación cumple con los requisitos para ser nombrado como una investigación de nivel *Descriptivo*.

### 5.3 Diseño de investigación

El tipo de diseño de investigación según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) es de dos tipos: Experimental y No Experimental teniendo en consideración su diferencia reflejada en la manipulación de variables, ya que la primera es por influencia directa del investigador y la interacción de las variables dependiente e independiente y en contraste de la segunda que no interviene en su formación del fenómeno en estudio, el trabajo de investigación consiste en aplicar el Modelo HDM-4 (variable de estudio N°2) para mejorar la planificación de conservación de pavimentos (variable de estudio N°1) en la carretera Huacarpay - Vicho, en el departamento del Cusco ya que se evaluara en un ambiente existente sin manipulación del entorno es por consecuente que nuestra investigación es *No experimental*, además de que esta última se subdivide a la vez en transversal y longitudinal de la cual la diferencia, según el autor, se refleja en el tratamiento de la variable en un tiempo específico o a lo largo de un periodo, por lo que se trataría esta investigación como *Transversal* ya que esta investigación es en un tiempo específico, haciendo a su vez otra subdivisión que son: exploratorios, descriptivos y correlacionales, de las cuales la que más se ajusta según la definición del autor es la *descriptiva* ya que el objetivo de la investigación es indagar la incidencia de una o más variables en una población, esta investigación se evaluará la condición actual del pavimento y se recolectará información sobre la conservación de pavimentos realizadas y tráfico vehicular, es por eso que esta investigación es *No Experimental – Transversal - Descriptivo*.

### 5.4 Población de estudio

Según (Arias Gómez, Villasís Keever, & Miranda Novales, 2016) la definición de población de estudio se reflejaría de la siguiente manera como un conjunto de casos, determinados, limitados y accesibles, que constituirán los sujetos para la selección de la muestra, y deberán cumplir unas características y criterios distintos. Además, deben cumplir con los siguientes criterios de selección o elegibilidad los cuales son: inclusión, exclusión y eliminación que restringen a la población a seleccionar.

Tomándose en cuenta estos criterios y conceptos anteriores, en la presente investigación la población a estudiar comprende el corredor vial regional en la provincia de Calca, tomándose

en cuenta la situación actual del pavimento y las gestiones de conservación vial que se realizaron a lo largo del tiempo y generando modelos predictivos de conservación vial.

### 5.5 Muestra

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), la muestra es un subconjunto o parte del universo a partir de la unidad representativa denominada población en la que se llevará a cabo la investigación, de la cual se extrae de forma aleatoria o al azar que denota un procedimiento mecánico relacionada con la probabilidad, que será sometida a observaciones científicas con el fin de lograr resultados validos o confiables.

Según lo comprendido en líneas anteriores, la muestra en la presente investigación será específicamente la carretera nacional PE 28B en el tramo específico Huacarpay - Vicho.

### 5.6 Selección de muestra

La selección de la muestra o muestreo será de tipo *No Probabilístico* ya que la selección de las muestras será bajo el criterio del investigador y no será dejada al azar, ya que la muestra de vía a intervenir debe cumplir con ciertos criterios como el estado actual del pavimento y las condiciones climáticas a las que se va a estudiar además de la geometría de la carretera y características intrínsecas para la generación de modelos de predicción en la intervención vial con el uso del modelo HDM-4.

### 5.7 Tamaño de la muestra

Según (Fisher & Navarro, 1996) el tamaño de muestra apropiado probabilístico permite que se obtenga una pequeña parte de la población con una medida confiable de todo el conjunto y como se está trabajando con una población finita se aplica la formula siguiente:

$$n = \frac{NZ^2 p(1-p)}{(N-1)E^2 + Z^2 p(1-p)}$$

Datos:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza

P = proporción de éxitos

(1-p) = proporción estimada de fracasos

$e$  = error de estimación entre la proporción real y la proporción de la muestra

Datos de la investigación:

$N = 226.7$  Km (Según MTC)

$Z = 1.96$  (según tabla de área normal)

$P = 50\%$

$(1-p) = 50\%$

$e = 0.06$

De acuerdo con este cálculo se obtiene un número específico de longitud para intervenir es de 9.95 km de intervención.

## **CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE LA CARRETERA HUACARPAY – VICHO ANTES DE LA PLANIFICACIÓN VIAL**

### **6.1 Recolección de información existente**

#### **6.1.1 Características geométricas de la vía**

Esta vía en estudio que abarca desde el centro poblado de Huacarpay, del distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi y el centro poblado de Vicho, del distrito de San Salvador, provincia de Calca.

Según datos recolectados de la entidad que se encargó de su ejecución según resolución directoral N°DE-156-93 (PLAN COPESCO), este tramo parte de un tramo mayor que abarca el tramo Pisac-Huambutio-Huacarpay que fue ejecutado entre febrero de 1994 y noviembre del 2007, con un presupuesto ejecutado de S/ 29'943,247.89 nuevos soles.

Luego de la ejecución de la obra se hizo varios trabajos de mantenimiento y/o conservación de la carpeta de rodadura los cuales se dieron en los siguientes años:

Datos:

- . Categoría: Segundo Orden
- . Longitud: 30.351 Km (entre Huacarpay-Vicho), K0+000-Km30+351
- . Ancho de Superficie de rodadura: 9.0m.
- . Ancho de Bermas: 1 m.
- . Bombeo: 2%
- . Peralte máx.: 6%
- . Base: 0.15 m.
- . Subbase: 0.20 m.
- . Superficie de Rodadura: Carpeta Asfáltica en caliente e=3”

Esta vía es parte la ruta PE-28B de la red nacional, el tramo en estudio para la tesis inicia en el Km 0+000 ubicado en el desvío hacia Huacarpay y termina en el Centro Poblado de Vicho en el Km 10+000.

#### **6.1.2 Datos de conservación vial**

Desde la culminación de la obra se tuvo 4 intervenciones por diferentes consorcios para el mantenimiento rutinario y mantenimiento periódico de la misma carretera en estudio, de los cuales se puede mencionar las fechas y tipo de intervención que tuvieron:

- 2010-2016 : Mantenimiento Periódico Y Mantenimiento Rutinario Por 6 Años
- 2017-2020 : Mantenimiento Rutinario De 3años
- 2021 : Mantenimiento Rutinario - Provias Nacional
- 2022 : Mantenimiento Rutinario - Provias Nacional

### **6.1.3 Temperatura y humedad**

Para la recolección de la información Hidrometeorológica se tomaron los registros de las estaciones meteorológicas de Cay Cay y Pisac, cuya información fue solicitada al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

#### **6.1.3.1 Humedad**

Para la obtención de datos meteorológicos, se consideraron los registros de 30 años de las estaciones meteorológicas de Cay Cay y Pisac.

Tabla 13: Precipitación Anual Estaciones Cay Cay y Pisac

PRECIPITACION ANUAL (mm)		
AÑO	ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE CAY CAY	ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE PISAC
1992	243.32	445.45
1993	184.82	608.30
1994	254.89	464.43
1995	271.59	413.60
1996	328.02	542.88
1997	224.15	436.80
1998	446.26	476.00
1999	222.94	496.60
2000	369.18	468.50
2001	283.65	794.20
2002	374.20	724.50
2003	256.55	559.30
2004	405.13	601.80
2005	358.41	439.00
2006	229.30	691.40
2007	480.30	530.30
2008	467.70	643.80
2009	902.20	525.70
2010	623.80	632.30
2011	788.40	678.00
2012	548.90	621.60
2013	514.00	746.30
2014	695.40	530.10

2015	661.11	327.40
2016	657.40	409.30
2017	480.90	448.60
2018	619.30	691.20
2019	760.30	627.50
2020	519.62	466.00
2021	763.50	446.70
2022	701.60	369.40

Fuente: SENAMHI

Tabla 14: Precipitación promedio anual

<b>Estacion Metereologica</b>	<b>Precipitacion Anual (Mm)</b>
Cay Cay	472.16
Pisac	543.77
<b>Promedio</b>	<b>507.96</b>

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo como precipitación anual promedio el valor de 507.96 mm. Por lo tanto, la clasificación del clima por humedad según Thornthwaite es: "Semi-árida".

Tabla 15: Clasificación de acuerdo a la humedad según Thornthwaite

Clasificación	Descripción	Índice de humedad Thornthwaite	Precipitación anual (mm)
Árido	Muy poca lluvia, mucha evaporación	-100 a -61	<300
Semi – árido	Poca lluvia	-60 a -21	300 a 800
Sub - húmedo	Lluvia moderada o lluvia ocasional intensa	-20 a +19	800 a 1600
Húmedo	Lluvia ocasional moderada cálida	+20 a +100	1500 a 3000
Muy húmedo	Mucha lluvia o días muy húmedos	>100	>2400

Fuente: Elaboración propia



### 6.1.3.2 Temperatura

Los datos de temperatura se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de Cay Cay y Pisac. Para realizar la clasificación según Thornthwaite, se tomó como promedio los valores de la temperatura media mensual.

Tabla 16: Temperatura media mensual estación de Cay Cay

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN (°C)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2018	14.9	14.9	14.8	15.2	15.2	13.9	12.3	13.3	14.5	14.7	15.5	14.3
2019	14.7	14.6	14.5	14.6	13.6	13.3	12.9	14.7	15.0	15.0	15.0	14.4
2020	14.0	14.1	14.2	14.9	13.2	12.4	12.2	12.5	14.2	15.5	16.1	14.8
2021	14.9	14.2	15.4	14.2	13.6	12.6	11.4	12.7	14.1	14.7	15.1	14.5
2022	14.6	14.6	14.8	14.1	13.1	13.2	12.2	13.3	14.5	15.0	15.4	14.5

Fuente: SENAMHI

Tabla 17: Temperatura media mensual estación de Pisac

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN (°C)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2018	16.5	16.3	15.7	15.2	14.4	12.6	12.0	12.9	14.8	15.1	16.3	15.6
2019	15.6	15.3	15.7	14.2	13.8	13.2	13.3	13.7	14.2	15.2	15.8	16.3
2020	16.0	15.3	16.5	15.1	14.5	13.4	13.3	14.0	16.0	16.0	17.3	16.8
2021	15.7	15.7	15.6	15.2	14.4	14.0	14.0	14.5	14.6	15.9	16.2	15.5
2022	15.3	15.2	15.3	15.6	15.2	13.7	13.7	14.5	15.6	16.4	16.2	15.4

Fuente: SENAMHI

Tabla 18: Temperaturas máximas y mínimas de las estaciones Cay Cay y Pisac

<b>ESTACION METEOROLOGICA</b>	<b>TEMPERATURA MINIMA °C</b>	<b>TEMPERATURA MAXIMA °C</b>
Cay Cay	-5.6	26.4
Pisac	-1.6	29.8

Fuente: Elaboración propia

La temperatura mínima en la vía Huacarpay – Vicho, como se observa en la tabla 17, es de -1.6 °C y la temperatura máxima es de 29.8°C, por lo que la clasificación de acuerdo a la temperatura según Thornthwaite es: “Sub-tropical-frío”

Tabla 19: Clasificación de la Temperatura según Thornthwaite

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Escala de temperatura (°C)</b>
Tropical	Temperaturas cálidas en pequeñas escalas	20 a 35
Subtropical - cálido	Temperatura alta de día y fría de noche, estación cálida - fría	-5 a 45
Subtropical - frío	Temperatura moderada de día, inviernos fríos	-10 a 30
Templado – frío	Veranos cálidos, inviernos ligeramente fríos	-20 a 25
Templado con congelamiento	Veranos fríos, inviernos helados	-40 a 20

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.4 Estudio de tránsito


La metodología utilizada para el estudio de transporte se detalla en el Manual de Investigación en Transporte de la Dirección de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Transporte (OPP-MTC) y se describe en detalle a continuación:

#### Conteo vehicular:

Para contar los vehículos se utilizaron métodos manuales que utilizan cámaras de vídeo. Para el conteo de vehículos se utilizó el Manual de Levantamiento de Tránsito de la Dirección General de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Transporte (OPP-MTC).

Formato de aforo vehicular según el ministerio de transportes y comunicaciones dado en el anexo N°4 la cual ha sido utilizada para el aforo de la vía en estudio la cual nos resume en la ilustración siguiente:

Ilustración 13: Formato de Clasificación Vehicular






















REPÚBLICA DEL PERÚ

**FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR**  
ESTUDIO DE TRAFICO

FORMATO N° 1  
**MTC**  
Ministerio de Transportes y Comunicaciones  
DIRECCION DE PLANIFICACION Y PRESUPUESTO  
DIRECCION DE INFORMACION DE GESTION

TRAMO DE LA CARRETERA		E ←      → S		N° HOJA (S) CORRELATIVO	
SENTIDO				ESTACION	
LUBICACION				CODIGO DE ESTACION	
				FECHA	

HORA	SENTIDO	CAMIONETAS					BUS		CAMION				SEMI TRAYLER			TRAYLER					
		AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
....	E																				
....	A																				
....	S																				
....	E																				
....	A																				
....	S																				
....	E																				
....	A																				
....	S																				

ENCUESTADOR: \_\_\_\_\_
JEFE DE BRIGADA: \_\_\_\_\_
ING. RESPONSABLE: \_\_\_\_\_
SUPERV.MTCC: \_\_\_\_\_

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones

Para efectos de clasificación, los vehículos se clasifican por tamaño y número de revoluciones (ejes) según la configuración vehicular aprobada en el Reglamento Nacional de Vehículos, Decreto Supremo N° 058-2003-MTS de la siguiente manera:

Vehículos Livianos	:	Automóvil, camioneta, camionetas rurales (combi), pick-up, SUV 4x4 y Microbuses.
Buses	:	Buses de 2, 3 y 4 ejes (B2, B3 y B4)
C2	:	Camión de 2 ejes (2 ejes simples)
C3	:	Camión de 3 ejes (1 eje simple y 1 eje doble)
C4	:	Camión de 4 ejes (1 eje simple y 1 eje triple)
T2S1 (2S1)	:	Semitrayler (3 ejes simples)
T2S2 (2S2)	:	Semitrayler (3 ejes, 2 simples y 1 eje doble)
T2S3 (2S3)	:	Semitrayler (3 ejes, 2 simples y 1 eje triple)
T3S2 (3S2)	:	Semitrayler (3 ejes, 1 simples y 2 ejes dobles)
T3S3 (3S3)	:	Semitrayler (3 ejes, 1 simple, 1 eje doble y 1 eje triple)
C3R2 (3T2)	:	Trayler (Camión C2+carreta de 2 ejes simples)
C3R3 (3T3)	:	Trayler (Camión C2+carreta de 2 ejes, uno simple y otro doble)
C4R2 (4T2)	:	Trayler (Camión C4+carreta de 2 eje simples)
E7	:	Vehículos especiales con 7 ejes (biarticulados o doble semirremolque)

Las tareas de conteo se llevaron a cabo siete días a la semana, las 24 horas del día, desde el inicio hasta el final, para cada residencia.

#### **Encuestas origen – destino:**

Implica interrogar a los conductores de la mayoría de los vehículos que entran o salen del puesto de control. En este caso, debido a que el período de estudio duró cuatro días, se evitaron congestiones y colas. Los vehículos solo se pueden registrar una vez por trayecto.

Los inspectores asignados a cada dirección y modo de transporte (pasajeros y carga) realizaron encuestas de origen y destino, registrando los comentarios de los conductores de pasajeros y transportistas de carga utilizando el formulario adecuado.

La ayuda de la policía fue crucial para llevar a cabo esta labor, sin embargo, debido a la escasez de agentes, así como a diversas actividades y incidentes policiales en el área, las encuestas se retrasaron en los plazos establecidos.

### Cálculo del índice medio diario anual:

Para obtener el Índice Medio Diario Anual (IMDA), se deberá hallar el transito promedio diario semanal (TPDS), con la siguiente formula:

$$TPDS = \frac{V_{LUNES} + V_{MARTES} + V_{MIERCOLES} + V_{JUEVES} + V_{VIERNES} + V_{SABADO} + V_{DOMINGO}}{7}$$

Un factor llamado Factor de Corrección Estacional para Determinar el Índice Medio Diario fue publicado por MTC para corregir este valor promedio de la semana.

Tabla 20: factores de corrección para vehículos pesados (OPMI - MTC, 2017)

Factores de corrección de vehículos ligeros por unidad de peaje - promedio												
Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros
	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC
AGUAS CALIENT	0.9394	0.8663	1.1161	1.0973	1.1684	1.1945	0.9458	0.8773	0.9386	1.0294	1.0292	0.9845
AGUAS CLARAS	1.0204	1.0668	1.1013	1.0449	0.9979	0.9863	0.8917	0.9168	1.0069	1.0155	1.0712	0.8127
AMBO	0.7822	0.8431	0.8697	0.7549	0.7755	0.7823	0.7479	0.982	1.0329	0.9842	0.9966	0.8835
ATICO	0.8849	0.7376	1.0576	1.0168	1.1538	1.1764	0.9711	0.9893	1.0821	1.0845	1.1559	0.9021
AYAVIRI	0.9913	0.9287	1.087	1.073	1.1003	1.0878	0.9449	0.9108	0.9242	1.0455	1.0348	0.9733
CAMANA	0.5935	0.4934	1.0509	1.2563	1.3886	1.3961	1.2549	1.2278	1.3076	1.2658	1.2303	0.8494
CATAC	1.0992	1.0589	1.3534	1.0405	1.0772	1.0762	0.8316	0.8717	0.9632	0.9514	1.1169	0.9747
CCASACANCHA	1.0321	1.0692	1.105	1.0611	1.0719	1.0565	0.9517	0.9133	0.893	0.9959	0.9734	0.7789
CHACAPAMPA	1.0342	0.9781	0.9986	1.0653	1.0693	1.2488	1.0419	0.9217	0.9818	0.9211	1.0968	0.9676
CHALHUAPUQUI	1.1804	1.2304	1.2157	1.0487	1.0103	1.0467	0.7867	0.8314	1.0145	0.9547	1.0196	0.9379
RUMICHACA	1.0728	0.9436	1.0297	0.8578	1.2202	1.1942	0.8757	0.8975	1.0348	1.0713	1.1703	0.9911
SAN GABAN	1.05	0.9816	1.0785	1.0904	1.1222	1.0984	0.973	0.9088	0.9405	0.9236	0.9675	0.8185
SAN LORENZO	0.9766	1.0535	1.1195	1.1258	1.1044	1.0287	0.8775	0.9294	0.9572	0.9531	1.0553	0.755
SANTA LUCIA	1.0119	0.8481	1.1341	1.1083	1.1142	1.1636	0.939	0.7603	1.067	1.0127	1.0654	0.8428
SAYLLA	1.0247	0.9848	1.1232	1.0935	1.0634	1.065	0.9819	0.9125	0.9189	0.9852	0.9876	0.93
SERPENIN DE	1.0952	1.0572	1.0806	1.0634	1.0649	1.0634	0.9685	0.815	1.0387	1.0592	1.0482	0.9383
SICUYANI	1.0307	0.8251	1.0268	1.0855	1.1303	1.1529	0.9101	0.7631	1.0878	1.0585	1.1855	1.0308
SOCOS	1.2201	0.9974	0.9997	0.8936	1.0904	1.0721	0.9417	0.9564	1.0115	1.0043	1.0295	0.9394
TAMBOGRANDE	0.9319	0.9595	1.0447	1.1058	1.0969	1.0611	1.0462	1.0492	1.0252	0.8999	0.9612	0.8933
TOMASIRI	0.9857	0.917	1.0642	1.0853	1.1028	1.0928	1.037	0.9984	0.9003	1.0377	1.0434	0.7758

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones

Tabla 21: factores de corrección para vehículos pesados (OPMI - MTC, 2017)

Factores de corrección de vehículos peados por unidad de peaje - promedio												
Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados
	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC
AGUAS CALIENT	1.0234	0.9771	1.054	1.0631	1.0703	1.1254	0.9831	0.9574	0.9655	0.9434	0.9429	0.9922
AGUAS CLARAS	1.0497	1.0164	0.9941	1.0038	0.9878	0.9823	0.994	0.9597	0.9819	1.0086	1.0042	0.892
AMBO	0.7967	0.7869	0.8193	0.7762	0.7945	0.7905	0.789	1.0495	1.0086	0.9572	0.9482	0.9447
ATICO	1.0402	0.9961	1.0326	1.0478	1.0392	1.0365	1.0288	0.9862	0.9828	0.9573	0.9313	0.9458
AYAVIRI	1.0377	1.0057	1.0835	1.0533	1.0511	1.0319	0.9884	0.9505	0.9335	0.9456	0.9485	0.9933
CAMANA	0.937	0.8802	1.041	1.0753	1.0804	1.0953	1.0782	1.0099	1.0099	0.9947	0.9786	0.8325
CATAC	1.0538	1.0807	1.1606	1.0756	1.0119	0.9642	0.9591	0.9372	0.9719	0.9644	0.9958	0.9684
CCASACANCHA	1.0985	1.082	1.0974	1.0774	1.0216	0.9848	0.9688	0.9568	0.9552	0.9509	0.9198	0.7875
CHACAPAMPA	1.1253	0.9872	0.9856	1.0061	1.0477	1.0441	1.0496	0.9939	0.934	0.9269	0.9523	1.0257
CHALHUAPUQUI	1.0741	1.0868	1.0814	1.064	1.0533	0.9822	0.9411	0.9321	0.9569	0.9455	0.9498	0.9948
RUMICHACA	1.0818	1.0268	1.0299	1.0168	1.04	0.9999	0.9651	0.9211	0.9717	0.9617	1.0142	1.0086
SAN GABAN	1.0987	1.0538	1.1783	1.1125	1.1375	1.0887	1.2293	0.8892	0.8511	0.8426	0.937	0.8556
SAN LORENZO	1.4046	1.3695	1.3441	1.226	1.1596	1.0369	0.9617	0.914	0.8716	0.8117	0.8314	0.7406
SANTA LUCIA	1.047	1.0248	1.0863	1.0801	1.0723	1.0987	1.0265	0.9249	0.9396	0.9085	0.9206	0.7987
SAYLLA	1.0655	1.0234	1.0782	1.0621	1.0384	1.0339	0.9836	0.9496	0.9489	0.9527	0.9402	0.9677
SERPENTIN DE	1.023	1.0047	1.0391	1.046	1.0344	1.018	1.0079	0.9814	0.9903	0.9671	0.9547	0.8073
SICUYANI	1.1224	1.0194	1.0416	1.0932	1.1379	1.137	1.0892	1.0167	1.0202	0.9074	0.9111	0.9537
SOCOS	1.0895	1.0107	1.0057	1.0133	1.0501	0.9948	0.9791	0.9551	0.9911	0.9563	1.019	0.9775
TAMBOGRANDE	0.5981	0.733	1.132	1.46	1.4249	1.2833	1.3179	1.3397	1.1955	1.0221	0.9193	0.7364
TOMASIRI	0.9707	0.92	1.0234	1.0693	1.0587	1.0722	1.0633	1.0043	0.9636	0.9993	0.9996	0.8396

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones

Los valores de factores de corrección por estación utilizados se muestran en el siguiente cuadro resumen:

Tabla 22: Factores de Corrección Estacional

Descripción	Factor de Corrección Estacional
Vehículos Ligeros	1.065
Vehículos Pesados	1.0339

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

### Tránsito de diseño:

Tasa de crecimiento:

Se estimó en base a las proyecciones de crecimiento poblacional y económico del departamento de Cusco.

Tasa de crecimiento para vehículos ligeros:

Está en función a la tasa de crecimiento anual poblacional, tasa de crecimiento anual de PBI per cápita y la elasticidad de la demanda del tráfico de vehículos ligeros, camioneta rural y micros.

Tabla 23: tasa de crecimiento promedio anual de la población

Tasa de crecimiento promedio anual de la población (Porcentaje)		
AÑO	Cusco	Total Nacional
2010	0.7	1.13
2011	0.69	1.14
2012	0.67	1.13
2013	0.65	1.13
2014	0.63	1.11
2015	0.61	1.1
2016	0.58	1.08
2017	0.56	1.07
2018	0.54	1.06
2019	0.52	1.04
2020	0.5	1.01
2021	0.47	0.99
2022	0.45	0.97
2023	0.43	0.95
2024	0.42	0.93
2025	0.41	0.91

Fuente: Instituto nacional de estadística e informática - INEI

Como se observa en la Tabla 23 la tasa de crecimiento de la población para la ciudad del Cusco en el año 2023 es del 0.43%

Tabla 24: tasa de crecimiento anual PBI

Estructura porcentual del valor agregado bruto en el PBI (porcentaje)		
AÑO	CUSCO	TOTAL NACIONAL
2010	3.7%	91.9
2011	4.4%	91.7
2012	6.1%	91.5
2013	5.9%	92.1
2014	2.4%	91.6
2015	3.3%	91.4
2016	4.0%	91.4
2017	2.5%	91.9
2018	4.0%	91.7
2019	2.2%	91.5
2020	-11.0%	92.1
2021	13.4%	91.6
2022	2.7%	91.4
2023	3.8%	92.1
2024	3.8%	91.6
2025	3.9%	91.4

Fuente: Instituto nacional de estadística e informática - INEI

Como se observa en la Tabla 24 la tasa de crecimiento anual del PBI es de 3.8%

Tabla 25: Flujo de vehículos ligeros

Flujo de Vehículos ligeros en unidades de pago de peaje		
AÑO	CUSCO	Total Nacional
2009	398933	19172675
2010	486149	21260738
2011	541110	23200594
2012	647095	27681965
2013	727843	29830117
2014	805855	32550051
2015	887732	35323662
2016	969609	38097273
2017	1051485	40870884
2018	1133362	43644496
2019	1215238	46418107
2020	1297115	49191718
2021	1378992	51965329
2022	1460868	54738940
2023	1542745	57512551

FUENTE: Ministerio de transporte y comunicaciones - Provias Nacional

Fuente: Instituto nacional de estadística e informática – INEI

Apartir de la tabla 25 se realiza la comparación de porcentajes de incremento del PBI y la tasa de crecimiento vehicular que se tiene en este último año y se halla la elasticidad de demanda vehicular para el estudio consecuente, esta última variable se halla mediante la siguiente fórmula la cual se referencia en el siguiente artículo científico (SCOPUS C. A. Marín, 2021):

La ecuación básica para hallar la elasticidad de demanda de tráfico es la siguiente:

$$\epsilon_{px} \equiv \frac{\frac{\Delta q}{q}}{\frac{\Delta p}{p}} = \frac{\Delta q \times p}{\Delta p \times q}$$

Donde:  $\Delta q$  es la variación de la cantidad,  $\Delta p$  son los cambios en el precio.

Lo cual según el artículo antes mencionado se deduce en la comparativa con la demanda y el PBI y nos resulta en la siguiente fórmula según (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2020):

$$\frac{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)}{(\Delta X/X)} = e$$



Donde:  $\Delta T$  es la variación en el indicador de tránsito,  $\Delta X$  son los cambios en el indicador del PBI y e indicador de la elasticidad de demanda de tráfico.

A partir de la Tabla 25 y la ecuación anterior se calculó la elasticidad de la demanda del tráfico de vehículos ligeros, siendo esta = 1.12 y reemplazando en la siguiente fórmula según los extraído de la tabla 24 y 25 además de la elasticidad encontrada se halla la tasa de vehículos ligeros:

$$Tasa\ Vehículos\ Ligeros = 0.43\% \times 3.8\% \times 1.12 = 1.83\%$$

- Tasa de crecimiento vehículos pesados:

Está en función a la tasa de crecimiento anual poblacional, tasa de crecimiento anual de PBI per cápita y la elasticidad de la demanda del tráfico de vehículos pesados.

De acuerdo a la Tabla 24 y Tabla 25, se determinó que la tasa de crecimiento de la población para la ciudad del Cusco en el año 2023 es del 0.43% y el PBI en Cusco es de 3.80%, para lo cual se determinará la elasticidad de la demanda del tráfico de vehículos de carga o pesados

Tabla 26: flujo de vehículos pesados

Flujo de Vehículos pesados en unidades de pago de peaje		
AÑO	CUSCO	Total Nacional
2009	441545	20418800
2010	496477	20866317
2011	512307	21893291
2012	593468	24676762
2013	655100	25651177
2014	697010	26983829
2015	749420	28411349
2016	801830	29838869
2017	854240	31266389
2018	906650	32693909
2019	959060	34121429
2020	1011470	35548949
2021	1063880	36976468
2022	1116291	38403988
2023	1168701	39831508

FUENTE: Ministerio de transporte y comunicaciones - Provias Nacional

Fuente: INEI

A partir de la Tabla 26 y de la ecuación antes mencionada se calculó la elasticidad de la demanda del tráfico de vehículos pesados, siendo esta = 1.17 y este mismo reemplazado en la fórmula con los valores encontrados se determinó:

$$Tasa\ Vehículos\ Pesados = 0.43\% \times 3.8\% \times 1.17 = 1.91\%$$

Factor de crecimiento:

Para calcular el factor de crecimiento total, el Instituto de asfalto y la guía de diseño AASHTO recomienda el uso de tráfico durante todo el periodo de diseño, tal como se indica:

$$\text{Factor de crecimiento total} = (G)(Y) = \frac{(1+r)^Y - 1}{r}$$

Dónde: G = es el factor de crecimiento, Y = número de años, r = Tasa de crecimiento por tipo de vehículo.

El factor de distribución direccional: este factor considera el volumen de tráfico en cada dirección y generalmente se considera el 50%. Esto significa que el tráfico en ambas direcciones es similar. Factor de distribución de carril: porque la vía tiene dos carriles, se considera el factor de distribución de carril 100%.

Tabla 27: Factor de distribución de carril

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fe)	Factor Ponderado FdxFc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1	1	1
	1 sentido	2	1	0.8	0.8
	1 sentido	3	1	0.6	0.6
	1 sentido	4	1	0.5	0.5
	2 sentidos	1	0.5	1	0.5
	2 sentidos	2	0.5	0.8	0.4
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.5	1	0.5
	2 sentidos	2	0.5	0.8	0.4
	2 sentidos	3	0.5	0.6	0.3
	2 sentidos	4	0.5	0.5	0.25

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones

Los resultados a los que se llegó después de aplicar la fórmula de factor de crecimiento total tanto en vehículos ligeros y vehículos pesados son:

$$\text{Factor de crecimiento total} = \frac{(1+r)^y - 1}{r}$$

→	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
<b>r</b>	1.83%	1.91%
<b>y</b>	20 años	20 años
<b>Factor de crecimiento</b>	23.89%	24.08%

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la forma a la cual se definió realizar el conteo vehicular mediante cámaras de video la cual con sensor de movimiento se ha podido identificar el tipo de vehículo y contabilizar la cantidad de vehículos que transitan la vía.

Imagen 1: estaciones de conteo vehicular, estación Huambutio y estación Vilcabamba











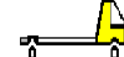


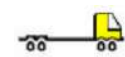

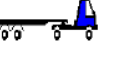




**Cuadro resumen de IMDA resultante del conteo vehicular del tramo Huacarpay-Vicho**


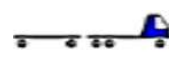


Dentro de los resultados obtenidos del conteo vehicular que se realizó se concluye en el IMDA de 1553 veh/día teniendo una variedad desde vehículos ligeros hasta vehículos de 2, 3, 4 y 5 ejes dentro de la clasificación de camión tráiler y semitrailer además de encontrar tránsito de maquinaria pesada en la zona por causade la explotación de material de cantera, se realizó en dos estaciones de conteo las que a continuación se verifica sus resultados:

- **Estación de Vilcabamba:**

Tabla 28: Resultados del Conteo vehicular de la Estación de Aforo Vilcabamba

Dia	VEHICULOS LIGEROS		BUSES			
	AUTOS, CAMIONETAS 	B-2			B-3 	B-4 
		PESO LIVIANO 	PESO MEDIANO 	PESADO 		
	N° VEHICULOS	N° VEHICULOS	N° VEHICULOS			
<b>lunes 05 de junio</b>	930	1	157	2	0	0
<b>Martes 06 de junio</b>	903	2	175	9	4	0
<b>Miercoles 07 de junio</b>	836	1	133	5	1	0
<b>Jueves 08 de junio</b>	849	1	140	5	0	0
<b>Viernes 09 de junio</b>	944	1	155	11	5	0
<b>Sabado 10 de junio</b>	979	1	175	0	0	0
<b>Domingo 11 de junio</b>	883	3	182	8	4	0
<b>TS</b>	6,324	29	1,117	40	14	0
<b>TPDS</b>	903	4	160	6	2	0
<b>TPDA (IMDA)</b>	899.19	4.12	158.82	5.69	1.99	0.00
<b>IMDA</b>	1553.10					

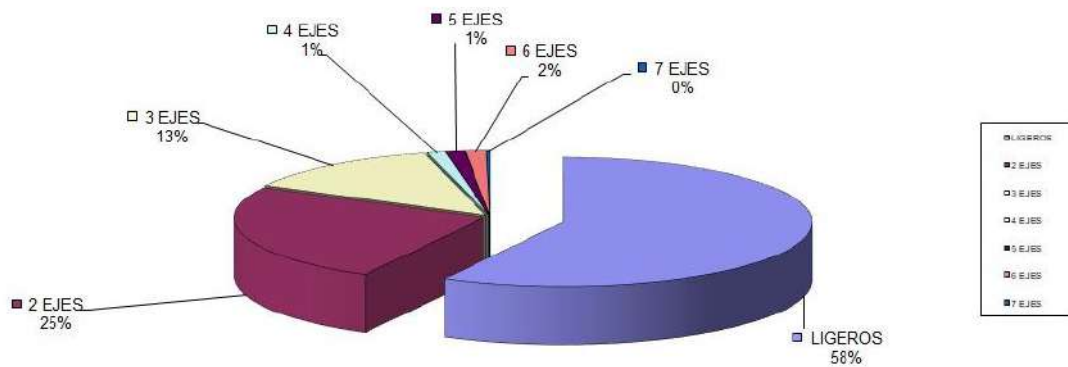
CAMION						SEMI TRAYLER					
C-2			C-3	C-4	8x4	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	T3S3	T3Se3
PESO LIVIANO	PESO MEDIANO	PESADO									
											
88	163	18	217	15	0	2	8	3	4	18	1
52	135	19	222	20	0	0	3	1	12	14	2
32	91	15	148	12	0	0	14	0	8	6	0
61	149	0	207	15	0	2	6	0	6	9	2
65	121	15	195	12	0	0	8	1	13	9	2
114	176	36	226	14	0	2	6	6	0	28	0
52	135	19	222	20	0	0	3	1	12	14	2
464	970	122	1,437	108	0	6	48	12	55	98	9
66	139	17	205	15	0	1	7	2	8	14	1
<b>65.97</b>	<b>137.92</b>	<b>17.35</b>	<b>204.32</b>	<b>15.36</b>	<b>0.00</b>	<b>0.85</b>	<b>6.82</b>	<b>1.71</b>	<b>7.82</b>	<b>13.93</b>	<b>1.28</b>

TRAYLER			
C2R2	C3R2	C3R3	CARGADOR FRONTAL
			
0	0	4	3
0	0	10	3
1	0	6	1
0	0	0	7
0	0	6	4
0	0	8	4
0	0	10	3
1	0	44	25
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>4</b>
<b>0.14</b>	<b>0.00</b>	<b>6.26</b>	<b>3.55</b>

Fuente: Elaboracion propia

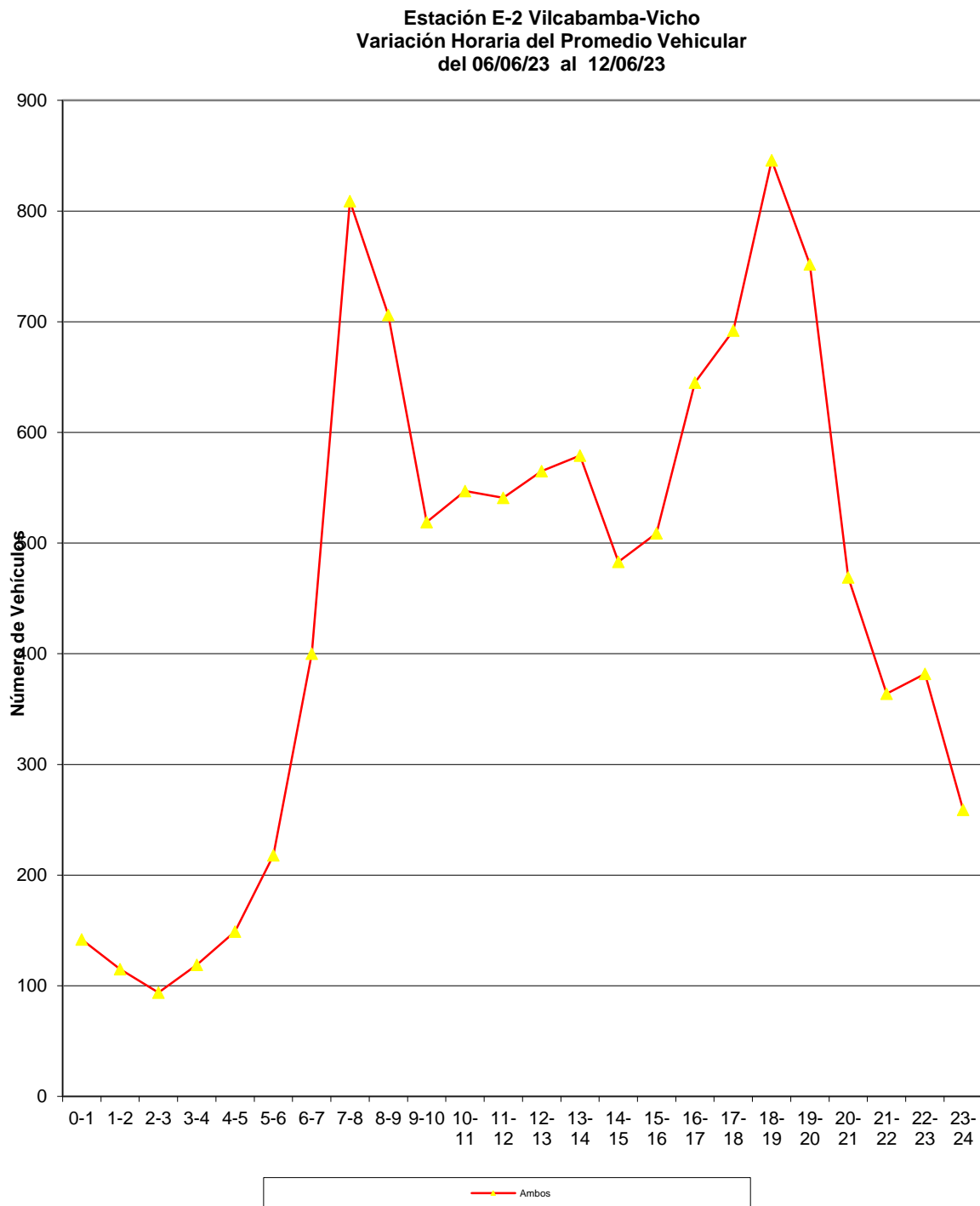
Como se ve en los resultados en la ilustración 14 el porcentaje de vehículos ligeros de 2 ejes y semitrailers además de maquinaria pesada dentro del conteo vehicular, teniendo como número mayor en porcentaje a los vehículos ligeros en un 58% de presencia de flujo de tráfico.

Ilustración 14: Distribución Porcentual Por Tipo De Vehículo, Estación De Aforo Vilcabamba



Fuente: Elaboracion propia

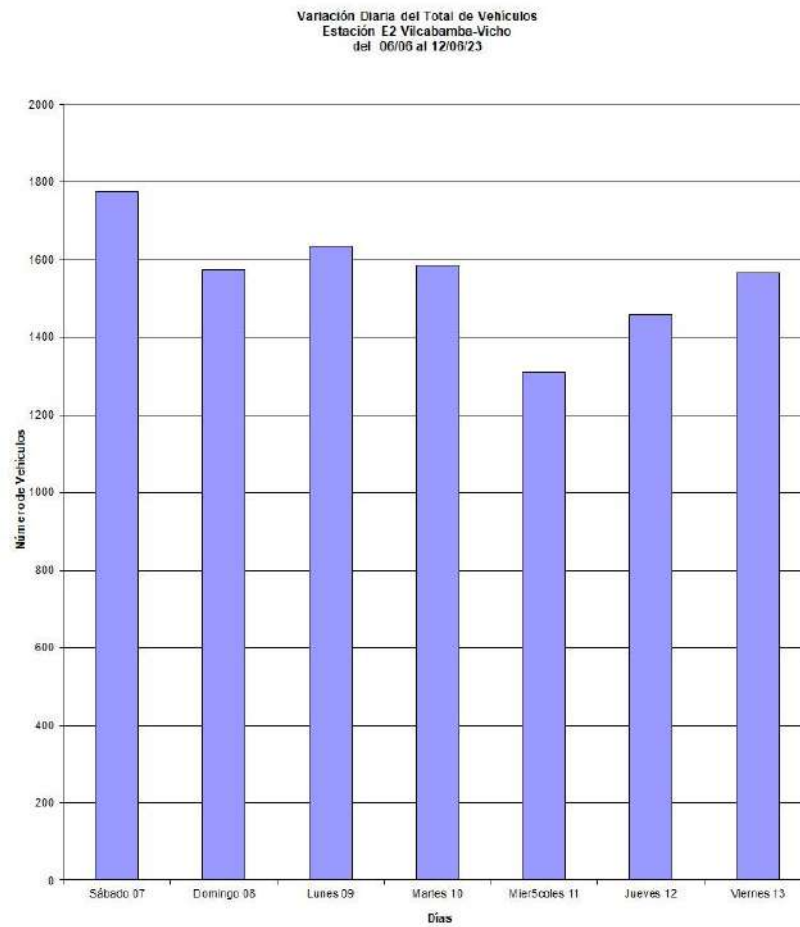
Ilustración 15: Variación Horaria del Promedio Vehicular, Estación Vilcabamba



Fuente: Elaboracion propia

Se considera en la ilustración 15, la densidad vehicular de acuerdo al horario de flujo de tráfico en la ruta de estudio además del cambio irregular dentro de los horarios pico y de baja densidad, en donde se puede concluir que la hora en la cual se encuentra el pico de la cantidad de vehículos es de 7:00 a.m. – 8:00 a.m. y 18:00 a.m. – 19:00 a.m.

Ilustración 16: Variación Diaria de Vehículos, Estación Vilcabamba





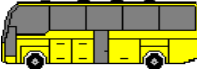
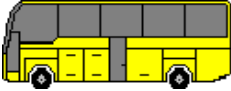


Fuente: Elaboracion propia






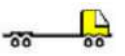





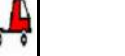
Se demuestra el flujo vehicular a lo largo de la semana de conteo realizado teniendo en consideración días pico de densidad vehicular como el día sábado seguido del día Lunes y días de poco flujo como el día del miércoles lo cual nos ayuda a determinar días de alto tránsito vehicular.


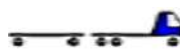




## - Estación Huambutio:

Tabla 29: Resultados del Conteo vehicular de la Estación de Aforo Huambutio

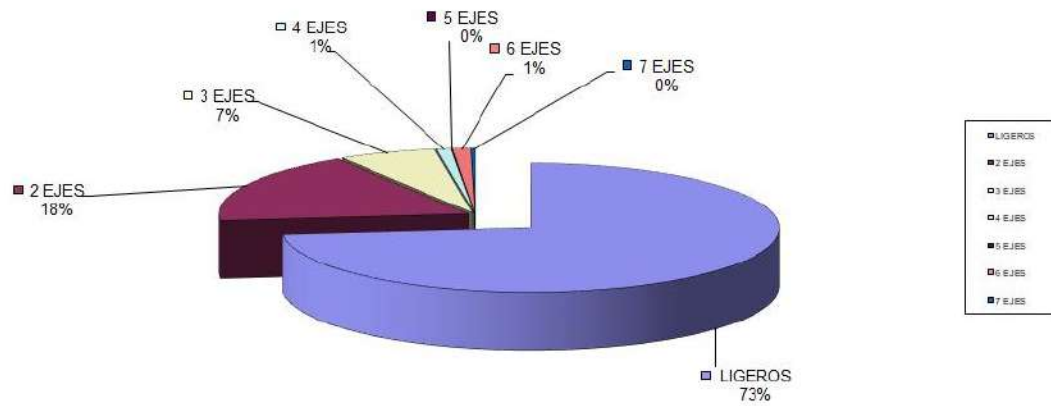
Dia	VEHICULOS LIGEROS	BUSES				
	AUTOS, CAMIONETAS	B-2			B-3	B-4
		PESO LIVIANO	PESO MEDIANO	PESADO		
						
	N° VEHICULOS	N° VEHICULOS	N° VEHICULOS			
<b>lunes 05 de junio</b>	2,365	25	200	9	0	0
<b>Martes 06 de junio</b>	1,541	24	126	3	0	0
<b>Miercoles 07 de junio</b>	1,479	30	114	5	2	0
<b>Jueves 08 de junio</b>	1,445	25	127	7	1	0
<b>Viernes 09 de junio</b>	2,137	21	175	6	0	0
<b>Sabado 10 de junio</b>	2,499	25	185	13	0	0
<b>Domingo 11 de junio</b>	4,766	27	295	5	0	0
<b>TS</b>	16,232	29	1,222	48	3	0
<b>TPDS</b>	<b>2,319</b>	<b>4.1</b>	<b>174.6</b>	<b>6.9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TPDA (IMDA)</b>	<b>2307.97</b>	<b>4.12</b>	<b>173.75</b>	<b>6.82</b>	<b>0.43</b>	<b>0.00</b>
<b>IMDA</b>	<b>3135.63</b>					

CAMION						SEMI TRAYLER					
C-2			C-3	C-4	8x4	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	T3S3	T3Se3
PESO LIVIANO	PESO MEDIANO	PESADO									
											
104	165	161	261	80	0	0	2	0	2	49	2
99	176	147	260	12	0	0	1	0	3	33	0
74	168	166	319	4	0	0	1	0	0	44	0
52	109	128	105	34	0	0	0	0	0	24	0
92	178	160	215	40	0	0	2	0	0	41	0
65	200	138	186	27	0	0	2	0	0	31	0
34	124	88	21	1	0	0	0	0	0	28	0
520	1,120	988	1,367	198	0	0	8	0	5	250	2
<b>74.3</b>	<b>160.0</b>	<b>141.1</b>	<b>195.3</b>	<b>28.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>1.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.7</b>	<b>35.7</b>	<b>0.3</b>
<b>73.94</b>	<b>159.25</b>	<b>140.48</b>	<b>194.37</b>	<b>28.15</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1.14</b>	<b>0.00</b>	<b>0.71</b>	<b>35.55</b>	<b>0.28</b>

TRAYLER			
C2R2	C3R2	C3R3	CARGADOR FRONTAL
			
0	0	0	14
1	0	0	15
0	0	0	6
0	0	0	5
1	0	0	5
1	0	0	12
1	0	0	0
4	0	0	57
<b>0.6</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>8.1</b>
<b>0.57</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>8.10</b>

Fuente: Elaboracion propia

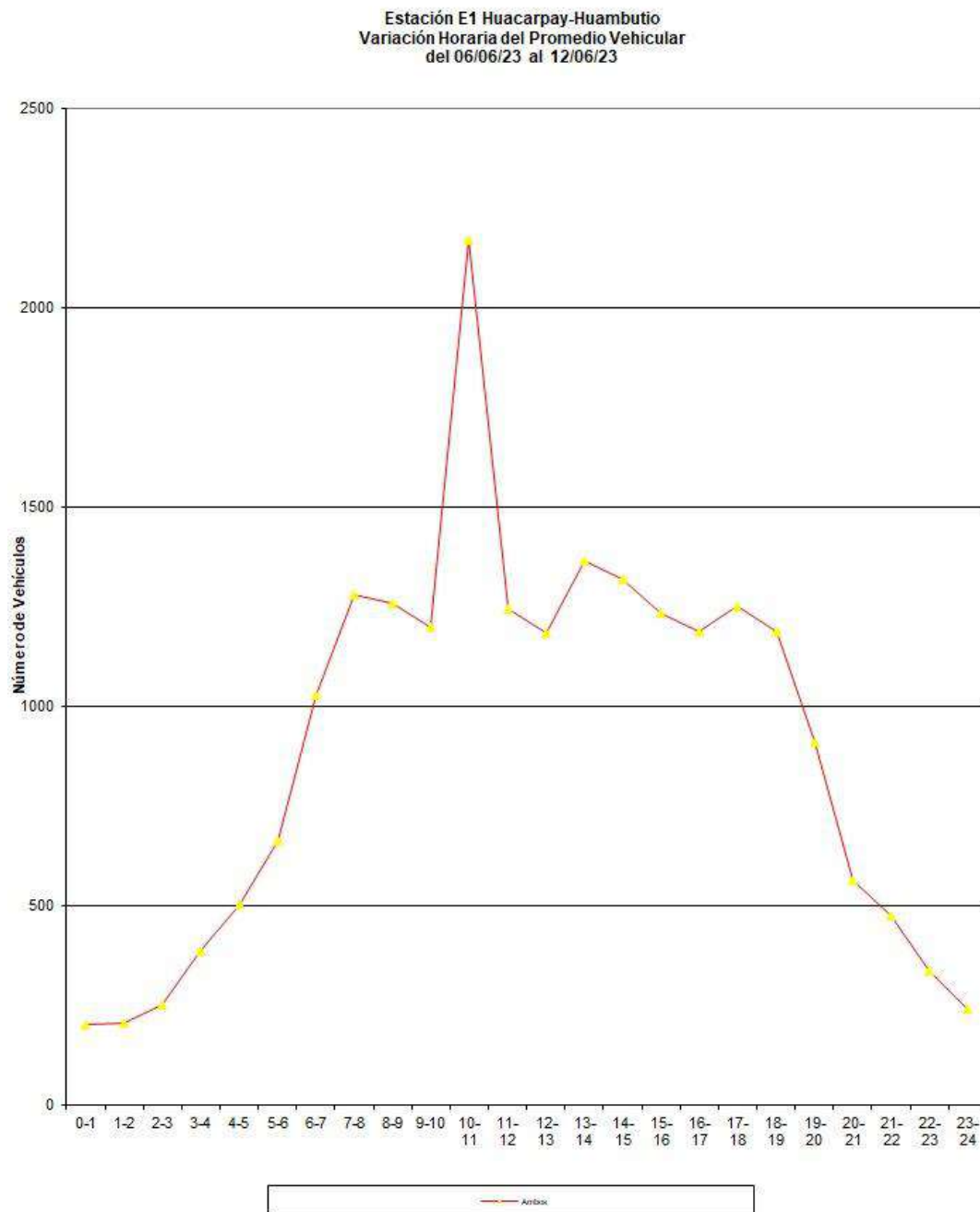
Ilustración 17: Distribución Porcentual Por Tipo De Vehículo, Estación De Aforo Huambutio



Fuente: Elaboracion propia

Como se ve en los resultados en la ilustración 17 el porcentaje de vehículos ligeros de 2 ejes y semitrailers además de maquinaria pesada dentro del conteo vehicular, teniendo como número mayor en porcentaje a los vehículos ligeros en un 73% de presencia de flujo de tráfico.

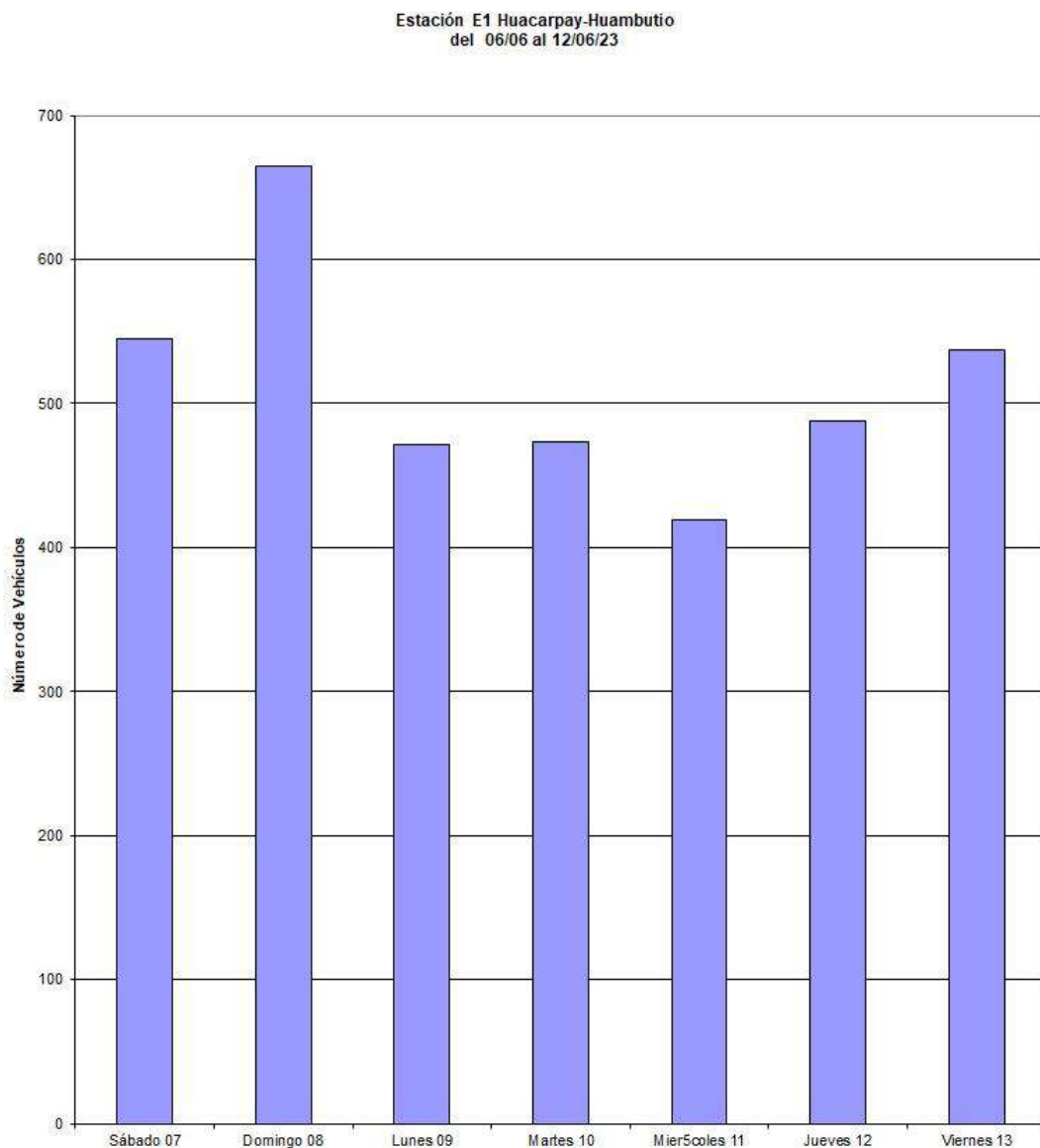
Ilustración 18: Variación Horaria del Promedio Vehicular, Estación Huambutio



Fuente: Elaboración propia

Se considera en la ilustración 18, la densidad vehicular de acuerdo al horario de flujo de tráfico en la ruta de estudio además del cambio irregular dentro de los horarios pico y de baja densidad, en donde se puede concluir que la hora en la cual se encuentra el pico de la cantidad de vehículos es de 10:00 a.m. – 11:00 a.m.

Ilustración 19: Variación Diaria de Vehículos, Estación Huambutio



Fuente: Elaboración propia

Se demuestra el flujo vehicular a lo largo de la semana de conteo realizado en la estación Huambutio, obteniéndose como resultado que el día de mayor afluencia de vehículos fue el día domingo.

En conclusión, dentro del estudio de tránsito se consideró dos estaciones de conteo vehicular: Estación Vilcabamba, ubicada en la progresiva 7+770, y la Estación Huambutio, ubicada en la progresiva 1+715, para caso de estudio se tomó en consideración los resultados de la estación de Huambutio ya que los resultados obtenidas en esta son las más representativas y de mayor

afluencia en el tránsito de la vía en evaluación Huacarpay – Vicho, por lo que se consideró los resultados de este último en la presentación e ingreso de datos en el programa HDM-4.

## 6.2 Ensayos in-situ de la carpeta de rodadura

### 6.2.1 Índice de rugosidad internacional

La recolección de la información perteneciente al Índice de Regularidad Internacional (IRI) se realizó mediante el equipo de MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation), con el que se realizó una medición continua por cada carril, siendo cada ensayo en una longitud total de 400 m por lo que se tomaron un total de 50 ensayos para toda la longitud de la vía en evaluación

Imagen 2: Ensayo de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la vía Huacarpay - Vicho



Fuente: Elaboracion propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del ensayo de Rugosidad y los datos obtenidos de la medición del ahuellamiento correspondiente al año 2023 para el tramo Huacarpay – Vicho.

Tabla 30: Resultados Del Ensayo De Rugosidad Y Medidas De Ahuellamiento, Según Formato SIC-30

**SIC - 30 IRI/HUELLAS**

Tramo: Huacarpay - Vicho

Carretera	Calzada	Faja	Ubicación Inicio		Ubicación Fin		IRI	Huellas	Fecha
			Código PR	Distancia	Código PR	Distancia			
PE28B	CD	2	0000	000	0000	400	2.20	5	22/06/2023
PE28B	CD	3	0000	000	0000	400	3.10	55	26/06/2023
PE28B	CD	2	0000	400	0000	800	1.70	6	22/06/2023
PE28B	CD	3	0000	400	0000	800	2.95	79	26/06/2023
PE28B	CD	2	0000	800	0001	200	1.90	4	22/06/2023
PE28B	CD	3	0000	800	0001	200	3.04	49	26/06/2023
PE28B	CD	2	0001	200	0001	600	1.59	6	22/06/2023
PE28B	CD	3	0001	200	0001	600	3.09	110	26/06/2023
PE28B	CD	2	0001	600	0002	000	3.00	2	22/06/2023
PE28B	CD	3	0001	600	0002	000	5.29	116	26/06/2023
PE28B	CD	2	0002	000	0002	400	1.99	6	22/06/2023

PE28B	CD	3	0002	000	0002	400	3.14	53	26/06/2023
PE28B	CD	2	0002	400	0002	800	1.71	14	22/06/2023
PE28B	CD	3	0002	400	0002	800	2.96	32	26/06/2023
PE28B	CD	2	0002	800	0003	200	1.93	29	22/06/2023
PE28B	CD	3	0002	800	0003	200	5.11	131	26/06/2023
PE28B	CD	2	0003	200	0003	600	2.52	13	22/06/2023
PE28B	CD	3	0003	200	0003	600	7.80	119	26/06/2023
PE28B	CD	2	0003	600	0004	000	2.02	0	22/06/2023
PE28B	CD	3	0003	600	0004	000	2.49	30	26/06/2023
PE28B	CD	2	0004	000	0004	400	1.82	0	22/06/2023
PE28B	CD	3	0004	000	0004	400	2.37	17	26/06/2023
PE28B	CD	2	0004	400	0004	800	1.70	0	22/06/2023
PE28B	CD	3	0004	400	0004	800	2.39	11	26/06/2023
PE28B	CD	2	0004	800	0005	200	2.18	0	22/06/2023
PE28B	CD	3	0004	800	0005	200	2.73	19	26/06/2023



PE28B	CD	2	0005	200	0005	600	1.80	6	22/06/2023
PE28B	CD	3	0005	200	0005	600	4.51	6	26/06/2023
PE28B	CD	2	0005	600	0006	000	1.77	5	22/06/2023
PE28B	CD	3	0005	600	0006	000	2.31	12	26/06/2023
PE28B	CD	2	0006	000	0006	400	2.38	6	22/06/2023
PE28B	CD	3	0006	000	0006	400	2.67	15	26/06/2023
PE28B	CD	2	0006	400	0006	800	1.94	6	22/06/2023
PE28B	CD	3	0006	400	0006	800	2.27	20	26/06/2023
PE28B	CD	2	0006	800	0007	200	1.77	6	22/06/2023
PE28B	CD	3	0006	800	0007	200	2.94	33	26/06/2023
PE28B	CD	2	0007	200	0007	600	3.09	5	22/06/2023
PE28B	CD	3	0007	200	0007	600	1.99	15	26/06/2023
PE28B	CD	2	0007	600	0008	000	3.41	6	23/06/2023
PE28B	CD	3	0007	600	0008	000	2.33	15	23/06/2023
PE28B	CD	2	0008	000	0008	400	2.94	7	23/06/2023

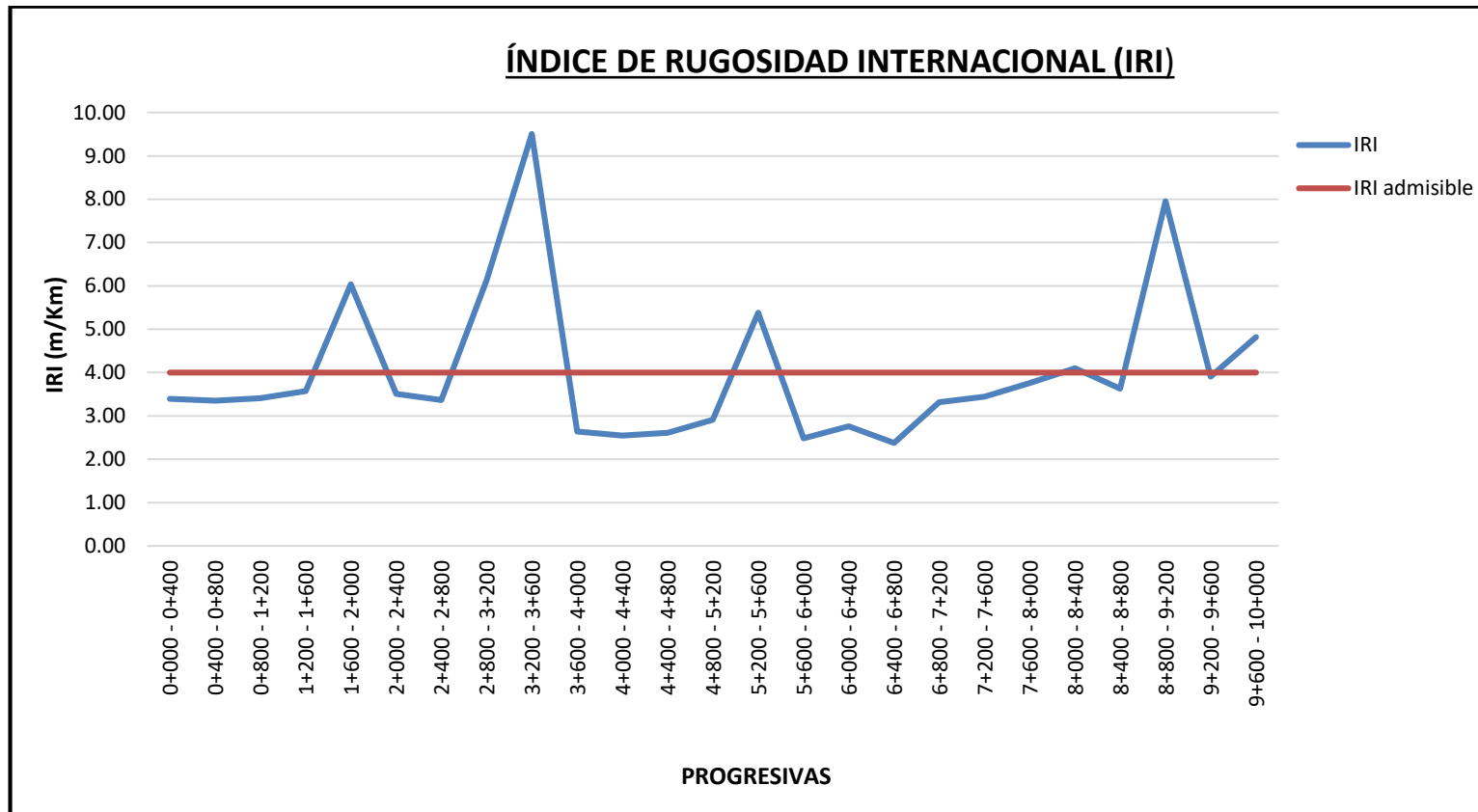
PE28B	CD	3	0008	000	0008	400	3.82	10	23/06/2023
PE28B	CD	2	0008	400	0008	800	3.49	7	23/06/2023
PE28B	CD	3	0008	400	0008	800	3.06	20	23/06/2023
PE28B	CD	2	0008	800	0009	200	6.93	24	23/06/2023
PE28B	CD	3	0008	800	0009	200	3.77	47	23/06/2023
PE28B	CD	2	0009	200	0009	600	3.10	31	23/06/2023
PE28B	CD	3	0009	200	0009	600	3.71	18	23/06/2023
PE28B	CD	2	0009	600	0010	000	2.98	23	23/06/2023
PE28B	CD	3	0009	600	0010	000	4.37	68	23/06/2023

Fuente: Elaboración propia

La terminología utilizada en la tabla anterior se detalla a continuación:



Ilustración 21: Distribución Del Índice De Rugosidad Internacional Característico (IRIc) De La Vía Huacarpay - Vicho



Fuente: Elaboracion propia

Como se observa en el gráfico anterior, existen valores de IRI que superan el admisible como los que se encuentran en las progresivas 1+600 – 2+000, 3+200 – 3+600, 5+200 – 5+600, 8+000 – 8+400, 8+800 – 9+200, así como también se obtuvieron varios valores próximos al valor

admisible de 4.00 m/km. En la vía de evaluación se obtuvo 4.04 m /km como valor promedio del IRI, valor con el cual se determinará el Índice de Serviciabilidad de la Vía (PSI).

### 6.2.1.1 Diagnóstico de la serviciabilidad de la vía Huacarpay – Vicho (condición funcional)

La metodología para determinar la Serviciabilidad de la vía Huacarpay – Vicho se dará por la relación entre el IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y el PSI De acuerdo a la evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) a través de la fórmula de Paterson, ya que este es el modelo empleado por la herramienta HDM-4.

Modelo empleado por el HDM-4 (Paterson 1987).

$$PSI = 5 * e^{(-IRI/5.5)}$$

Los valores de IRI obtenidos mediante el ensayo de Merlín varían entre 2.38 y 9.50 m/km, con un valor promedio de 4.04 m/km. El PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) calculado en función al IRI promedio es de 2.39 (Paterson), a continuación, se muestra la escala de índice de serviciabilidad según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Ilustración 22: Escala de Índice de Serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad	Calidad
5	Muy Buena
4	Buena
3	Regula
2	Mala
1	Pesima
0	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018

De acuerdo a la ilustración anterior, la vía Huacarpay – Vicho tiene un Índice de Serviciabilidad “REGULAR”.

### 6.2.2 Ensayo de viga benkelman

La recolección de la información perteneciente al ensayo de deflexión se realizó mediante el equipo de VIGA BENKELMAN, con el que se realizó una medición intercalada por cada carril, siendo cada ensayo en una longitud total de 200 m por lo que se tomaron un total de 50 ensayos para toda la longitud de la vía en evaluación.

Imagen 3: Ensayo de deflexión con Viga Benkelman en la vía Huacarpay - Vicho



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del ensayo de deflexión y los datos obtenidos de la medición de la vía cada 200m como estipula el ministerio de transportes y comunicaciones (MTC); correspondiente al año 2023 para el tramo Huacarpay – Vicho.

Tabla 31: Resultados Ensayo De Deflexión Con Viga Benkelman, Según Formato SIC-27

**SIC - 27 Deflexiones**

Tramo: Huacarpay - Vicho			Ubicación Inicio		Ubicación Final		D0	Rc	T° Pav.	Fecha
Ruta	Calzada	Faja	Código PR	Distancia	Código PR	Distancia				
PE28B	CD	2	0000	000	0000	200	36	174	12	24/07/2023
PE28B	CD	3	0000	000	0000	200	81	116	14	25/07/2023
PE28B	CD	2	0000	200	0000	400	47	330	15	26/07/2023
PE28B	CD	3	0000	200	0000	400	38	165	10	27/07/2023
PE28B	CD	2	0000	400	0000	600	48	109	10	28/07/2023
PE28B	CD	3	0000	400	0000	600	48	163	14	29/07/2023
PE28B	CD	2	0000	600	0000	800	85	111	12	30/07/2023
PE28B	CD	3	0000	600	0000	800	66	111	13	31/07/2023
PE28B	CD	2	0000	800	0001	000	58	107	10	01/08/2023
PE28B	CD	3	0000	800	0001	000	29	321	14	02/08/2023

PE28B	CD	2	0001	000	0001	200	57	165	12	03/08/2023
PE28B	CD	3	0001	000	0001	200	95	47	11	04/08/2023
PE28B	CD	2	0001	200	0001	400	28	335	10	05/08/2023
PE28B	CD	3	0001	200	0001	400	56	335	14	06/08/2023
PE28B	CD	2	0001	400	0001	600	56	168	12	07/08/2023
PE28B	CD	3	0001	400	0001	600	28	336	10	08/08/2023
PE28B	CD	2	0001	600	0001	800	66	110	10	09/08/2023
PE28B	CD	3	0001	600	0001	800	123	30	10	10/08/2023
PE28B	CD	2	0001	800	0001	000	92	68	12	11/08/2023
PE28B	CD	3	0001	800	0002	000	92	68	14	12/08/2023
PE28B	CD	2	0002	000	0002	200	38	333	15	13/08/2023
PE28B	CD	3	0002	000	0002	200	38	333	11	14/08/2023
PE28B	CD	2	0002	200	0002	400	75	83	10	15/08/2023
PE28B	CD	3	0002	200	0002	400	103	83	14	16/08/2023
PE28B	CD	2	0002	400	0002	600	28	166	12	17/08/2023



PE28B	CD	3	0002	400	0002	600	28	166	10	18/08/2023
PE28B	CD	2	0002	600	0002	800	66	83	10	19/08/2023
PE28B	CD	3	0002	600	0002	800	75	83	10	20/08/2023
PE28B	CD	2	0002	800	0003	000	30	158	12	21/08/2023
PE28B	CD	3	0002	800	0003	000	30	158	14	22/08/2023
PE28B	CD	2	0003	000	0003	200	146	107	15	23/08/2023
PE28B	CD	3	0003	000	0003	200	185	54	10	24/08/2023
PE28B	CD	2	0003	200	0003	400	211	325	14	25/08/2023
PE28B	CD	3	0003	200	0003	400	240	30	14	26/08/2023
PE28B	CD	2	0003	400	0003	600	153	163	13	27/08/2023
PE28B	CD	3	0003	400	0003	600	153	163	12	28/08/2023
PE28B	CD	2	0003	600	0003	800	81	345	12	29/08/2023
PE28B	CD	3	0003	600	0003	800	127	345	14	30/08/2023
PE28B	CD	2	0003	800	0004	000	66	71	15	31/08/2023
PE28B	CD	3	0003	800	0004	000	66	71	12	01/09/2023

PE28B	CD	2	0004	000	0004	200	24	387	13	02/09/2023
PE28B	CD	3	0004	000	0004	200	24	387	10	03/09/2023
PE28B	CD	2	0004	200	0004	400	49	192	14	04/09/2023
PE28B	CD	3	0004	200	0004	400	24	385	12	05/09/2023
PE28B	CD	2	0004	400	0004	600	96	71	11	06/09/2023
PE28B	CD	3	0004	400	0004	600	110	48	10	07/09/2023
PE28B	CD	2	0004	600	0004	800	72	69	14	08/09/2023
PE28B	CD	3	0004	600	0004	800	117	39	12	09/09/2023
PE28B	CD	2	0004	800	0005	000	36	352	10	10/09/2023
PE28B	CD	3	0004	800	0005	000	36	352	10	11/09/2023
PE28B	CD	2	0005	000	0005	200	38	332	10	12/09/2023
PE28B	CD	3	0005	000	0005	200	38	332	12	13/09/2023
PE28B	CD	2	0005	200	0005	400	93	50	16	14/09/2023
PE28B	CD	3	0005	200	0005	400	93	50	16	15/09/2023
PE28B	CD	2	0005	400	0005	600	93	42	18	16/09/2023

PE28B	CD	3	0005	400	0005	600	65	84	13	17/09/2023
PE28B	CD	2	0005	600	0005	800	92	42	15	18/09/2023
PE28B	CD	3	0005	600	0005	800	83	42	17	19/09/2023
PE28B	CD	2	0005	800	0006	000	81	347	16	20/09/2023
PE28B	CD	3	0005	800	0006	000	81	347	12	21/09/2023
PE28B	CD	2	0006	000	0006	200	90	44	13	22/09/2023
PE28B	CD	3	0006	000	0006	200	111	44	10	23/09/2023
PE28B	CD	2	0006	200	0006	400	60	62	14	24/09/2023
PE28B	CD	3	0006	200	0006	400	60	62	12	25/09/2023
PE28B	CD	2	0006	400	0006	600	80	155	11	26/09/2023
PE28B	CD	3	0006	400	0006	600	101	311	10	27/09/2023
PE28B	CD	2	0006	600	0006	800	101	52	14	28/09/2023
PE28B	CD	3	0006	600	0006	800	91	62	12	29/09/2023
PE28B	CD	2	0006	800	0007	000	53	59	10	30/09/2023
PE28B	CD	3	0006	800	0007	000	80	59	10	01/10/2023

PE28B	CD	2	0007	000	0007	200	47	335	10	02/10/2023
PE28B	CD	3	0007	000	0007	200	47	335	12	03/10/2023
PE28B	CD	2	0007	200	0007	400	92	38	9	04/10/2023
PE28B	CD	3	0007	200	0007	400	73	57	10	05/10/2023
PE28B	CD	2	0007	400	0007	600	56	166	8	06/10/2023
PE28B	CD	3	0007	400	0007	600	47	166	8	07/10/2023
PE28B	CD	2	0007	600	0007	800	47	333	12	08/10/2023
PE28B	CD	3	0007	600	0007	800	47	333	13	09/10/2023
PE28B	CD	2	0007	800	0008	000	75	67	10	10/10/2023
PE28B	CD	3	0007	800	0008	000	93	67	14	11/10/2023
PE28B	CD	2	0008	000	0008	200	124	71	12	12/10/2023
PE28B	CD	3	0008	000	0008	200	124	71	11	13/10/2023
PE28B	CD	2	0008	200	0008	400	180	35	10	14/10/2023
PE28B	CD	3	0008	200	0008	400	180	35	14	15/10/2023
PE28B	CD	2	0008	400	0008	600	195	59	12	16/10/2023

PE28B	CD	3	0008	400	0008	600	178	59	10	17/10/2023
PE28B	CD	2	0008	600	0008	800	248	22	10	18/10/2023
PE28B	CD	3	0008	600	0008	800	292	353	12	19/10/2023
PE28B	CD	2	0008	800	0009	000	255	46	13	20/10/2023
PE28B	CD	3	0008	800	0009	000	306	184	10	21/10/2023
PE28B	CD	2	0009	000	0009	200	176	93	14	22/10/2023
PE28B	CD	3	0009	000	0009	200	159	93	12	23/10/2023
PE28B	CD	2	0009	200	0009	400	51	371	11	24/10/2023
PE28B	CD	3	0009	200	0009	400	152	371	10	25/10/2023
PE28B	CD	2	0009	400	0009	600	166	58	14	26/10/2023
PE28B	CD	3	0009	400	0009	600	116	58	12	27/10/2023
PE28B	CD	2	0009	600	0009	800	146	96	10	28/10/2023
PE28B	CD	3	0009	600	0009	800	81	96	10	29/10/2023
PE28B	CD	2	0009	800	0010	000	122	192	10	30/10/2023
PE28B	CD	3	0009	800	0010	000	89	192	12	31/10/2023

La terminología utilizada en la tabla anterior se detalla a continuación:

Ilustración 23: Formato SIC-27 para inventario vial

Ruta	Calzada	Faja	Ubicación Inicio		Ubicación Fin		D0	D1	D2	Rc	Fecha
			Código PR	Distancia	Código PR	Distancia					

**Código Ruta**

PE-1N  
PE-1S  
PE-3N  
PE-3S  
PE-5N  
PE-5S  
PE-02  
PE-04  
PE-06...

**Código Calzada**

UC, UD, CD, A1, A2...

**Código Faja**

1  
2  
3  
...

**Código PR Inicio**

(4 dígitos)  
0000  
0005  
0010...

**Distancia Inicio**

Distancia entre el PR y el punto inicial de la Medición

**Código PR Fin**

(4 dígitos)  
0000  
0005  
0010...

**Distancia Fin**

Distancia entre el PR y el punto final de la Medición

**D0, D1, D2 (LWD 15kN, BB 40kN)**

D0-deflexión sensor 1 (1/100 mm)  
D1-deflexión sensor 2 (1/100 mm)  
D2-deflexión sensor 3 (1/100 mm)

(sin decimal)

**Rc**

Radio de Curvatura FWD (m)

(sin decimal)

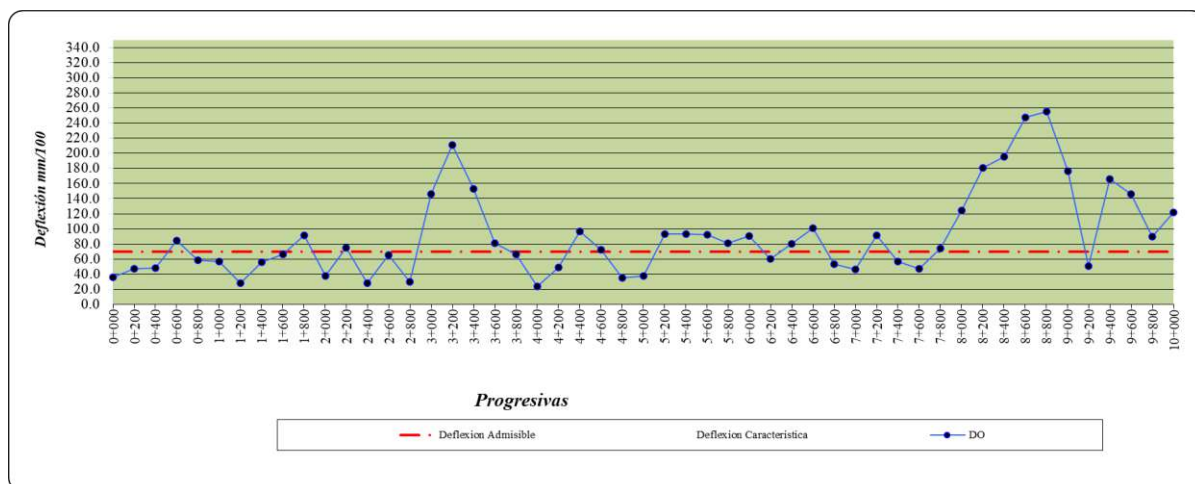
**Fecha**

Fecha de la medida

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018

Este formato es propuesto por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para presentar los resultados obtenidos de las evaluaciones de deflexión por medio del uso de la herramienta de la viga Benkelman en todas las vías del país. En el siguiente gráfico se muestra la distribución de las deflexiones obtenidas mediante el ensayo de Viga Benkelman en la vía de evaluación Huacarpay – Vicho. La deflexión admisible para las vías de primera clase (como es el caso de esta vía) durante el periodo de servicio, considerado por el MTC es de  $70 \text{ mm} \times 10^{-2} / \text{Km}$  como admisible similar a la admitida en la normativa de California que es de  $66 \text{ mm} \times 10^{-2} / \text{Km}$ . Al realizar el análisis correspondiente se puede observar que existen tramos en los cuales los valores de deflexión son mayores al admisible.

Ilustración 24: Distribución de deflexiones en la vía Huacarpay - Vicho



Fuente: Elaboración propia

La ilustración 24 muestra la distribución de las lecturas de deflexión representativa obtenidas cada 200 m en la vía Huacarpay – Vicho. Se obtuvo de acuerdo a los datos de campo realizados una lectura de deflexiones de promedio alrededor de **93.04  $\text{mm} \times 10^{-2} / \text{Km}$**  lo cual, nos indica una estructura de pavimento de baja rigidez y subrasante de regular soporte sin embargo el anillo vial con mejor condición es la que corresponde al KM 4+500 - 6+500 y utilizando las fórmulas estipuladas en el marco teórico y se obtuvo un **número estructural de 3.23** lo cual nos ayudara a considerar para el ingreso de datos posteriores en el HDM-4.

### 6.2.3 Ensayo de textura - círculo de arena

La tabla siguiente muestra los datos de textura del tramo Huacarpay-Vicho, del Km 0+000 al Km 10+000 en el año 2023 contenidos en el formato SIC-32.

Imagen 4: Ensayo De Textura Del Pavimento - Círculo De Arena



Fuente: Elaboración propia

Los datos de textura superficial serán utilizados por sectores homogéneos como valores promedios para procesar los datos en el HDM-4.

Tabla 32: Resultados obtenidos del ensayo de textura del pavimento, según formato ISC-32

**SIC - 32 Textura**

Tramo: Huacarpay - Vicho

Carretera	Calzada	Faja	Ubicación Inicio		Ubicación Fin		RMS	MTD	Altura de Arena	Fecha
			Código PR	Distancia	Código PR	Distancia				
PE28B	CD	2	0000	0	0000	200	0.2	0.7	0.8	10/07/2023
PE28B	CD	3	0000	0	0000	200	0.3	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0000	200	0000	400	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0000	200	0000	400	0.2	0.4	0.5	12/07/2023
PE28B	CD	2	0000	400	0000	600	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0000	400	0000	600	0.2	0.4	0.5	12/07/2023
PE28B	CD	2	0000	600	0000	800	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0000	600	0000	800	0.2	0.4	0.5	12/07/2023
PE28B	CD	2	0000	800	0001	0	0.2	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0000	800	0001	0	0.2	0.4	0.5	12/07/2023
PE28B	CD	2	0001	0	0001	200	0.2	0.4	0.5	10/07/2023

RMS: Media cuadrática

MTD: profundidad de textura media



PE28B	CD	3	0001	0	0001	200	0.2	0.3	0.5	12/07/2023
PE28B	CD	2	0001	200	0001	400	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0001	200	0001	400	0.2	0.4	0.5	12/07/2023
PE28B	CD	2	0001	400	0001	600	0.2	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0001	400	0001	600	0.3	0.6	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0001	600	0001	800	0.2	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0001	600	0001	800	0.4	0.8	0.8	12/07/2023
PE28B	CD	2	0001	800	0002	0	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0001	800	0002	0	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0002	0	0002	200	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0002	0	0002	200	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0002	200	0002	400	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0002	200	0002	400	0.2	0.4	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0002	400	0002	600	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0002	400	0002	600	0.2	0.4	0.5	12/07/2023

RMS: Media cuadrática

MTD: profundidad de textura media

PE28B	CD	2	0002	600	0002	800	0.2	0.3	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0002	600	0002	800	0.2	0.4	0.5	12/07/2023
PE28B	CD	2	0002	800	0003	0	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0002	800	0003	0	0.2	0.4	0.5	12/07/2023
PE28B	CD	2	0003	0	0003	200	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0003	0	0003	200	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0003	200	0003	400	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0003	200	0003	400	0.3	0.7	0.8	12/07/2023
PE28B	CD	2	0003	400	0003	600	0.2	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0003	400	0003	600	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0003	600	0003	800	0.2	0.4	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0003	600	0003	800	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0003	800	0004	0	0.2	0.4	0.5	10/07/2023
PE28B	CD	3	0003	800	0004	0	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0004	0	0004	200	0.2	0.5	0.6	10/07/2023

RMS: Media cuadrática

MTD: profundidad de textura media

PE28B	CD	3	0004	0	0004	200	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0004	200	0004	400	0.3	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0004	200	0004	400	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0004	400	0004	600	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0004	400	0004	600	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0004	600	0004	800	0.3	0.6	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0004	600	0004	800	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0004	800	0005	0	0.3	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0004	800	0005	0	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0005	0	0005	200	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0005	0	0005	200	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0005	200	0005	400	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0005	200	0005	400	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0005	400	0005	600	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0005	400	0005	600	0.2	0.5	0.6	12/07/2023

RMS: Media cuadrática

MTD: profundidad de textura media

PE28B	CD	2	0005	600	0005	800	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0005	600	0005	800	0.3	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0005	800	0006	0	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0005	800	0006	0	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0006	0	0006	200	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0006	0	0006	200	0.3	0.6	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0006	200	0006	400	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0006	200	0006	400	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0006	400	0006	600	0.3	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0006	400	0006	600	0.2	0.4	0.5	12/07/2023
PE28B	CD	2	0006	600	0006	800	0.2	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0006	600	0006	800	0.3	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0006	800	0007	0	0.3	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0006	800	0007	0	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0007	0	0007	200	0.3	0.6	0.7	10/07/2023

RMS: Media cuadrática

MTD: profundidad de textura media

PE28B	CD	3	0007	0	0007	200	0.3	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0007	200	0007	400	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0007	200	0007	400	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0007	400	0007	600	0.3	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0007	400	0007	600	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0007	600	0007	800	0.2	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0007	600	0007	800	0.3	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0007	800	0008	0	0.3	0.6	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0007	800	0008	0	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0008	0	0008	200	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0008	0	0008	200	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0008	200	0008	400	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0008	200	0008	400	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0008	400	0008	600	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0008	400	0008	600	0.3	0.5	0.6	12/07/2023

RMS: Media cuadrática

MTD: profundidad de textura media

PE28B	CD	2	0008	600	0008	800	0.3	0.6	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0008	600	0008	800	0.3	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0008	800	0009	0	0.3	0.6	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0008	800	0009	0	0.3	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0009	0	0009	200	0.3	0.7	0.7	10/07/2023
PE28B	CD	3	0009	0	0009	200	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0009	200	0009	400	0.3	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0009	200	0009	400	0.2	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0009	400	0009	600	0.2	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0009	400	0009	600	0.3	0.6	0.7	12/07/2023
PE28B	CD	2	0009	600	0009	800	0.2	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0009	600	0009	800	0.3	0.5	0.6	12/07/2023
PE28B	CD	2	0009	800	0010	0	0.2	0.5	0.6	10/07/2023
PE28B	CD	3	0009	800	0010	0	0.2	0.5	0.6	12/07/2023

Fuente: Elaboración propia

RMS: Media cuadrática

MTD: profundidad de textura media

La terminología utilizada para este formato de acuerdo al Ministerio De Transportes y Comunicaciones, se describe a continuación:

Ilustración 25: Formato SCI -32 para inventario vial

Ruta	Calzada	Faja	Ubicación Inicio		Ubicación Fin		RMS	MPD	Altura de Arena	Fecha
			Código PR	Distancia	Código PR	Distancia				

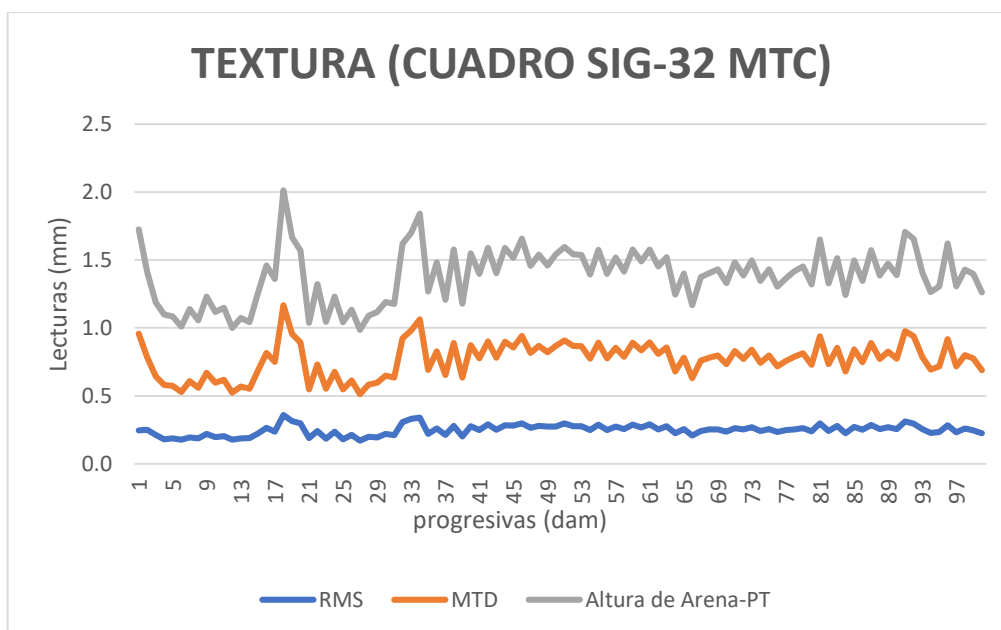
  

<b>Código Ruta</b> PE-1N PE-1S PE-3N PE-3S PE-5N PE-5S PE-02 PE-04 PE-06...	<b>Código Calzada</b> UC, UD, CD, A1, A2...	<b>Código Faja</b> 1 2 3 C...	<b>Código PR Inicio</b> (4 dígitos) 0000 0005 0010...	<b>Distancia Inicio</b> Distancia entre el PR y el punto inicial de la Medicion	<b>Código PR Fin</b> (4 dígitos) 0000 0005 0010...	<b>Distancia Fin</b> Distancia entre el PR y el punto final de la Medicion	<b>RMS</b> Root mean square promedio (mm) (1 decimal)	<b>MTD</b> Meat profile dephth promedio (mm) (1 decimal)	<b>Altura de Arena</b> Altura de arena promedio, expresada como ETD o MTD (mm) (1 decimal)	<b>Fecha</b> Fecha de la medida
--	--	---	---	--	--	---	---	--	--	------------------------------------

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015

Se puede graficar de la siguiente manera el comportamiento textural del pavimento a lo largo del tramo de carretera en estudio:

Ilustración 26: Distribución de la textura de la vía Huacarpay – Vicho



Fuente: elaboración propia

Según el grafico anteriormente mostrado se puede concluir que la medida del granulado de la carpeta de rodadura además de la medida en especificado leído según el cuadro del ensayo de

circulo de arena se concluye que la medida promedio de RMS es de 0.2 mm lo que implica que se tiene picos altos y bajos en cantidad moderada lo que se traduce en regular agarre del neumático – pavimento, el MTD es de 0.5mm lo que nos indica un comportamiento del pavimento en cuanto al drenaje de agua en el pavimento es moderadamente deficiente ya que según norma MTC nos indica que los valores deben estar sobre los 0.6mm, además de tener una altura promedio granular (PT) de 0.6 mm lo que nos indica que es de calificación media, que es favorable para velocidades entre 80km/h y 120km/h ya que su comportamiento de aguare del neumático-pavimento es regular y mayores a este requeriría tener bastante cuidado.

### **6.3 Ensayos de laboratorio de la estructura del pavimento**

#### **6.3.1 Ensayo de california bearing ratio (CBR)**

La capacidad total de carga del sistema estructural del pavimento depende de la cimentación, especialmente en el caso de pavimentos flexibles. La carga de tráfico provoca altas tensiones en las capas superiores y disminuye con la profundidad. Por lo tanto, se utilizan materiales de mayor calidad y más caros en las capas superiores del pavimento, mientras que en las capas más profundas de la estructura se utilizan materiales de menor calidad y más baratos.

Por lo tanto, para caracterizar los materiales que conforman la estructura de pavimento, en los tramos en estudio, se ejecutaron calicatas en lugares estratégicos de cada vía, considerando lugares con mayor porcentaje de fallas estructurales por tipo de pavimento.

La profundidad prevista es de 1,50 m. En la calzada, con base en los Lineamientos de Suelos y Geología del Ministerio de Transporte, también se excavaron 4 hoyos a lo largo de todo el camino de evaluación, ubicados en las rutas 0700, 3200, 6500 y 9000, de acuerdo con los Lineamientos del Ministerio de Transporte, sobre mantenimiento de carreteras, que establece que se debe realizar al menos una parada de control cada 10 km; Para fines de investigación, se decidió construir 4 estaciones de investigación.

##### **6.3.1.1 Excavaciones y muestreo**

Las calicatas o zanjas de exploración fueron excavadas con retroexcavadora. En cada calicata se realizó el registro de los espesores y la descripción visual de los estratos existentes, Paralelamente se extrajo muestras de la base y subrasante para realizar los ensayos que permitieron determinar sus propiedades índice y mecánicas.



Imagen 5: Extracción de muestra para el ensayo de CBR



Fuente: Elaboración propia

### 6.3.1.2 Ensayos Para Determinar La Propiedad De Índice De Plásticidad

Las propiedades índices proporcionan información básica del suelo, estas propiedades también pueden ser correlacionadas con otras propiedades. Las principales propiedades índices son: Contenido de Humedad, Granulometría, Limite Líquido, Limite Plástico, Índice de Plasticidad, Clasificación SUCS y AASHTO.

En la imagen 6, se observa el secado de las muestras de suelo antes de realizar estos ensayos.

Imagen 6: Muestras De Suelo Para Ensayos



### Ensayos De Limite Liquido Y Limite Plástico:

Los datos y resultados del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo correspondiente al terreno de fundación del pavimento del tramo Huacarpay-Vicho en las progresivas 0+700 (C-1), 3+200(C-2), 6+500(C-3) y 9+000(C-4), se muestran en las siguientes tablas.

Imagen 7: Ensayo de Limite Líquido y Limite Plástico

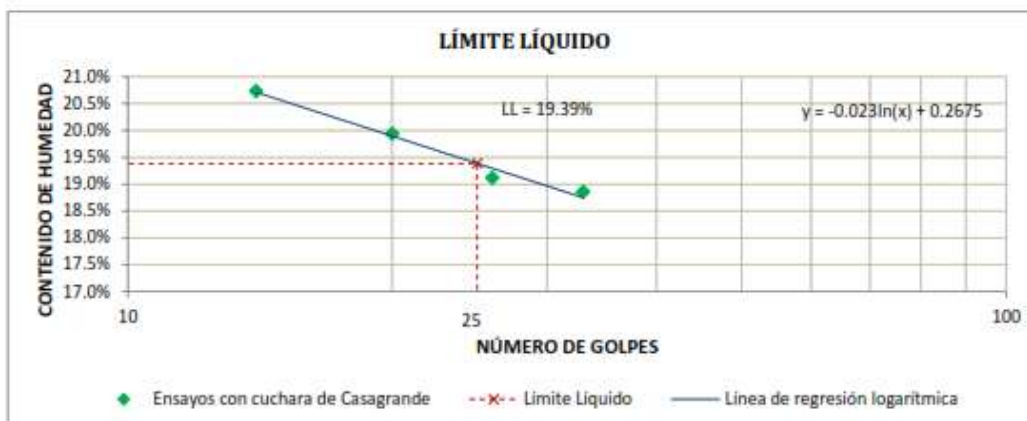


Tabla 33: Resultados Límite Líquido y Plástico de Progresiva 0+700(C-1)

#### LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110, basado en las Normas ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
NÚMERO DE GOLPES	33	26	20	14
Peso de Capsula (gr)	37.35	19.20	18.59	40.56
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	59.60	39.57	38.26	60.94
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	56.07	36.30	34.99	57.44
Peso del Agua (gr)	3.53	3.27	3.27	3.50
Peso de la Muestra Seca (gr)	18.72	17.10	16.40	16.88
CONTENIDO DE HUMEDAD	18.86%	19.12%	19.94%	20.73%



**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111, basado en las Normas ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	18.84	19.18
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	23.94	24.98
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	23.27	24.20
Peso del Agua (gr)	0.67	0.78
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.43	5.02
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>15.12%</b>	<b>15.54%</b>



<b>LÍMITE LÍQUIDO = 19.39%</b>
<b>LÍMITE PLÁSTICO = 15.33%</b>
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 4.05%</b>

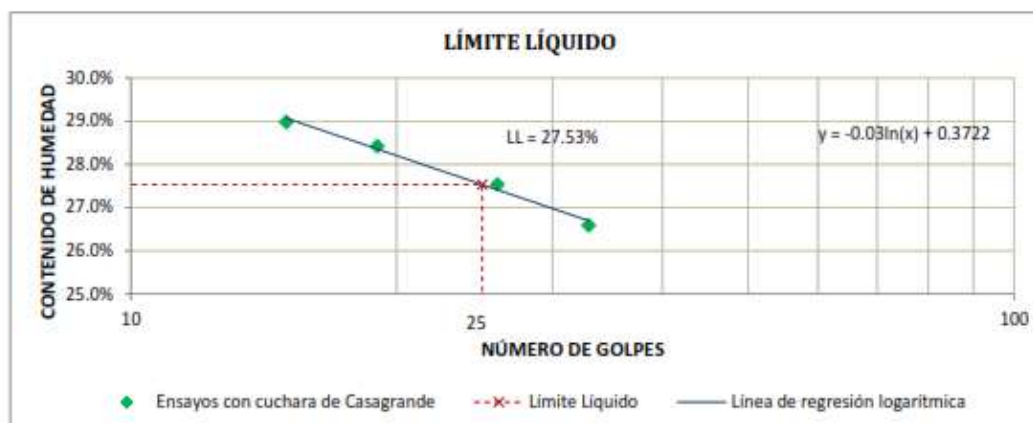
Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Resultados Límite Líquido y Plástico de Progresiva 3+200(C-2)

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110, basado en las Normas ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>19</b>	<b>15</b>
Peso de Capsula (gr)	23.24	21.32	18.93	21.08
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	43.76	43.46	42.20	42.04
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	39.45	38.68	37.05	37.33
Peso del Agua (gr)	4.31	4.78	5.15	4.71
Peso de la Muestra Seca (gr)	16.21	17.36	18.12	16.25
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>26.59%</b>	<b>27.53%</b>	<b>28.42%</b>	<b>28.98%</b>





**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111, basado en las Normas ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	24.26	22.49
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	29.09	27.75
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	28.21	26.74
Peso del Agua (gr)	0.88	1.01
Peso de la Muestra Seca (gr)	3.95	4.25
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>22.28%</b>	<b>23.76%</b>



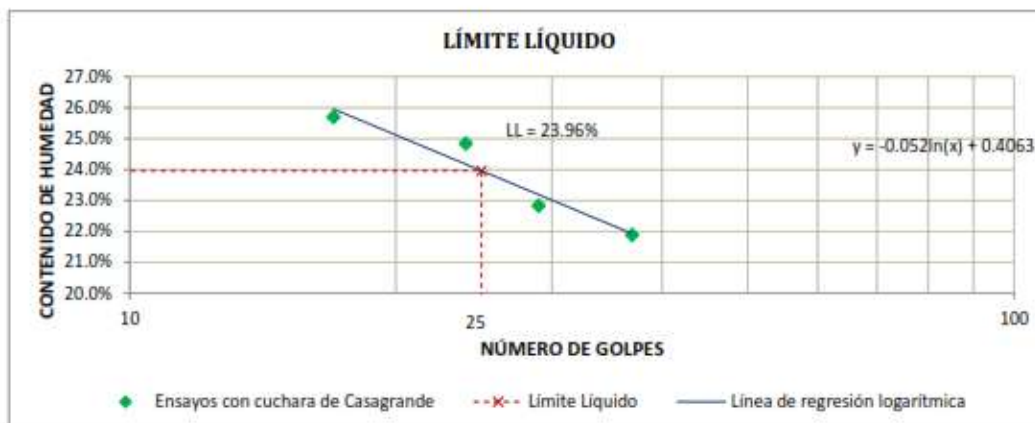
<b>LÍMITE LÍQUIDO = 27.53%</b>
<b>LÍMITE PLÁSTICO = 23.02%</b>
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 4.51%</b>

Tabla 35: Resultados Límite Líquido y Plástico de Progresiva 6+500(C-3)

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110, basado en las Normas ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	<b>37</b>	<b>29</b>	<b>24</b>	<b>17</b>
Peso de Capsula (gr)	7.56	9.63	8.51	8.63
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	30.90	31.69	31.93	29.81
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	26.71	27.59	27.27	25.48
Peso del Agua (gr)	4.19	4.10	4.66	4.33
Peso de la Muestra Seca (gr)	19.15	17.96	18.76	16.85
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>21.88%</b>	<b>22.83%</b>	<b>24.84%</b>	<b>25.70%</b>



**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111, basado en las Normas ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	9.06	7.05
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	16.03	15.61
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	14.86	14.15
Peso del Agua (gr)	1.17	1.46
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.80	7.10
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>20.17%</b>	<b>20.56%</b>



<b>LÍMITE LÍQUIDO = 23.96%</b>
<b>LÍMITE PLÁSTICO = 20.37%</b>
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 3.59%</b>

Tabla 36: Resultados Límite Líquido y Plástico de Progresiva 9+000(C-4)

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110, basado en las Normas ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
<b>NÚMERO DE GOLPES</b>				
Peso de Capsula (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)				
Peso del Agua (gr)				
Peso de la Muestra Seca (gr)				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				

N.P.



**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111, basado en las Normas ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)		
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)		
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	<b>N.P.</b>	
Peso del Agua (gr)		
Peso de la Muestra Seca (gr)		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		



<b>LÍMITE LÍQUIDO = NO PRESENTA</b>
<b>LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA</b>
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PLÁSTICO</b>

**6.3.1.3 Ensayos de granulometría**

Otro ensayo importante para determinar la clasificación de los suelos, es el análisis granulométrico. En las siguientes tablas se muestra los datos y resultados correspondientes a este ensayo realizado para el suelo del terreno de fundación del pavimento del tramo Huacarpay-Vicho en las progresivas 0+700 (C-1), 3+200(C-2), 6+500(C-3) y 9+000(C-4), se muestran en las siguientes tablas.

Imagen 8: Ensayo de Granulometría



Tabla 37: Resultados de Análisis Granulométrico de Progresiva 0+700(C-1)

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
MTC E 107, basado en las Normas ASTM D-422 y AASHTO T-88

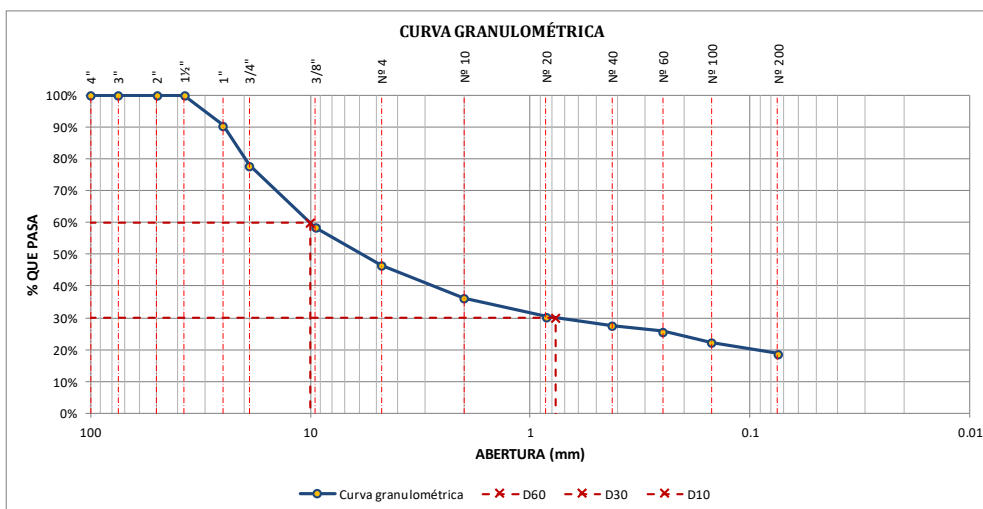
MATERIAL NO LAVADO
Peso total de la muestra = 2,052.00 gr
Peso de la fracción de grava = 0.00 gr
Peso de la fracción de arena y finos = 2052.00 gr

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO
Peso de la fracción antes del lavado = 2052.00 gr
Peso de la fracción después de lavar = 1669.00 gr
% de la fracción lavada = 100.00%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	194.29	11.64%	0.01%	11.65%	9.47%	9.47%	90.53%
¾"	19	260.02	15.58%	0.01%	15.59%	12.68%	22.15%	77.85%
⅜"	9.5	397.20	23.80%	0.01%	23.81%	19.37%	41.52%	58.48%
Nº 4	4.75	243.92	14.61%	0.01%	14.62%	11.89%	53.41%	46.59%
Nº 10	2	210.75	12.63%	0.01%	12.63%	10.28%	63.69%	36.31%
Nº 20	0.850	120.77	7.24%	0.00%	7.24%	5.89%	69.58%	30.42%
Nº 40	0.425	58.68	3.52%	0.00%	3.52%	2.86%	72.44%	27.56%
Nº 60	0.250	36.62	2.19%	0.00%	2.20%	1.79%	74.22%	25.78%
Nº 100	0.150	69.61	4.17%	0.00%	4.17%	3.39%	77.62%	22.38%
Nº 200	0.075	71.05	4.26%	0.00%	4.26%	3.46%	81.08%	18.92%
Cazuela	-	5.20	0.31%	0.00%	0.31%	0.25%	81.34%	-
Lavado	-	383.00	-	-	-	18.66%	100.00%	-
<b>FRACCIÓN RETENIDA EN LAVADO</b>		<b>1668.11</b>	<b>99.95%</b>	<b>0.05%</b>	<b>100.00%</b>	<b>81.34%</b>		
<b>TOTAL</b>		<b>2051.11</b>	<b>%ERROR = 0.05% Ok!</b>		<b>-</b>	<b>100.00%</b>		

Fraciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra  
 % de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 53.41%  
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 27.67%  
 % de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 18.92%  
 Total: 100.00%

Fración Guesa  
 % de grava = 65.87%  
 % de arena = 34.13%  
 Total = 100.00%



TAMAÑO MÁXIMO ABSOLUTO = 1½"

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 1"

D60 = 10.03 mm
D30 = 0.77 mm
D10 = -

Cu = -
Cc = -

Tabla 38: Resultados de Análisis Granulométrico de Progresiva 3+200(C-2)

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
MTC E 107, basado en las Normas ASTM D-422 y AASHTO T-88

MATERIAL NO LAVADO
Peso total de la muestra = 1,626.96 gr
Peso de la fracción de grava = 0.00 gr
Peso de la fracción de arena y finos = 1626.96 gr

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO
Peso de la fracción antes del lavado = 1626.96 gr
Peso de la fracción después de lavar = 1269.11 gr
% de la fracción lavada = 100.00%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	303.88	23.94%	0.00%	23.94%	18.68%	18.68%	81.32%
¾"	19	127.07	10.01%	0.00%	10.01%	7.81%	26.49%	73.51%
⅜"	9.5	236.89	18.67%	0.00%	18.67%	14.56%	41.05%	58.95%
Nº 4	4.75	224.40	17.68%	0.00%	17.68%	13.79%	54.84%	45.16%
Nº 10	2	160.32	12.63%	0.00%	12.63%	9.85%	64.69%	35.31%
Nº 20	0.850	98.69	7.78%	0.00%	7.78%	6.07%	70.76%	29.24%
Nº 40	0.425	52.08	4.10%	0.00%	4.10%	3.20%	73.96%	26.04%
Nº 60	0.250	27.75	2.19%	0.00%	2.19%	1.71%	75.67%	24.33%
Nº 100	0.150	22.26	1.75%	0.00%	1.75%	1.37%	77.04%	22.96%
Nº 200	0.075	14.88	1.17%	0.00%	1.17%	0.91%	77.95%	22.05%
Cazuela	-	0.89	0.07%	0.00%	0.07%	0.05%	78.00%	-
Lavado	-	357.85	-	-	-	22.00%	100.00%	-
<b>FRACCIÓN RETENIDA EN LAVADO</b>		<b>1269.11</b>	<b>100.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>78.00%</b>		
<b>TOTAL</b>		<b>1626.96</b>	<b>%ERROR = 0% Ok!</b>			<b>100.00%</b>		

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 54.84%

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 23.11%

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 22.05%

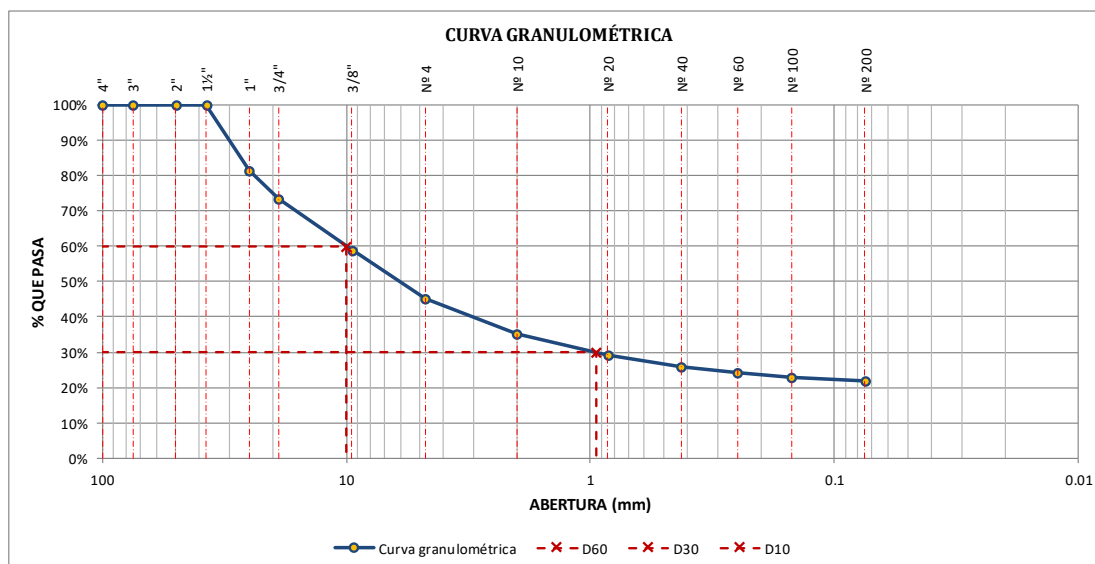
Total: 100.00%

Fracción Gruesa

% de grava = 70.35%

% de arena = 29.65%

Total = 100.00%



TAMAÑO MÁXIMO ABSOLUTO = 1½"

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 1"

D60 = 9.99 mm

D30 = 0.95 mm

D10 = -

Cu = -

Cc = -



Tabla 39: Resultados de Análisis Granulométrico de Progresiva 6+500(C-3)

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
MTC E 107, basado en las Normas ASTM D-422 y AASHTO T-88

MATERIAL NO LAVADO
Peso total de la muestra = 3,313.00 gr
Peso de la fracción de grava = 0.00 gr
Peso de la fracción de arena y finos = 3313.00 gr

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO
Peso de la fracción antes del lavado = 3313.00 gr
Peso de la fracción después de lavar = 2716.00 gr
% de la fracción lavada = 100.00%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	498.11	18.34%	0.03%	18.37%	15.06%	15.06%	84.94%
1"	25	445.38	16.40%	0.03%	16.43%	13.47%	28.53%	71.47%
¾"	19	253.68	9.34%	0.02%	9.36%	7.67%	36.20%	63.80%
⅜"	9.5	208.39	7.67%	0.01%	7.69%	6.30%	42.50%	57.50%
Nº 4	4.75	213.34	7.85%	0.01%	7.87%	6.45%	48.95%	51.05%
Nº 10	2	120.01	4.42%	0.01%	4.43%	3.63%	52.58%	47.42%
Nº 20	0.850	138.03	5.08%	0.01%	5.09%	4.17%	56.75%	43.25%
Nº 40	0.425	156.24	5.75%	0.01%	5.76%	4.72%	61.47%	38.53%
Nº 60	0.250	194.75	7.17%	0.01%	7.18%	5.89%	67.36%	32.64%
Nº 100	0.150	214.19	7.89%	0.01%	7.90%	6.48%	73.84%	26.16%
Nº 200	0.075	244.32	9.00%	0.02%	9.01%	7.39%	81.22%	18.78%
Cazuela	-	24.98	0.92%	0.00%	0.92%	0.76%	81.98%	-
Lavado	-	597.00	-	-	-	18.02%	100.00%	-
<b>FRACCIÓN RETENIDA EN LAVADO</b>		<b>2711.42</b>	<b>99.83%</b>	<b>0.17%</b>	<b>100.00%</b>	<b>81.98%</b>		
<b>TOTAL</b>		<b>3308.42</b>	<b>%ERROR = 0.17% Ok!</b>		<b>-</b>	<b>100.00%</b>		

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 48.95%

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 32.28%

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 18.78%

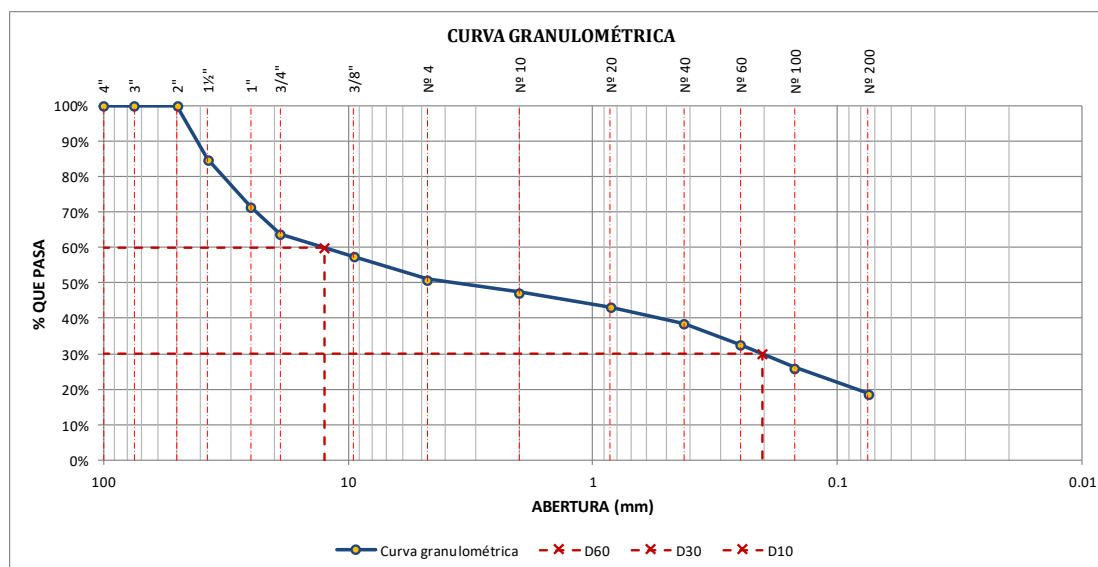
Total: 100.00%

Fracción Gruesa

% de grava = 60.26%

% de arena = 39.74%

Total = 100.00%



TAMAÑO MÁXIMO ABSOLUTO = 2"

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 1½"

D60 = 12.50 mm

D30 = 0.20 mm

D10 = -

Cu = -

Cc = -

Tabla 40: Resultados de Análisis Granulométrico de Progresiva 9+000(C-4)

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
MTC E 107, basado en las Normas ASTM D-422 y AASHTO T-88

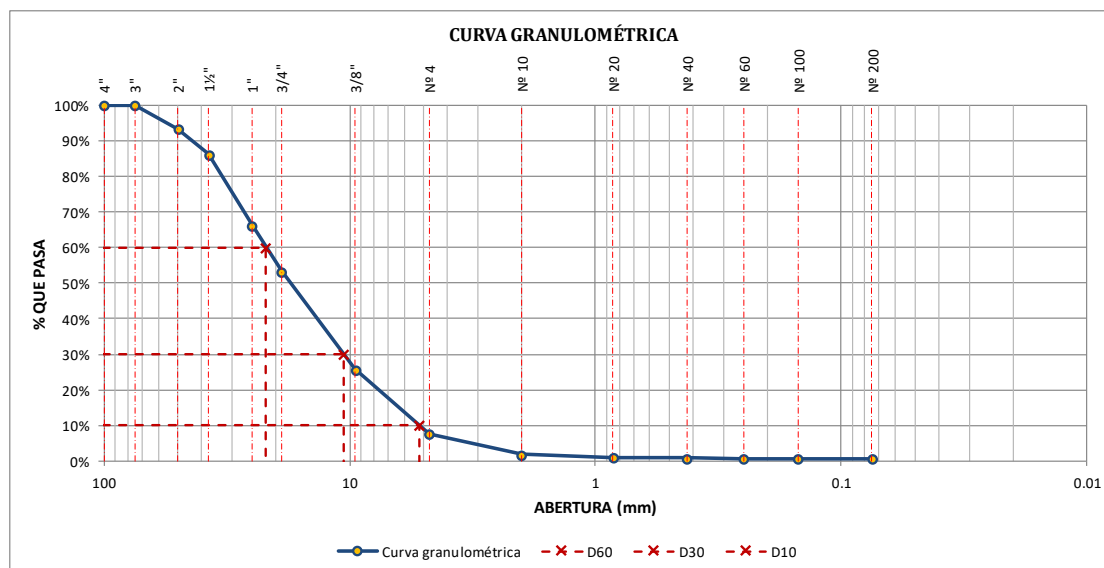
MATERIAL NO LAVADO
Peso total de la muestra = 2,174.83 gr
Peso de la fracción de grava = 0.00 gr
Peso de la fracción de arena y finos = 2174.83 gr

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO
Peso de la fracción antes del lavado = 2174.83 gr
Peso de la fracción después de lavar = 2160.00 gr
% de la fracción lavada = 100.00%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	143.01	6.62%	0.02%	6.64%	6.59%	6.59%	93.41%
1½"	37.5	155.51	7.20%	0.02%	7.22%	7.17%	13.76%	86.24%
1"	25	431.61	19.98%	0.05%	20.03%	19.90%	33.66%	66.34%
¾"	19	282.24	13.07%	0.03%	13.10%	13.01%	46.67%	53.33%
3/8"	9.5	596.95	27.64%	0.07%	27.71%	27.52%	74.19%	25.81%
Nº 4	4.75	393.90	18.24%	0.05%	18.28%	18.16%	92.35%	7.65%
Nº 10	2	124.45	5.76%	0.02%	5.78%	5.74%	98.09%	1.91%
Nº 20	0.850	18.70	0.87%	0.00%	0.87%	0.86%	98.95%	1.05%
Nº 40	0.425	3.76	0.17%	0.00%	0.17%	0.17%	99.12%	0.88%
Nº 60	0.250	1.73	0.08%	0.00%	0.08%	0.08%	99.20%	0.80%
Nº 100	0.150	1.24	0.06%	0.00%	0.06%	0.06%	99.26%	0.74%
Nº 200	0.075	0.94	0.04%	0.00%	0.04%	0.04%	99.31%	0.69%
Cazuela	-	0.28	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	99.32%	-
Lavado	-	14.83	-	-	-	0.68%	100.00%	-
<b>FRACCIÓN RETENIDA EN LAVADO</b>		<b>2154.32</b>	<b>99.74%</b>	<b>0.26%</b>	<b>100.00%</b>	<b>99.32%</b>		
<b>TOTAL</b>		<b>2169.15</b>	<b>%ERROR = 0.26% Ok!</b>			<b>100.00%</b>		

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra  
 % de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 92.35%  
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 6.95%  
 % de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 0.69%  
 Total: 100.00%

Fracción Gruesa  
 % de grava = 93.00%  
 % de arena = 7.00%  
 Total = 100.00%



**TAMAÑO MÁXIMO ABSOLUTO = 3"**

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 2"**

**D60 = 21.87 mm**

**D30 = 10.56 mm**

**D10 = 5.196 mm**

**Cu = 4.21**

**Cc = 0.981**

El resumen de resultados obtenidos para cada calicata en estudio se muestra a continuación:

Tabla 41: Resumen de Resultados de Contenido de Humedad e Índice de Plasticidad

CALICATA	PROGRESIVA	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	LÍMITES DE CONSISTENCIA		
			LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
C-1	0+700	4.26%	19.39%	15.33%	4.05%
C-2	3+200	7.96%	27.53%	23.02%	4.51%
C-3	6+500	11.04%	23.96%	20.37%	3.59%
C-4	9+000	2.69%	NP	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Resumen de Resultados de Clasificación de Suelos

CALICATA	PROGRESIVA	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN	
		% DE GRAVA	% DE ARENA	% DE LIMO Y ARCILLA	AASHTO	SUCS
C-1	0+700	53.41%	27.67%	18.92%	A-1-b (0)	GC - GM
C-2	3+200	54.84%	23.11%	22.05%	A-1-b (0)	GM
C-3	6+500	48.95%	32.28%	18.78%	A-1-b (0)	GM
C-4	9+000	92.35%	6.95%	0.69%	A-1-a (0)	GP

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.1.4 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas

#### 6.3.1.4.1 Proctor modificado ASTM D-1557, MTC – E115

El ensayo de Proctor modificado se realizó, para determinar la densidad relativa máxima y el contenido óptimo de humedad de la base y del terreno de fundación.

Imagen 9: Ensayo de Proctor Modificado



De acuerdo a la prueba de Proctor efectuada en el suelo correspondiente al terreno de fundación del pavimento del tramo Huacarpay-Vicho en las progresivas 0+700 (C-1), 3+200(C-2), 6+500(C-3) y 9+000(C-4), se obtienen los siguientes datos y resultados que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 43: Resultados de Compactación de Suelos de Progresiva 0+700(C-1)

**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO. UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA**

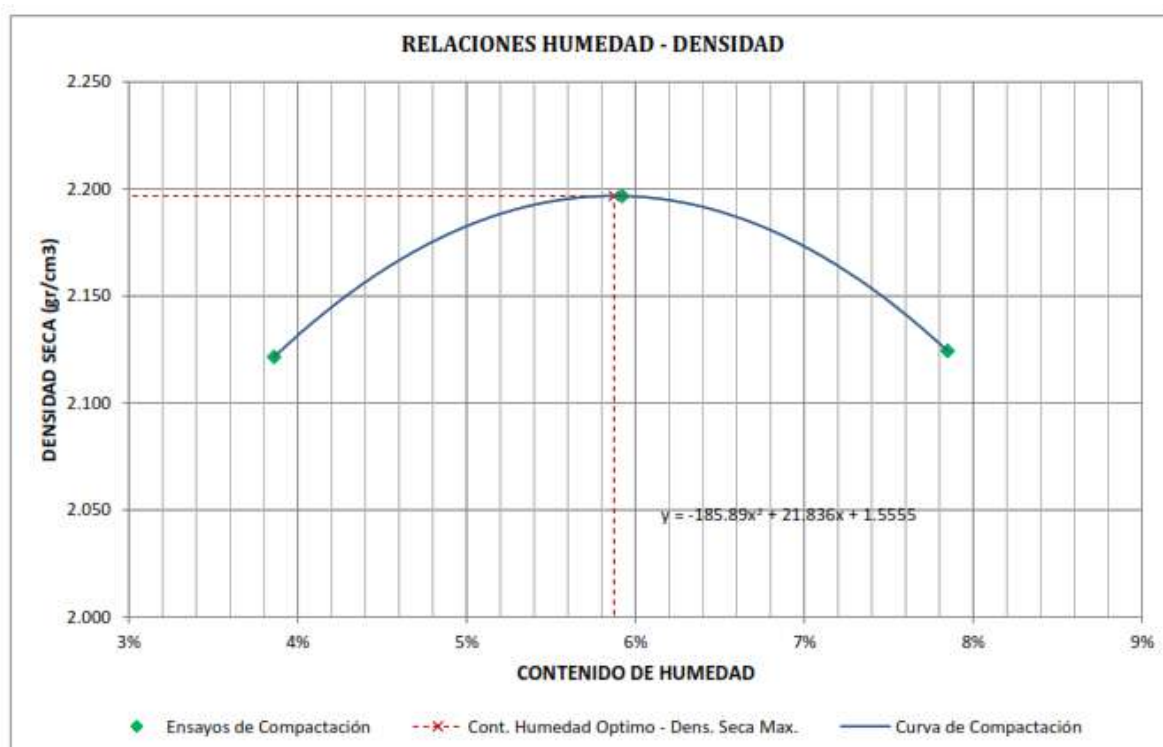
MTC E 115, basado en las Normas ASTM D-1557 y AASHTO T-180

DATOS PRELIMINARES	
Método = C	
Número de capas = 5	
Número de golpes por capa = 56	
Masa del pisón = 4.536 Kg	
Altura de caída del pisón = 45.72 cm	

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6		
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24		
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64		
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	2,123.92	2,123.92	2,123.92		
Peso del Molde (gr)	6,275	6,275	6,275		
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	10,955	11,217	11,141		
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4,680	4,942	4,866		
Peso de la Muestra Seca (gr)	4,506.00	4,665.71	4,511.93		
<b>DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.122</b>	<b>2.197</b>	<b>2.124</b>		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>
Peso de Capsula (gr)	21.60	20.40	20.70		
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	99.60	93.20	93.40		
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	96.70	89.13	88.11		
Peso del Agua (gr)	2.90	4.07	5.29		
Peso de la Muestra Seca (gr)	75.10	68.73	67.41		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>3.86%</b>	<b>5.92%</b>	<b>7.85%</b>		

Con los resultados obtenidos de la tabla anterior se realiza la siguiente grafica para determinar la densidad máxima y la humedad óptima.

Ilustración 27: Resultados de Densidad Seca Máxima de Progresiva 0+700(C-1)



<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA = 2.197 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 5.87%</b>

Tabla 44: Resultados de Compactación de Suelos de Progresiva 3+200(C-2)

**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO. UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA**

MTC E 115, basado en las Normas ASTM D-1557 y AASHTO T-180

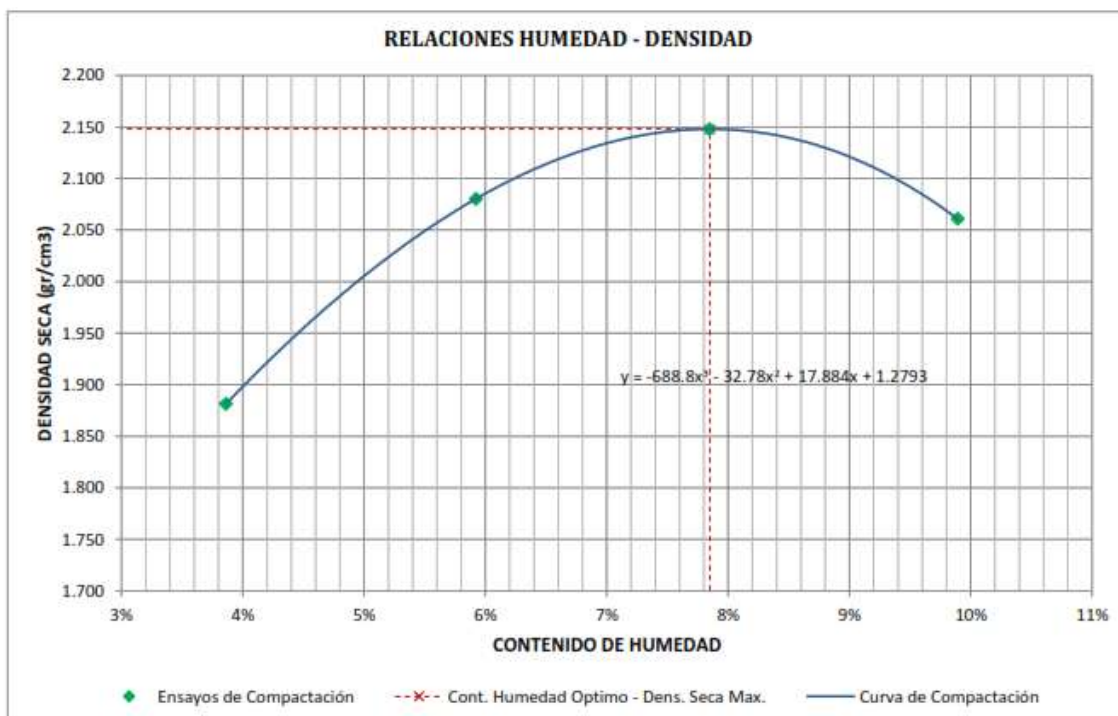
DATOS PRELIMINARES
Método = C
Número de capas = 5
Número de golpes por capa = 56
Masa del pisón = 4.536 Kg
Altura de caída del pisón = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6	
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	2,123.92	2,123.92	2,123.92	2,123.92	
Peso del Molde (gr)	6,270	6,270	6,270	6,270	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	10,420	10,950	11,190	11,080	
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4,150	4,680	4,920	4,810	
Peso de la Muestra Seca (gr)	3,995.71	4,418.36	4,562.00	4,377.03	
<b>DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.881</b>	<b>2.080</b>	<b>2.148</b>	<b>2.061</b>	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>
Peso de Capsula (gr)	21.60	20.40	20.70	21.80	
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	99.60	93.20	93.40	92.90	
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	96.70	89.13	88.11	86.50	
Peso del Agua (gr)	2.90	4.07	5.29	6.40	
Peso de la Muestra Seca (gr)	75.10	68.73	67.41	64.70	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>3.86%</b>	<b>5.92%</b>	<b>7.85%</b>	<b>9.89%</b>	



Con los resultados obtenidos de la tabla anterior se realiza la siguiente grafica para determinar la densidad máxima y la humedad óptima.

Ilustración 28: Resultados de Densidad Seca Máxima de Progresiva 3+200(C-2)



<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA = 2.148 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 7.85%</b>

Tabla 45: Resultados de Compactación de Suelos de Progresiva 6+500(C-3)

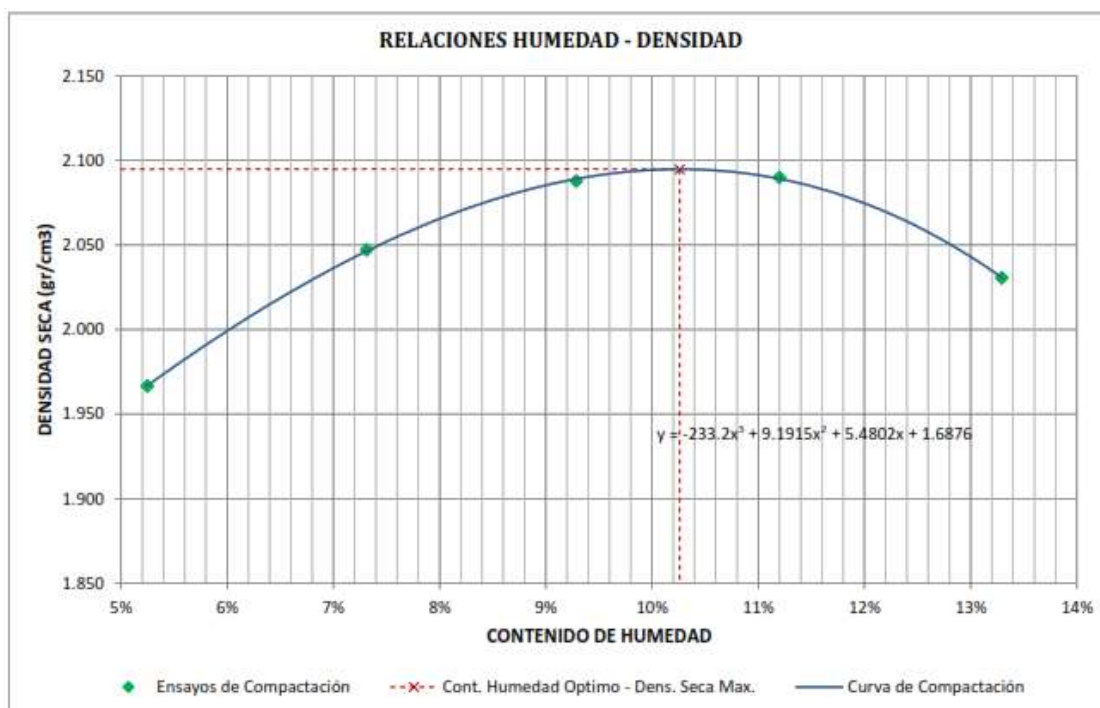
**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO, UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA**

MTC E 115, basado en las Normas ASTM D-1557 y AASHTO T-180

DATOS PRELIMINARES
Método = C
Número de capas = 5
Número de golpes por capa = 56
Masa del pisón = 4.536 Kg
Altura de caída del pisón = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	2,123.92	2,123.92	2,123.92	2,123.92	2,123.92
Peso del Molde (gr)	6,219	6,219	6,219	6,219	6,219
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	10,615	10,885	11,065	11,155	11,105
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4,396	4,666	4,846	4,936	4,886
Peso de la Muestra Seca (gr)	4,176.86	4,348.04	4,434.27	4,438.81	4,312.67
<b>DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.967</b>	<b>2.047</b>	<b>2.088</b>	<b>2.090</b>	<b>2.031</b>
CONTENIDO DE HUMEDAD	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Peso de Capsula (gr)	20.59	16.56	16.27	17.14	17.92
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	66.93	103.14	86.30	69.36	90.87
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	64.62	97.24	80.35	64.10	82.31
Peso del Agua (gr)	2.31	5.90	5.95	5.26	8.56
Peso de la Muestra Seca (gr)	44.03	80.68	64.08	46.96	64.39
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>5.25%</b>	<b>7.31%</b>	<b>9.29%</b>	<b>11.20%</b>	<b>13.29%</b>

Ilustración 29: Resultados de Densidad Seca Máxima de Progresiva 6+500(C-3)



<b>DENSIDAD SECA MÁXIMA = 2.095 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 10.26%</b>

C-4: Km 9+000:

Tabla 46: Resultados de Compactación de Suelos de Progresiva 9+000(C-4)

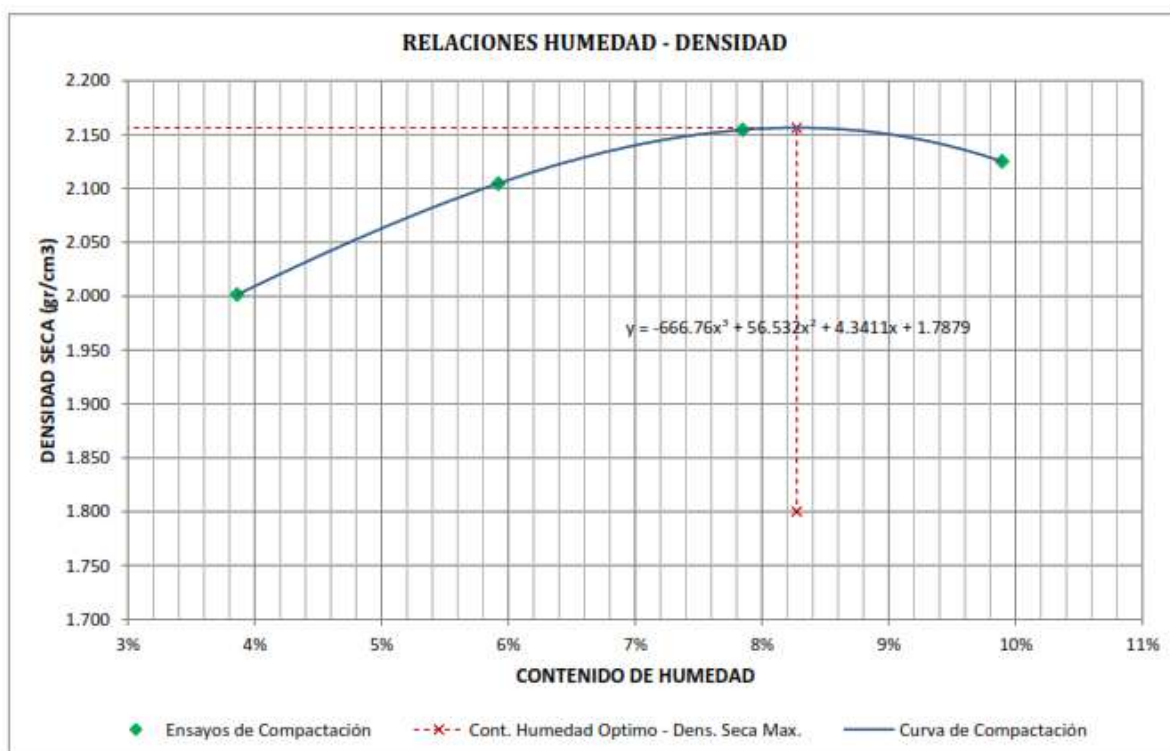
**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO. UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA**

MTC E 115, basado en las Normas ASTM D-1557 y AASHTO T-180

DATOS PRELIMINARES
Método = C
Número de capas = 5
Número de golpes por capa = 56
Masa del pisón = 4.536 Kg
Altura de caída del pisón = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6	
Diámetro del Molde (cm)	15.24	15.24	15.24	15.24	
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	2,123.92	2,123.92	2,123.92	2,123.92	
Peso del Molde (gr)	6,225	6,225	6,225	6,225	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	10,640	10,960	11,160	11,185	
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4,415	4,735	4,935	4,960	
Peso de la Muestra Seca (gr)	4,250.85	4,470.28	4,575.91	4,513.53	
<b>DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.001</b>	<b>2.105</b>	<b>2.154</b>	<b>2.125</b>	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>
Peso de Capsula (gr)	21.60	20.40	20.70	21.80	
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	99.60	93.20	93.40	92.90	
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	96.70	89.13	88.11	86.50	
Peso del Agua (gr)	2.90	4.07	5.29	6.40	
Peso de la Muestra Seca (gr)	75.10	68.73	67.41	64.70	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>3.86%</b>	<b>5.92%</b>	<b>7.85%</b>	<b>9.89%</b>	

Ilustración 30: Resultados de Densidad Seca Máxima de Progresiva 9+000(C-4)



**DENSIDAD SECA MÁXIMA = 2.156 gr/cm<sup>3</sup>**  
**CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 8.28%**

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en el tramo de estudio se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 47: Resumen de Resultados de Ensayo Proctor Modificado

CALICATA	PROGRESIVA	COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO)		
		PESO ESPECÍFICO DE PARTÍCULAS DE SOBRE-TAMAÑO (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO
C-1	0+700	2.555	2.197	5.87%
C-2	3+200	2.579	2.148	7.85%
C-3	6+500	2.613	2.095	10.26%
C-4	9+000	2.529	2.156	8.28%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.1.4.2 Ensayo CBR-california bearing ratio ASTM D-1883, MTC – E132

El ensayo de relación de soporte del suelo se realizó, para determinar la capacidad de soporte de la base y del terreno de fundación.



Imagen 10: Ensayo CBR en el laboratorio de suelos y materiales de FIC-UNSAAC



Fuente: Elaboración propia

Los datos correspondientes al ensayo de CBR realizado de la subrasante de la vía Huacarpay-Vicho, en las progresivas 0+700 (C-1), 3+200(C-2), 6+500(C-3) y 9+000(C-4), se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 48: Resultados de CBR en Progresiva 0+700(C-1)

**RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)**  
MTC E 132, basado en las Normas ASTM D-1883 y AASHTO T-193

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 2.197 cm <sup>3</sup> Contenido Humedad Óptimo = 5.87% Contenido Humedad Natural = 4.26%	Peso del Martillo = 4.536 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = +0.00E+00 +1.02E+02 *X Área del Pistón = 19.35 cm <sup>2</sup>	+0.00E+00 *X <sup>2</sup> +0.00E+00 *X <sup>3</sup> (Kg)	Área = 182.41 cm <sup>2</sup> Volumen = 2123.92 cm <sup>3</sup>

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. hum. óptimo	Saturada	Cont. hum. óptimo	Saturada	Cont. hum. óptimo	Saturada
Peso del Molde (gr)	7,280		7,220		7,208	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12,176	12,196	11,996	12,018	11,860	11,884
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4,896	4,916	4,776	4,798	4,652	4,676
Peso de la Muestra Seca (gr)	4,537.02		4,428.00		4,313.18	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	20.00	-	22.00	-	24.00
Porcentaje de Absorción	-	0.44%	-	0.50%	-	0.56%
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.305	2.287	2.249	2.227	2.190	2.168
<b>DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.136</b>	<b>2.111</b>	<b>2.085</b>	<b>2.055</b>	<b>2.031</b>	<b>1.999</b>
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	21.60	20.93	15.61	18.06	15.51	15.39
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	83.52	73.68	107.70	107.67	108.60	90.92
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	78.98	69.62	100.99	100.74	101.82	85.05
Peso del Agua (gr)	4.54	4.06	6.71	6.93	6.78	5.87
Peso de la Muestra Seca (gr)	57.38	48.69	85.38	82.68	86.31	69.66
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>7.91%</b>	<b>8.34%</b>	<b>7.86%</b>	<b>8.38%</b>	<b>7.86%</b>	<b>8.43%</b>
Porcentaje de Absorción	-	0.43%	-	0.52%	-	0.57%

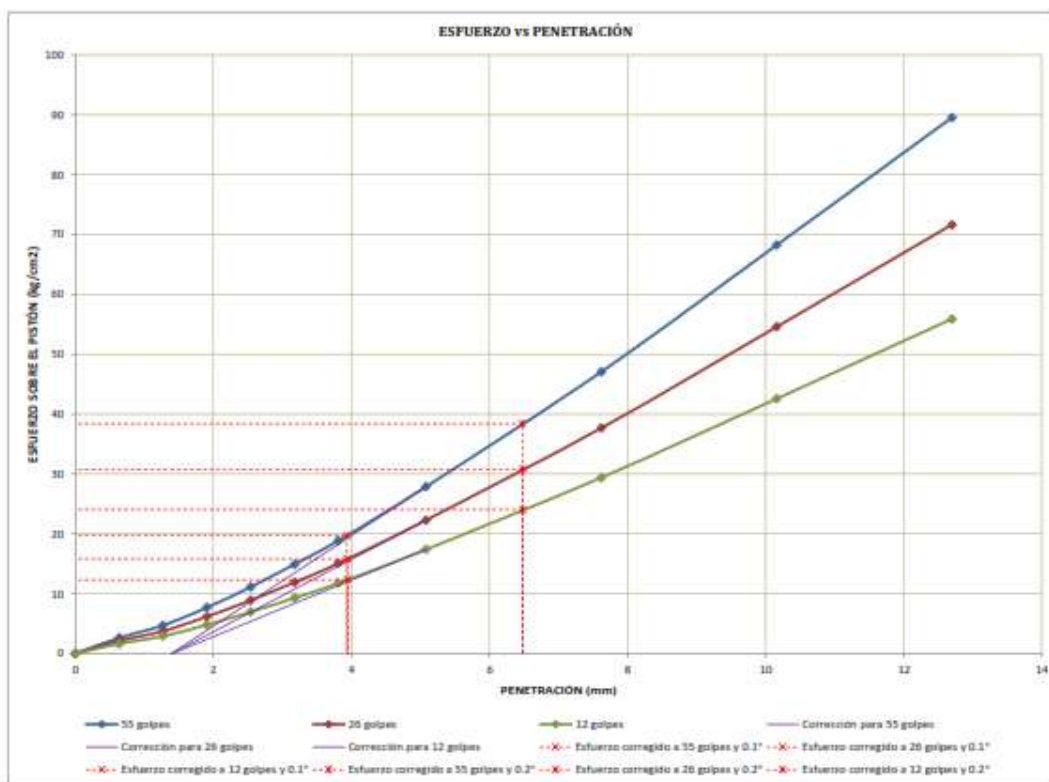
ENSAYO DE EXPANSIÓN													
TIEMPO TRANSCURRIDO		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
		DIAL (*0.001")	DEFORMACIÓN (pulg)	(mm)	% DE EXPANS.	DIAL (*0.001")	DEFORMACIÓN (pulg)	(mm)	% DE EXPANS.	DIAL (*0.001")	DEFORMACIÓN (pulg)	(mm)	% DE EXPANS.
DÍAS	HH:MM												
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	5	0.005	0.127	0.11%	6	0.006	0.152	0.13%	7	0.007	0.178	0.15%
0.125	3 hor 00 min	18	0.018	0.457	0.39%	22	0.022	0.559	0.48%	23	0.023	0.584	0.50%
0.25	6 hor 00 min	30	0.03	0.762	0.65%	36	0.036	0.914	0.79%	39	0.039	0.991	0.85%
0.5	12 hor 00 min	41	0.041	1.041	0.89%	49	0.049	1.245	1.07%	53	0.053	1.346	1.16%
1	24 hor 00 min	48	0.048	1.219	1.05%	58	0.058	1.473	1.27%	62	0.062	1.575	1.35%
2	48 hor 00 min	54	0.054	1.372	1.18%	65	0.065	1.651	1.42%	70	0.07	1.778	1.53%
4	96 hor 00 min	55	0.055	1.397	1.20%	66	0.066	1.676	1.44%	72	0.072	1.829	1.57%



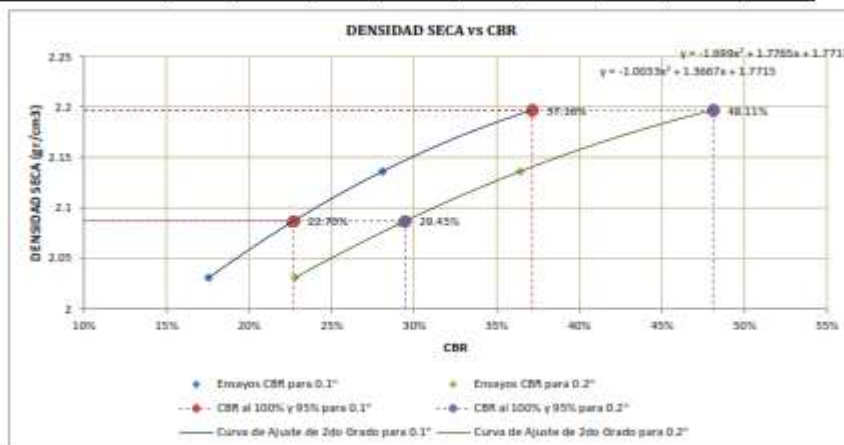
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
CARGA UNITARIA PATRÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIAL	PENETRA- CIÓN (mm)	MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
	(*0.001")		DIAL (KN)	FUERZA (Kg)	ESFUERZ. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)	DIAL	FUERZA (Kg)	ESFUERZ. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)	DIAL	FUERZA (Kg)	ESFUERZ. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)
0	0.000	0	0.00	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	0.50	50.58	2.61		0.40	40.79	2.11		0.31	31.61	1.63		
50	1.270	0.89	90.96	4.70		0.71	72.40	3.74		0.55	56.08	2.90		
75	1.905	1.46	148.67	7.68		1.17	119.31	6.16		0.91	92.79	4.79		
70.31	100	2.540	2.11	215.06	11.11	15.80%	1.69	172.33	8.90	12.66%	1.32	134.60	6.95	9.89%
	125	3.175	2.83	288.68	14.92		2.26	230.46	11.91		1.76	179.47	9.27	
	150	3.810	3.58	365.16	18.87		2.86	291.64	15.07		2.23	227.40	11.75	
105.46	200	5.080	5.29	539.43	27.87	26.43%	4.23	431.34	22.29	21.13%	3.3	336.51	17.39	16.49%
	300	7.620	8.94	911.12	47.07		7.15	729.10	37.67		5.58	569.00	29.40	
	400	10.160	12.95	1.320.63	68.23		10.36	1.056.43	54.58		8.08	823.93	42.57	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 31: Ilustración Esfuerzo vs Penetración De Progresiva 0+700(C-1)



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
CARGA UNITARIA PATRÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR CORREG. (%)	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR CORREG. (%)	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR CORREG. (%)
70.31	3.034	19.74	28.08%	5.940	13.81	22.49%	3.944	12.34	17.55%
105.46	6.474	38.41	36.42%	6.480	30.77	29.18%	6.484	24.02	22.78%



NÚMERO DE GOLPES	CBR		DENSIDAD SECA
	0.1"	0.2"	
35	28.08%	36.42%	2.156 gr/cm <sup>3</sup>
26	22.49%	29.18%	2.083 gr/cm <sup>3</sup>
12	17.55%	22.78%	2.051 gr/cm <sup>3</sup>

DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.197
95% DE LA D.S.M. (gr/cm <sup>3</sup> )	2.087

	0.1"	0.2"
CBR AL 100% DE LA D.S.M.	37.16%	48.11%
CBR AL 95% DE LA D.S.M.	22.70%	29.45%



Tabla 49: Resultados de CBR en Progresiva 3+200(C-2)

**RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)**  
MTC E 132, basado en las Normas ASTM D-1883 y AASHTO T-193

DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO		DATOS PRELIMINARES		DATOS DEL MOLDE	
Densidad Seca Máxima = 2.148 cm <sup>3</sup>		Peso del Martillo = 4.536 Kg		Diámetro del Molde = 15.24 cm	
Contenido Humedad Óptimo = 7.85%		Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm		Altura del Molde = 17.78 cm	
Contenido Humedad Natural = 7.96%		Número de Capas = 5		Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm	
				Altura de la Muestra = 11.64 cm	
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN					
Constante del Anillo de Carga = +0.00E+00 +1.02E+02 *X		+0.00E+00 *X <sup>2</sup>		+0.00E+00 *X <sup>2</sup> (Kg)	
Área del Pistón = 19.35 cm <sup>2</sup>				Área = 182.41 cm <sup>2</sup>	
				Volumen = 2123.92 cm <sup>3</sup>	

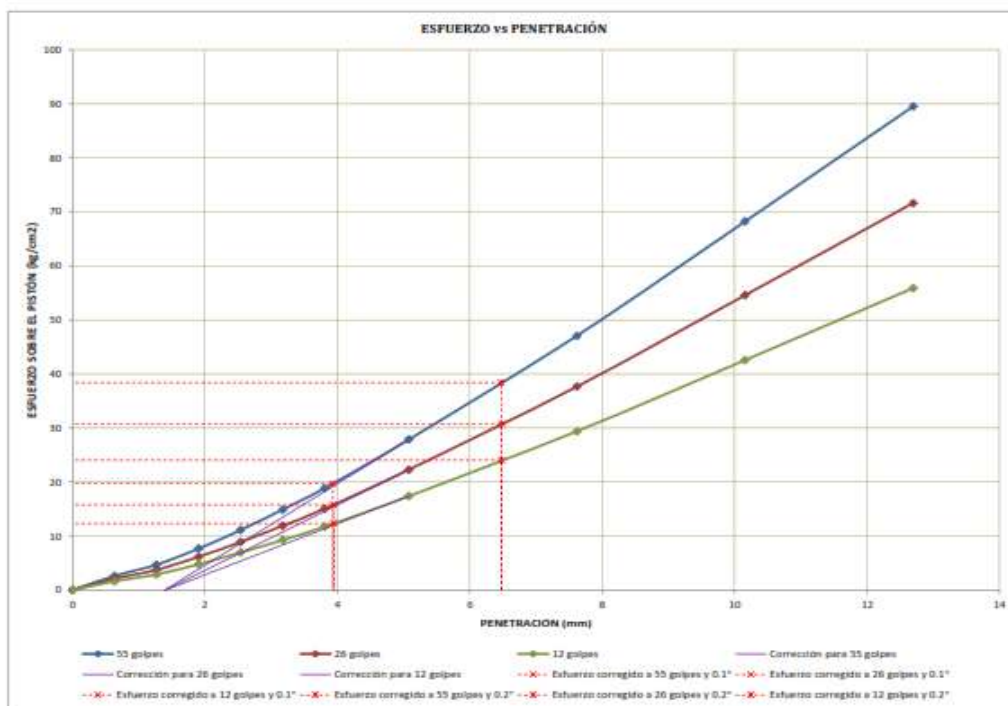
ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. hum. óptimo	Saturada	Cont. hum. óptimo	Saturada	Cont. hum. óptimo	Saturada
Peso del Molde (gr)	7,280		7,220		7,208	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12,176	12,196	11,996	12,018	11,860	11,884
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4,896	4,916	4,776	4,798	4,652	4,676
Peso de la Muestra Seca (gr)	4,537.02		4,428.00		4,313.18	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	20.00	-	22.00	-	24.00
Porcentaje de Absorción	-	0.44%	-	0.50%	-	0.56%
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.305	2.287	2.249	2.227	2.190	2.168
<b>DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.136</b>	<b>2.111</b>	<b>2.085</b>	<b>2.055</b>	<b>2.031</b>	<b>1.999</b>
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	21.60	20.93	15.61	18.06	15.51	15.39
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	83.52	73.68	107.70	107.67	108.60	90.92
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	78.98	69.62	100.99	100.74	101.82	85.05
Peso del Agua (gr)	4.54	4.06	6.71	6.93	6.78	5.87
Peso de la Muestra Seca (gr)	57.38	48.69	85.38	82.68	86.31	69.66
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>7.91%</b>	<b>8.34%</b>	<b>7.86%</b>	<b>8.38%</b>	<b>7.86%</b>	<b>8.43%</b>
Porcentaje de Absorción	-	0.43%	-	0.52%	-	0.57%

ENSAYO DE EXPANSIÓN												
TIEMPO TRANSCURRIDO		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03		
DÍAS	HEMM	DIAL ("0.001")	DEFORMACIÓN (pulg)	% DE EXPANS.	DIAL ("0.001")	DEFORMACIÓN (mm)	% DE EXPANS.	DIAL ("0.001")	DEFORMACIÓN (mm)	% DE EXPANS.		
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0	0	0.000	0	0	0.000		
0.0625	1 hor 30 min	5	0.005	0.127	6	0.006	0.152	0.13%	7	0.007	0.178	
0.125	3 hor 00 min	18	0.018	0.457	22	0.022	0.559	0.48%	23	0.023	0.584	
0.25	6 hor 00 min	30	0.03	0.762	36	0.036	0.914	0.79%	35	0.039	0.991	
0.5	12 hor 00 min	41	0.041	1.041	49	0.049	1.245	1.07%	53	0.053	1.346	
1	24 hor 00 min	48	0.048	1.219	58	0.058	1.473	1.27%	62	0.062	1.575	
2	48 hor 00 min	54	0.054	1.372	65	0.065	1.651	1.42%	70	0.07	1.778	
4	96 hor 00 min	55	0.055	1.397	66	0.066	1.676	1.44%	72	0.072	1.829	

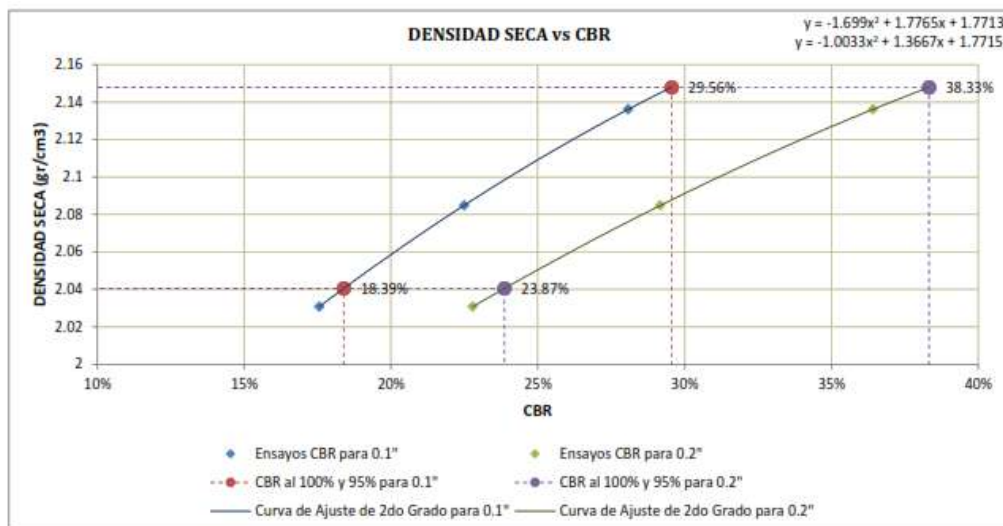


ENSAYO DE PENETRACIÓN														
CARGA UNITARIA PATRÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIAL ("0.001")	PENETRACIÓN (mm)	MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
			DIAL (KN)	FUERZA (Kg)	ESFUERZ. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)	DIAL	FUERZA (Kg)	ESFUERZ. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)	DIAL	FUERZA (Kg)	ESFUERZ. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)
0	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	0.50	50.58	2.61		0.40	40.79	2.11		0.31	31.61	1.63		
50	1.270	0.89	90.96	4.70		0.71	72.40	3.74		0.55	56.08	2.90		
75	1.905	1.46	148.67	7.68		1.17	119.31	6.16		0.91	92.79	4.79		
100	2.540	2.11	215.06	11.11	15.80%	1.69	172.33	8.90	12.66%	1.32	134.60	6.95	9.89%	
125	3.175	2.83	288.68	14.92		2.26	230.46	11.91		1.76	179.47	9.27		
150	3.810	3.58	365.16	18.87		2.86	291.64	15.07		2.23	227.40	11.75		
105.46	200	5.080	5.29	539.43	27.87	26.43%	4.23	431.34	22.29	21.13%	3.3	336.51	17.39	16.49%
	300	7.620	8.94	911.12	47.07		7.15	729.10	37.67		5.58	569.00	29.40	
	400	10.160	12.95	1,320.63	68.23		10.36	1,056.43	54.58		8.08	823.93	42.57	

Ilustración 32: Ilustración Esfuerzo vs Penetración De Progresiva 3+200(C-2)



CORRECCIONES CARGA UNITARIA PATRÓN (Kg/cm²)	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (Kg/cm²)	CBR CORREG. (%)	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (Kg/cm²)	CBR CORREG. (%)	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (Kg/cm²)	CBR CORREG. (%)
70.31	3.034	19.74	28.08%	5.940	13.81	22.49%	3.944	12.34	17.55%
105.46	8.474	36.41	36.42%	6.480	30.77	29.18%	6.488	24.02	22.78%



NÚMERO DE GOLPES	CBR		DENSIDAD SECA
	0.1"	0.2"	
55	28.08%	36.42%	2.136 gr/cm³
26	22.49%	29.18%	2.085 gr/cm³
12	17.55%	22.78%	2.031 gr/cm³

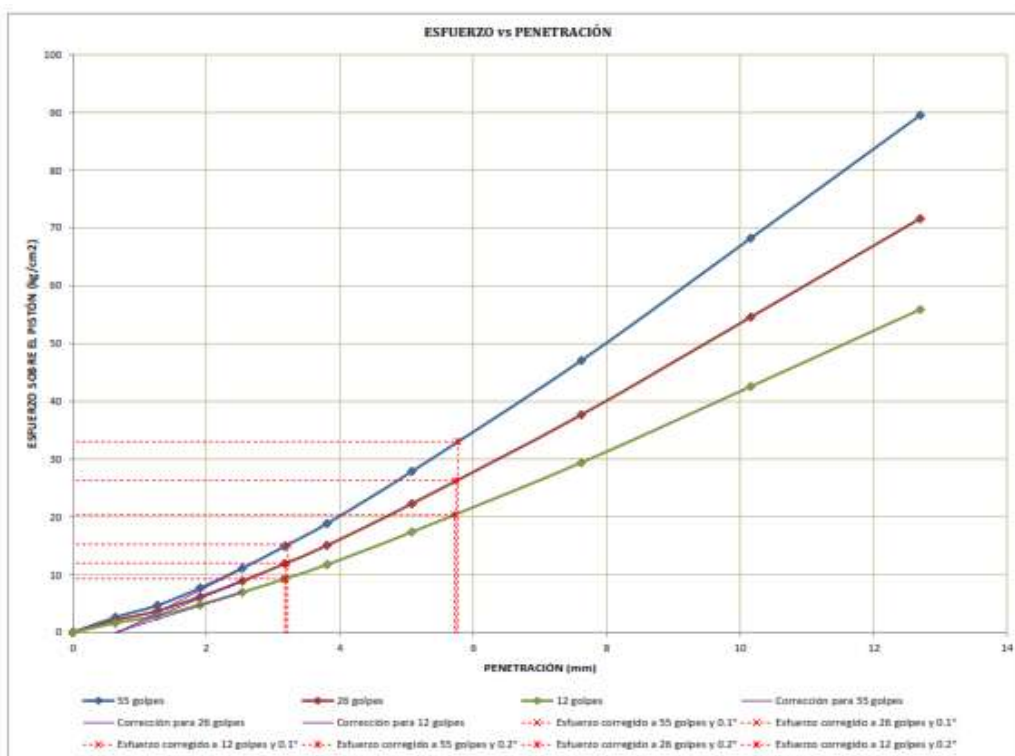
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm³)	2.148
95% DE LA D.S.M. (gr/cm³)	2.041

	0.1"	0.2"
CBR AL 100% DE LA D.S.M.	29.56%	38.33%
CBR AL 95% DE LA D.S.M.	18.39%	23.87%

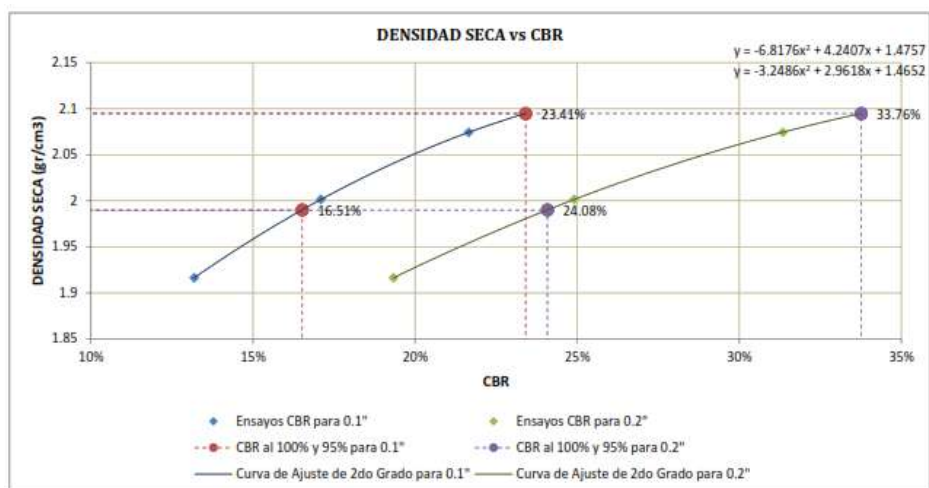




Ilustración 33: Ilustración Esfuerzo vs Penetración De Progresiva 6+500(C-3)



CORRECCIONES CARGA UNITARIA PATRÓN (kg/cm²)	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (kg/cm²)	CBR CORREG. (%)	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (kg/cm²)	CBR CORREG. (%)	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (kg/cm²)	CBR CORREG. (%)
70.31	3.275	15.23	21.66%	3.107	12.02	17.09%	3.175	9.27	13.19%
105.46	3.765	18.05	31.34%	3.737	20.27	24.91%	3.715	20.30	19.53%



NÚMERO DE GOLPES	CBR		DENSIDAD SECA
	0.1"	0.2"	
55	21.66%	31.34%	2.074 gr/cm³
26	17.09%	24.91%	2.001 gr/cm³
12	13.19%	19.33%	1.916 gr/cm³

DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm³)	2.095
95% DE LA D.S.M. (gr/cm³)	1.990

	0.1"	0.2"
CBR AL 100% DE LA D.S.M.	23.41%	33.76%
CBR AL 95% DE LA D.S.M.	16.51%	24.08%

Tabla 51: Resultados de CBR en Progresiva 9+000(C-4)

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)**  
MTC E 132, basado en las Normas ASTM D-1883 y AASHTO T-193

DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO		DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		DATOS DEL MOLDE	
Densidad Seca Máxima = 2.156 cm <sup>3</sup>		Peso del Martillo = 4.536 Kg		Diámetro del Molde = 15.24 cm	
Contenido Humedad Óptimo = 8.28%		Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm		Altura del Molde = 17.78 cm	
Contenido Humedad Natural = 2.69%		Número de Capas = 5		Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm	
				Altura de la Muestra = 11.64 cm	
				Área = 182.41 cm <sup>2</sup>	
				Volumen = 2123.92 cm <sup>3</sup>	
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN					
Constante del Anillo de Carga = +0.00E+00 +1.02E+02 *X		+0.00E+00 *X <sup>2</sup>		+0.00E+00 *X <sup>3</sup> (Kg)	
Área del Pistón = 19.35 cm <sup>2</sup>					

DESCRIPCIÓN	ENSAYO DE COMPACTACIÓN					
	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. hum. óptimo	Saturada	Cont. hum. óptimo	Saturada	Cont. hum. óptimo	Saturada
Peso del Molde (gr)	7,530		7,336		7,284	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	12,519	12,595	12,132	12,220	11,950	12,042
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4,989	5,065	4,796	4,884	4,666	4,758
Peso de la Muestra Seca (gr)	4,620.93		4,445.57		4,321.07	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	76.00	-	88.00	-	92.00
Porcentaje de Absorción	-	1.64%	-	1.98%	-	2.13%
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.349	2.356	2.258	2.267	2.197	2.206
<b>DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.176</b>	<b>2.150</b>	<b>2.093</b>	<b>2.063</b>	<b>2.034</b>	<b>2.003</b>
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	21.78	19.02	19.02	16.04	15.11	19.02
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	82.64	77.75	109.21	109.84	96.95	101.85
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	78.15	72.35	102.62	100.94	90.90	93.78
Peso del Agua (gr)	4.49	5.40	6.59	8.90	6.05	8.07
Peso de la Muestra Seca (gr)	56.37	53.33	83.60	84.90	75.79	74.76
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>7.97%</b>	<b>10.13%</b>	<b>7.88%</b>	<b>10.48%</b>	<b>7.98%</b>	<b>10.79%</b>
Porcentaje de Absorción	-	2.16%	-	2.60%	-	2.81%

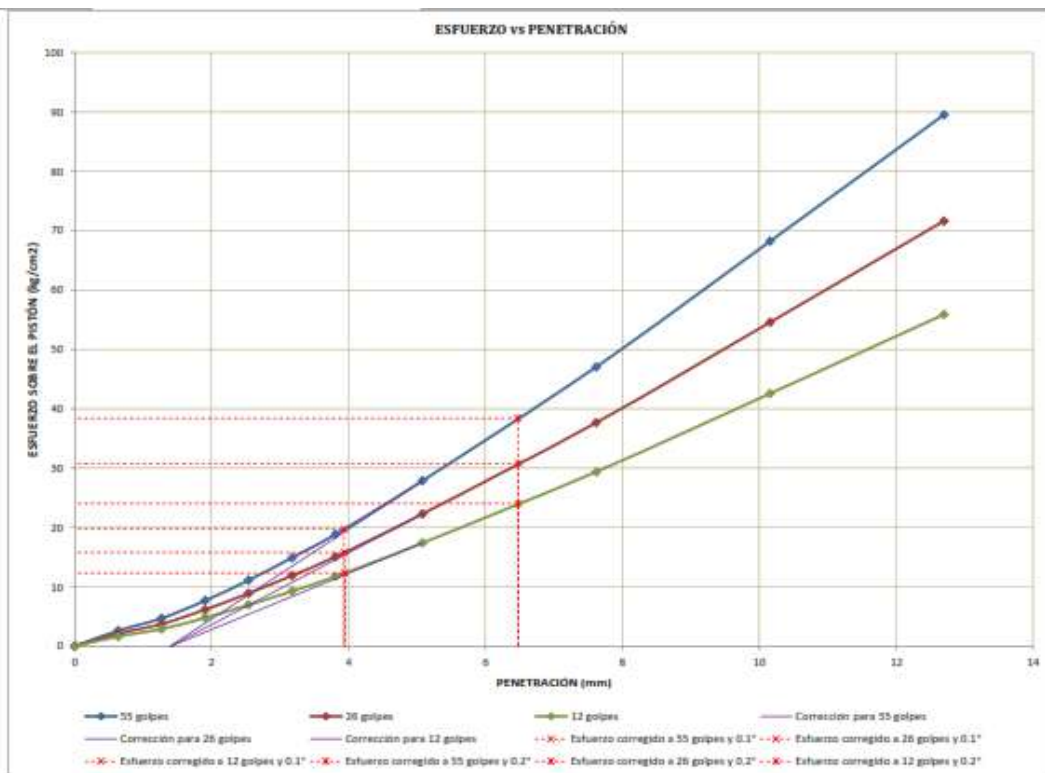
TIEMPO TRANSCURRIDO		ENSAYO DE EXPANSIÓN											
		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
DÍAS	HH:MM	DIAL (*0.001")	DEFORMACIÓN (pulg)	DEFORMACIÓN (mm)	% DE EXPANS.	DIAL (*0.001")	DEFORMACIÓN (pulg)	DEFORMACIÓN (mm)	% DE EXPANS.	DIAL (*0.001")	DEFORMACIÓN (pulg)	DEFORMACIÓN (mm)	% DE EXPANS.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	5	0.005	0.127	0.11%	6	0.006	0.152	0.13%	7	0.007	0.178	0.15%
0.125	3 hor 00 min	18	0.018	0.457	0.39%	22	0.022	0.559	0.48%	23	0.023	0.584	0.50%
0.25	6 hor 00 min	30	0.03	0.762	0.65%	36	0.036	0.914	0.79%	39	0.039	0.991	0.85%
0.5	12 hor 00 min	41	0.041	1.041	0.89%	49	0.049	1.245	1.07%	53	0.053	1.346	1.16%
1	24 hor 00 min	48	0.048	1.219	1.05%	58	0.058	1.473	1.27%	62	0.062	1.575	1.35%
2	48 hor 00 min	54	0.054	1.372	1.18%	65	0.065	1.651	1.42%	70	0.07	1.778	1.53%
4	96 hor 00 min	55	0.055	1.397	1.20%	66	0.066	1.676	1.44%	72	0.072	1.829	1.57%



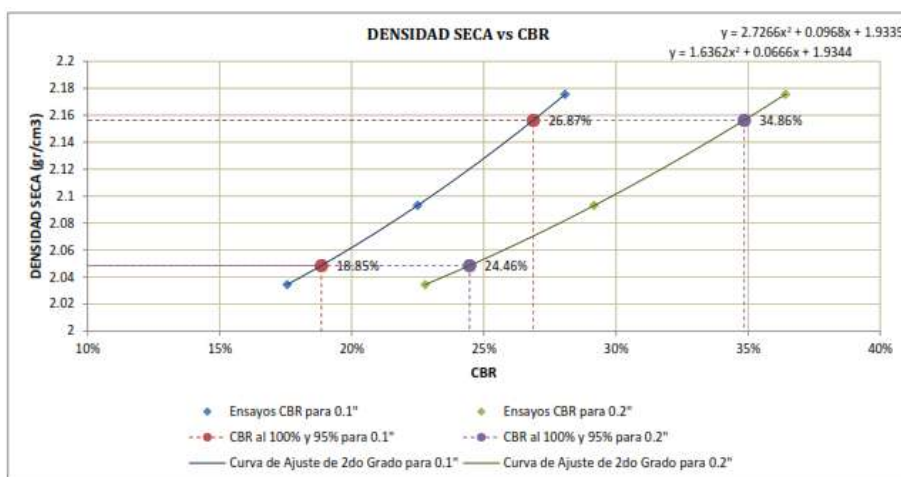
CARGA UNITARIA PATRÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	ENSAYO DE PENETRACIÓN													
	DIAL (*0.001")	PENETRACIÓN (mm)	MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
			DIAL (KN)	FUERZA (Kg)	ESFUERZ. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)	DIAL (Kg)	FUERZA (Kg)	ESFUERZ. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)	DIAL (Kg)	FUERZA (Kg)	ESFUERZ. (Kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.035	0.90	50.58	2.61		0.40	40.79	2.11		0.31	31.01	1.03	
	50	1.270	0.89	90.96	4.70		0.71	72.40	3.74		0.55	56.08	2.90	
	75	1.905	1.40	148.07	7.68		1.17	119.31	6.10		0.91	92.79	4.79	
70.31	100	2.540	2.11	215.00	11.11	15.80%	1.09	172.33	8.90	12.00%	1.32	134.00	6.95	9.89%
	125	3.175	2.83	288.08	14.92		2.26	230.40	11.91		1.76	179.47	9.27	
	150	3.810	3.58	305.10	18.87		2.80	291.04	15.07		2.23	227.40	11.75	
105.40	200	5.080	5.29	539.43	27.87	26.43%	4.23	431.34	22.29	21.13%	3.8	380.51	17.39	16.49%
	300	7.620	8.94	911.12	47.07		7.15	729.10	37.07		5.58	509.00	29.40	
	400	10.100	12.95	1,320.03	68.23		10.30	1,050.43	54.58		8.08	823.93	42.57	



Ilustración 34: Ilustración Esfuerzo vs Penetración De Progresiva 9+000(C-4)



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03			
	CARGA UNITARIA PATRÓN (kg/cm²)	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (kg/cm²)	CBR CORREG. (%)	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (kg/cm²)	CBR CORREG. (%)	PENETR. CORREG. (mm)	ESFUER. CORREG. (kg/cm²)	CBR CORREG. (%)
	70.51	5.034	10.74	28.08%	3.940	13.81	22.49%	3.944	12.34	17.55%
	105.40	8.474	38.41	36.42%	8.480	30.77	29.18%	8.484	24.02	22.78%



NÚMERO DE GOLPES	CBR		DENSIDAD SECA
	0.1"	0.2"	
55	28.08%	36.42%	2.176 gr/cm³
26	22.49%	29.18%	2.093 gr/cm³
12	17.55%	22.78%	2.034 gr/cm³

DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm³)	2.156
95% DE LA D.S.M. (gr/cm³)	2.049

	0.1"	0.2"
CBR AL 100% DE LA D.S.M.	26.87%	34.86%
CBR AL 95% DE LA D.S.M.	18.85%	24.46%

Las tablas resumen de los resultados del ensayo de CBR realizado en la vía Huacarpay - Vicho, se muestran a continuación:

Tabla 52: Resumen de Resultados del Ensayo CBR

CALICATA	PROGRESIVA	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)		EXPANSIÓN
		100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA	95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA	
C-1	0+700	37.16%	22.70%	1.20%
C-2	3+200	29.56%	18.39%	1.20%
C-3	6+500	23.41%	16.51%	1.20%
C-4	9+000	26.87%	18.85%	1.20%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.1.4.3 Módulo resiliente de suelos de subrasante AASHTO T 274, MTC – E128

El módulo resiliente se realiza para la caracterización de apoyo para la subrasante y determinar los coeficientes de la capa estructural de pavimentos flexibles. El cual fue calculado en base a la correlación siguiente:

$$M_r(\text{psi}) = 2555 * \text{CBR}^{0.64}$$

Tabla 53: Resultados de Modulo Resiliente

CALICATA	PROGRESIVA	PROF.(m)	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)	Mr. (psi)
C-1	0+700	1.5	37.16%	25,836.84
C-2	3+200	1.5	29.56%	22,317.31
C-3	6+500	1.5	23.41%	19,222.41
C-4	9+000	1.5	26.87%	20,995.31

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.1.4.4 Clasificación de suelos según MTC - índice de plasticidad

La siguiente tabla muestra las clasificaciones de los suelos según su índice de plasticidad:

Tabla 54: Clasificación de Suelos según su Índice de Plasticidad

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICAS
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$7 < IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP \leq 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Elaboración propia

La clasificación de suelos según el Índice de Plasticidad (IP) se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 55: Resultados de la Clasificación de Suelos según su Índice de Plasticidad

CALICATA	PROGRESIVA	PROGRESIVA	IP	PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICAS
C-1	0+700	0+700	4.05%	Baja	Suelos poco arcillosos
C-2	3+200	3+200	4.51%	Baja	Suelos poco arcillosos
C-3	6+500	6+500	3.59%	Baja	Suelos poco arcillosos
C-4	9+000	9+000	NP	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Elaboración propia

#### Clasificación de suelos según índice de grupo:

La clasificación de suelos según el índice de grupo se realiza de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 56: Clasificación de Suelos Según Índice de Grupo

ÍNDICE DE GRUPO	SUELO DE SUB-RASANTE
$IG > 9$	Inadecuado
$4 < IG \leq 9$	Insuficiente
$2 < IG \leq 4$	Regular
$1 < IG \leq 2$	Bueno
$0 < IG \leq 1$	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

La clasificación de suelos según el Índice de Grupo (IG) se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 57: Resultados de Clasificación de Suelos Según Índice de Grupo

CALICATA	PROGRESIVA	IG	SUELO DE SUB-RASANTE
C-1	0+700	0	Muy Bueno
C-2	3+200	0	Muy Bueno
C-3	6+500	0	Muy Bueno
C-4	9+000	0	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

**Clasificación de suelos según CBR:**

La clasificación de suelos según el CBR se realiza de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 58: Clasificación de Suelos Según CBR

CATEGORÍAS DE SUB-RASANTE	CBR
S0: Sub-Rasante Inadecuada	$CBR < 3\%$
S1: Sub-Rasante Insuficiente	$3\% \leq CBR < 6\%$
S2: Sub-Rasante Regular	$6\% \leq CBR < 10\%$
S3: Sub-Rasante Buena	$10\% \leq CBR < 20\%$
S4: Sub-Rasante Muy Buena	$20\% \leq CBR < 30\%$
S5: Sub-Rasante Excelente	$CBR \geq 30\%$

Fuente: Elaboración propia

La clasificación de suelos según el CBR se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 59: Resultados de Clasificación de Suelos Según CBR

CALICATA	PROGRESIVA	CBR (95% de la DSM)	CATEGORÍAS DE SUB-RASANTE
C-1	0+700	22.70%	S4: Sub-Rasante Muy Buena
C-2	3+200	18.39%	S3: Sub-Rasante Buena
C-3	6+500	16.51%	S3: Sub-Rasante Buena
C-4	9+000	18.85%	S3: Sub-Rasante Buena

Fuente: Elaboración propia

**Evaluación de sub-rasante:**

Los requisitos de calidad para Sub-Rasante no tratada se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 60: Requisitos Mínimos de CBR para Subrasante, Según MTC

ENSAYO	REQUERIMIENTO
CBR (95% de la DSM)	6% mín.

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de suelos se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 61: Análisis de los Requisitos Mínimos de CBR para Subrasante

CALICATA	PROGRESIVA	CBR (95% de la DSM)	¿CUMPLE?
C-1	0+700	22.70%	SI
C-2	3+200	18.39%	SI
C-3	6+500	16.51%	SI
C-4	9+000	18.85%	SI

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4 Evaluación de deterioro o fallas en la carpeta asfáltica del pavimento

Para la Evaluación del deterioro en la carpeta asfáltica del pavimento, la metodología empleada para la recolección de datos consiste en recorrer la vía y registrar en los formatos de campo; los daños superficiales, el tipo, la gravedad y el área del daño para cada tipo de superficie encontrada, para ello se usaron los parámetros establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante el Manual de Conservación Vial 2018, dichos parámetros serán utilizados para la evaluación de la carpeta asfáltica en la vía Huacarpay – Vicho. Seguidamente se muestra los parámetros a utilizar para la evaluación del tramo Huacarpay - Vicho.

Tabla 62: Deterioros o Fallas en los pavimentos asfálticos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018)

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 $\leq$ 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). 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 $\leq$ 6 mm 2: Profundidad > 6 mm y $\leq$ 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 $\leq$ 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). También se denominan grietas.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

La metodología determinada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones es del análisis por cada 200 m del pavimento flexible, a continuación, se detalla el resumen de los porcentajes de área afectados por las fallas o deterioros en la vía Huacarpay - Vicho.

Tabla 63: Porcentajes de Área Afectados por Fallas

	PIEL DE COCODRILO			FISURAMIENTO LOGITUDINAL			HUNDIMIENTO			AHUELLAMIENTO			PARCHADO		
Progresivas	% De Daño Nivel 1	% De Daño Nivel 2	% De Daño Nivel 3	% De Daño Nivel 1	% De Daño Nivel 2	% De Daño Nivel 3	% De Daño Nivel 1	% De Daño Nivel 2	% De Daño Nivel 3	% De Daño Nivel 1	% De Daño Nivel 2	% De Daño Nivel 3	% De Daño Nivel 1	% De Daño Nivel 2	% De Daño Nivel 3
0+000 - 0+200	0.00%	2.31%	0.00%	6.06%	17.95%	4.72%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	5.83%	0.00%
0+200 - 0+400	0.00%	0.00%	0.00%	3.97%	15.00%	4.44%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	26.67%	0.00%	0.00%	0.00%
0+400 - 0+600	0.00%	0.00%	0.00%	5.56%	15.00%	4.17%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	26.67%	0.00%	0.00%	0.00%
0+600 - 0+800	0.00%	0.00%	0.00%	6.22%	22.15%	6.11%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	3.50%	0.00%
0+800 - 1+000	0.00%	0.45%	0.00%	3.97%	18.25%	5.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	26.67%	0.00%	1.53%	0.00%
1+000 - 1+200	0.00%	2.91%	0.17%	6.39%	18.92%	3.89%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	7.74%	0.00%
1+200 - 1+400	0.00%	2.03%	0.00%	6.06%	15.50%	8.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	26.67%	0.00%	1.96%	0.00%
1+400 - 1+600	0.00%	1.28%	0.00%	5.83%	16.08%	6.11%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	26.67%	0.00%	2.38%	0.00%
1+600 - 1+800	0.00%	2.06%	0.00%	6.67%	28.50%	6.39%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	2.93%	0.00%
1+800 - 2+000	0.00%	3.81%	0.00%	8.72%	24.17%	5.56%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	6.23%	0.00%
2+000 - 2+200	0.00%	0.59%	0.19%	6.94%	22.83%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	26.67%	0.00%	4.94%	0.00%
2+200 - 2+400	0.00%	0.32%	0.00%	4.89%	26.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	1.97%	0.00%

2+400 - 2+600	0.00%	0.00%	0.00%	5.56%	18.33%	5.56%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	0.00%	0.00%
2+600 - 2+800	0.00%	1.04%	0.00%	6.67%	18.83%	8.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	40.00%	0.00%	2.92%	0.00%
2+800 - 3+000	0.00%	6.77%	0.00%	7.67%	17.17%	5.56%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	40.00%	0.00%	5.56%	0.00%
3+000 - 3+200	0.00%	0.00%	0.00%	6.39%	14.67%	5.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	40.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3+200 - 3+400	0.00%	9.96%	0.00%	6.67%	15.67%	5.56%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	40.00%	0.00%	9.86%	0.00%
3+400 - 3+600	0.00%	1.11%	0.00%	5.17%	15.33%	3.89%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	2.34%	0.00%
3+600 - 3+800	0.00%	0.00%	0.00%	4.97%	11.75%	4.86%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	0.00%	0.00%
3+800 - 4+000	0.00%	0.61%	0.00%	4.89%	15.53%	2.33%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	1.52%	0.00%
4+000 - 4+200	0.00%	0.13%	0.00%	5.06%	13.68%	1.67%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	13.33%	13.33%	0.00%	2.88%	0.00%
4+200 - 4+400	0.00%	0.00%	0.00%	4.22%	13.00%	2.08%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	0.00%	0.00%
4+400 - 4+600	0.00%	0.00%	0.00%	3.19%	11.12%	1.94%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	26.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4+600 - 4+800	0.00%	0.00%	0.00%	4.25%	8.18%	2.42%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	26.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4+800 - 5+000	0.00%	0.86%	0.00%	3.41%	8.98%	2.86%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	20.00%	0.00%	3.37%	0.00%
5+000 - 5+200	0.00%	0.20%	0.00%	3.91%	11.63%	3.53%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	20.00%	0.00%	3.01%	0.00%
5+200 - 5+400	0.00%	0.00%	0.00%	3.94%	11.07%	3.03%	0.00%	0.00%	0.00%	23.33%	10.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5+400 - 5+600	0.00%	0.00%	0.00%	4.06%	11.18%	2.81%	0.00%	0.00%	0.00%	26.67%	6.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5+600 - 5+800	0.00%	0.00%	0.00%	4.62%	12.15%	3.75%	0.00%	0.00%	0.00%	23.33%	10.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



5+800 - 6+000	0.00%	1.39%	0.00%	5.23%	13.00%	5.03%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	20.00%	0.00%	10.79%	0.00%
6+000 - 6+200	0.00%	5.45%	0.00%	4.21%	12.60%	3.83%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	20.00%	0.00%	11.68%	0.00%
6+200 - 6+400	0.00%	2.34%	0.00%	6.07%	13.63%	6.11%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	20.00%	0.00%	0.00%	6.66%	0.00%
6+400 - 6+600	0.00%	0.00%	0.00%	6.36%	19.90%	5.83%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	20.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6+600 - 6+800	0.00%	0.00%	0.00%	6.63%	21.83%	5.83%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	20.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6+800 - 7+000	0.00%	5.08%	0.00%	9.11%	22.88%	5.97%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	20.00%	0.00%	6.25%	23.67%
7+000 - 7+200	0.00%	5.45%	0.15%	9.67%	23.75%	5.97%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	20.00%	0.00%	3.25%	32.22%
7+200 - 7+400	0.00%	0.00%	0.00%	9.72%	26.25%	7.64%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	20.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7+400 - 7+600	0.00%	7.33%	9.62%	10.92%	34.57%	9.17%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	20.00%	0.00%	0.00%	31.72%
7+600 - 7+800	0.00%	9.18%	5.05%	12.03%	39.62%	9.72%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	20.00%	0.00%	0.00%	20.92%
7+800 - 8+000	0.00%	10.27%	7.72%	10.83%	44.33%	8.06%	0.00%	0.00%	1.11%	13.33%	0.00%	20.00%	0.00%	0.00%	24.83%
8+000 - 8+200	0.00%	0.00%	43.99%	14.50%	37.58%	9.44%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	20.00%	0.00%	0.00%	24.54%
8+200 - 8+400	0.00%	0.00%	39.54%	7.78%	33.17%	9.44%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	26.67%	0.00%	0.00%	30.19%
8+400 - 8+600	0.00%	0.00%	44.25%	7.78%	35.50%	9.44%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	0.00%	26.67%	0.00%	0.00%	34.36%
8+600 - 8+800	0.00%	0.00%	43.66%	7.78%	38.90%	9.44%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	6.67%	26.67%	0.00%	0.00%	39.91%
8+800 - 9+000	0.00%	0.00%	48.14%	7.78%	37.85%	9.44%	0.00%	0.00%	2.17%	0.00%	13.33%	26.67%	0.00%	0.00%	38.39%
9+000 - 9+200	0.00%	0.00%	41.81%	7.78%	34.10%	10.56%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	40.00%	0.00%	0.00%	45.41%

9+200 - 9+400	0.00%	0.00%	37.48%	9.06%	26.83%	8.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	40.00%	0.00%	0.00%	23.34%
9+400 - 9+600	0.00%	0.87%	19.31%	7.94%	19.67%	5.42%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6.67%	33.33%	0.00%	0.00%	13.77%
9+600 - 9+800	0.00%	0.36%	7.18%	5.92%	17.67%	4.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	13.33%	26.67%	0.00%	0.00%	3.76%
9+800 - 10+000	0.00%	0.89%	2.27%	4.22%	12.00%	3.33%	0.00%	0.00%	0.28%	6.67%	0.00%	33.33%	0.00%	0.00%	5.10%

Progresivas	DESPRENDIMIENTO			BACHES			FISURAS TRANSVERSALES			DAÑOS PUNTUALES BERMAS		
	% De Daño Nivel 1	% De Daño Nivel 2	% De Daño Nivel 3	Cantidad Nivel 1	Cantidad Nivel 2	Cantidad Nivel 3	% De Daño Nivel 1	% De Daño Nivel 2	% De Daño Nivel 3	% De Daño Nivel 1	% De Daño Nivel 2	% De Daño Nivel 3
0+000 - 0+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	6.00%	0.00%	0.00%	32.63%	0.00%
0+200 - 0+400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	6.83%	0.00%	0.00%	31.25%	0.00%
0+400 - 0+600	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	7.92%	0.00%	0.00%	34.50%	0.00%
0+600 - 0+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	6.78%	0.00%	0.00%	31.44%	0.00%
0+800 - 1+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	9.50%	0.00%	0.00%	22.50%	0.00%
1+000 - 1+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	9.25%	0.00%	0.00%	30.00%	0.00%
1+200 - 1+400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	10.42%	0.00%	0.00%	29.75%	0.00%
1+400 - 1+600	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	10.17%	0.00%	0.00%	36.00%	0.00%

1+600 - 1+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	5.00	0.00	0.00%	9.79%	0.00%	0.00%	65.00%	0.00%
1+800 - 2+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	3.00	0.00%	10.24%	0.00%	0.00%	70.50%	0.00%
2+000 - 2+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	10.49%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2+200 - 2+400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	11.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2+400 - 2+600	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	1.00	0.00%	11.58%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2+600 - 2+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	13.75%	0.00%	0.00%	40.50%	0.00%
2+800 - 3+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	12.00%	0.00%	0.00%	0.00%	27.00%
3+000 - 3+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	3.00	0.00%	10.99%	0.00%	0.00%	0.00%	45.00%
3+200 - 3+400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	9.89%	0.00%	0.00%	0.00%	33.75%
3+400 - 3+600	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	1.00	0.00%	10.17%	0.00%	0.00%	0.00%	5.25%
3+600 - 3+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	10.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3+800 - 4+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	11.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4+000 - 4+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	11.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4+200 - 4+400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	1.00	0.00	0.00%	10.62%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4+400 - 4+600	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	10.76%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4+600 - 4+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	11.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4+800 - 5+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	10.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

5+000 - 5+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	1.00	0.00%	11.20%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5+200 - 5+400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	11.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5+400 - 5+600	0.00%	0.11%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	12.23%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5+600 - 5+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	10.79%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5+800 - 6+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	11.20%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6+000 - 6+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	11.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6+200 - 6+400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	1.00	0.00%	11.34%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6+400 - 6+600	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	10.94%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6+600 - 6+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	12.62%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6+800 - 7+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	11.87%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7+000 - 7+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	14.46%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7+200 - 7+400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	14.55%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7+400 - 7+600	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	14.42%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7+600 - 7+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	3.00	0.00	0.00%	14.98%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7+800 - 8+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	1.00	1.00	0.00%	14.99%	0.00%	0.00%	0.00%	27.00%
8+000 - 8+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	15.22%	0.00%	0.00%	0.00%	42.25%
8+200 - 8+400	0.01%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	15.81%	0.00%	0.00%	0.00%	34.00%

8+400 - 8+600	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	16.77%	0.00%	0.00%	0.00%	31.50%
8+600 - 8+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	15.68%	0.00%	0.00%	0.00%	43.00%
8+800 - 9+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	2.00	0.00%	21.01%	0.00%	0.00%	0.00%	49.50%
9+000 - 9+200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	21.74%	0.00%	0.00%	0.00%	30.63%
9+200 - 9+400	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	20.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9+400 - 9+600	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	12.52%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9+600 - 9+800	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	13.97%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9+800 - 10+000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00%	12.30%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que las fallas predominantes en la vía de análisis son el Ahuellamiento, Fisuramiento Longitudinal, Fisuramiento Transversal y Piel Cocodrilo, siendo las 3 primeras las fallas más constantes obtenidas a lo largo de los 10 km de longitud de la vía de evaluación, tal como muestra los resultados mostrados anteriormente.

La metodología para determinar la Condición Superficial del Pavimento, se detalla en el Manual de conservación Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, por lo que se procedió a la calificación de cada sección de 200 m tomando en consideración el Porcentaje de Extensión del deterioro, Extensión Promedio Ponderado y su correspondiente puntaje de condición. Seguidamente se detalla los puntajes obtenidos.

Tabla 64: Puntaje De Condición del Pavimento Según Tipo De Falla

TIPO DE DAÑO O FALLA	PIEL DE COCODRILO		FISURAMIENTO LOGITUDINAL		HUNDIMIENTO		AHUELLAMIENTO		PARCHADO	
	Promedio Ponderado	Puntaje	Promedio Ponderado	Puntaje	Promedio Ponderado	Puntaje	Promedio Ponderado	Puntaje	Promedio Ponderado	Puntaje
0+000 - 0+200	2.31%	9.24	13.27%	33.07	0.00%	0.00	22.22%	68.89	5.83%	5.83
0+200 - 0+400	0.00%	0.00	11.13%	24.50	0.00%	0.00	20.00%	60.00	0.00%	0.00
0+400 - 0+600	0.00%	0.00	11.05%	24.21	0.00%	0.00	20.00%	60.00	0.00%	0.00
0+600 - 0+800	0.00%	0.00	16.43%	45.73	0.00%	0.00	22.22%	68.89	3.50%	3.50
0+800 - 1+000	0.45%	1.80	13.70%	34.79	0.00%	0.00	22.22%	68.89	1.53%	1.53
1+000 - 1+200	2.76%	11.03	14.17%	36.69	0.00%	0.00	22.22%	68.89	7.74%	7.74
1+200 - 1+400	2.03%	8.12	11.53%	26.14	0.00%	0.00	20.00%	60.00	1.96%	1.96
1+400 - 1+600	1.28%	5.12	11.78%	27.10	0.00%	0.00	20.00%	60.00	2.38%	2.38
1+600 - 1+800	2.06%	8.22	21.60%	66.39	0.00%	0.00	22.22%	68.89	2.93%	2.93
1+800 - 2+000	3.81%	15.22	17.97%	51.89	0.00%	0.00	22.22%	68.89	6.23%	6.23

2+000 - 2+200	0.49%	1.97	19.13%	56.51	0.00%	0.00	20.00%	60.00	4.94%	4.94
2+200 - 2+400	0.32%	1.29	22.98%	71.90	0.00%	0.00	22.22%	68.89	1.97%	1.97
2+400 - 2+600	0.00%	0.00	13.51%	34.05	0.00%	0.00	22.22%	68.89	0.00%	0.00
2+600 - 2+800	1.04%	4.15	13.85%	35.40	0.00%	0.00	40.00%	100.00	2.92%	2.92
2+800 - 3+000	6.77%	27.09	12.65%	30.59	0.00%	0.00	40.00%	100.00	5.56%	5.56
3+000 - 3+200	0.00%	0.00	10.78%	23.11	0.00%	0.00	40.00%	100.00	0.00%	0.00
3+200 - 3+400	9.96%	39.86	11.50%	26.00	0.00%	0.00	40.00%	100.00	9.86%	9.86
3+400 - 3+600	1.11%	4.44	11.35%	25.42	0.00%	0.00	22.22%	68.89	2.34%	2.34
3+600 - 3+800	0.00%	0.00	8.64%	17.27	0.00%	0.00	22.22%	68.89	0.00%	0.00
3+800 - 4+000	0.61%	2.46	11.89%	27.57	0.00%	0.00	22.22%	68.89	1.52%	1.52
4+000 - 4+200	0.13%	0.51	10.56%	22.26	0.00%	0.00	13.33%	33.33	2.88%	2.88
4+200 - 4+400	0.00%	0.00	9.90%	19.80	0.00%	0.00	22.22%	68.89	0.00%	0.00
4+400 - 4+600	0.00%	0.00	8.46%	16.93	0.00%	0.00	22.22%	68.89	0.00%	0.00
4+600 - 4+800	0.00%	0.00	6.12%	12.24	0.00%	0.00	22.22%	68.89	0.00%	0.00
4+800 - 5+000	0.86%	3.42	6.59%	13.18	0.00%	0.00	17.33%	49.33	3.37%	3.37
5+000 - 5+200	0.20%	0.81	8.55%	17.10	0.00%	0.00	17.33%	49.33	3.01%	3.01
5+200 - 5+400	0.00%	0.00	8.16%	16.32	0.00%	0.00	19.33%	57.33	0.00%	0.00

5+400 - 5+600	0.00%	0.00	8.28%	16.56	0.00%	0.00	22.67%	70.67	0.00%	0.00
5+600 - 5+800	0.00%	0.00	8.92%	17.84	0.00%	0.00	19.33%	57.33	0.00%	0.00
5+800 - 6+000	1.39%	5.57	9.53%	19.06	0.00%	0.00	17.33%	49.33	10.79%	11.58
6+000 - 6+200	5.45%	21.82	9.26%	18.52	0.00%	0.00	17.33%	49.33	11.68%	13.37
6+200 - 6+400	2.34%	9.35	10.07%	20.30	0.00%	0.00	17.33%	49.33	6.66%	6.66
6+400 - 6+600	0.00%	0.00	14.66%	38.64	0.00%	0.00	17.33%	49.33	0.00%	0.00
6+600 - 6+800	0.00%	0.00	16.17%	44.69	0.00%	0.00	14.67%	38.67	0.00%	0.00
6+800 - 7+000	5.08%	20.32	16.92%	47.67	0.00%	0.00	17.33%	49.33	20.03%	30.06
7+000 - 7+200	5.30%	21.21	17.60%	50.39	0.00%	0.00	14.67%	38.67	29.56%	49.12
7+200 - 7+400	0.00%	0.00	19.31%	57.22	0.00%	0.00	17.33%	49.33	0.00%	0.00
7+400 - 7+600	8.63%	34.51	25.58%	82.33	0.00%	0.00	17.33%	49.33	31.72%	50.00
7+600 - 7+800	7.71%	30.85	29.47%	97.89	0.00%	0.00	14.67%	38.67	20.92%	31.83
7+800 - 8+000	9.18%	36.70	33.97%	115.88	1.11%	2.22	17.33%	49.33	24.83%	39.65
8+000 - 8+200	43.99%	200.00	27.82%	91.30	0.00%	0.00	17.33%	49.33	24.54%	39.08
8+200 - 8+400	39.54%	200.00	24.80%	79.21	0.00%	0.00	20.00%	60.00	30.19%	50.00
8+400 - 8+600	44.25%	200.00	26.74%	86.97	0.00%	0.00	22.22%	68.89	34.36%	50.00
8+600 - 8+800	43.66%	200.00	29.63%	98.52	0.00%	0.00	20.00%	60.00	39.91%	50.00



8+800 - 9+000	48.14%	200.00	28.73%	94.93	2.17%	4.33	22.22%	68.89	38.39%	50.00
9+000 - 9+200	41.81%	200.00	25.46%	81.82	0.00%	0.00	40.00%	100.00	45.41%	50.00
9+200 - 9+400	37.48%	200.00	19.71%	58.83	0.00%	0.00	40.00%	100.00	23.34%	36.69
9+400 - 9+600	18.52%	108.16	14.51%	38.04	0.00%	0.00	28.89%	95.56	13.77%	17.53
9+600 - 9+800	6.85%	27.42	13.13%	32.54	0.00%	0.00	22.22%	68.89	3.76%	3.76
9+800 - 10+000	1.88%	7.51	8.84%	17.69	0.28%	0.56	28.89%	95.56	5.10%	5.10
<b>TIPO DE DAÑO O FALLA</b>	<b>DESPRENDIMIENTO</b>		<b>BACHES</b>		<b>FISURAS TRANSVERSALES</b>		<b>DAÑOS PUNTUALES BERMAS</b>			
<b>Progresiva</b>	<b>Promedio Ponderado</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Cantidad Total De Baches</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Promedio Ponderado</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Promedio Ponderado</b>	<b>Puntaje</b>		
0+000 - 0+200	0.00%	0.00	0.00	0.00	6.00%	6.00	32.63%	50.00		
0+200 - 0+400	0.00%	0.00	0.00	0.00	6.83%	6.83	31.25%	50.00		
0+400 - 0+600	0.00%	0.00	0.00	0.00	7.92%	7.92	34.50%	50.00		
0+600 - 0+800	0.00%	0.00	0.00	0.00	6.78%	6.78	31.44%	50.00		
0+800 - 1+000	0.00%	0.00	0.00	0.00	9.50%	9.50	22.50%	35.00		
1+000 - 1+200	0.00%	0.00	0.00	0.00	9.25%	9.25	30.00%	50.00		
1+200 - 1+400	0.00%	0.00	0.00	0.00	10.42%	10.83	29.75%	49.50		
1+400 - 1+600	0.00%	0.00	0.00	0.00	10.17%	10.33	36.00%	50.00		

1+600 - 1+800	0.00%	0.00	5.00	33.33	9.79%	9.79	65.00%	50.00
1+800 - 2+000	0.00%	0.00	3.00	15.00	10.24%	10.48	70.50%	50.00
2+000 - 2+200	0.00%	0.00	0.00	0.00	10.49%	10.97	0.00%	0.00
2+200 - 2+400	0.00%	0.00	0.00	0.00	11.27%	12.53	0.00%	0.00
2+400 - 2+600	0.00%	0.00	1.00	5.00	11.58%	13.17	0.00%	0.00
2+600 - 2+800	0.00%	0.00	0.00	0.00	13.75%	17.50	40.50%	50.00
2+800 - 3+000	0.00%	0.00	0.00	0.00	12.00%	14.00	27.00%	44.00
3+000 - 3+200	0.00%	0.00	3.00	15.00	10.99%	11.98	45.00%	50.00
3+200 - 3+400	0.00%	0.00	0.00	0.00	9.89%	9.89	33.75%	50.00
3+400 - 3+600	0.00%	0.00	1.00	5.00	10.17%	10.33	5.25%	5.25
3+600 - 3+800	0.00%	0.00	0.00	0.00	10.69%	11.38	0.00%	0.00
3+800 - 4+000	0.00%	0.00	0.00	0.00	11.08%	12.16	0.00%	0.00
4+000 - 4+200	0.00%	0.00	0.00	0.00	11.07%	12.13	0.00%	0.00
4+200 - 4+400	0.00%	0.00	1.00	5.00	10.62%	11.23	0.00%	0.00
4+400 - 4+600	0.00%	0.00	0.00	0.00	10.76%	11.51	0.00%	0.00
4+600 - 4+800	0.00%	0.00	0.00	0.00	11.26%	12.52	0.00%	0.00
4+800 - 5+000	0.00%	0.00	0.00	0.00	10.54%	11.08	0.00%	0.00

5+000 - 5+200	0.00%	0.00	1.00	5.00	11.20%	12.40	0.00%	0.00
5+200 - 5+400	0.00%	0.00	0.00	0.00	11.26%	12.51	0.00%	0.00
5+400 - 5+600	0.11%	0.11	0.00	0.00	12.23%	14.47	0.00%	0.00
5+600 - 5+800	0.00%	0.00	0.00	0.00	10.79%	11.57	0.00%	0.00
5+800 - 6+000	0.00%	0.00	0.00	0.00	11.20%	12.41	0.00%	0.00
6+000 - 6+200	0.00%	0.00	0.00	0.00	11.12%	12.25	0.00%	0.00
6+200 - 6+400	0.00%	0.00	1.00	5.00	11.34%	12.68	0.00%	0.00
6+400 - 6+600	0.00%	0.00	0.00	0.00	10.94%	11.88	0.00%	0.00
6+600 - 6+800	0.00%	0.00	0.00	0.00	12.62%	15.24	0.00%	0.00
6+800 - 7+000	0.00%	0.00	0.00	0.00	11.87%	13.75	0.00%	0.00
7+000 - 7+200	0.00%	0.00	0.00	0.00	14.46%	18.92	0.00%	0.00
7+200 - 7+400	0.00%	0.00	0.00	0.00	14.55%	19.09	0.00%	0.00
7+400 - 7+600	0.00%	0.00	0.00	0.00	14.42%	18.84	0.00%	0.00
7+600 - 7+800	0.00%	0.00	3.00	15.00	14.98%	19.95	0.00%	0.00
7+800 - 8+000	0.00%	0.00	2.00	10.00	14.99%	19.98	27.00%	44.00
8+000 - 8+200	0.00%	0.00	0.00	0.00	15.22%	20.43	42.25%	50.00
8+200 - 8+400	0.01%	0.01	0.00	0.00	15.81%	21.61	34.00%	50.00

8+400 - 8+600	0.00%	0.00	0.00	0.00	16.77%	23.54	31.50%	50.00
8+600 - 8+800	0.00%	0.00	0.00	0.00	15.68%	21.36	43.00%	50.00
8+800 - 9+000	0.00%	0.00	2.00	10.00	21.01%	32.02	49.50%	50.00
9+000 - 9+200	0.00%	0.00	0.00	0.00	21.74%	33.48	30.63%	50.00
9+200 - 9+400	0.00%	0.00	0.00	0.00	20.03%	30.06	0.00%	0.00
9+400 - 9+600	0.00%	0.00	0.00	0.00	12.52%	15.04	0.00%	0.00
9+600 - 9+800	0.00%	0.00	0.00	0.00	13.97%	17.93	0.00%	0.00
9+800 - 10+000	0.00%	0.00	0.00	0.00	12.30%	14.59	0.00%	0.00

Fuente: Elaboración propia

A partir de los puntajes obtenidos por cada tipo de deterioro, se procede a la sumatoria total debiendo ser esta no mayor a 1000, de manera que la calificación de condición del pavimento resulta de la diferencia de la suma total menos la suma del puntaje de condición, como se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 65: Calificación de Condición de la Capa de Rodadura

<b>CALIFICACIÓN DE CONDICIÓN=</b>	<b>1000 - SUMA PUNTAJE DE CONDICIÓN</b>
<b>CALIFICACIÓN DE CONDICIÓN=</b>	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

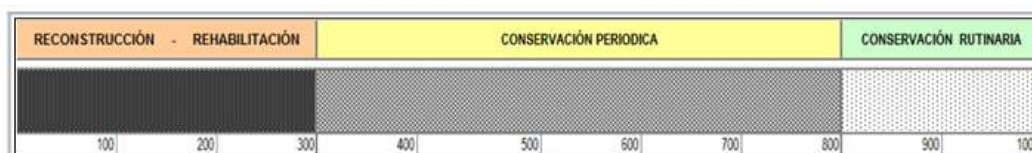
En función a la calificación de condición se asignará el tipo de condición superficial del pavimento para posteriormente estimar el tipo de conservación a realizar en cada sección de 200 m, obteniéndose los siguientes resultados en la vía de evaluación Huacarpay – Vicho.

Tabla 66: Tipos de Condición según calificación de la condición

<b>CONDICIÓN BUENO</b>	<b>800</b>
<b>CONDICIÓN REGULAR</b>	<b>300 Y ≤ 800</b>
<b>CONDICIÓN MALO</b>	<b>≤ 300</b>

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Tabla 67: Tipos de Conservación según calificación de condición



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Tabla 68: Tabla Resumen de Condición del Pavimento y Tipo de Conservación, según el Manual de Conservación Vial del MTC

PROGRESIVA	RESULTADOS			
	TOTAL	CALIFICACION DE CONDICION	TIPO DE CONDICION	TIPO DE CONSERVACIÓN SEGÚN CALIFICACIÓN DE CONDICION
0+000 - 0+200	173.04	826.96	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
0+200 - 0+400	141.34	858.66	Condición Bueno	Conservación Rutinaria

0+400 - 0+600	142.12	857.88	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
0+600 - 0+800	174.91	825.09	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
0+800 - 1+000	151.51	848.49	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
1+000 - 1+200	183.61	816.39	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
1+200 - 1+400	156.54	843.46	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
1+400 - 1+600	154.94	845.06	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
1+600 - 1+800	239.56	760.44	Condición Regular	Conservación Periódica
1+800 - 2+000	217.71	782.29	Condición Regular	Conservación Periódica
2+000 - 2+200	134.40	865.60	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
2+200 - 2+400	156.59	843.41	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
2+400 - 2+600	121.11	878.89	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
2+600 - 2+800	209.97	790.03	Condición Regular	Conservación Periódica
2+800 - 3+000	221.24	778.76	Condición Regular	Conservación Periódica
3+000 - 3+200	200.09	799.91	Condición Regular	Conservación Periódica
3+200 - 3+400	235.61	764.39	Condición Regular	Conservación Periódica
3+400 - 3+600	121.68	878.32	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
3+600 - 3+800	97.55	902.45	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
3+800 - 4+000	112.60	887.40	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
4+000 - 4+200	71.12	928.88	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
4+200 - 4+400	104.92	895.08	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
4+400 - 4+600	97.33	902.67	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
4+600 - 4+800	93.64	906.36	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
4+800 - 5+000	80.39	919.61	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
5+000 - 5+200	87.65	912.35	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
5+200 - 5+400	86.17	913.83	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
5+400 - 5+600	101.80	898.20	Condición Bueno	Conservación Rutinaria

5+600 - 5+800	86.75	913.25	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
5+800 - 6+000	97.95	902.05	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
6+000 - 6+200	115.29	884.71	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
6+200 - 6+400	103.33	896.67	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
6+400 - 6+600	99.85	900.15	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
6+600 - 6+800	98.60	901.40	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
6+800 - 7+000	161.14	838.86	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
7+000 - 7+200	178.32	821.68	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
7+200 - 7+400	125.65	874.35	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
7+400 - 7+600	235.01	764.99	Condición Regular	Conservación Periódica
7+600 - 7+800	234.19	765.81	Condición Regular	Conservación Periódica
7+800 - 8+000	317.78	682.22	Condición Regular	Conservación Periódica
8+000 - 8+200	450.15	549.85	Condición Regular	Conservación Periódica
8+200 - 8+400	460.83	539.17	Condición Regular	Conservación Periódica
8+400 - 8+600	479.40	520.60	Condición Regular	Conservación Periódica
8+600 - 8+800	479.88	520.12	Condición Regular	Conservación Periódica
8+800 - 9+000	510.17	489.83	Condición Regular	Conservación Periódica
9+000 - 9+200	515.31	484.69	Condición Regular	Conservación Periódica
9+200 - 9+400	425.57	574.43	Condición Regular	Conservación Periódica
9+400 - 9+600	274.33	725.67	Condición Regular	Conservación Periódica
9+600 - 9+800	150.54	849.46	Condición Bueno	Conservación Rutinaria
9+800 - 10+000	141.01	858.99	Condición Bueno	Conservación Rutinaria

Fuente: Elaboración propia

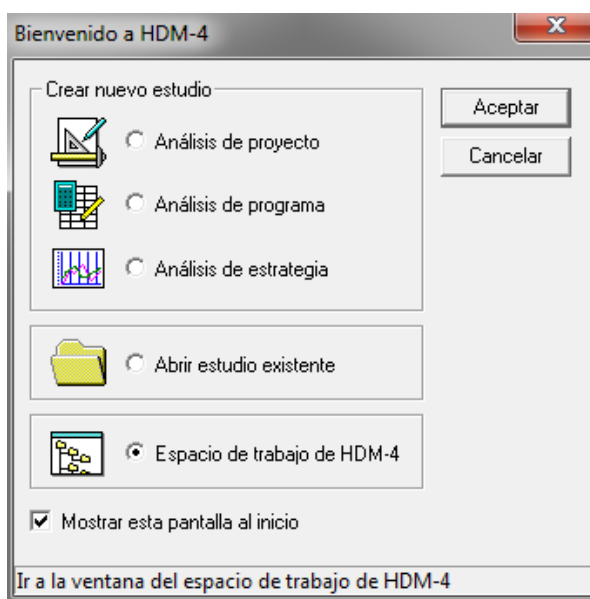
Se observa que según la tabla 69 los resultados finales obtenidos, la vía Huacarpay – Vicho se encuentra entre una Condición Buena y Regular, por lo que se requiere de actividades de Conservación Periódica en las progresivas 1+600 – 2+000, 2+600 – 3+400, 7+400 – 9+600, siendo estos más del 35% de la vía de evaluación.

## CAPITULO VI: GENERACIÓN DEL MODELO DE COMPORTAMIENTO CON EL SOFTWARE HDM-4

### 7.1 Datos necesarios para ingresar al software

Para iniciar con el ingreso de Datos al software HDM-4 se debe dar doble clic al icono que permite el acceso directo mostrado en la pantalla, posteriormente se mostrará un cuadro con el nombre “Espacio de Trabajo” el cual utiliza una Base de Datos existente, en esta pantalla se pueden observar y manejar los módulos que manejan la información para la generación de los modelos de deterioro.

Ilustración 35: Pantalla de ingresos de datos



Fuente: Elaboración propia

El cuadro “Espacio de Trabajo” se compone por las siguientes áreas de entrada:

- ✓ Configuración, es el ítem en el cual se configura el espacio de trabajo a las condiciones locales o nacionales para el posterior modelamiento.
- ✓ Las flotas vehiculares, es donde se definen las características representativas de una flota o una serie de flotas de vehículos los cuales e obtuvieron en el aforo vehicular.
- ✓ Redes de vías, ítem donde se definen las características de una red o una serie de redes de vías.

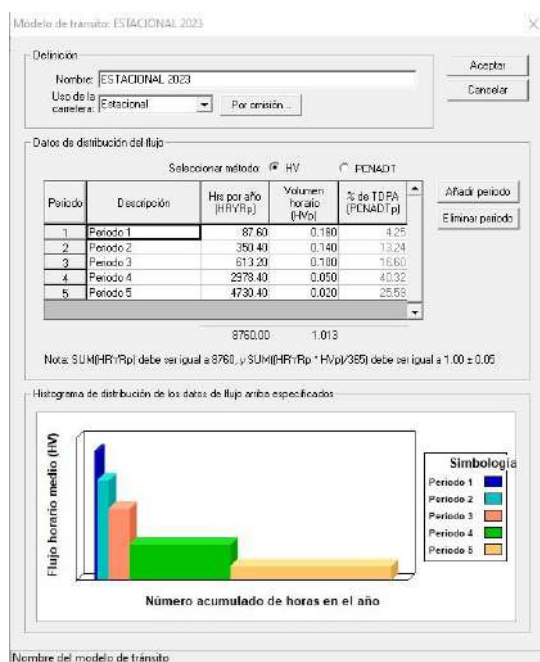
Estándares de trabajo, donde se definen los tipos de trabajos de intervención a realizar como también las características de una serie de políticas de conservación vial.



### 7.1.1 Ingreso de datos a configuración

**Modelos de tránsito:** Se puede elegir entre los que vienen por defecto en el software o los que se crearon a partir de una flota vehicular representativa del aforo encontrado en campo. En este caso se utilizó un modelo tránsito creado a partir de una flota vehicular representativa obtenida en el estudio de tránsito, el uso de la vía que se escogió es: Interurbano debido a que las vías Interurbanas tienen una distribución más uniforme del tráfico anual durante los días del año y durante las horas del día.

Ilustración 36: modelo de tránsito vía Huacarpay – Vicho



Fuente: Elaboración propia

**Tipos de velocidad / capacidad:** se eligió por defecto del programa el tipo de vía: vía de dos carriles ya que es el tipo de vía de análisis.

Ilustración 37: Tipo de velocidad vía de dos carriles

Tipo de velocidad/capacidad: Two Lane Standard

General

Nombre: Two Lane Standard

Número de carriles: 2

Tipo de carretera: Carretera de dos carriles

Capacidad

Velocidad km/h

Flujo en PCSE/carril/hr

Capacidad última (Qult): 1400 PCSE/carril/hr

Capacidad a flujo libre (Qo): 140  $[0 < Qo < Qnom]$

Capacidad nominal (Qnom): 1200  $[S < Qnom < Qult]$

Velocidad a la cap. última (Sult): 35 km/h

Parámetros relacionados con la velocidad

Sigma anar: 0.65  $m/s^2$

CALBFAC: 1

VDES MUL: 1

Etiqueta del tipo de velocidad/capacidad

Fuente: Elaboración propia

**Tipos de accidentes:** De acuerdo al reporte del número de accidentes en el tramo de estudio Huacarpay – Vicho brindado por la PNP región Cusco, se obtuvo el número de accidentes en la vía.

Los datos se introducen en el programa como se muestra en la ilustración.

Ilustración 38: tipo de accidentes

Tipos de accidentes: Two Lane Standard

Nombre: TRAMO HUACARPAY VICHO

Tasa de accidentes (número por 100 millones de veh-km)

por tipo

Fatales: 3

Heridos: 6

Sólo daños: 12

todos

Todos los accidentes: 0

Nombre del tipo de accidente

Fuente: Elaboración propia

**Zonas climáticas:** Se selecciona entre las opciones de clasificación de zonas climáticas que trae por defecto el software, por lo cual se selecciona una clasificación de humedad y una clasificación de la temperatura de las dos listas de selección.

La clasificación elegida fue explicada en el capítulo 4, en el subtítulo de Temperatura y Humedad.

Ilustración 39: zona climática en la vía Huacarpay - Vicho

Nombre: HUACARPAY VICHO

Clasificación por humedad: Semihúmedo

Índice de humedad: 40

Duración de la estación seca: 9 meses

Precipitación media mensual: 50 mm

Clasificación por temperatura: Subtropical - fresco

Temperatura media: 18 °C

Rango prom. de temperaturas: 13 °C

Días con T > 32°C: 30 días

Índice de congelamiento: 0 °C día

Porcentaje del tiempo que se conduce en:

Carreteras cubiertas de nieve: 0 0<=PCTD5<=100

Carreteras cubiertas de agua: 15 0<=PCTDW<=100

Nombre de la zona climática

Fuente: Elaboración propia

**Series de calibración RD:** Es necesario crear juegos con base en los tipos de pavimento y material superficial de la vía en evaluación. La calibración que se muestra en la imagen corresponde al sector en evaluación, en el que se aprecia como tipo de pavimento: Tratamiento superficial sobre base asfáltica y como material superficial: riego de sello y doble riego de sello, esto tomando en consideración la información general de la vía recopilada en el capítulo 4.

Ilustración 40: serie de calibración Huacarpay - Vicho

Nombre: TRAMO HUACARPAY - VICHO 1

Asfáltico | Concreto | No pavimentada

Biblioteca del modelo (DLL): HDM-4 Default DLL

Juego de calibración RD	Tipo de pavimento	Material superficial	CDS
CALIBRACION 1	Mezcla asfáltica sobre base gran	Riego de sello	1.00
CALIBRACION 2	Tratamiento superficial sobre pav	Riego de sello	1.00

Nuevo juego Copiar juego Eliminar

Aceptar Cancelar

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.2 Ingreso de datos a flotas vehiculares

Después de configurar el espacio de trabajo, se define una o más flotas de vehículos. Para crear una flota de vehículos, seleccione la opción de Flotas vehiculares y luego haga clic

en "Nuevo". Para modificar una flota de vehículos, seleccione el nombre de la flota y haga doble clic.

Ilustración 41: ingreso de datos a flotas vehiculares



Fuente: Elaboración propia

Si se hace doble clic sobre el nombre de la flota de vehículos se puede editar su contenido. En estos casos de estudio se definieron 9 tipos de vehículos motorizados; a continuación, se muestra la flota vehicular representativa en la vía Huacarpay – Vicho en orden alfabético.

Ilustración 42: tipo de vehículo

Nombre	Tipo	Última modificación	Tipo de base	Categoría
A Vehículos ligeros	Automóviles	30/01/2024	Automóvil mediano	Motorizado
B Bus 2E	Autobuses	30/01/2024	Autobús ligero	Motorizado
B-2 Bus grande 2E	Autobuses	30/01/2024	Autobús mediano	Motorizado
B-3 Bus 3E	Autobuses	30/01/2024	Autobús pesado	Motorizado
C-2 Camion 2E	Camiones	30/01/2024	Camión ligero	Motorizado
C-3 Camion 3E	Camiones	30/01/2024	Camión mediano	Motorizado
C-4 Camion 4E	Camiones	30/01/2024	Camión pesado	Motorizado
CF Cargador Frontal	Camiones	30/01/2024	Camión pesado	Motorizado
TS Camion Acoplado	Camiones	30/01/2024	Camión articulado	Motorizado

Fuente: Elaboración propia

Para visualizar el contenido del tipo de vehículo se debe resaltar la línea de tipo de vehículo y hacer doble clic. La siguiente pantalla muestra el vehículo llamado A-Vehículos Ligeros. La pestaña “Definición” presenta parámetros globales de identificación.

Ilustración 43: atributos de vehículos

Fuente: Elaboración propia

Las características físicas generales del vehículo, los neumáticos, la utilización y la carga se muestran en la pestaña "Características básicas". Para crear estos casos de proyecto, se modificaron los valores por defecto del HDM-4 en el documento "Pautas metodológicas del MEF" y se utilizaron los parámetros indicados en ese boletín.

Ilustración 44: características básicas de autos

Atributos del vehículo: A Vehículos ligeros

Definición | Características básicas | Costos económicos unitarios

Flotas

Espacios equivalentes en vehículos de pasajeros: 1

Número de ruedas: 4

Número de ejes: 2

Neumáticos

Tipo de neumático: Radial

No. de renovaciones: 1.3

Costo de renovación: 15 %

Utilización

km anuales: 25000.9 km

Hrs. laborables: 550.004 hrs

Vida promedio: 15 años

Uso privado: 100 %

Pasajeros: 2 personas

Vejes de trabajo: 75 %

Carga

ESALF: 0

Peso en operación: 1.2 ton

Calibración...  
Valores por omisión:

Factor de espacios equivalentes de automóviles de pasajeros (PCSE)

Fuente: Elaboración propia

La tabla "costos económicos unitarios" muestra los datos de insumos necesarios para calcular los costos unitarios del usuario para cada tipo de vehículo. El software HDM-4 no ofrece valores predeterminados para estos insumos porque son únicos para cada país y región de evaluación. Los valores utilizados en esta tesis se obtuvieron recopilando datos de campo de los usuarios.

Ilustración 45: Costos económicos unitarios de autos

Atributos del vehículo: A Vehículos ligeros

Definición | Características básicas | Costos económicos unitarios

Recursos del vehículo

Vehículo nuevo: 9500

Reemplazo neumático: 50

Combustible: 1.21 por litro

Lubricante: 3.2 por litro

Mano de obra mantenimiento: 15 por hora

Salarios de los operadores: 10 por hora

Gastos generales anuales: 1350

Interés anual: 1 %

Valor del tiempo

Pasajero tiempo de trabajo: 5 por hora

Pasajero tiempo de ocio: 0 por hora

Retraso de carga: 0 por hora

Todos los costos deben expresarse en la unidad monetaria de la flota - US Dollar

Calibración...  
Valores por omisión:

Costo de adquisición promedio de un vehículo nuevo de este tipo

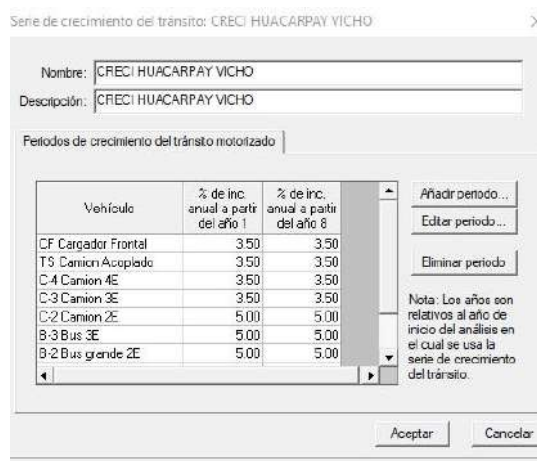
Fuente: Elaboración propia

Al pulsar los botones correspondientes en la parte inferior de la pantalla en el menú principal de Flota de vehículos, se definen la descripción de la flota de vehículos, la moneda de los costos económicos unitarios y las series de crecimiento del tráfico.

Durante el periodo de evaluación, se proporcionan las series de crecimiento de tráfico y se establecen las tasas de crecimiento de tráfico anual para cada vehículo.

Esta es la forma más sencilla de definir las tasas de crecimiento del tráfico.

Ilustración 46: tasa de crecimiento Huacarpay – Vicho

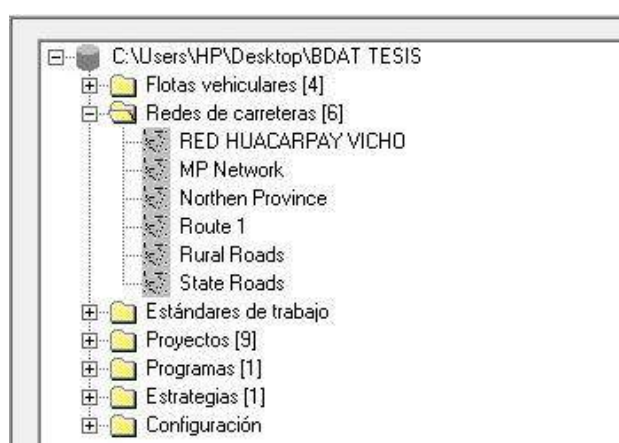


Fuente: Elaboración propia

### 7.1.3 Ingreso de datos para a redes de vías

Se crea una o más redes de vías después de identificar la flota de vehículos y las tasas de crecimiento del tráfico correspondientes. Para crear una red de vías, seleccione la etiqueta "Redes de vías" y luego haga clic en "Nuevo". Para editar una red de vías, marque el nombre de la red y haga clic en ella.

Ilustración 47: Ingreso de datos a redes de vías



Fuente: Elaboración propia

La siguiente Ilustración muestra la manera de cómo se van ingresando los datos para la vía Huacarpay - Vicho; esta ventana de definición puede ser llenada con identificadores a criterio

del usuario. Se ingresan los datos de características geométricas de la vía, el sentido de tráfico, año del último tratamiento superficial, los datos de configuración, el tipo de vía, nivel de tránsito, la geometría, la clase de superficie, el juego de calibración.

Ilustración 48: características de la vía

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se debe ingresar los datos de pavimento requeridos como: espesor más reciente en mm, espesor anterior en mm, año de última reconstrucción, año última rehabilitación (sobre capa), año de último tratamiento preventivo y deflexión central en kpa.

Ilustración 49: datos de pavimento vía Huacarpay - Vicho

Fuente: Elaboración propia

La ventana de “condición de la superficie del pavimento” está en función a parámetros, en este caso se ingresarán los datos obtenidos en campo a través del inventario vial realizado en el capítulo 4.

Ilustración 50: Datos de Condición Funcional vía Huacarpay - Vicho

Parámetro	Valor
Condición al final del año	2023
Inocuidad (IRI - m/km)	4.15
Asp. est. total (%)	61.20
Asp. est. ancho (%)	2.54
Aneamiento (mm)	0.00
Área con desajustes (m²)	0.00
Módulo de losetas (N/m²)	2.00
Asesión última de borde (mm)	0.00
Prof. media de rodadura (mm)	25.34
Desv. est. prof. rodadura (mm)	3.00
Profundidad de la textura (mm)	0.99
Resist. desl. (GCM 50 km/h)	0.50
Drenaje	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Los datos de IMDA de los vehículos, obtenidos del estudio de tránsito se introduce en la pestaña: tránsito motorizado.

Ilustración 51: tránsito motorizado Huacarpay – Vicho

Categoría	Valor
Año del año	2023
A Vehículos ligeros	16232.00
B Bus 2E	1251.00
B-2 Bus grande 2E	48.00
B-3 Bus 3E	3.00
C-2 Camión 2E	2828.00
C-3 Camión 3E	1367.00
C-4 Camión 4E	198.00
CF Camión Frontal	57.00
TS Camión Asociado	269.00
<b>TOTA Total</b>	<b>22053.00</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 7.1.4 Ingreso de datos a estándares de trabajo

Dentro de este espacio se desarrollará los estándares de mantenimiento, de estándares de mejora y otros que poseerá la vía en evaluación.



Para la presente investigación se consideró estándares de conservación, para crear los estándares de conservación, se selecciona la etiqueta “estándares de conservación” y pulsar “Nuevo”. Se pone el nombre de la conservación y se elige las acciones a realizar.

Pero antes se define la red de carretera que se usara para nuestro caso se desarrolló de tres tiempos desde la construcción ultimo datos obtenidos y datos actuales los cuales se refleja en los datos ingresados.

Ilustración 52: Creación de la red de carretera

ID	Descripción	Última modificación	Clase de sup.	Tipo de pavimento	Juego de
TC16	TRAMO CALIBRADO 2015	02/02/2024	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	CALIBRACION
TRCL23	TRAMO CALIBRADO 2023	02/02/2024	Asfáltica	Tratamiento superficial sobre pav.	CALIBRACION
TSC	TRAMO SIN CALIBRAR	02/02/2024	Asfáltica	Tratamiento superficial sobre pav.	CALIBRACION

Fuente: Elaboración propia

Al hacer clic en “Nueva acción” se llena los datos requeridos y se elige la actividad a ejecutar.

Ilustración 53: Elección de acciones

Estándar de conservación: ALTA

General [Aceptar]

Acción [Aceptar] [Cancelar]

Nombre:

Código:

Clase de sup.: Asfáltica

Elemento: Calzada

Actividad: Sellado de grietas

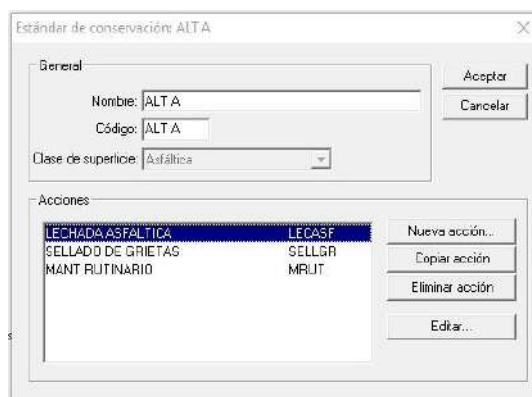
Tipo de operación:

- Sellado de grietas
- Sobrecarpeta con sellado alulado
- Sobrecarpeta de mezcla densa
- Sobrecarpeta de mezcla delgada

Fuente: Elaboración propia

Se continúa llenando los datos requeridos de diseño intervención costos y efectos.

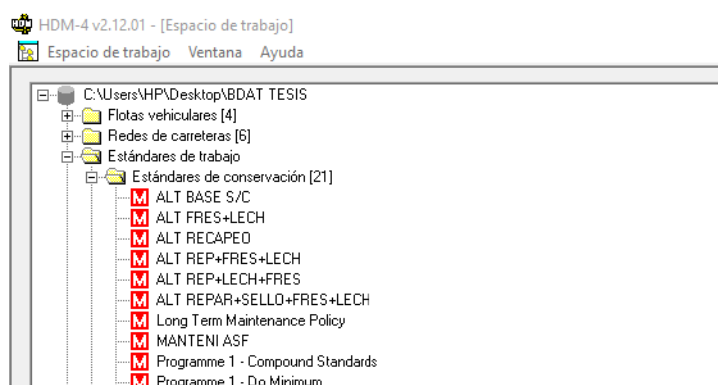
Ilustración 54: Diseño de acción



Fuente: Elaboración propia

Se continúa creando los estándares de mejora y conservación para nuestro tramo en estudios para lo cual se genera alternativas para poder conjugar y tomar decisión de conservación más económica a largo plazo.

Ilustración 55: Estándares de conservación



Fuente: Elaboración propia

De consecuente se completará los costos de los trabajos de mantenimiento según mercado, los cuales se encuentran detallados en los **anexos** de la presente investigación, y de los cuales se podrán sacar un informe económico de las acciones que se realizaran los cuales se tomaron de bases del ministerio de transporte y comunicaciones y de entidades ejecutantes de conservación de vías como son los consorcios Valle Sagrado y otros.

### Ilustración 56: Costos unitarios por trabajo de conservación

Trabajos - Unidad monetaria, costos unitarios y consumo de energía por omisión

Operación	Costo económico	Costo financiero	Unidades	Techo presupuestal
M Sellado de grietas	2.85	3.36	por m <sup>2</sup>	Recurrente
M Reparaciones	28.32	33.42	por m <sup>2</sup>	Recurrente
M Reparación de bordes	28.32	33.42	por m <sup>2</sup>	Recurrente
M Riego de impregnación	0.00	0.00	por m <sup>2</sup>	Recurrente
M Drenaje	0.00	0.00	por km	Recurrente
M Mortero asfáltico	3.35	3.95	por m <sup>2</sup>	Inversión
M Rejuvenecimiento	0.00	0.00	por m <sup>2</sup>	Recurrente
M Sobrecarpeta delgada	0.00	0.00	por m <sup>2</sup>	Inversión

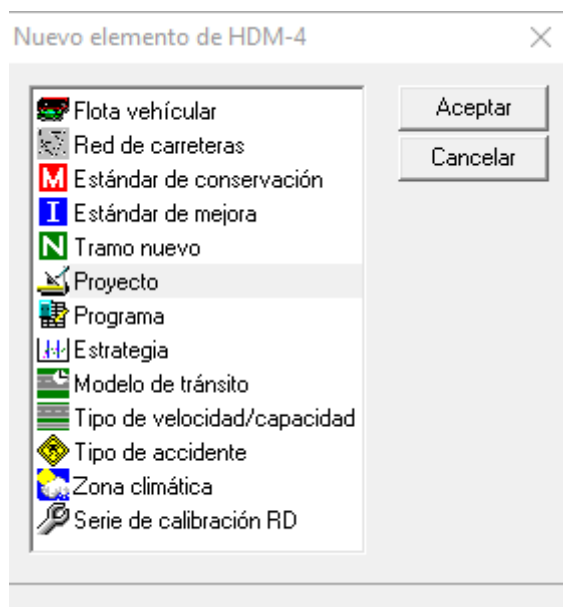
Unidad monetaria: US Dollar    Aceptar    Cancelar    Energía >>

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realiza la creación de nuevo proyecto la cual se estipula de la siguiente manera:

- a) Se crea un nuevo proyecto ingresando a la opción de Nuevo

### Ilustración 57: Creación de nuevo proyecto



Fuente: Elaboración propia

- b) Se crea el proyecto de acuerdo a los parámetros de red y flota vehicular anteriormente cargados.

Ilustración 58: Nombrando el nuevo proyecto

Fuente: Elaboración propia

- c) Se define año de inicio y duración para el proyecto y se realiza la calibración correspondiente de acuerdo a datos recopilados anteriormente y de campo para poder adaptar el modelo a estándares reales de clima, estado del pavimento y estado de serviciabilidad del tramo en estudio.

Ilustración 59: Espacio de trabajo del nuevo proyecto creado

Fuente: Elaboración propia

## 7.2 Calibración de modelo de predicción de deterioro

Una vez ingresados los datos para la generación del modelo, se procede a realizar la calibración de los modelos tomando en cuenta los datos obtenidos en campo el año 2023 y datos recopilados desde la puesta en uso de la vía Huacarpay – Vicho que es desde el año 2007 donde

se aplicó la acción de uso de la vía en estudio según datos obtenidos de la entidad Plan COPESCO la cual fue la entidad ejecutora.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de intervenciones que se realizó en el tramo de estudio recopilados de años anteriores para identificar el plan para la calibración correcta:

Tabla 69: Tabla resumen de intervenciones a lo largo de los años desde su habilitación hasta el año de estudio

AÑO	DESCRIPCION
2010	MANTENIMIENTO RUTINARIO, antes de la Conservación Periódica
2010-2015	MANTENIMIENTO PERIODICO
2011	MANTENIMIENTO RUTINARIO, después de la Conservación Periódica
2012	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2013	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2014	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2015	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2016	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2017	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2018	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2019	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2020	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2021	MANTENIMIENTO RUTINARIO
2022	MANTENIMIENTO RUTINARIO

Fuente: Provias nacional y descentralizado

Se observa en la tabla anterior que de acuerdo a datos de inventario vial completo obtenidos se dividira en dos partes para la correcta calibración de coeficientes en el programa que contara de dos periodos los cuales son: primer periodo (2008 hasta el 2015) y segundo periodo (2016 hasta el 2023) las cuales se corroborara su tendencia en comportamiento de la via de acuerdo al programa y comparando con datos obtenidos y ajustar a los datos reales.

- a) En consecuente se presenta los coeficientes ajustados de acuerdo a prametros obtenidos para el primer periodo de calibración:

Ilustración 60: Coeficientes de calibración primaria

Serie de calibración RD: TRAMO HUACARPAY -VICHO 1

Nombre: TRAMO HUACARPAY -VICHO 1

Asfáltico | Concreto | No pavimentada |

Biblioteca del modelo (DLL): HDM-4 Default DLL

Juego de calibración RD	Kcia	Kcpa	Kciw	Kcpw	Kct	Kcpt	Kvi	Kvp	Kpic	Kpir	Kpp	Kab	Kid	Ksc	Kscs	Kid	Krst	Kpd	Kdrain
CALIBRACIÓN 1	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	1.50	1.00	0.01	0.80	0.70	1.00	1.00	1.00	1.30	0.00	1.

Fuente: Elaboración propia

### Ilustración 61: Coeficientes de calibración secundaria

Juego de calibración RD	Kapd	Kdlnn	Kurpk	Krww	Knds	Kl	Kgn	Kgs	Kgo	Kgr	Kgp	Vehículos que utilizan llantas con sillaneros [R]	¿Se utiliza así en la carretera?	Kddi	Número de acostalamientos	ESTEP (mm)	Tipo de conl T/M
CALIBRACIÓN 1	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.00	1.00	2	1000	Asfáltica

Fuente: Elaboración propia

A continuación se observa el cuadro de comportamiento de fallas, IRI y ahuellamiento o roderas en el pavimento.

Tabla 70: Cuadro resumen de fallas en tendencia calibrado para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015)

**HDM - 4**  
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

### Resumen de la condición del pavimento

Nombre del estudio: CALIBRACION TRAMO HUACARPAY VICHO

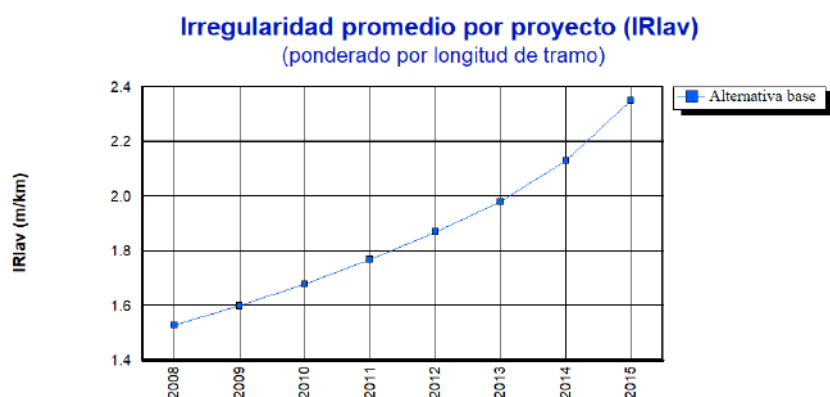
Fecha de ejecución: 10-04-2024

Tramo:		TRAMO HUACARPAY-VICHO														
Alternativa:		Alternativa base														
Sensibilidad:		No se realizó análisis de sensibilidad														
Tipo de superficie:		Asfáltica														
Longitud:		10.00 km														
		Tipo de carretera: Primary or Trunk														
		Ancho: 9.00 m														
		Valor promedio anual														
Año	TDP/ TM	ESAL millones/ELANE	IRI ant m/kr	IRI prom. m/kr	Agriet estruct total %	Despren dimiento: %	Rotura de borde m2	Prof. d roderas mm	No. de baches	No. estruct	Espeso de grava mm	Escalon prom. mm	Junta deteriorada %	No. de fallas por kr	Losas agrietada: %	Grieta del No/kr
2008	12,751	0.38	1.56	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.44						
2009	13,372	0.39	1.64	1.60	0.00	0.00	0.00	0.35	1.01	3.44						
2010	14,024	0.40	1.73	1.68	0.00	0.00	0.00	0.69	1.01	3.44						
2011	14,707	0.42	1.82	1.77	0.00	0.00	0.00	1.04	1.01	3.44						
2012	15,424	0.43	1.92	1.87	0.97	0.00	0.00	1.39	1.02	3.44						
2013	16,177	0.45	2.04	1.98	5.73	1.10	0.00	1.75	1.02	3.43						
2014	16,966	0.47	2.22	2.13	17.18	1.54	0.00	2.11	1.03	3.41						
2015	17,794	0.48	2.47	2.35	38.14	1.31	0.00	2.48	1.03	3.34						

Fuente: Elaboración propia

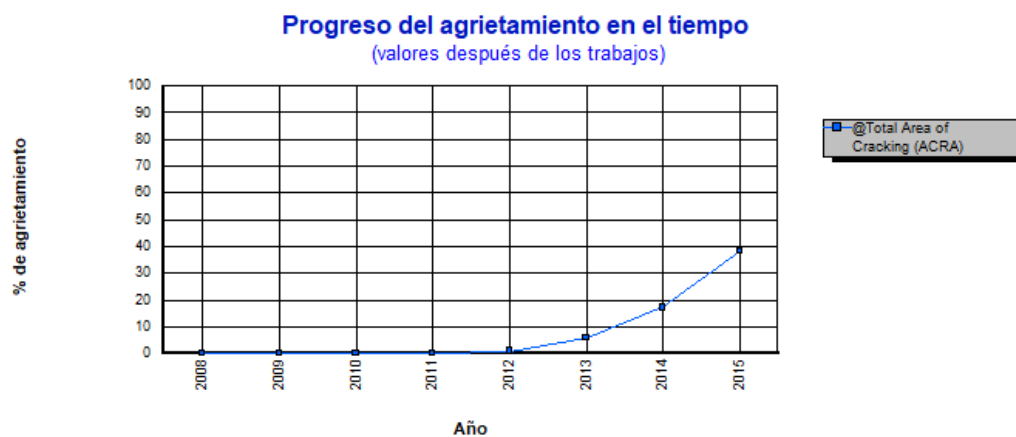
Seguido de este cuadro de fallas y de deterioro de la vía se presenta el avance de estas en graficos a lo largo del tiempo y además de la tendencia de tráfico referida.

Ilustración 62: Progreso del IRI en vía Huacarpay – Vicho para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015)



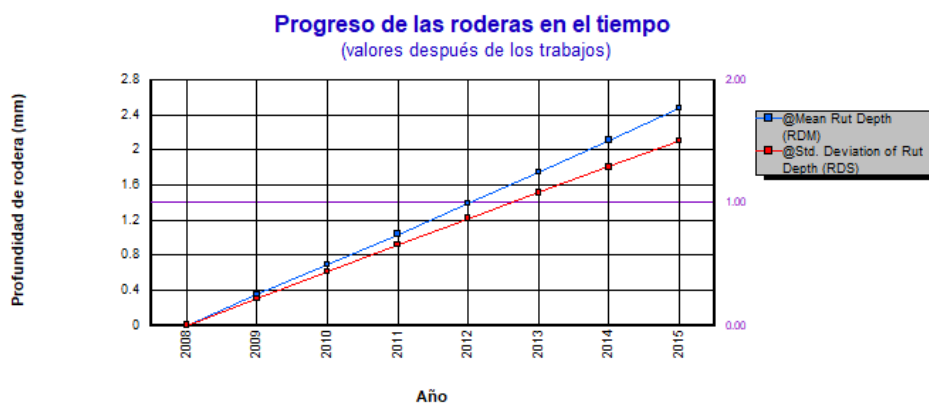
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 63: Progreso del agrietamiento en vía Huacarpay – Vicho para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015)



Fuente: Elaboración propia

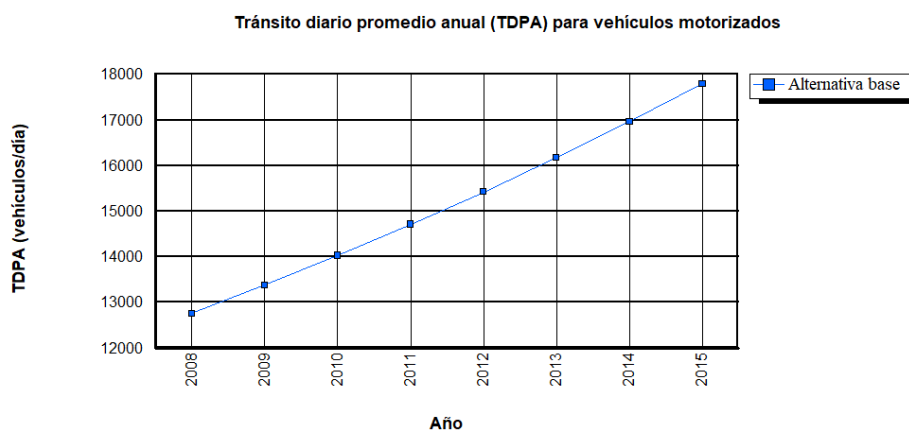
Ilustración 64: Progreso del ahuellamiento o roderas en vía Huacarpay – Vicho para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015)



Fuente: Elaboración propia

Se presenta además el progreso del tránsito a lo largo del periodo de calibración para este primer caso.

Ilustración 65: Progreso del tránsito promedio TDPA en vía Huacarpay – Vicho para el primer periodo de calibración (2008 hasta el 2015)



Fuente: Elaboración propia

- b) A continuación se presenta los coeficientes ajustados de acuerdo a prametros obtenidos para el segundo periodo de calibración:



### Ilustración 66: Coeficientes de calibración primaria

Juego de calibración RD	Tipo de pavimento	Material superficial	CDS	CDB	CRT	RRF	Kcia	Kcpa	Kciw	Kcpw	Kcit	Kcpt	Kvi	Kvp	Kpic
CALIBRACION 1	Tratamiento superficial sobre pav	Riego de sello	1.00	0.00	0.00	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	1.50
CALIBRACION 2	Tratamiento superficial sobre pav	Riego de sello	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.80	1.00	0.80	0.50	0.50	1.60	1.00	0.50

Fuente: Elaboración propia

### Ilustración 67: Coeficientes de calibración secundaria

Juego de calibración RD	Kipd	Kdian	Kempk	Kiwe	Kide	Ki	Kgm	Kge	Kgc	Kgr	Kgo	Vehiculos que utilizan llantas con aditivos (S)	¿Se utiliza sal en la carretera?	Kddi	Número de acostamientos	ESTEP (mm)	Tipo de camión
CALIBRACION 1	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.00	SI	1.00	2	10.00	Adiflica
CALIBRACION 2	0.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.09	1.00	1.00	1.00	1.20	0.00	SI	1.00	2	10.00	Adiflica

Fuente: Elaboración propia

A continuación se observa el cuadro de comportamiento de fallas, IRI y ahuellamiento o roderas en el pavimento los caules se corrobora los datos obtenidos en campo de IRI de 4.04, agrietamiento total de 60% y ahuellamiento de  $4.4\text{mm} \times 10^{-2}$ .

Tabla 71: Cuadro resumen de fallas en tendencia calibrado para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023)



### Resumen de la condición del pavimento

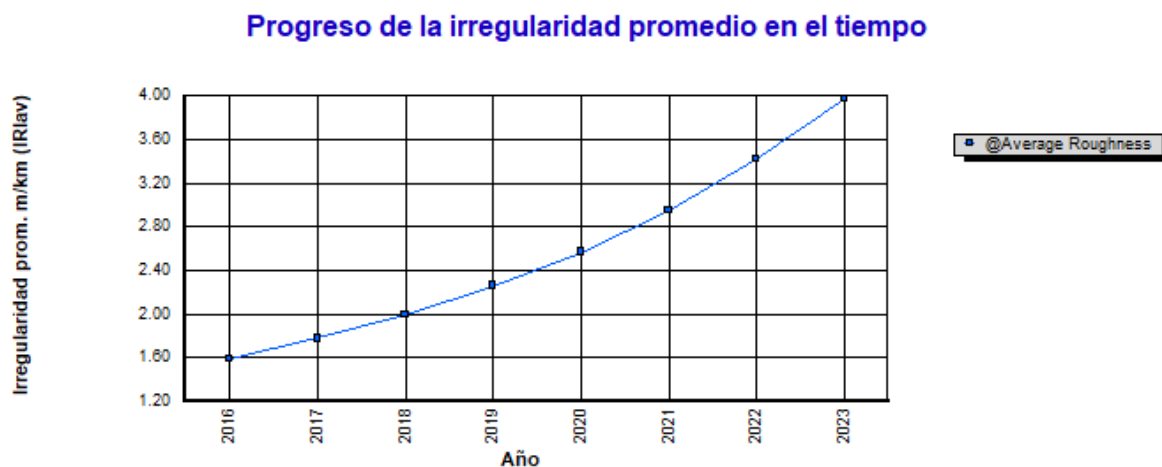
Nombre del estudio: CALIBRACION 2015  
 Fecha de ejecución: 10-04-2024

<b>Tramo:</b> TRAMO CALIBRADO 2015		<b>Tipo de carretera: Primary or Trunk</b>														
<b>Alternativa:</b> ALT A		<b>Ancho: 9.00 m</b>														
<b>Sensibilidad:</b> Base Sensitivity Scenario																
<b>Tipo de superficie:</b> Asfáltica																
<b>Longitud:</b> 10.00 km																
		Valor promedio anual														
Año	TDP/ TM	ESAL millonera/ELANE	IRI ant. m/km	IRI prom. m/km	Agriet estruct total %	Desprendimiento %	Rotura de borde m2	Prof. de roderas mm	No. de baches	No. de estructuras	Espesor de grave mm	Escalon prom. mm	Juntas deterioradas %	No. de fallas por km	Losses agrietadas %	Grietas detectadas No/km
2016	17,284	0.45	1.68	1.50	2.93	0.00	0.00	1.39	0.00	3.16						
2017	18,129	0.46	1.88	1.78	6.16	0.00	0.00	5.77	0.00	3.17						
2018	19,015	0.48	2.12	2.00	10.92	0.00	0.00	9.17	0.00	3.18						
2019	19,945	0.50	2.40	2.26	17.42	0.00	0.00	13.57	0.00	3.18						
2020	20,921	0.52	2.74	2.57	25.87	1.10	0.00	17.98	0.00	3.19						
2021	21,944	0.53	3.16	2.95	26.48	1.62	0.00	21.41	0.95	3.22						
2022	22,018	0.55	3.68	3.42	27.43	2.25	0.00	23.86	2.36	3.22						
2023	22,343	0.57	4.08	3.97	27.85	3.49	0.00	26.54	4.36	3.23						

Fuente: Elaboración propia

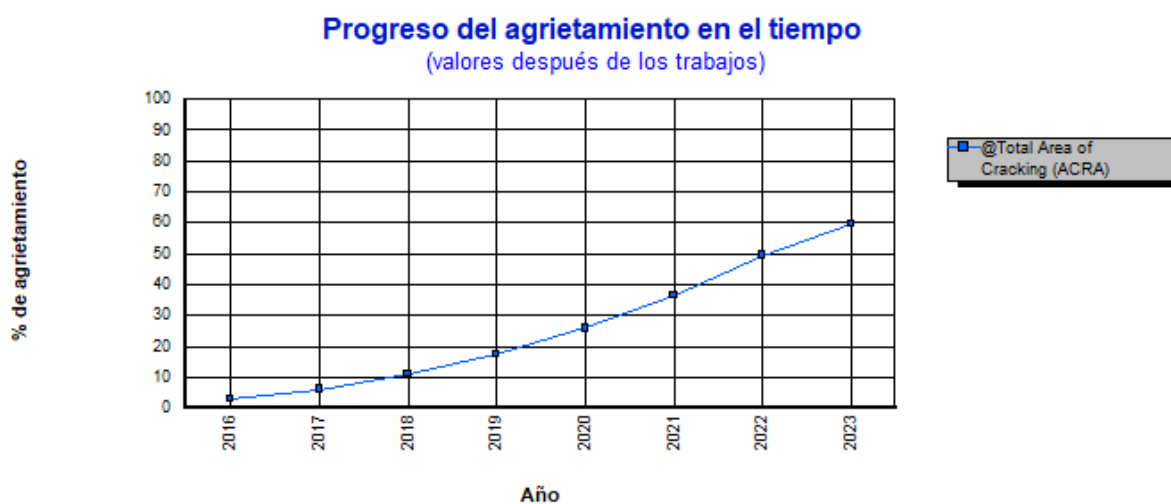
Seguido de este cuadro de fallas y de deterioro de la via se presenta el avance de estas en graficos a lo largo del tiempo y ademas de la tendencia de trafico referida.

Ilustración 68: Progreso del IRI en vía Huacarpay – Vicho para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023)



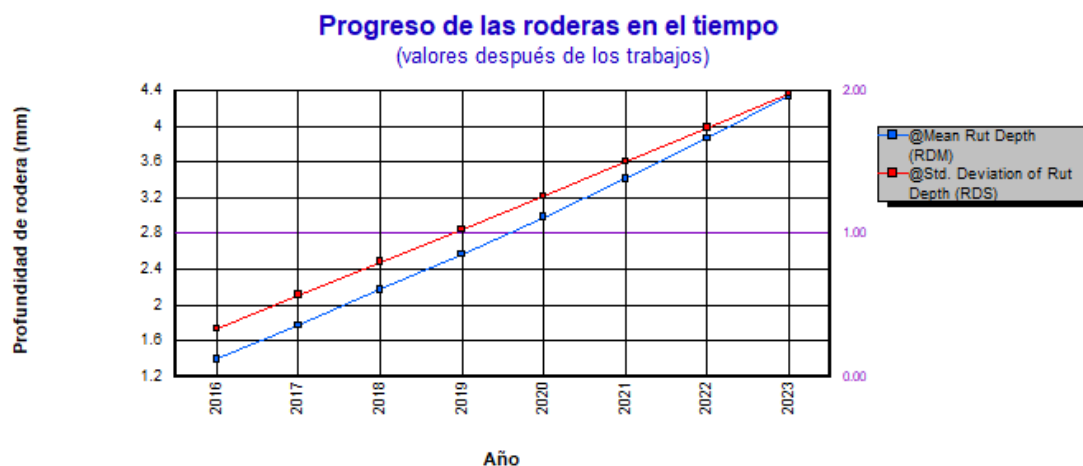
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 69: Progreso del agrietamiento en vía Huacarpay – Vicho para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023)



Fuente: Elaboración propia

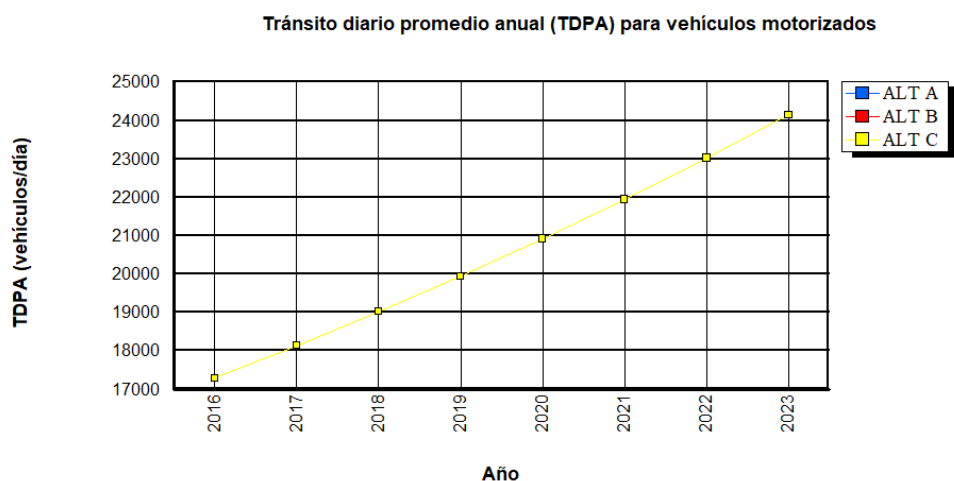
Ilustración 70: Progreso del ahuellamiento o roderas en vía Huacarpay – Vicho para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023)



Fuente: Elaboración propia

Se presenta además el progreso del tránsito a lo largo del periodo de calibración para este segundo caso.

Ilustración 71: Progreso del tránsito promedio TDPA en vía Huacarpay – Vicho para el segundo periodo de calibración (2016 hasta el 2023)



Fuente: Elaboración propia

### 7.3 Predicción del deterioro de la vía Huacarpay – Vicho

Para el análisis del comportamiento del deterioro del pavimento de la vía Huacarpay – Vicho se procedió a moldear su comportamiento para un periodo de 20 años y así establecer las actividades de conservación más adecuadas desde el punto de vista técnico – económico. Para

lo cual se dio 3 alternativas de conservación, estas están en función a las fallas encontradas en el tramo de estudio las cuales son fallas de agrietamiento longitudinal, transversal y piel de cocodrilo además de baches de dimensiones varias, rotura de borde y ahuellamientos pronunciados en tramos especificados en el capítulo 4; en consecuencia, según manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial del ministerio de transporte y comunicaciones los cuales regulan y dan parámetros para poder intervenir las vías, las cuales e precisa de la siguiente manera:

Las soluciones planteadas para las fallas encontradas son las siguientes:

- Grietas longitudinales y transversales

#### Ilustración 72 Tratamiento de sellado grietas según MTC

El Sellado de Fisuras y Grietas es eficaz para tratar los siguientes tipos de ellas:

- Áreas con fisuras y/o grietas de fatiga de la estructura del pavimento, caracterizadas por presentar una serie de ellas casi sin conexión entre sí y que no presenten evidencias de afloramiento de agua y/o finos. Cuando el agrietamiento es más severo, la reparación se debe realizar según la [sección 415](#) Parchado Profundo, del presente Manual.
- Fisuras y/o grietas de borde, que se identifican por su forma semicircular y porque se localizan hasta unos 30 cm. del borde del pavimento. Es conveniente sellarlas cuando presentan pérdidas de material en menos de un 10% de su longitud. En todo caso debe tenerse en cuenta que, normalmente, se originan por falta del confinamiento lateral que debe proporcionar la berma, de manera que la solución definitiva se encuentra en reparar las bermas, sin perjuicio de lo cual, cuando el agrietamiento es más severo la reparación debe realizarse según la [sección 415](#) Parchado Profundo, del presente Manual.
- Fisuras y/o grietas de contracción que forman una serie de bloques grandes y generalmente con esquinas o ángulos agudos de entre 0,1 m y 10 m, cuyo origen está en diferenciales térmicos o en cambios volumétricos en la mezcla asfáltica, en la base o en la subrasante, en mezclas muy rígidas. Se deben sellar cualquiera sea su ancho.

Fuente: Manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial del ministerio de transporte y comunicaciones

- Piel de cocodrilo

## Ilustración 73 Tratamiento de reparación de baches o sellado con mezcla en caliente según MTC

- Deterioros o Fallas Estructurales**
- a) Deterioro / falla 1: Piel de cocodrilo**
- **Descripción**  
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 tamaño de la malla disminuye luego bajo el efecto de las condiciones climáticas y del tráfico. Las fisuras se abren y se observan pérdidas de material en sus bordes.
  - **Causas**  
El deterioro/falla es consecuencia del fenómeno de fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible. Es indicativo de insuficiencia estructural del pavimento. Esta falla comienza en la parte inferior de las capas asfálticas. La fisuración se propaga a la superficie.
  - **Niveles de Gravedad**  
El criterio principal es el orden de magnitud de la malla.
    - 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

El nivel 1 corresponde a la aparición de la red en la superficie. Las fisuras no tienen generalmente un ancho significativo. Se abren en los niveles 2 y 3.
  - **Posibles Medidas correctivas**  
Según la gravedad de la piel de cocodrilo y su extensión, así como de otros elementos de diagnóstico (deformaciones, deflexión y rugosidad), se consideran:
    - ✓ Ninguna medida
    - ✓ Reparaciones por sello o carpeta asfáltica con mezcla en caliente
    - ✓ Sello o carpeta asfáltica
    - ✓ Rehabilitación o reconstrucción.

Fuente: Manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial del ministerio de transporte y comunicaciones

- Ahuellamiento

## Ilustración 74 Tratamiento de fresado con reposición según MTC

---

**d) Deterioro / falla 4: Ahuellamiento**

- **Descripción**  
Las deformaciones propias de los pavimentos flexibles se caracterizan, en la casi totalidad de los casos, por:
  1. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas (deterioro 3a) o localizadas (deterioro 3b)
  2. El ahuellamiento (deterioro 4) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

En todos los casos, su gravedad es anotada por la profundidad medida sobre una regla rígida de 1.50 m de longitud colocada transversalmente en la calzada. El presente rubro se refiere a las deformaciones por comportamiento visco-elástico de la capa de rodadura (deterioro 4). La huella aparece en el trazado de las ruedas, en un ancho inferior a 0.8 m, sobre los laterales del pavimento de 0.5 a 0.8 m del borde, debido a un comportamiento visco-elástico de las de la capa de rodadura bajo un tráfico pesado y canalizado.
- **Causas**  
Esta puede provenir de las siguientes causas probables:
  - ✓ 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
  - ✓ Inadecuación n entre la gradación de los agregados y la clase de tránsito
- **Niveles de Gravedad**
  - 1: Profundidad  $\leq 6$  mm
  - 2: Profundidad  $>6$  mm y  $\leq 12$  mm
  - 3: Profundidad  $> 12$  mm
- **Posibles Medidas correctivas**  
Según la gravedad de las deformaciones y su extensión, así como otros elementos de diagnóstico (deflexión y rugosidad), se consideran
  - ✓ Ninguna medida
  - ✓ Reparaciones con mezcla en caliente
  - ✓ Carpeta asfáltica
  - ✓ Fresado y carpeta asfáltica
  - ✓ Rehabilitación o reconstrucción parcial o total (incluyendo el drenaje si fuera necesario).

Fuente: Manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial del ministerio de transporte y comunicaciones

- Baches o Huecos

## Ilustración 75 Tratamiento de recapeo o reposición de carpeta asfáltica según MTC

**b) Deterioro / falla 7: Baches (Huecos)**

- **Descripción**  
Los baches o huecos son consecuencia normalmente del desgaste o de la destrucción de la capa de rodadura. Cuando aparecen, su tamaño es pequeño. Por falta de mantenimiento ellos aumentan y se reproducen en cadena, muchas veces con una distancia igual al perímetro de una rueda de camión.
- **Causas**  
Esta falla proviene de la evolución de otros deterioros y carencia de conservación vial:
  - ✓ Desprendimiento
  - ✓ Fisuración de fatiga.
- **Niveles de Gravedad**
  - 1: Diámetro < 0.2 m
  - 2: Diámetro entre 0.2 y 0.5 m
  - 3: Diámetro > 0.5 m.
- **Posibles Medidas correctivas**  
Según la gravedad de los baches o huecos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros deterioros o fallas
  - ✓ Ninguna medida.
  - ✓ Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente.
  - ✓ Rehabilitación o reconstrucción.

Fuente: Manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial del ministerio de transporte y comunicaciones

De las anteriores propuestas de solución dadas por el Ministerio de transportes y comunicaciones se concluye en elegir alrededor de 3 propuestas de solución las cuales se detallarán en los siguientes cuadros.

## Ilustración 76: Cuadro de rugosidad inicial según MTC para poder comparar estándares

**Cuadro 12.21**  
**Rugosidad Inicial IRI m/km**  
**Según Tipo de Carretera con Carpeta Asfáltica en Caliente**

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 Confabilidad 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 Confabilidad 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 Confabilidad 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 Confabilidad 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 Confabilidad 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 Confabilidad de 85%

Fuente: Ministerio de transporte y comunicaciones



De acuerdo a las fallas encontradas en el tramo de estudio por ende se realizó el sondaje y se propuso tres alternativas para poder consecuentemente compararlos en las predicciones del programa HDM4 según estudio referido, a continuación, se presenta 3 alternativas de conservación los cuales se desglosan de acuerdo a especificaciones del cuadro y luego procesadas en el software:

Tabla 72: Cuadro resumen de alternativas de conservación

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	ESTANDARES DE CONSERVACIÓN
Alternativa A	Mantenimientos Rutinarios + Estándar de Mejoramiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimientos Rutinarios cada año.</li> <li>- Reconstrucción de la vía para un IRI <math>\geq 10</math> m/Km.</li> </ul>
Alternativa B	Refuerzo de Concreto Asfáltico e = 5 cm + Mantenimientos Rutinarios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervención para un IRI <math>\geq 7</math> m/Km y Mantenimientos Rutinarios cada año.</li> <li>- Parámetros después de la intervención: IRI =3.0 m/Km y Ahuellamiento = 10 mm.</li> </ul>
Alternativa C	Reparación de Baches + Fresado con Reposición + Sellado de Grietas Transversales + Sellado de Grietas Longitudinales + Lechada Asfáltica e=1.5 cm + Mantenimientos Rutinarios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervención para un IRI <math>\geq 5</math> m/Km, Ahuellamiento promedio <math>\geq 40</math> mm, número de baches por Km <math>\geq 10</math> y Mantenimientos Rutinarios cada año.</li> <li>- Parámetros después de la intervención: IRI =3.5 m/Km y Ahuellamiento = 10 mm.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Alternativa A: Mantenimientos Rutinarios + Estándar de Mejoramiento

Alternativa B: Refuerzo de Concreto Asfáltico e = 5 cm + Mantenimientos Rutinarios.

Alternativa C: Reparaciones+fresado con reemplazo sellado de grietas+lechada asfáltica + Mantenimientos Rutinarios

A continuación, se presenta el comportamiento del deterioro del pavimento para cada tipo de alternativa de conservación propuesta en un periodo de 15 años

Alternativa A: Mantenimientos Rutinarios + Estándar de Mejoramiento



Tabla 73: Cuadro resumen de condición de pavimento según alternativa A

# HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Resumen de la condición del pavimento

Nombre del estudio: PROYECCION 2023 MEJORADO

Fecha de ejecución: 10-04-2024

Tramo:		TRAMO CALIBRADO 2023														
Alternativa:		ALT A														
Sensibilidad:		Base Sensitivity Scenario														
Tipo de superficie:		Asfáltica				Tipo de carretera: Primary or Trunk										
Longitud:		10.00 km				Ancho: 9.00 m										
					Valor promedio anual											
Año	TDP/ TM	ESAL millone /ELANE	IRI ant. m/km	IRI prom. m/km	Agriet estruct total %	Despren dimiento %	Rotura de borde m2	Prof. de roderas mm	No. de baches	No. estruct	Espesor de grave mm	Escalon prom. mm	Junta: deteriorada: %	No. de fallas por km	Losas agrietada: %	Grieta det No/km
2024	23,127	0.67	4.36	4.20	56.61	5.53	6.00	28.67	2.00	2.64						
2025	24,254	0.70	4.84	4.60	79.68	6.91	6.00	29.15	3.43	2.39						
2026	25,437	0.72	5.34	5.09	92.71	7.22	6.00	29.68	6.31	2.31						
2027	26,677	0.75	5.82	5.58	98.50	1.42	6.00	30.25	10.03	2.29						
2028	27,978	0.78	6.31	6.07	99.92	0.00	6.00	30.83	14.17	2.29						
2029	29,344	0.81	6.83	6.57	99.91	0.00	6.00	31.41	18.59	2.29						
2030	30,776	0.84	7.37	7.10	99.91	0.00	6.00	31.99	23.23	2.29						
2031	32,279	0.87	7.95	7.66	99.90	0.00	6.00	32.58	28.11	2.29						
2032	33,855	0.90	8.57	8.26	99.90	0.00	6.00	33.17	33.24	2.29						
2033	35,509	0.93	9.23	8.90	99.89	0.00	6.00	33.76	38.63	2.29						
2034	37,245	0.96	9.93	9.58	99.88	0.00	6.00	34.36	44.30	2.29						
2035	39,065	1.00	10.67	10.30	99.88	0.00	6.00	34.96	50.26	2.29						
2036	40,976	1.04	10.67	10.30	99.88	0.00	6.00	34.96	50.26	2.29						
2037	42,980	1.07	10.67	10.30	49.94	0.00	3.00	17.48	25.13	2.91						
2038	45,083	1.11	3.06	2.78	0.00	0.00	0.00	6.13	0.00	3.54						
2039	47,290	1.16	3.26	3.16	0.50	0.00	0.00	6.57	0.00	3.54						

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 77: Evolución del porcentaje de agrietamiento

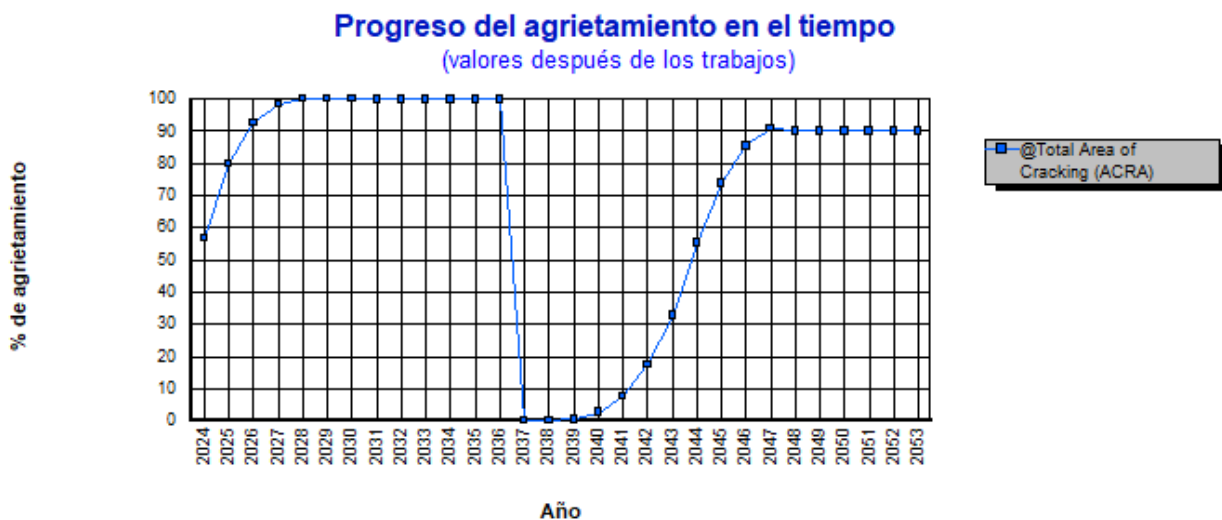


Ilustración 78: evolución de la rugosidad de pavimento (IRI)

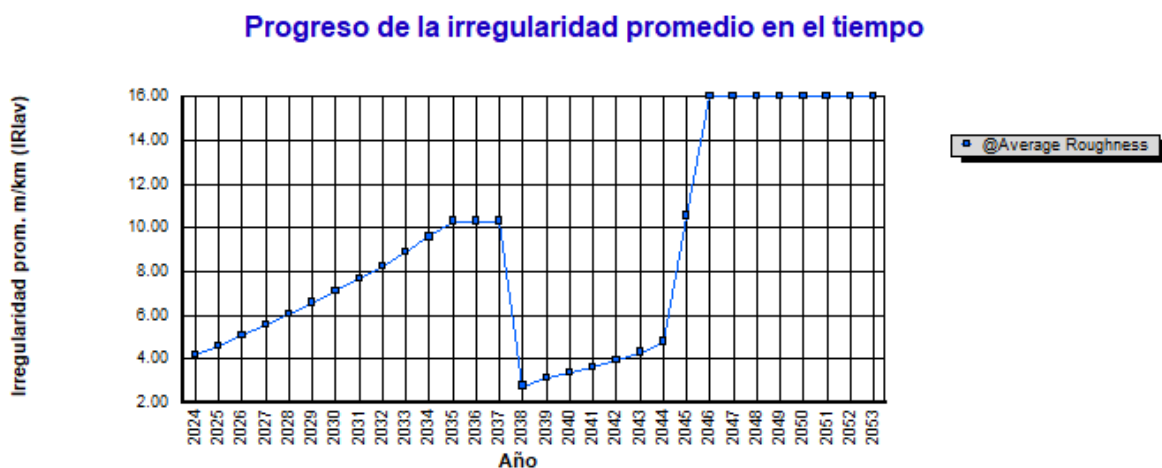


Ilustración 79: Evolución del ahuellamiento en el pavimento

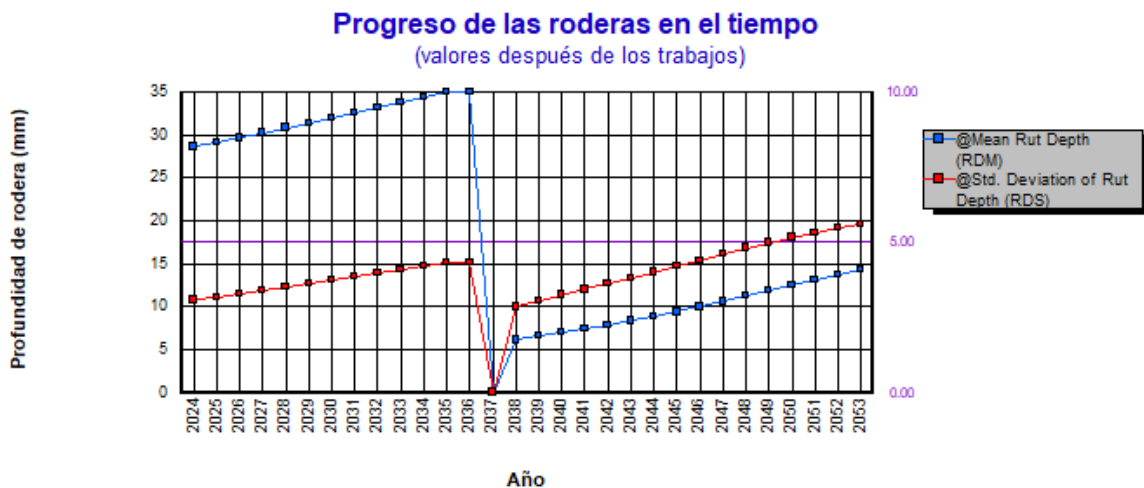
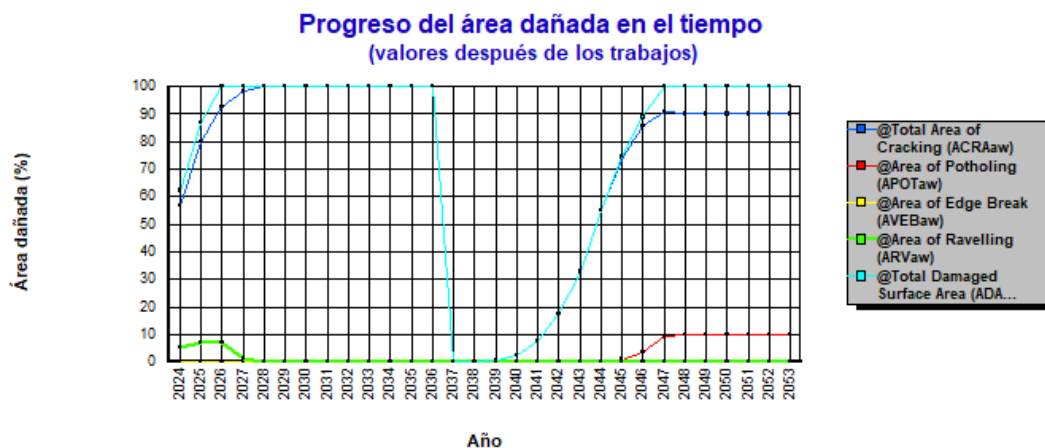


Ilustración 80: porcentaje total de área dañada



Fuente: Elaboración propia

Alternativa B: refuerzo de concreto asfáltico e = 5 cm + Mantenimientos Rutinarios

Tabla 74: Cuadro resumen de condición de pavimento según alternativa B

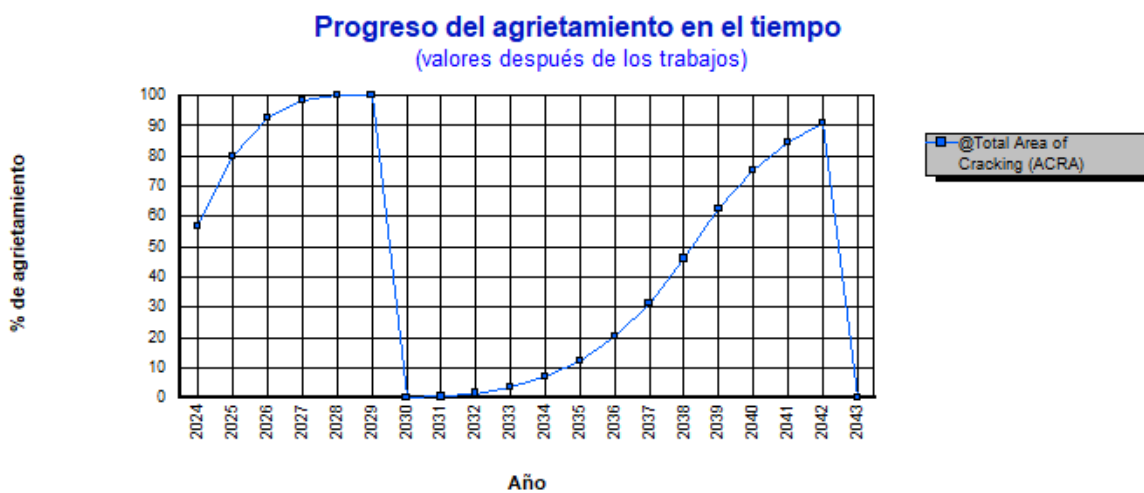
H D M - 4 Resumen de la condición del pavimento

10

Tramo:		TRAMO CALIBRADO 2023														
Alternativa:		ALT B														
Sensibilidad:		Base Sensitivity Scenario														
Tipo de superficie:		Asfáltica														
Longitud:		10.00 km														
		Tipo de carretera: Primary or Trunk														
		Ancho: 9.00 m														
					Valor promedio anual											
Año	TDP / TM	ESAL millone: /ELANE	IRI ant. m/km	IRI prom. m/km	Agriet estruct total %	Despren dimiento: %	Rotura de borde m2	Prof. de roderas mm	No. de baches	No. de estruct	Espeso de gravz m	Escalon prom. mm	Junta deteriorada: %	No. de fallas por km	Losas agrietada: %	Grieta det No/kn
2024	23,127	0.67	4.36	4.20	56.61	5.53	6.00	28.67	2.00	2.64						
2025	24,254	0.70	4.84	4.60	79.68	6.91	6.00	29.15	3.43	2.39						
2026	25,437	0.72	5.34	5.09	92.71	7.22	6.00	29.68	6.31	2.31						
2027	26,677	0.75	5.82	5.58	98.50	1.42	6.00	30.25	10.03	2.29						
2028	27,978	0.78	6.31	6.07	99.92	0.00	6.00	30.83	14.17	2.29						
2029	29,344	0.81	6.83	6.57	99.91	0.00	6.00	31.41	18.59	2.29						
2030	30,776	0.84	7.37	7.10	49.96	0.00	3.00	20.99	11.62	2.76						
2031	32,279	0.87	3.16	3.08	0.50	0.00	0.00	10.41	0.00	3.23						
2032	33,855	0.90	3.34	3.25	1.51	0.00	0.00	10.82	0.00	3.22						
2033	35,509	0.93	3.53	3.43	3.52	0.00	0.00	11.23	0.00	3.22						
2034	37,245	0.96	3.74	3.63	6.97	0.00	0.00	11.64	0.00	3.21						
2035	39,065	1.00	3.97	3.85	12.36	0.00	0.00	12.06	0.00	3.19						
2036	40,976	1.04	4.24	4.10	20.25	1.10	0.00	12.49	0.00	3.16						
2037	42,980	1.07	4.54	4.39	31.23	1.58	0.00	12.93	0.00	3.11						
2038	45,083	1.11	4.89	4.72	45.97	2.01	0.00	13.40	1.25	3.04						
2039	47,290	1.16	5.29	5.09	62.43	2.51	0.00	13.89	3.52	2.95						
2040	49,605	1.20	5.71	5.50	75.07	3.66	0.00	14.42	7.15	2.89						
2041	52,035	1.24	6.14	5.92	84.32	5.68	0.00	14.98	11.84	2.87						
2042	54,584	1.29	6.57	6.36	90.79	8.77	0.00	15.56	17.38	2.85						
2043	57,258	1.33	7.03	6.80	47.53	2.45	0.00	13.08	11.83	3.31						

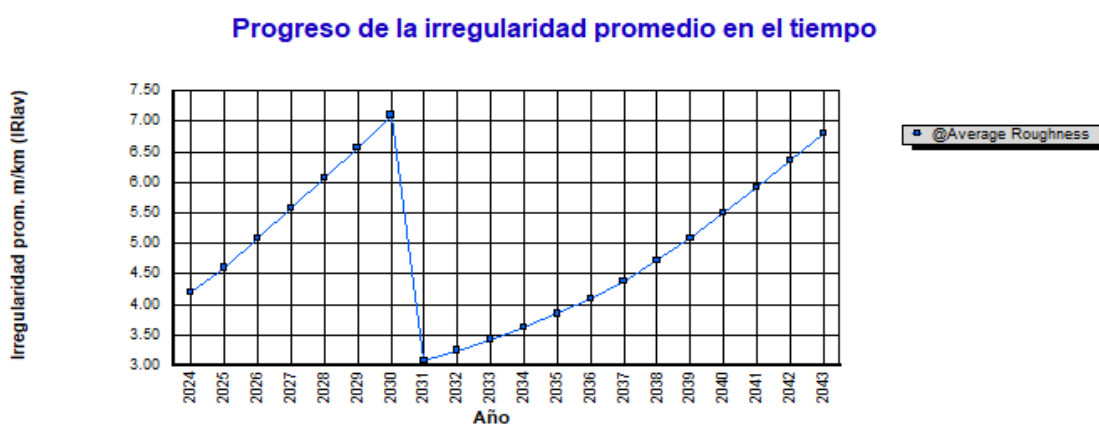
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 81: Evolución del porcentaje de agrietamiento



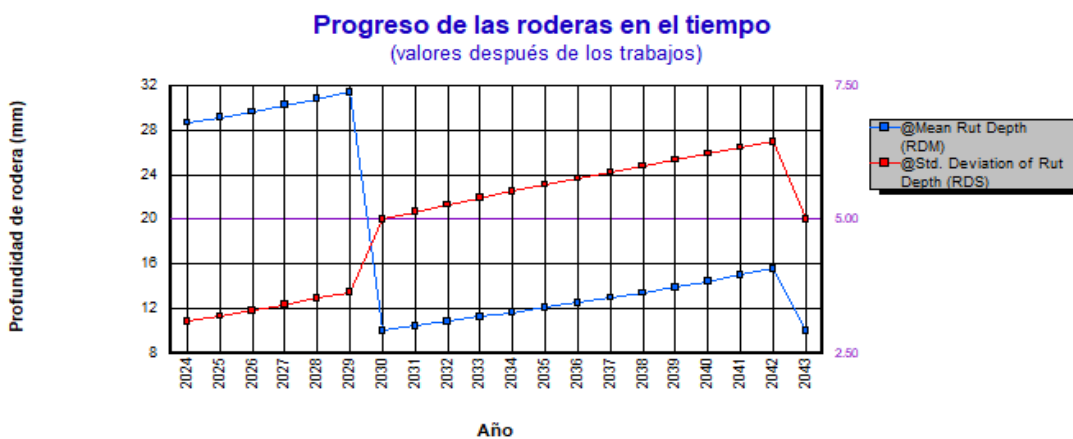
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 82: Evolución de la rugosidad de pavimento (IRI)



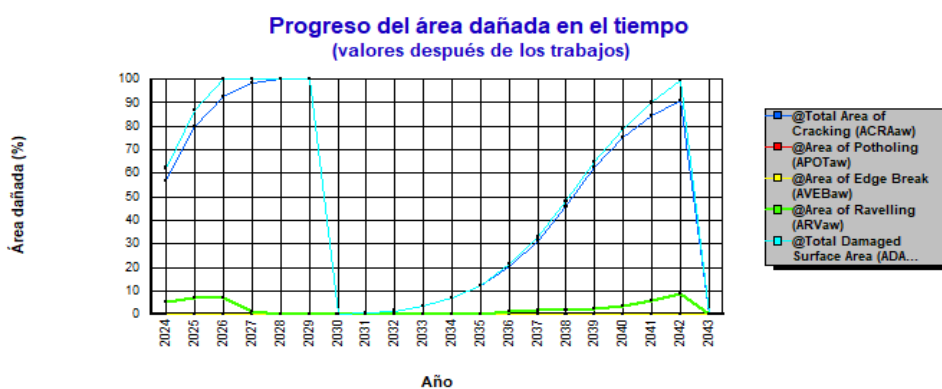
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 83: Evolución del ahuellamiento en el pavimento



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 84: porcentaje total de área dañada



Fuente: Elaboración propia

Alternativa C: Reparaciones+fresado con reemplazo sellado de grietas+lechada asfáltica + Mantenimientos Rutinarios

Tabla 75: Cuadro resumen de condición de pavimento según alternativa C

H D M - 4 Resumen de la condición del pavimento

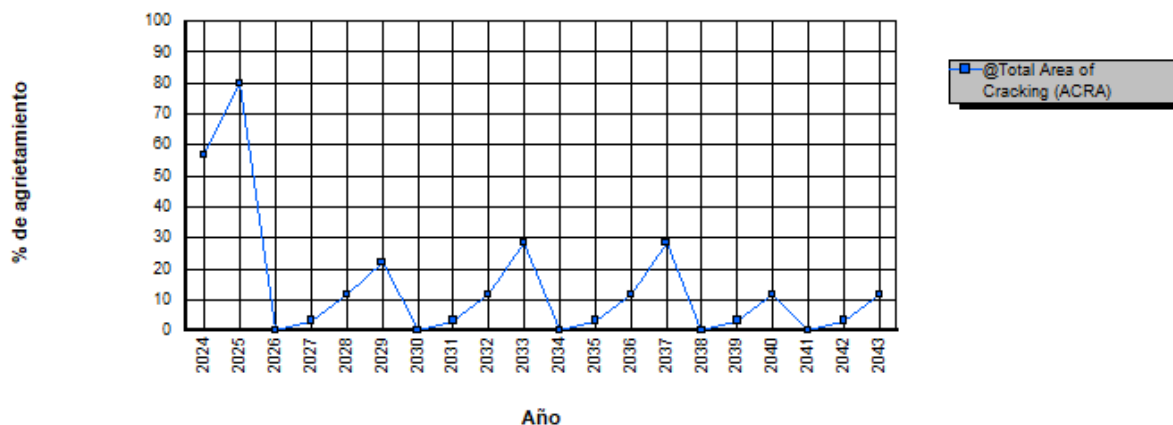
11

Tramo:		TRAMO CALIBRADO 2023														
Alternativa:		ALT C														
Sensibilidad:		Base Sensitivity Scenario														
Tipo de superficie:		Asfáltica														
Longitud:		10.00 km														
		Tipo de carretera: Primary or Trunk														
		Ancho: 9.00 m														
Valor promedio anual																
Año	TDP/ TM	ESAL millon: /ELANE	IRI ant: m/km	IRI prom: m/km	Agriet estruct total %	Despren dimiento: %	Rotura de borde m2	Prof. de roderas mm	No. de baches	No. de estruc	Espe so de grav: m m	Escalon prom. mm	Junta: deteriorada: %	No. de falla: agrietada: por km	Losas agrietada: %	Grieta det No/km
2024	23,127	0.67	4.36	4.20	56.61	5.53	6.00	28.67	2.00	2.64						
2025	24,254	0.70	4.84	4.60	79.68	6.91	6.00	29.15	3.43	2.39						
2026	25,437	0.72	5.34	5.09	46.35	3.61	3.00	19.84	3.16	2.43						
2027	26,677	0.75	3.84	3.67	3.20	0.00	0.00	10.53	0.00	2.53						
2028	27,978	0.78	4.23	4.03	11.65	0.00	0.00	11.06	0.00	2.52						
2029	29,344	0.81	4.70	4.47	25.27	0.00	0.00	11.60	0.00	2.51						
2030	30,776	0.84	5.28	5.00	23.09	0.00	0.00	11.08	0.00	2.55						
2031	32,279	0.87	3.87	3.68	3.20	0.00	0.00	10.52	0.00	2.60						
2032	33,855	0.90	4.29	4.08	11.65	0.00	0.00	11.04	0.00	2.59						
2033	35,509	0.93	4.80	4.55	28.51	0.00	0.00	11.58	0.00	2.57						
2034	37,245	0.96	5.43	5.11	28.02	0.00	0.00	11.07	0.00	2.62						
2035	39,065	1.00	3.90	3.70	3.20	0.00	0.00	10.51	0.00	2.67						
2036	40,976	1.04	4.37	4.14	11.65	0.00	0.00	11.03	0.00	2.66						
2037	42,980	1.07	4.93	4.65	28.51	0.00	0.00	11.56	0.00	2.63						
2038	45,083	1.11	5.60	5.26	28.02	0.00	0.00	11.05	0.00	2.68						
2039	47,290	1.16	3.95	3.72	3.20	0.00	0.00	10.51	0.00	2.74						
2040	49,605	1.20	4.46	4.20	11.65	0.00	0.00	11.02	0.00	2.73						
2041	52,035	1.24	5.07	4.77	14.26	0.00	0.00	10.77	0.00	2.77						
2042	54,584	1.29	3.97	3.74	3.20	0.00	0.00	10.50	0.00	2.81						
2043	57,258	1.33	4.51	4.24	11.65	0.00	0.00	11.00	0.00	2.80						

Fuente: Elaboración propia

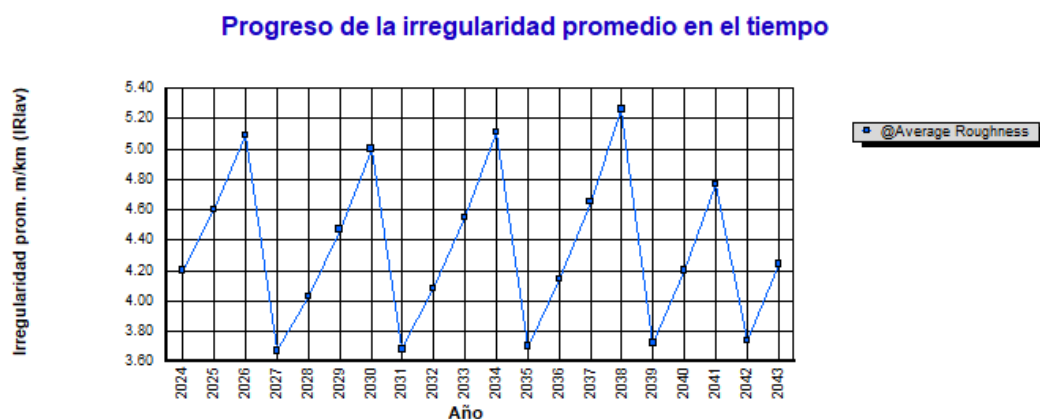
Ilustración 85: Evolución del porcentaje de agrietamiento

**Progreso del agrietamiento en el tiempo**  
(valores después de los trabajos)



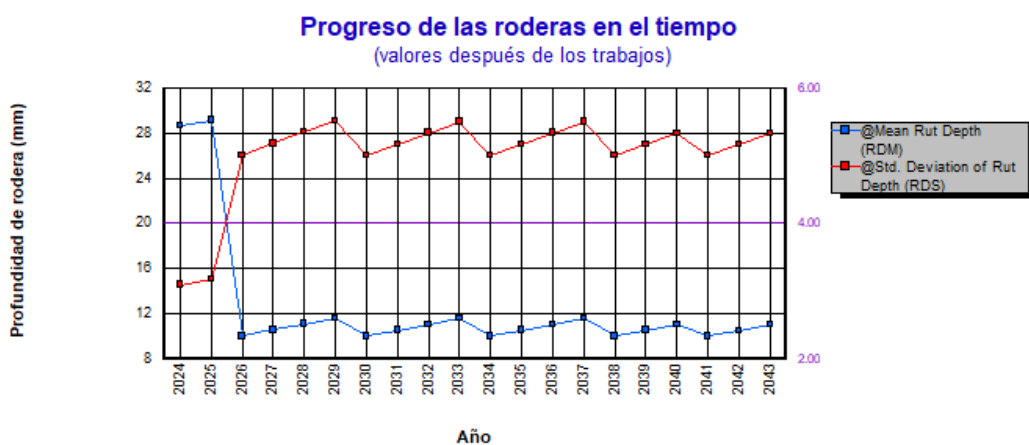
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 86: evolución de la rugosidad de pavimento (IRI)



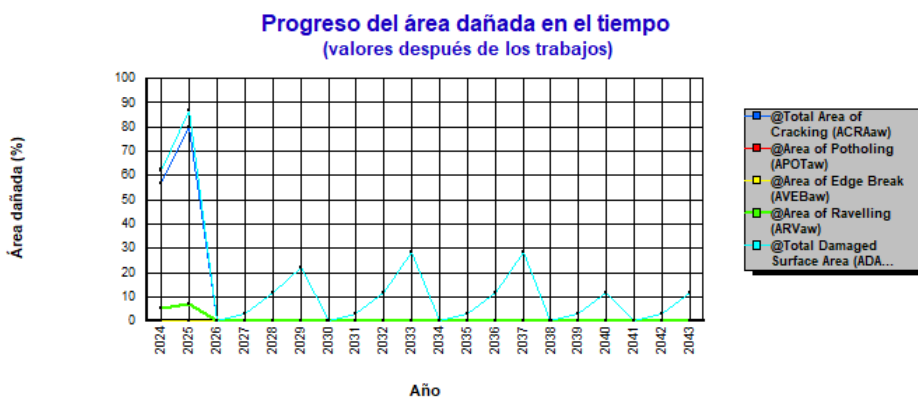
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 87: Evolución del ahuellamiento en el pavimento



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 88: Porcentaje total de Área dañada



Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO VII: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN VIAL

### 8.1 Historial de intervenciones de conservación vial en la carretera Huacarpay – Vicho

La vía Huacarpay – Vicho es un tramo perteneciente a la construcción de la vía Huacarpay – San Salvador a cargo de la entidad PLAN COPESCO del Gobierno Regional del Cusco, este proyecto culminó , tal como indica el expediente de liquidación, el año 2007, siendo transferida para su administración, operación y mantenimiento a la unidad ejecutora PROVIAS NACIONAL en el año 2010, a partir de ese año se registran intervenciones de conservación vial para tramo de evaluación, tal como se muestra en la tabla 76

Tabla 76: Presupuesto De Construcción Del Tramo Huacarpay – Vicho

AÑO	DESCRIPCION	LONGITUD (Km)	UNIDAD	CATIDAD	PRESUPUESTO TOTAL
2007	CULMINACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA CARRETERA HUACARPAY - VICHO	10.00	GLB	1.00	S/ 9,882,260.03

Fuente: Provias nacional y descentralizado

Tabla 77: Resumen De Presupuestos De Intervenciones de Conservación Vial Realizadas En La Vía Huacarpay-Vicho

AÑO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	PRESUPUESTO ANUAL (S/.)	PRESUPUESTO EN DOLARES (\$)
2010	MANTENIMIENTO RUTINARIO, antes de la Conservación Periódica	S/ 9,647.45	Km. - Año	10.00	S/ 96,474.50	\$25,455.01
2010-2015	MANTENIMIENTO PERIODICO	S/ 83,376.53	Km	10.00	S/ 833,765.30	\$219,990.84
2011	MANTENIMIENTO RUTINARIO, después de la Conservación Periódica	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2012	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2013	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2014	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2015	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2016	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2017	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 28,054.33	Km. - Año	10.00	S/ 280,543.30	\$74,021.98
2018	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 28,054.33	Km. - Año	10.00	S/ 280,543.30	\$74,021.98
2019	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 28,054.33	Km. - Año	10.00	S/ 280,543.30	\$74,021.98
2020	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 28,054.33	Km. - Año	10.00	S/ 280,543.30	\$74,021.98
2021	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 30,012.85	Km. - Año	10.00	S/ 300,128.48	\$79,189.57
2022	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 37,890.26	Km. - Año	10.00	S/ 378,902.63	\$99,974.31
<b>PRESUPUESTO TOTAL EN 13 AÑOS DE CONSERVACIÓN</b>					<b>S/ 4,023,590.31</b>	<b>\$1,061,633.33</b>

Fuente: Provias nacional y descentralizado

Como se observa en la tabla 77, se registra una intervención de mantenimiento periódico en los años 2010 – 2015, existiendo en los demás periodos intervenciones de mantenimientos



Rutinarios, por lo que el presupuesto total en intervenciones de conservación vial por un periodo de 13 años es de S/ 3,719,590.31 que equivale al 37.64% del presupuesto total de construcción que se muestra en la tabla 77.

## 8.2 Presupuesto De Las Alternativas De Conservación Vial

Como se detalla en el Capítulo V, se evalúa 3 alternativas de conservación propuestas en el modelo de predicción de deterioro del HDM-4, a continuación, en la tabla 79 se especifica estas alternativas, como también sus estándares de conservación y calendarios de intervención para un periodo de 20 años.

Tabla 78: Alternativas De Conservación Vial Para La Vía Huacarpay – Vicho

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	ESTANDARES DE CONSERVACIÓN
Alternativa A	Mantenimientos Rutinarios + Estandar de Mejoramiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimientos Rutinarios cada año.</li> <li>- Reconstrucción de la vía para un IRI <math>\geq 10</math> m/Km.</li> </ul>
Alternativa B	Refuerzo de Concreto Asfáltico e = 5 cm + Mantenimientos Rutinarios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervención para un IRI <math>\geq 7</math> m/Km y Mantenimientos Rutinarios cada año.</li> <li>- Parámetros después de la intervención: IRI =3.0 m/Km y Ahuellamiento = 10 mm.</li> </ul>
Alternativa C	Reparación de Baches + Fresado con Reposición + Sellado de Grietas Transversales + Sellado de Grietas Longitudinales + Lechada Asfáltica e=1.5 cm + Mantenimientos Rutinarios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervención para un IRI <math>\geq 5</math> m/Km, Ahuellamiento promedio <math>\geq 40</math> mm, número de baches por Km <math>\geq 10</math> y Mantenimientos Rutinarios cada año.</li> <li>- Parámetros después de la intervención: IRI =3.5 m/Km y Ahuellamiento = 10 mm.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Cada una de las alternativas de conservación fue programa para un periodo de 20 años de servicio de la vía Huacarpay – Vicho, a continuación, se presenta el cronograma de intervenciones cada una de ellas, en el software HDM-4.

Tabla 79: Cronograma de Intervenciones de la Alternativa A: Mantenimientos Rutinarios + Estándar de Mejoramiento.

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Resumen de trabajos (por tramo)

Nombre del estudio: **PROYECCION 2023 MEJORADO**

Fecha de ejecución: **10-04-2024**

Unidad monetaria: **US Dollar**

Nota: Solo se muestran los tramos con trabajos programados.

Tramo:		TRAMO CALIBRADO 2023			
Alternativa:		ALT A			
Sensibilidad:		Base Sensitivity Scenario			
Clase de superficie:		Asfáltica		Tipo de carretera: Primary or Trunk	
Longitud:		10.00km		Ancho: 9.00m	
Año	Descripción	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad
2024	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2025	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2026	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2027	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2028	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2029	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2030	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2031	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2032	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2033	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2034	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2035	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	PAV ASFALTICO	PAVSFL	7,227,867.0	8,526,786.0	90,000.00 sq. m
2036	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	PAV ASFALTICO	PAVSFL	9,637,156.0	11,369,048.0	90,000.00 sq. m
2037	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	PAV ASFALTICO	PAVSFL	7,227,867.0	8,526,786.0	90,000.00 sq. m
2038	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2039	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2040	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2041	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2042	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2043	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
<b>Costo total del tramo:</b>			<b>26,092,376.0</b>	<b>30,782,020.0</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80 Cronograma de Intervenciones de la Alternativa B: Refuerzo de Concreto Asfáltico  
e = 5 cm + Mantenimientos Rutinarios.

Tramo:		TRAMO CALIBRADO 2023			
Alternativa:		ALT B			
Sensibilidad:		Base Sensitivity Scenario			
Clase de superficie:		Asfáltica		Tipo de carretera: Primary or Trunk	
Longitud:		10.00km		Ancho: 9.00m	
Año	Descripción	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad
2024	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2025	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2026	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2027	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2028	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2029	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2030	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	REFUERZO CA 5cm CON IF	REFIR4	883,800.0	1,041,300.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		493.7	583.4	23.23 sq. m
	Prep. reparación de borde		1,275.0	1,506.6	60.00 sq. m
2031	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2032	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2033	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2034	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2035	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2036	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2037	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2038	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2039	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2040	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2041	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2042	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2043	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	REFUERZO CA 5cm CON IF	REFIR4	883,800.0	1,041,300.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		502.7	594.0	23.65 sq. m
<b>Costo total del tramo:</b>			<b>3,769,357.3</b>	<b>4,444,683.9</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81: Cronograma de Intervenciones de la Alternativa C: Reparación de Baches + Fresado con Reposición + Sellado de Grietas Transversales + Sellado de Grietas Longitudinales + Lechada Asfática e=1.5 cm + Mantenimientos Rutinarios.

<b>Tramo:</b> TRAMO CALIBRADO 2023 <b>Alternativa:</b> ALT C <b>Sensibilidad:</b> Base Sensitivity Scenario <b>Clase de superficie:</b> Asfáltica <b>Longitud:</b> 10.00km <b>Tipo de carretera:</b> Primary or Trunk <b>Ancho:</b> 9.00m					
Año	Descripción	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad
2024	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2025	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2026	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		185,495.8	218,900.8	6,549.99 sq. m
	Prep. reparación de borde		1,699.2	2,005.2	60.00 sq. m
2027	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2028	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2029	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	SELLADO DE GRIETAS LOI	SELGRL	11,966.3	14,126.1	5,837.22 sq. m
	SELLADO DE GRIETAS TR.	SELGRT	0.0	0.0	0.00 sq. m
2030	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		23,364.1	27,571.7	825.00 sq. m
2031	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2032	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	SELLADO DE GRIETAS LOI	SELGRL	0.0	0.0	0.00 sq. m
	SELLADO DE GRIETAS TR.	SELGRT	0.0	0.0	0.00 sq. m
2033	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2034	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		14,455.4	17,058.6	510.43 sq. m
2035	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	SELLADO DE GRIETAS LOI	SELGRL	0.0	0.0	0.00 sq. m
	SELLADO DE GRIETAS TR.	SELGRT	0.0	0.0	0.00 sq. m
2036	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2037	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2038	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		14,455.4	17,058.6	510.43 sq. m
2039	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2040	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2041	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
2042	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2043	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
<b>Costo total del tramo:</b>			<b>2,345,422.2</b>	<b>2,768,620.9</b>	

Fuente: Elaboración propia

### 8.3 Elección De La Alternativa De Conservación Vial Para La Vía Huacarpay - Vicho

Como se mencionó en el Capítulo V, las soluciones técnicas propuestas están de acorde al Manual De Carreteras, Mantenimiento O Conservación Vial del MTC, por lo cual se procede a realizar la comparación de sus presupuestos para la elección de la alternativa de conservación más óptima del aspecto técnico – económico.

Tabla 82: Comparación del presupuesto por años de las alternativas de conservación

	ALT A	ALT B	ALT C
2024	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2025	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2026	99,974.30	99,974.30	306,069.34
2027	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2028	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2029	99,974.30	99,974.30	111,940.60
2030	99,974.30	985,542.98	142,238.43
2031	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2032	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2033	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2034	99,974.30	99,974.30	133,329.67
2035	7,327,841.30	99,974.30	99,974.30
2036	9,737,130.30	99,974.30	99,974.30
2037	7,327,841.30	99,974.30	99,974.30
2038	99,974.30	99,974.30	133,329.67
2039	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2040	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2041	99,974.30	99,974.30	118,874.30
2042	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2043	99,974.30	984,276.96	99,974.30
Total	26,092,376.00	3,769,357.34	2,345,422.21

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 82 la alternativa con menor presupuesto total por 20 años de conservación vial es la Alternativa C con \$ 2,345,422.21

### 8.3.1 Comparación De Los Estándares De Conservación Vial

El siguiente factor a considerar para la elección de la alternativa de conservación más óptima son los estándares de conservación, a continuación, se evaluará los estándares de conservación propuestos como también se analizará la evolución del Índice de Rugosidad Internacional y la profundidad media de ahuellamiento, durante el periodo de intervención propuesto para las alternativas de conservación vial.

Tabla 83: Estándares de Conservación de las Alternativas Propuestas

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimientos Rutinarios cada año.</li> <li>- Reconstrucción de la vía para un IRI <math>\geq</math> 10 m/Km.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervención para un IRI <math>\geq</math> 7 m/Km y Mantenimientos Rutinarios cada año.</li> <li>Parámetros después de la intervención: IRI =3.0 m/Km y Ahuellamiento = 10 mm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervención para un IRI <math>\geq</math> 5 m/Km, Ahuellamiento promedio <math>\geq</math> 40 mm, número de baches por Km <math>\geq</math> 10 y Mantenimientos Rutinarios cada año.</li> <li>- Parámetros después de la intervención: IRI =3.5 m/Km y Ahuellamiento = 10 mm.</li> </ul>

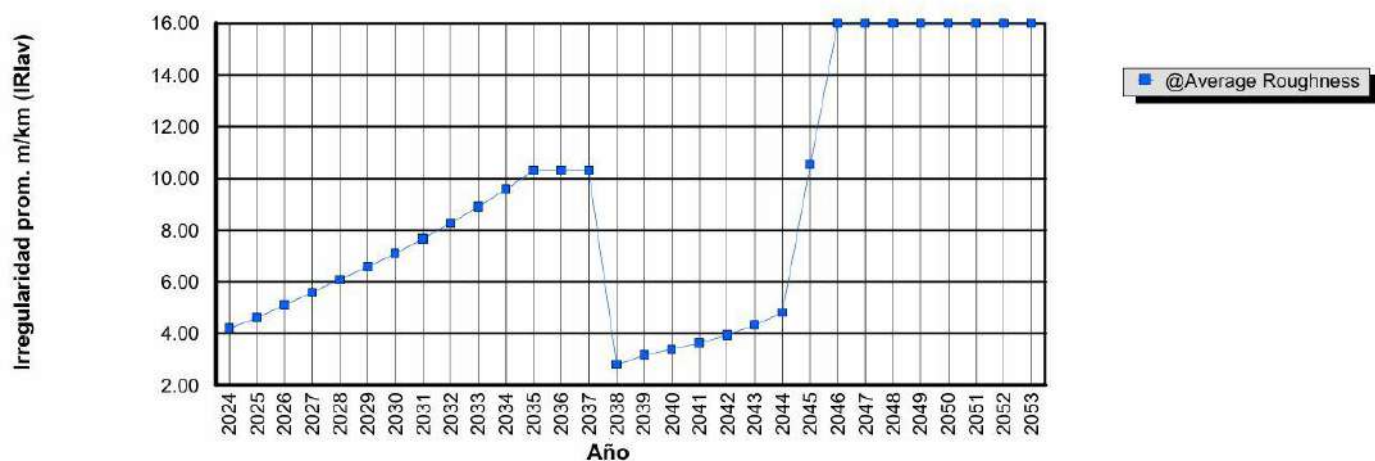
Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 83 que en el parámetro del IRI la alternativa C posee menor valor permisible de las 3 alternativas, con respecto a las condiciones después de la intervención se observa que el menor valor del IRI es de la alternativa B.

A continuación, se analizará la evolución del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para cada una de las alternativas.

Ilustración 89: Evolución del IRI para la alternativa A

### Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo



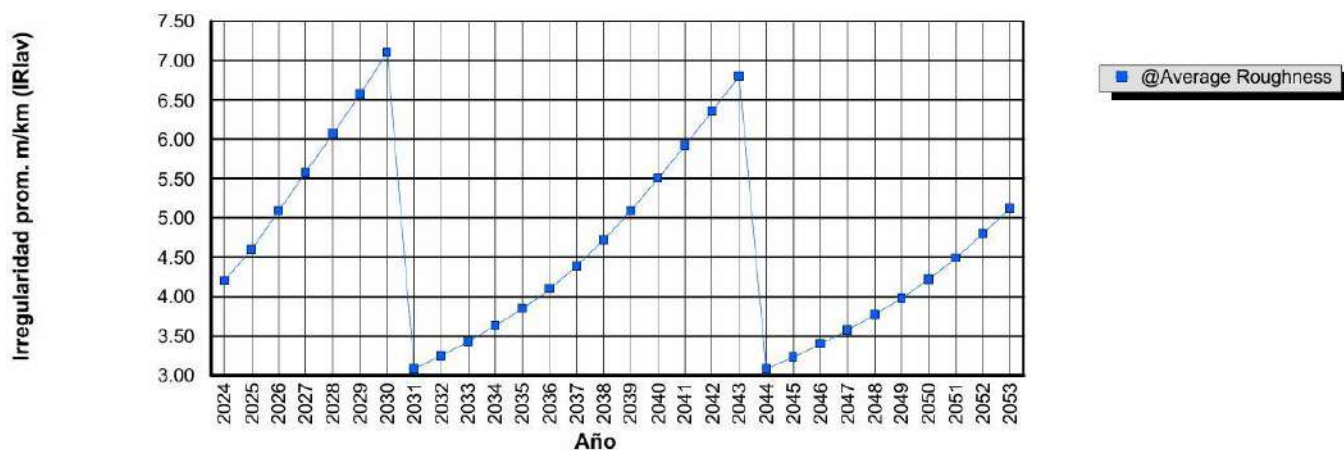
Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 89 se observa que para el año 2035 se tendrá un valor de IRI igual mayor a 10 m/km, año en el que, como indica los estándares de mejora, iniciará la reconstrucción del pavimento por 3 años, dejando posterior a la intervención como valor de IRI igual a 2.5 m/km,

pero luego se puede evidenciar que debido a la aparición de otras fallas y al incremento del tránsito el valor de IRI se incrementa en mayor cantidad en los años 2044 - 2046

Ilustración 90: Evolución del IRI para la alternativa B

### Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo

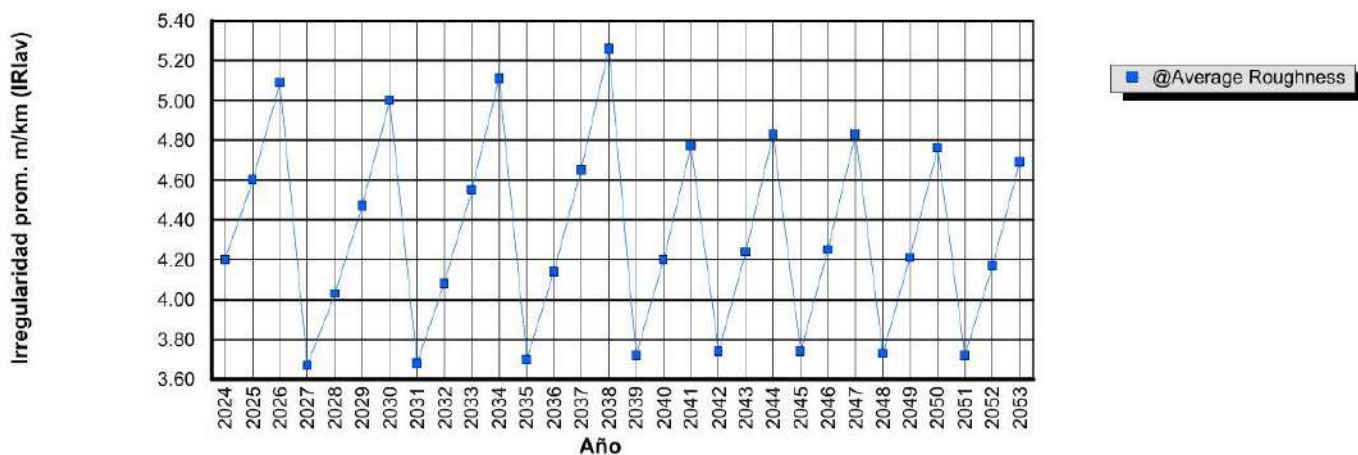


Fuente: Elaboración propia

Se observa en la ilustración 90 que para el año 2030 se tendrá la primera intervención debido a un valor de IRI igual mayor a 7 m/km y el valor, posterior a la intervención, del IRI es de 3.5 m/km como indica los estándares de conservación; como se observa en la ilustración luego de 13 años de la primera intervención se obtiene un valor de IRI igual a 7 m/km por lo que se procede a la segunda intervención de la vía, es importante recalcar que el periodo de años entre cada intervención va incrementando.

Ilustración 91: Evolución del IRI para la alternativa C

### Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo

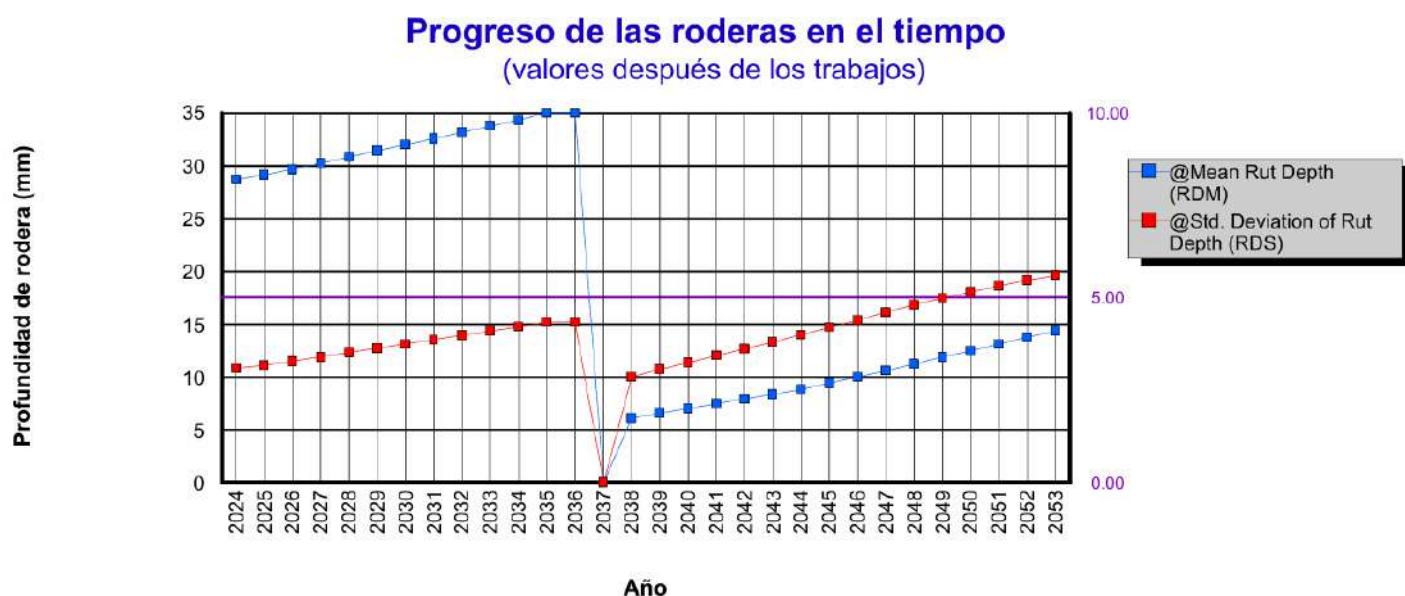


Fuente: Elaboración propia

La ilustración 91 muestra que la primera intervención es el año 2026 debido a un valor de IRI igual mayor a 5 m/km y el valor, posterior a la intervención, del IRI es de 3.5 m/km como indica los estándares de conservación, luego de 4 años se realizará la segunda intervención y, como se observa en la ilustración, este periodo de años entre cada intervención se repite para las demás intervenciones.

A continuación, se analizará la evolución de la profundidad media del ahuellamiento para cada una de las alternativas.

Ilustración 92: Evolución del ahuellamiento para la alternativa A

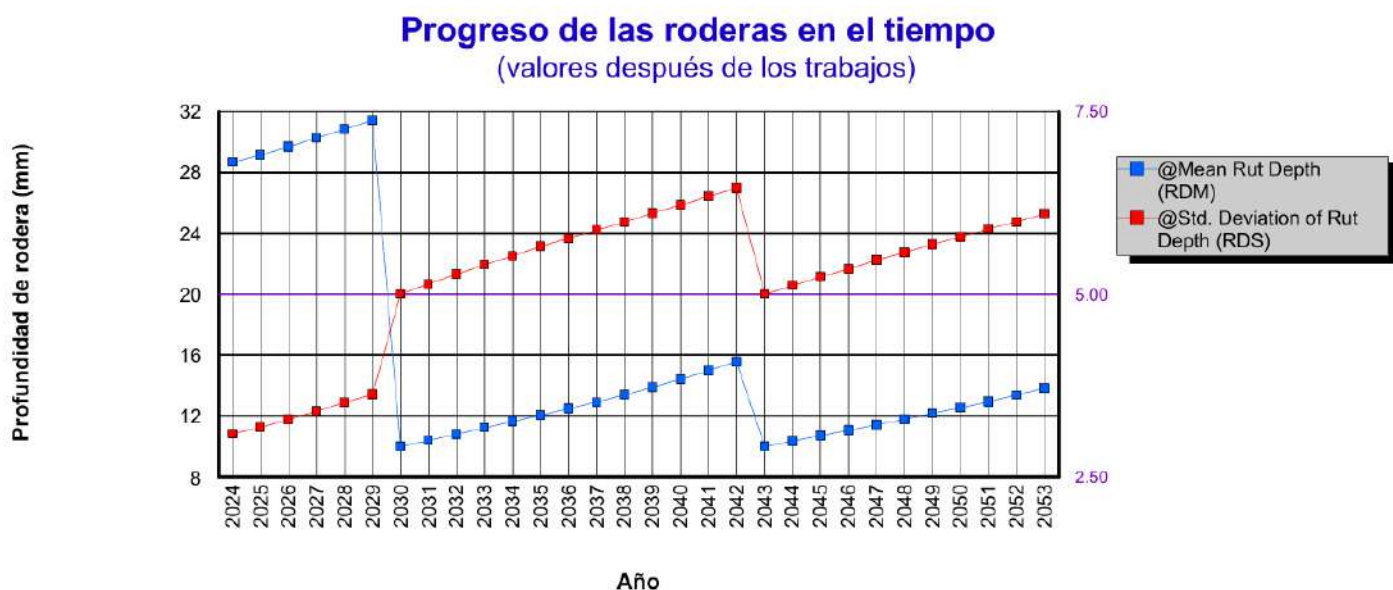


Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 92 se observa que para el año 2035 se tendrá un valor promedio del ahuellamiento igual a 35 mm siendo este el máximo valor encontrado durante su evolución y el valor del ahuellamiento, posterior a la reconstrucción, es de 0 mm.



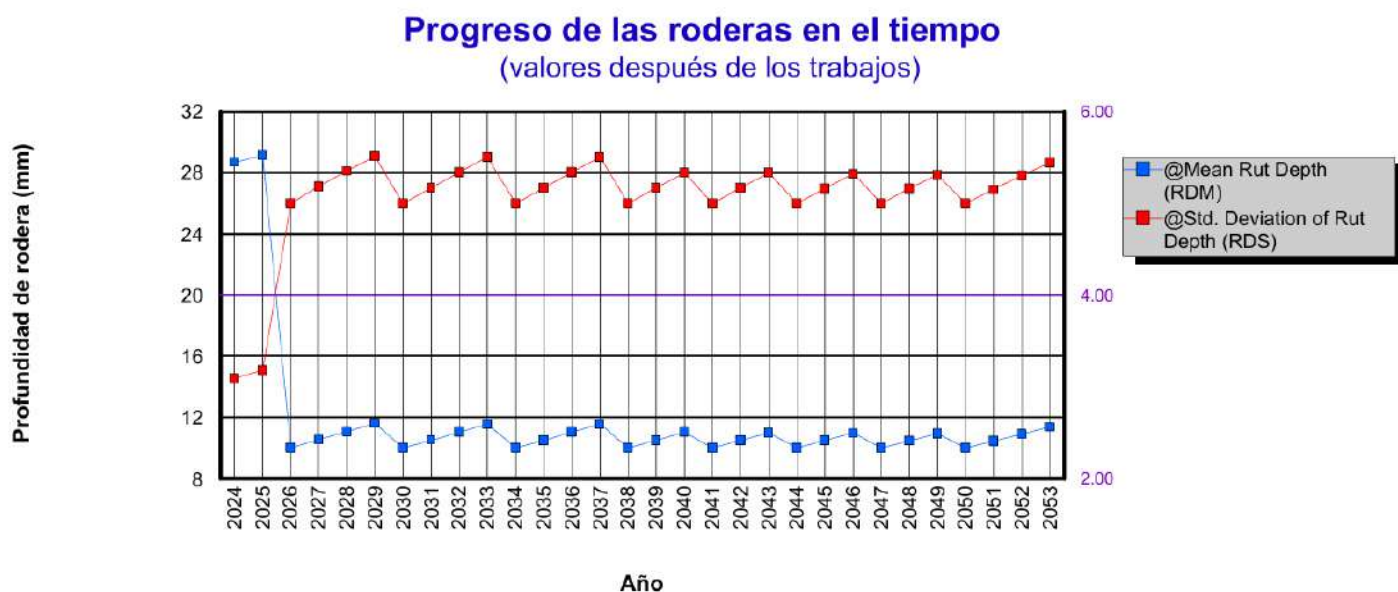
Ilustración 93: Evolución del ahuellamiento para la alternativa B



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la ilustración 93 que para el año 2029 se tendrá un valor promedio del ahuellamiento igual a 30 mm siendo este el valor máximo encontrado durante su evolución, el valor del ahuellamiento posterior a la intervención es de 10 mm, apareciendo un nuevo pico 13 años después con un valor de 16 mm, es importante recalcar que el periodo de años entre cada intervención va incrementando.

Ilustración 94: Evolución del ahuellamiento para la alternativa C



Fuente: Elaboración propia

La ilustración 94 muestra que la primera intervención es el año 2025 debido a un valor de ahuellamiento igual a 29 mm, y el valor, posterior a la intervención, es de 10 mm como indica los estándares de conservación, luego de 4 años se realizará la segunda intervención con valores de ahuellamiento cerca a los 12 mm, es importante indicar que estos valores y periodo de años se repite en su evolución por lo que se concluye que los estándares para el ahuellamiento es con un valor mínimo de 10 mm y máximo de 12 mm.

En los análisis del comportamiento del IRI y ahuellamiento de las alternativas de conservación planteadas se observa que la Alternativa B tiene el menor número de intervenciones de conservación vial seguido de la Alternativa C cuyas intervenciones se realizan cada 4 años, con respecto a la Alternativa A es la más costosa a comparación de los demás por lo que no es recomendable su implementación, en vista de este factor a pesar de tener un mayor número de intervenciones la Alternativa C es la más económica y la que posee mejor parámetros de conservación y por lo tanto es la alternativa recomendada para su implementación en la vía de estudio Huacarpay – Vicho.

## CAPITULO VIII: DISCUCIONES

1. Con el objetivo principal de aplicar el modelo HDM-4 para optimizar la planificación vial en la carretera Huacarpay-Vicho, en el departamento del Cusco, en los resultados reflejaron que realizando una adecuada planificación vial en la carreta PE 28B tramo Huacarpay-Vicho y haciendo uso de herramientas del HDM-4 se optimiza el uso de recursos en el mantenimiento de vías de esta categoría, ya que reflejaron eventuales escenarios los cuales pueden ser de vital importancia en la toma de decisiones en cuanto a lo económico y técnico; frente a lo mencionado se acepta la hipótesis planteada de la investigación que conlleva que el uso de la herramienta del HDM-4 optimiza la planificación vial en la carretera ya mencionada. Estos resultados son corroborados por **Galindo Galván, (2017)**, quien concluyó que la importancia del software del HDM-4 en la gestión de pavimentos es vital en la predicción de modelos de deterioro del pavimento e impacto en lo económico-social ya que este mismo genera modelos matemáticos y graficas de progreso los cuales repercuten directamente en la gestión de redes de carreteras. Así mismo **Rejani, Janani, Venkateswaralu, & Sunitha (2023)**, los cuales refieren que la aplicación de la estrategia HDM-4 tiene un alcance potencial en obras de gestión de pavimentos al pronosticar los requisitos presupuestarios y evaluar el impacto de diversas alternativas de inversión lo cual contribuye de forma directa en la optimización de la planificación vial. De igual manera **Montoya Baca & Quispe Pariguana (2015)**, concluyeron que el software HDM-4 contribuye con la planificación vial; sin embargo, la toma de decisión relacionada con la conservación vial en base a estos resultados obtenidos lo realiza el ingeniero encargado. En tal sentido bajo lo referido anteriormente se confirma la importancia del HDM-4 en la optimización en la planificación vial en la carretera Huacarpay vicho parte de la red vial departamental PE 28B.

Ilustración 95: Comparativa de costos en 20 años según HDM-4

<b>H D M - 4</b> Resumen de trabajos (por tramo)			
<u>Resumen del costo económico total anual:</u>			
<u>Base Sensitivity Scenario</u>			
	ALT A	ALT B	ALT C
Total	26,092,376.00	3,769,357.34	2,345,422.21

Fuente: Elaboración propia

2. Como objetivo específico se consideró realizar la calibración del Modelo HDM-4 para obtener un modelo de predicción representativo de la zona a evaluar, dentro de los resultados alcanzados fueron que es imprescindible la calibración de un modelo de deterioro en el HDM-4, ya que de esta manera se mejora la predicción de los resultados como también la fiabilidad de estos, los mismo que dependen en base a la cantidad de información ingresada y de dónde se obtuvo dicha información dentro de las cuales repercuten información climática, geométrica, intervenciones anteriores e inventarios viales realizados. Por ende, se acepta la hipótesis planteada inicialmente que nos indica la importancia de la calibración del modelo en el HDM-4 ya que requiere datos de la zona. Estos resultados son afianzados por **Sanchit, Arun, & Shaik (2023)**, los cuales concluyeron que al recolectar los datos durante 5 años y de comparar con el modelo del MATLAB, se observó la importancia de la adaptación del modelo en el HDM-4 a la realidad de la zona en estudio arroja mejor nivel de confiabilidad y resultados más semejantes a la realidad ya que nutriendo con más información al software proporciona modelos predictivos más fiables por ende resaltan la importancia de la calibración. En ese sentido se de acuerdo a lo referido anteriormente se puede dar confirmación de la importancia de la calibración ya que estos nos ayudan a predecir de manera más objetiva los modelos predictivos los cuales se proyectaron a 20 años.

3. Como objetivo específico se consideró aplicar el Modelo HDM-4, para determinar la intervención vial más recomendable en el aspecto técnico – económico, en lo cual se llegó a los siguientes resultados que el software del HDM-4 nos facilita la elección de una correcta intervención valorando el efecto costo beneficio sin disminuir nuestros estándares para vía, a la que se arribó con la siguiente alternativa se realizaran intervenciones como lechada asfáltica, sello de grietas, reparaciones de borde y de baches, fresado con reemplazo total y mantenimiento rutinario programado anualmente. En ese sentido se acepta la hipótesis específica de la investigación la cual nos indica la determinación de la alternativa más recomendable en el aspecto técnico económico con ayuda del HDM-4. Este resultado es confirmado por **Hurtado Asto & Palomino Felix (2020)**, los cuales concluyeron en su investigación tuvo como resultado la estrategia de mantenimiento óptima, la cual está definida por la alternativa 1, conformada por un recapado asfáltico de 7.5 cm y sellado de fisuras la cual se llegó a elegir gracias a la proyección generada por el HDM-4, De la misma manera **Palomino Sotelo & Diaz Gonzales (2021)**, concluyeron que después de la identificación de las patologías en el pavimento y de referir de acuerdo a norma peruana las intervenciones necesarias se obtuvo la mejor intervención de acuerdo a parámetros técnicos

y económicos lo cual asevera la importancia del software HDM-4 en la elección de la misma. En ese sentido se de acuerdo a lo referido anteriormente se puede dar en conclusión la importancia del software HDM-4 en la elección de la mejor intervención en los años proyectados la cual nos conducen la importancia de la misma en la programación y toma de decisiones a lo largo del periodo de mantenimiento.

4. Como objetivo específico se consideró determinar la diferencia de los costos de los trabajos de conservación vial realizados, con la planificación vial planteada mediante la herramienta del HDM-4, y como resultados se tuvo que el software del HDM-4 nos facilita la comparación económica entre intervenciones de conservación a lo largo de años de proyección los cuales nos arrojaron montos referenciales de los cuales recopilados de intervenciones anteriores de \$981,422.25 y generado por el programa de \$ 2,768,620.9 los cuales se consideran de limitación de comparación. En ese sentido se pone en discusión la hipótesis específica de la investigación la cual nos indica diferencia de los costos de los trabajos de conservación vial realizados, con la planificación vial planteada mediante la herramienta del HDM-4. Este resultado es contrastado por *Anastacio Vilchez & Gutierrez Rosas (2020)*, los cuales concluyeron en su investigación, que es muy importante una buena planificación de estrategias y políticas de mantenimiento y conservación, para de esta manera brindar buen nivel de transitabilidad de la vía y optimizar la utilización de recursos los cuales generan diferencias en los costos de conservación comparadas con la manera tradicional de planificación de conservación. De la misma manera *Kebebew & Tucay Quezon (2022)*, concluyeron que al comparar costos de operación y costos de usuarios con el programa del HDM-4, se encontro que estan plenamente relacionados y se obtuvo una diferencia de Birr 10,61 (divisa etíope) lo cual genera pronosticos fiables y genera diferencias en los cotos de conservación los caules se vinculan con el objetivo planteado. En ese sentido se de acuerdo a lo referido anteriormente se puede confirmar que existen diferencias en los costos de trabajos de intervención, pero no se pueden comparar ya que los mismos fueron tomados en diferentes periodos de tiempo y existen variables económicas no pronosticadas como inflación o efectos de la pandemia que alteran costos y limitación de comparación.

## CAPÍTULO IX CONCLUSIONES

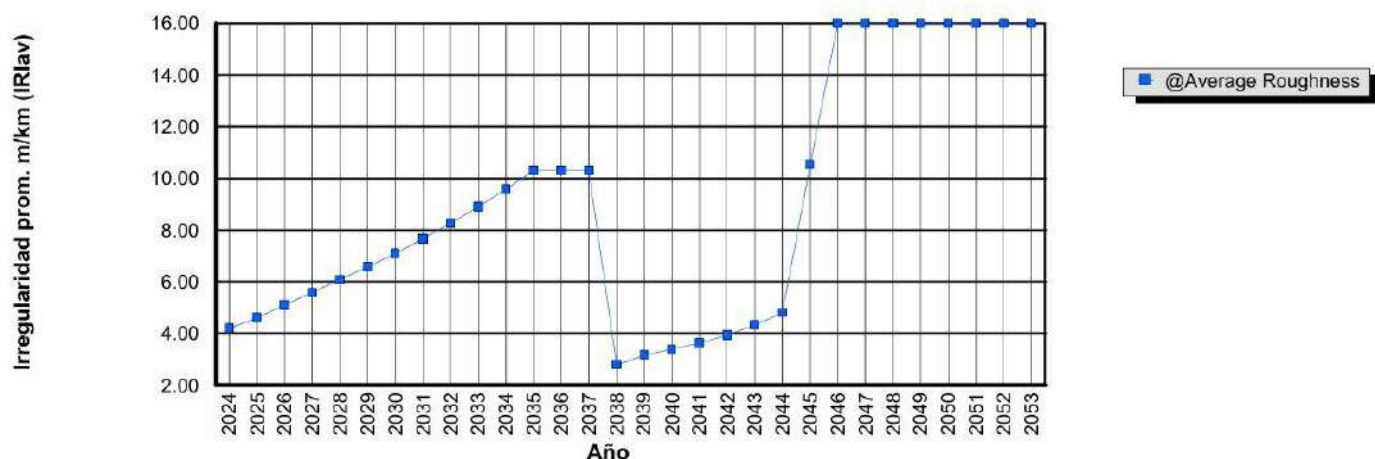
### 10.1 Conclusiones

- **Conclusión N°1**

En base a los resultados obtenidos, se concluyó que la aplicación del modelo de predicción de deterioro del pavimento del HDM-4 permite visualizar las futuras patologías en el pavimento como también los años en los cuales se producirán cambios significativos en estos, como se evidencia en la ilustración 96 que representa la evolución del IRI sin ningún tipo de intervención de conservación

Ilustración 96: Evolución del IRI sin ninguna intervención de conservación vial

### Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo



Fuente: Elaboración propia

Por lo que, al determinar los tipos de fallas predominantes en el pavimento a través del tiempo y los periodos de años de los incrementos significativos de la aparición de estas fallas se puede realizar la elección de actividades de conservación vial puntuales que reduzcan los costos y permiten mantener estándares de conservación óptimos para la vía según la norma tal como se muestra en la tabla 84 donde la alternativa de menor costo es aquella que contempla actividades específicas para ciertos tipos de fallas predominantes, los cuales fueron fáciles de identificar su aparición en el tiempo gracias al modelo de predicción de deterioro del pavimento de la herramienta HDM-4.

Tabla 84: Comparación del presupuesto total por años de las alternativas de conservación

	ALT A	ALT B	ALT C
2024	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2025	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2026	99,974.30	99,974.30	306,069.34
2027	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2028	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2029	99,974.30	99,974.30	111,940.60
2030	99,974.30	985,542.98	142,238.43
2031	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2032	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2033	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2034	99,974.30	99,974.30	133,329.67
2035	7,327,841.30	99,974.30	99,974.30
2036	9,737,130.30	99,974.30	99,974.30
2037	7,327,841.30	99,974.30	99,974.30
2038	99,974.30	99,974.30	133,329.67
2039	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2040	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2041	99,974.30	99,974.30	118,874.30
2042	99,974.30	99,974.30	99,974.30
2043	99,974.30	984,276.96	99,974.30
Total	26,092,376.00	3,769,357.34	2,345,422.21

Fuente: Elaboración propia

- **Conclusión N°2**

Se concluye que una correcta calibración del modelo de deterioro permite predicciones fiables de valores de deterioro, como se demostró con la calibración del modelo de predicción de deterioro del periodo años de 2008-2015, cuyos valores pronosticados hasta el año 2023, coincidieron con los resultados obtenidos mediante las evaluaciones realizadas en la presente investigación en el año 2023, tal como se muestra en la tabla 85 que muestra la evolución de los valores de deterioro a través del periodo de tiempo pronosticado.

Tabla 85: Comparación de los valores de deterioro del modelo de predicción del periodo 2016 – 2023 y los valores obtenidos mediante la evaluación in-situ

	VALOR PRONOSTICADO POR EL MODELO HDM-4	VALOR OBTENIDO EN 2023
<b>IRI</b>	4.06 m/km	4.04 m/km
<b>Número Estructural</b>	3.23	3.23
<b>% Agrietamiento</b>	27.85%	28.94%
<b>Ahuellamiento</b>	26.54 mm	28.24 mm

Fuente: Elaboración propia

Como se detalla en la tabla 85 el valor de IRI es de 4.06 m/km el cual es muy similar al obtenido en los ensayos in-situ cuyo valor es de 4.04 m/km , en el caso del número estructural el valor pronosticado para el año 2023 es de 3.23 , el cual coincide con el obtenido mediante el ensayo de deflexión con viga benkelman, en el caso del porcentaje de agrietamiento el valor pronosticado para el 2023 es de 27.85% y el valor obtenido mediante la evaluación de la condición del pavimento es de 28.94%, y en el caso de la profundidad media de ahuellamiento existe una ligera diferencia siendo el valor pronosticado por el modelo para el 2023 de 26.54 mm y el obtenido en las mediciones realizadas en campo es de 28.24mm.

Por lo tanto, se concluye que una correcta calibración del modelo de predicción de deterioro en la herramienta HDM-4, permite obtener predicciones fiables de valores de deterioro a través de un periodo de tiempo determinado.

- **Conclusión N°3**

Se determinó que la aplicación del modelo de predicción de deterioro del pavimento del HDM-4 permite visualizar el comportamiento futuro de las patologías en el pavimento como también los años, en los cuales, se dará la aparición de uno de ellos como también algún incremento significativo a través del tiempo, de esta manera se puede determinar, específicamente, qué actividades de conservación cronogramar y por ende elegir la más óptima en el aspecto técnico – económico, como se muestra en la tabla 86, donde se aprecia los valores de deterioro para la alternativa C , donde se observa un estándar de conservación aceptable en los valores de IRI, ahuellamiento, número de baches por km y número estructural del pavimento.



Tabla 86: Valores de Deterioro para la Alternativa de Conservación propuesta

Tramo:		TRAMO CALIBRADO 2023														
Alternativa:		ALT C														
Sensibilidad:		Base Sensitivity Scenario														
Tipo de superficie:		Asfáltica														
Longitud:		10.00 km														
		Tipo de carretera: Primary or Trunk														
		Ancho: 9.00 m														
					Valor promedio anual											
Año	TDP/ TM	ESAL millones /ELANE	IRI ant. m/km	IRI prom. m/km	Agriet estruct total %	Despren dimientos %	Rotura de borde m2	Prof. de roderas mm	No. de baches	No. de estruct	Espesor de grave mm	Escalon prom. mm	Juntas deteriorada: %	No. de fallas por krr	Losas agrietadas: %	Grieta det No/kn
2024	23,127	0.67	4.33	4.18	56.61	5.53	6.00	28.63	2.00	2.90						
2025	24,254	0.70	4.73	4.53	79.68	6.91	6.00	29.06	3.43	2.67						
2026	25,437	0.72	5.12	4.93	46.35	3.61	3.00	19.77	3.16	2.66						
2027	26,677	0.75	3.79	3.64	3.20	0.00	0.00	10.47	0.00	2.70						
2028	27,978	0.78	4.13	3.96	11.65	0.00	0.00	10.95	0.00	2.70						
2029	29,344	0.81	4.54	4.34	25.27	0.00	0.00	11.44	0.00	2.69						
2030	30,776	0.84	5.05	4.81	23.09	0.00	0.00	10.97	0.00	2.73						
2031	32,279	0.87	3.81	3.66	3.20	0.00	0.00	10.47	0.00	2.78						
2032	33,855	0.90	4.18	4.00	11.65	0.00	0.00	10.94	0.00	2.77						
2033	35,509	0.93	4.62	4.40	28.51	0.00	0.00	11.42	0.00	2.76						
2034	37,245	0.96	5.16	4.89	28.02	0.00	0.00	10.97	0.00	2.80						
2035	39,065	1.00	3.84	3.67	3.20	0.00	0.00	10.46	0.00	2.84						
2036	40,976	1.04	4.24	4.04	11.65	0.00	0.00	10.93	0.00	2.84						
2037	42,980	1.07	4.72	4.48	28.51	0.00	0.00	11.40	0.00	2.83						
2038	45,083	1.11	5.30	5.01	28.02	0.00	0.00	10.95	0.00	2.87						
2039	47,290	1.16	3.88	3.69	3.20	0.00	0.00	10.46	0.00	2.92						
2040	49,605	1.20	4.31	4.09	11.65	0.00	0.00	10.92	0.00	2.91						
2041	52,035	1.24	4.83	4.57	25.27	0.00	0.00	11.39	0.00	2.91						
2042	54,584	1.29	5.45	5.15	23.09	0.00	0.00	10.93	0.00	2.95						
2043	57,258	1.33	3.91	3.71	3.20	0.00	0.00	10.45	0.00	2.99						

Fuente: Elaboración propia

En caso del análisis económico se determinó la alternativa C es la más económica más económica como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 87: Comparación del presupuesto totales de las alternativas de conservación

	ALT A	ALT B	ALT C
Total	<b>26,092,376.00</b>	<b>3,769,357.34</b>	<b>2,345,422.21</b>

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se concluye que la aplicación del modelo de predicción del deterioro del pavimento del HDM-4 posibilita la elección de la alternativa de conservación más óptima desde el aspecto técnico – económico.

### Conclusión N°4

En base al análisis económico, se concluye que se eligió la alternativa de conservación más económica con los precios actuales y que el presupuesto de las intervenciones anteriores será siempre menor debido a que los costos de las actividades son menores a comparación a los actuales, tal como se demuestra el siguiente análisis; continuación se muestra en el historial de intervenciones de conservación realizadas en la vía Huacarpay – Vicho se obtuvo un presupuesto total por 13 años de conservación

Tabla 88: Resumen De Presupuestos De Intervenciones de Conservación Vial Realizadas En La Vía Huacarpay-Vicho

AÑO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	PRESUPUESTO ANUAL (S/.)	PRESUPUESTO EN DOLARES (\$)
2010	MANTENIMIENTO RUTINARIO, antes de la Conservación Periódica	S/ 9,647.45	Km. - Año	10.00	S/ 96,474.50	\$25,455.01
2010-2015	MANTENIMIENTO PERIODICO	S/ 83,376.53	Km	10.00	S/ 833,765.30	\$219,990.84
2011	MANTENIMIENTO RUTINARIO, después de la Conservación Periódica	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2012	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2013	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2014	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2015	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2016	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 21,535.77	Km. - Año	10.00	S/ 215,357.70	\$56,822.61
2017	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 28,054.33	Km. - Año	10.00	S/ 280,543.30	\$74,021.98
2018	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 28,054.33	Km. - Año	10.00	S/ 280,543.30	\$74,021.98
2019	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 28,054.33	Km. - Año	10.00	S/ 280,543.30	\$74,021.98
2020	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 28,054.33	Km. - Año	10.00	S/ 280,543.30	\$74,021.98
2021	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 30,012.85	Km. - Año	10.00	S/ 300,128.48	\$79,189.57
2022	MANTENIMIENTO RUTINARIO	S/ 37,890.26	Km. - Año	10.00	S/ 378,902.63	\$99,974.31
<b>PRESUPUESTO TOTAL EN 13 AÑOS DE CONSERVACIÓN</b>					<b>S/ 4,023,590.31</b>	<b>\$1,061,633.33</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 88 el monto total por 13 años de conservación es de \$1,061,633.33 a continuación, se presenta el presupuesto de la alternativa propuesta por la planificación vial con el HDM-4.

Tabla 89 : Presupuesto de la intevencion vial propuesta mediante la planificacion vial del HDM-4

<b>Tramo:</b> TRAMO CALIBRADO 2023 <b>Alternativa:</b> ALT C <b>Sensibilidad:</b> Base Sensitivity Scenario <b>Clase de superficie:</b> Asfáltica <b>Tipo de carretera:</b> Primary or Trunk <b>Longitud:</b> 10.00km <b>Ancho:</b> 9.00m					
Año	Descripción	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad
2024	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2025	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2026	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		185,495.8	218,900.8	6,549.99 sq. m
	Prep. reparación de borde		1,699.2	2,005.2	60.00 sq. m
2027	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2028	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2029	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	SELLADO DE GRIETAS LOI	SELGRL	11,966.3	14,126.1	5,837.22 sq. m
	SELLADO DE GRIETAS TR.	SELGRT	0.0	0.0	0.00 sq. m
2030	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		23,364.1	27,571.7	825.00 sq. m
2031	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2032	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	SELLADO DE GRIETAS LOI	SELGRL	0.0	0.0	0.00 sq. m
	SELLADO DE GRIETAS TR.	SELGRT	0.0	0.0	0.00 sq. m
2033	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2034	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		14,455.4	17,058.6	510.43 sq. m
2035	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	SELLADO DE GRIETAS LOI	SELGRL	0.0	0.0	0.00 sq. m
	SELLADO DE GRIETAS TR.	SELGRT	0.0	0.0	0.00 sq. m
2036	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2037	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2038	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
	Prep. reparación		14,455.4	17,058.6	510.43 sq. m
2039	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2040	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2041	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
	LECHADA ASFALTICA	LECASF	18,900.0	22,500.0	90,000.00 sq. m
2042	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
2043	MANT RUTINARIO	MRUT	99,974.3	117,970.0	10.00 km
<b>Costo total del tramo:</b>			<b>2,345,422.2</b>	<b>2,768,620.9</b>	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 89 el presupuesto total para 20 años de conservación vial con la planificación del HDM-4 es de \$ 2,768,620.9 , por lo que se observa que existe una diferencia entre los presupuestos de las intervenciones realizadas y las proyectadas mediante el HDM-4 , es importante recalcar que existe una diferencia de 7 años de presupuesto de conservación y que los precios unitarios de actividades de intervención se incrementaron debido a la inflación

de los precios de materiales y costos de vida lo que hace que se dificulte la comparación de costos y sobre todo el presupuesto se incrementa. Por tal razón, se concluye que se eligió la alternativa de conservación más rentable a partir del modelo de predicción de deterioro del HDM-4, con los precios actuales al momento de realizar la investigación.

## CAPÍTULO X RECOMENDACIONES

### 10.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un rol de actividades secuenciales con tiempos de ejecución, para poder desarrollar los experimentos de manera ordenada y disminuir tiempos para la obtención de data en campo.
- Se recomienda contar con normas de seguridad y permisos vigentes del ministerio de transportes y/o PROVIAS nacional además de estaciones policiales que respalden los ensayos en carretera, para no tener inconvenientes en la vía.
- Se recomienda revisar las calibraciones recientes de todos los instrumentos de medición para no obtener datos erróneos en campo.
- Se recomienda para futuras investigaciones hacer un análisis de redes de carreteras con data recopilados durante al menos 4 años para poder comparar las informaciones económicas con mayor exactitud.
- Para futuras investigaciones se recomienda utilizar data base de las entidades responsables del mantenimiento de vías que en este caso se encarga la entidad de PROVIAS NACIONAL las cuales intervienen vías nacionales, departamentales y caminos vecinales y se recomienda hacer inventarios viales anualmente para tener data base para programaciones futuras y proponer soluciones objetivas aplicando este software del HDM-4 el cual presupuestalmente nos da un manejo de recursos sostenibles a largo plazo.
- Se recomienda el uso y aplicación más difundida de este software HDM-4 en la gestión de redes viales en las entidades del estado que tienen como responsabilidad el mantenimiento, mejora y modernización de las redes viales en la región o a nivel nacional ya que esto nos ayudaría a automatizar y controlar el estado real de las redes viales las cuales actualmente se encuentran de manera abandonada en varios casos o muchos de ellos con poco mantenimiento lo cual genera molestia en el área usuaria por ende menor tráfico y menor intercambio mercantil para su desarrollo económico de las ciudades que conecta la vías en estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Solorio Murillo, R., Hernández Domínguez, R., & Gómez López, J. (2004). análisis de sensibilidad de los modelos de deterioro del hdm-4 para pavimentos asfálticos. (*Tesis de Investigación*). Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, México.
- Solorio Murillo, R., Hernández Domínguez, R., & Gómez López, J. (2019). Análisis de sensibilidad de los modelos de deterioro del HDM-4 para pavimentos asfálticos. (*Tesis de Investigación*). Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, México.
- AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2017). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abed, M. A. (2020). Efecto de los métodos de compactación sobre la morfología de los agregados en mezcla asfáltica en caliente. *SCOPUS*, 671.
- Acuña, I. M. (diciembre de 2021). Preservación de carreteras. costa rica, costa rica.
- AIPCR. (1995). Clasificación de textura superficial. *Textura superficial*.
- AIPCR. (2018). Clasificación de textura superficial. *Textura superficial*.
- Alejos Sabino, Y., & Cribillero Ortega, E. (2017). Aplicación del software HDM-4 en la gestión de estrategias para el mantenimiento de la carretera Santa – Tambo Real. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional del Santa, Santa.
- Anastacio Vilchez, L. T., & Gutierrez Rosas, A. G. (2020). Evaluación técnica y económica aplicando el software HDM-4 para el mejoramiento del circuito vial Huayabamba, provincia Rodríguez de Mendoza – Amazonas – cinco tramos – entre progresivas 0+000 hasta 27+341.84. *Evaluación técnica y económica aplicando el software HDM-4 para el mejoramiento del circuito vial Huayabamba, provincia Rodríguez de Mendoza – Amazonas – cinco tramos – entre progresivas 0+000 hasta 27+341.84*. Chimbote, Perú.
- Arias Gómez, J., Villasís Keever, M., & Miranda Novales, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 6.
- Aschenbrenner, T. (2021). Investigation of Low Temperature Thermal Cracking Hot Mix Asphalt. Denver, EE.UU.

- Austrroads. (2018). Guide to Asset Management. *Guide to Asset Management*. SYDNEY, AUSTRALIA.
- Bustos, M. (2021). Evaluación y análisis de proyectos viales con HDM-4. *Evaluación y análisis de proyectos viales con HDM-4*. Argentina.
- Carlos Serrano, I. A. (enero de 2021). Refuerzo de asfalto mediante geomallas para alargar la vida útil de las carreteras. argentina.
- Comite tecnico AIPCR de características superficiales. (1995). *Experimento Internacional AIPCR de Comparación y armonización de as Medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento*. Paris: Asociación mundial de la carretera.
- Comite tecnico AIPCR de características superficiales. (2018). *Experimento Internacional AIPCR de Comparación y armonización de as Medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento*. PARIS: Asociacion mundial de carreteras.
- Costa, A. (Julio de 2022). Patologías de los pavimentos. España.
- D Harinder, P. A. (2023). Evaluación del desempeño de pavimentos flexibles basado en HDM-4 e índice de rugosidad internacional. *EDS SCIENCES*, 9.
- Das, A. (2023). *Analysis of pavement structures*. Boca Raton: CRC PRESS.
- Del Pozo, J. (1992). Implementación y Aplicaciones de un Sistema de Gestion a la Conservación de una Red de Autopistas. *Revista Rutas N° 31*, 20.
- Del Pozo, J. (2019). Implementación y Aplicaciones de un Sistema de Gestion a la Conservación de una Red de Autopistas. *Revista Rutas N° 31*, 20.
- Diaz Granados, M. R. (2017). Evaluación de la textura y la rugosidad de pavimentos flexibles mediante imágenes tomadas a partir de cámara no métrica nikon coolpix s2900. En M. R. Diaz granados, *Evaluación de la textura y la rugosidad de pavimentos flexibles* (pág. 136). Colombia.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial RD N° 08 – 2014 – MTC/14 Incorporación de Parte IV RD N° 05 – 2016 – MTC/14. (*Manual de Vías*). Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima, Lima, Lima.
- engineersummit. (2020). How do potholes form. Ohio, EE.UU.

- Fisher, L., & Navarro, A. (1996). *Introducción a la Investigación de Mercados*. México: Editorial McGraw Hill Interamericana Editores S.A.
- Flinscht, G. (2018). Gestión de pavimentos en los tiempos de los vehículos autónomos y la infraestructura inteligente. *Gestión de pavimentos en los tiempos de los vehículos autónomos y la infraestructura inteligente*. Medellín, Colombia.
- Flotefi. (febrero de 2023). *Flotas eficientes*. Obtenido de <https://www.flotefi.com/que-es-una-flota-de-coches/#:~:text=%C2%BFAlguna%20vez%20te%20has%20preguntado,y%20obtener%20la%20m%C3%A1xima%20rentabilidad>.
- Galindo Galvan, D. P. (2017). Gestión de pavimentos en los tiempos de los vehículos autónomos y la infraestructura inteligente. *Gestión de pavimentos en los tiempos de los vehículos autónomos y la infraestructura inteligente*. Huancayo, Perú.
- HDM Global. (2008). *Manual del HDM-4 (Highway development & management)*. Reino Unido: PIARC (Asociación Mundial de la Carretera).
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- 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. *ANÁLISIS DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN LA DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO LA HERRAMIENTA HDM-4 CASO: CARRETERA PUNO - DESAGUADERO*. LIMA, PERU.
- Kebebew, B., & Tucay Quezon, E. (29 de Abril de 2022). Análisis comparativo de los costos de los usuarios de la carretera utilizando el software HDM-4 y la técnica manual un caso de la autopista addis abeba-adama. *Análisis comparativo de los costos de los usuarios de la carretera utilizando el software HDM-4 y la técnica manual un caso de la autopista addis abeba-adama*. Etiopia.
- Merchán, C. H. (2015). *PATOLOGÍA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS*. Medellín: Revista Ingenierías Universidad de Medellín.



meteoScool. (enero de 2024). *meteoScool*. Obtenido de <https://content.meteoblue.com/es/investigacion-educacion/recursos-educativos/meteoscool/zonas-climaticas-generales#:~:text=Las%20zonas%20clim%C3%A1ticas%20son%20las,clasificar%20utilizando%20diferentes%20par%C3%A1metros%20clim%C3%A1ticos.>

Ministerio De Desarrollo Social. (2017). Configuración y parametrización del modelo HDM-4 a las condiciones de Chile. *Configuración y parametrización del modelo HDM-4 a las condiciones de Chile*. Santiago, Chile. Obtenido de SISTEMA NACIONAL DE INVERSIONES: <https://sni.gob.cl/>

Ministerio de Economía y Finanzas. (Febrero de 2015). Pautas metodológicas para el uso y aplicación del HDM-4 en la formulación y evaluación social. *Pautas metodológicas para el uso y aplicación del HDM-4 en la formulación y evaluación social*. Lima, Perú.

Ministerio de economía y finanzas Gobierno peruano. (23 de julio de 2019). Estudios de pre inversión de proyectos de inversión pública de mejoramiento de carreteras. Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). Manual de inventarios viales. *Manual de inventarios viales*. Lima, Peru. Obtenido de Ministerio de Transportes y Comunicaciones: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). Manual Para Estudio de Tráfico. *Manual Para Estudio de Tráfico*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Obtenido de Ministerio de Transportes y Comunicaciones: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_9%20MCV-2014\\_2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_9%20MCV-2014_2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). Manual Para Estudio de Tráfico. *Manual Para Estudio de Tráfico*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Ministerio de Transportes y comunicaciones. (febrero de 2022). Infraestructura de carreteras. Perú.

Ministerio de tranportes y comunicaciones. (2020). Plan intermodal de transportes del Perú. *OGGP*.

- Montejo Fonseca, A. (2016). *Ingenieria de pavimntos para carreteras*. Bogota D.C: Universidad catolica de colombia.
- Montejo Fonseca, A. (2016). *INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS*. MEDELLIN: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.
- Montejo Fonseca, A. (2017). *INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS*. BOGOTA D.C: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.
- Montoya Baca, L., & Quispe Pariguana, J. R. (2015). Modelo de comportamiento vial del circuito Valle Sagrado: Cusco - Pisac, Cachimayo - Chincheros - Urubamba, Pisac - Urubamba. Usando el software HDM-4. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- 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 Grado*). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- MTC. (2014). *Relevamiento de Informacion 2014*. Cusco: MTC.
- MTC. (2019). *Relevamiento de Informacion 2014*. Cusco: MTC.
- Núñez Cuaresma, C., & Pérez Pérez, I. (2005). El modelo HDM-4 : descripción y posibilidades de aplicación dentro de un sistema de gestión de carreteras. (*Tesis de Investigación*). Universidade da Coruña, Coruña.
- OPMI - MTC. (2017). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Obtenido de Ministerio de Transportes y Comunicaciones: <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/index.html>
- PALOMINO SOTELO, K. A., & DIAZ GONZALES, D. A. (2021). Evaluación de un sistema de Gestión de Pavimentos Aplicando el Software HDM-4 en la via Izcuchaca - Cruzpata, Región Cusco-2021. (*Tesis de Grado*). Universidad Andina del Cusco, Cusco.
- Pérez, F. d. (2020). *Factores influyentes en la resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles*. Cliclayo: Ciencia Nicolaita.
- Pérez-Acebo, H. ,.-O. (2019). Predicción de la resistencia al deslizamiento para nuevas carreteras de dos carriles. *SCOPUS*, 273.
- Ralph Haas, W. R. (1993). *Modern Pavement Management*. Florida: R.E. Krieger Publishig Company.

- REJANI, V., JANANI, L., VENKATESWARALU, K., & SUNITHA, V. . (2023). Strategic Pavement Maintenance and Rehabilitation Analysis of Urban Road Network Using HDM-4. *SCOPUS*.
- Reyes Lizcano, F., & Rondon Quintana, H. (2015). *PAVIMENTOS: MATERIALES, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO*. BOGOTA: ECOE.
- Salgado Torres, M. (2020). SOFTWARE HDM-4 PARA CARRETERAS. *SOFTWARE HDM-4 PARA CARRETERAS*. SANTIAGO, CHILE.
- Salomón, D. D. (septiembre de 2021). Conservación de Pavimentos: Metodología y Estrategias. EE.UU.
- Sanchit, A., Arun, G., & Shaik, H. (2023). PAVEMENT DETERIORATION MODELLING FOR URBAN AND RURAL ROADS USING HDM-4. *SPRINGER LINK*.
- Sandoval, C. H. (2022). Caracterización de la resistencia de la subrasante con la. Colombia.
- Santos Ortiz, R. (2016). Evaluación de la condición de la carretera La Unión - Queropalca, usando la herramienta HDM - 4, para determinar una gestión de la vía no pavimentada, Huánuco 2016. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco.
- Schliessler, A. y. (1992). *Caminos: Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales*. Santiago: CEPAL.
- Schliessler, A. y. (2018). *Caminos: Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales*. Santiago: CEPAL.
- Schliessler, A., & Bull, A. (1994). *Caminos, un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales*. Santiago de Chile: Unidad de Transporte de CEPAL.
- SCOPUS C. A. Marín, R. I. (2021). Elasticidad de la demanda en el subsistema de transporte masivo del Área Metropolitana Centro Occidente en función del incremento de la tarifa. *Scopus*.
- Solminihac Tampier, H., Hidalgo Sandoval, P., Salgado Torres, M., & Valdés, M. (2002). Calibración del modelo de grietas estructurales para pavimentos asfálticos en HDM-4 a las condiciones de Chile. *Revista Ingenieria de construcción*, 12.
- Solminihac, H. d. (2015). *Gestion de Infraestructura Vial , tercera edición*. Colombia: Alfaomega Grupo editor.

- Solminihaç, H. d. (2019). *Gestión de Infraestructura Vial*, tercera edición. Colombia: Alfaomega Grupo editor.
- Spinel, S. C., Triviño, L. C., & Hormaza, B. C. (25 de Junio de 2021). MODELACIÓN DEL AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS DE PAVIMENTOS. Colombia.
- Svantek Academia. (21 de marzo de 2021). *Svantek Academia*. Obtenido de <https://svantek.com/es/academia/calibracion/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20jerarqu%C3%ADa%20de,ser%20la%20calibraci%C3%B3n%20del%20usuario>.
- Valle Rodas, R. (2017). *Carreteras, calles y aeropistas : principios generales de la mecánica de suelos aplicados a la pavimentación y métodos para el cálculo de pavimentos flexibles*. Buenos Aires: EL ATENEO.
- Valle Rodas, R. (2022). *Carreteras, calles y aeropistas : principios generales de la mecánica de suelos aplicados a la pavimentación y métodos para el cálculo de pavimentos flexibles*. Buenos Aires: EL ATENEO.
- Vivar Romero, G. (1995). *DISEÑO Y CONTRUCCION DE PAVIMENTOS*. LIMA: Colegio de Ingenieros del Peru, Capitulo de Ingenieria Civil, Consejo Departamental de Lima,.
- Wirtgen Group. (2020). manual de reciclado. Windhagen, Windhagen, Alemania.

## **CAPÍTULO XI ANEXOS**

2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN



NOMBRE DE LA VIA

VIA PRINCIPAL: CARRETERA HUACARPAY - VICHO

METODO IRI

INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

FECHA:

22/06/2023

EJECUTORES

ULISES CCORAHUA NAYHUA - EDWIN JUAN DE DIOS MEDINA ROJAS

TRAMO

HORA DE INICIO

9:52 a.m

CARRIL

Despecho (H.D)

HORA DE FINALIZACION

10:20 a.m

N° DE ENSAYO

02

KM

0+400 - 0+800

Li:

14

Lf:

30

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28	26	26	28	27,5	27,5	28	22	31	27
2	27,5	25,5	28	26	28	28	27,5	27	27	26
3	25	26	28,5	28	27	27,5	27	27,5	27	27
4	27,5	28	25,5	27	27	27	28	27	26,5	26,5
5	27	27	26	28	27	27	28	26	27	28
6	26	25,5	27,5	25	25	27	27	27	24	27
7	29	27	27,5	27	25,5	28	27	27	27	27
8	29	28	27	25,5	27,5	26,5	26	30	28	26,5
9	26	26	26,5	26	28	28	27,5	26,5	27,5	27
10	27	26	27	26,5	25,5	25	28,5	27,5	26	26
11	26	27	27	26	28,5	26,5	29	26	27	28
12	26	27,5	26	27	28	27,5	28	24	26,5	24,5
13	26	27	27	28	25,5	28	27,5	24	26,5	27
14	27	26,5	25,5	28	28	25	26	27	23	26
15	28	26,5	29,5	26	25	27,5	27	32	24	24,5
16	23	23,5	26	25	26	26	25	22	24	26,5
17	26	24	25	27	26	24	26	27,5	26,5	26
18	26	25,5	24	25	25,5	26	25,5	27	26	22
19	26	26	25	27	24	28	24	27,5	27	26
20	23	26	24,5	25,5	28	26	27	25	27	26

Observaciones:





# FORMATO DE ENSAYO MEDICIÓN DE DEFLEXIONES (VIGA BENKELMAN) EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO



MTC E 1002

PROYECTO : APLICACIÓN DEL MODELO HDM-4 , EN LA PLANIFICACION VIAL DE LA  
CARRETERA HUACARPAY - VICHO EN EL DEPARTAMENTO DEL CUSCO- 2023

SOLICITANTE :

REALIZADO POR :

Ulises Ccorahua Nayhua  
Edwin Medina Rojas

UBICACIÓN : CARRETERA HUACARPAY - VICHO  
ATENCIÓN :

REVISADO POR :  
FECHA DE ENSAYO : 17/07/2023  
TURNO : Dlumo

Equipo:

Peso del Eje: 8200 Kg.

Dial:

Presión: 80 Psi

Camión:

Relación del Brazo: 4:1

Llantas:

Factor de Estacionalidad: 1

### DATOS DE CAMPO

Progresiva (Km.)	Carril	Lecturas en el Dial			T. (°C) Terreno	Espesor (cm)	Fecha
		L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>500</sub>			
41	94400	10	20	32	36	38	2,5
42	94450	70	30	60	64	70	2,5
43	94500	80	20	16	24	30	3,4
44	94550	4	6	10	18	24	3,6
45	94600	12	16	16	18	20	1,60
46	94650	10	18	22	32	34	1,7
47	94700	10	12	14	16	22	1,66
48	94750	12	25	45	50	52	1,75
49	94800	4	12	16	18	26	1,9
50	94850	10	12	20	24	30	1,86
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
50							

OBSERVACIONES :