

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN
LA DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO
UTILIZANDO LA HERRAMIENTA HDM-4 CASO: CARRETERA
PUNO-DESAGUADERO**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

Bach. HURTADO ASTO, NATALY WENDY CHRISTY
Bach. PALOMINO FELIX, KATHERINE

Asesor: M. Sc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NÉSTOR WILFREDO

LIMA - PERÚ

2020

DEDICATORIA

A Dios quien me ha sabido acompañar e iluminar cada día, a mis padres Ruben Palomino Palomino y Celestina Felix Curo, quienes desde pequeña me apoyaron de forma incondicional, enseñándome buenos valores y humildad, ante todo, gracias a ellos he podido lograr una etapa más de mi vida profesional. A mis hermanos Bryan y Karoline; que siempre me supieron apoyar durante mis estudios universitarios. A toda mi familia y amigos que fueron un pilar fundamental demostrándome cariño y apoyo.

Katherine Palomino Felix

Dedicada a Dios por permitirme culminar este trabajo de investigación y por brindarme bienestar y salud. A mis padres, Gladys y Carlos, por brindarme la formación profesional, por su amor y su generosidad. A mis hermanos, por su apoyo, cariño, alegría y entusiasmo. A mi familia, por brindarme su apoyo, valores y enseñanzas. A mis profesores y amigos, quienes me transmitieron muchos conocimientos y consejos para desarrollarme como profesional y persona.

Nataly Wendy Christy Hurtado Asto

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma máter, la Universidad Ricardo Palma, por brindarnos una sólida formación profesional, a través de los catedráticos durante nuestra carrera universitaria.

A nuestro especialista, M. Sc. Ing. Néstor Huamán Guerrero, por la formación brindada en el área de pavimentos, por el entusiasmo con el que abordaba las clases en pregrado, transmitiendo así en nosotras empeño para desarrollar nuestro trabajo.

A nuestros revisores, por ser partícipes del desarrollo y finalización del presente trabajo de investigación.

Nataly Hurtado y Katherine Palomino

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos	3
1.1.1 Problema general	4
1.1.2 Problemas específicos.....	4
1.2 Objetivo general y específico	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática.....	5
1.3.1 Delimitación temporal	5
1.3.2 Delimitación espacial	6
1.3.3 Delimitación temática.....	6
1.4 Justificación e importancia	6
1.4.1 Teórica.....	6
1.4.2 Práctica	6
1.4.3 Social	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes del estudio de la investigación	7
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	11
2.1.2 Antecedentes internacionales	14
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema	16
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	17
2.3.1 Pavimentos.....	17
2.3.2 Elementos que conforman la estructura de un pavimento.....	17
2.3.3 Pavimentos asfálticos	19
2.3.4 Funciones de las capas de pavimentos asfálticos	20
2.3.5 Diseño de pavimentos asfálticos.....	21

2.3.6	Fallas en el pavimento asfáltico.....	35
2.3.7	Regularidad superficial.....	37
2.3.8	Evaluación estructural por deflectometría.....	39
2.3.9	Renovación superficial	46
2.3.10	Refuerzo de pavimentos asfálticos	48
2.3.11	Índice de condición presente (PCI)	48
2.3.12	Clasificación de los deterioros en el pavimento asfáltico.....	50
2.3.13	Causas del deterioro del pavimento.....	56
2.3.14	Los modelos de comportamiento para pavimentos asfálticos	57
2.3.15	Indicadores de la Performance de Pavimentos Asfálticos.....	57
2.3.16	Modelo de desarrollo y gestión de carreteras (HDM-4).....	58
2.3.17	Modelos de deterioro de pavimentos asfálticos en HDM-4	68
2.3.18	Parámetros principales de la modelización	83
2.3.19	Definición del análisis de estrategias del HDM-4	84
2.3.20	Niveles de Intervención en la Conservación Vial	86
2.3.21	Estrategias de Mantenimiento de Pavimentos Asfálticos.....	88
2.4	Estado del Arte del HDM-4	90
2.4.1	Contexto: Uso y Aplicación del HDM-4 en Latinoamérica	90
2.4.2	Implicaciones de implementar el HDM-4 en una agencia vial	92
2.4.3	Estudios de configuración y adaptación de HDM-4.....	93
2.4.4	Lugares de aplicación	94
2.5	Definición de términos básicos.....	100
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS		101
3.1	Hipótesis	101
3.1.1	Hipótesis general	101
3.1.2	Hipótesis secundarias	101
3.2	Variables	101
3.2.1	Definición conceptual de las variables	102
3.2.2	Operacionalización de las variables	103
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		107
4.1	Tipo y nivel.....	107
4.1.1	Tipo de investigación.....	107

4.1.2	Nivel de investigación	107
4.2	Diseño de investigación	107
4.3	Población y muestra.....	107
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	108
4.4.1	Tipos de técnicas e instrumentos	108
4.4.2	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	108
4.4.3	Procedimientos para la recolección de datos	109
4.5	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	109
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA CARRETERA PUNO-DESAGUADERO		110
5.1	Antecedentes de la Carretera Puno - Desaguadero.....	110
5.2	Generalidades.....	110
5.3	Parámetros de la carretera Puno-Desaguadero	111
5.3.1	Topografía	111
5.3.2	Características técnicas del trazo existente.....	112
5.3.3	Tráfico y carga.....	112
5.3.4	Geología y geotecnia	115
5.3.5	Hidrología, hidráulica y drenaje	116
5.3.6	Estructuras de concreto, obras de arte y drenaje	121
5.3.7	Evaluación de pavimentos	124
5.3.8	Prospecciones de Suelos y Ensayos Destructivos en el Pavimento.....	145
CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN		154
6.1	Diagnóstico y situación del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero	154
6.2	Desarrollo de la Modelación de la carretera en HDM-4.....	155
6.2.1	Patrón de intensidad de tráfico	155
6.2.2	Tipo velocidad/capacidad	156
6.2.3	Tipos de accidente	157
6.2.4	Zona climática	157

6.2.5	Moneda	158
6.2.6	Red de carretera	159
6.2.7	Parque automotor.....	163
6.2.8	Estándar de conservación	171
6.2.9	Creación de proyecto	193
6.3	Presentación de Resultados.....	201
6.3.1	Tránsito diario promedio anual (TDPA) por alternativa	201
6.3.2	Tránsito diario promedio anual (TDPA) por tramo.....	204
6.3.3	Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por alternativa	204
6.3.4	Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por proyecto	207
6.3.5	Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por tramo.....	207
6.3.6	Resumen de la condición del pavimento	208
6.4	Análisis de Resultados	213
6.5	Contrastación de hipótesis	215
6.5.1	Hipótesis específica 1	215
6.5.2	Hipótesis específica 2	216
6.5.3	Hipótesis específica 3	216
6.5.4	Hipótesis específica 4	217
6.5.5	Hipótesis específica 5	218
6.5.6	Hipótesis general	219
6.6	Discusión de resultados	220
CONCLUSIONES		224
RECOMENDACIONES.....		225
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		226
ANEXOS		230
1.	Matriz de Consistencia.....	230
2.	Matriz de operacionalización.....	231
3.	Evaluación de pavimentos	232

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Análisis combinado de los resultados de la evaluación	43
Tabla N° 2: Rangos de clasificación del PCI.....	49
Tabla N° 3: Funciones de gestión y sus aplicaciones correspondientes en HDM-4.....	60
Tabla N° 4: Operacionalización de la Variable X	103
Tabla N° 5: Operacionalización de la Variable Y	104
Tabla N° 6: Características de los ríos.....	118
Tabla N° 7: Inventario de estructuras principales de drenaje	118
Tabla N° 8: Vida útil estimada de las estructuras de drenaje	120
Tabla N° 9: Sector homogéneo 1	136
Tabla N° 10: Sector homogéneo 2	136
Tabla N° 11: Sector homogéneo 3	137
Tabla N° 12: Sector homogéneo 4.....	137
Tabla N° 13: Sector homogéneo 5	138
Tabla N° 14: Sector homogéneo 6.....	138
Tabla N° 15: Valores estadísticos IRI Tramo Puno-Ilave	140
Tabla N° 16: Valores estadísticos de deflexiones.....	142
Tabla N° 17: Resumen de espesores por capas.....	146
Tabla N° 18: Selección de Sectores Homogéneos	147
Tabla N° 19: EAL por tramos.....	148
Tabla N° 20: Secciones analizadas según sectorización.....	150
Tabla N° 21: Sectores homogéneos	153
Tabla N° 22: Resumen de fallas del Sector Homogéneo N° 4	213
Tabla N° 23: Discusión de resultados.....	220

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Utilización Internacional del HDM-4	7
Figura N° 2: Análisis del ciclo de vida del pavimento con HDM-4.....	10
Figura N° 3: Sección transversal del pavimento asfáltico	20
Figura N° 4: Módulo de Resilencia	22
Figura N° 5: Ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento asfáltico	24
Figura N° 6: Número estructural	25
Figura N° 7: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico	26
Figura N° 8: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de Tráfico	26
Figura N° 9: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r) para una sola etapa de diseño (10 y 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico.....	27
Figura N° 10: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r) para dos etapas de diseño de 10 años cada una según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico	28
Figura N° 11: Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i) según Rango de Tráfico	30
Figura N° 12: Índice de Serviciabilidad Final (P_t) según Rango de Tráfico	31
Figura N° 13: Calidad del drenaje	32
Figura N° 14: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje m_i para Bases y SubBases granulares no tratadas en Pavimentos Asfálticos	32
Figura N° 15: Variación a_1 en función del módulo resiliente del concreto asfáltico.....	33
Figura N° 16: Variación a_2 con diferentes parámetros de resistencia de la base granular	34
Figura N° 17: Variación a_3 con diferentes parámetros de resistencia de la subbase granular	35
Figura N° 18: Escala de Rugosidad IRI (m/km).....	38
Figura N° 19: Rugosidad Inicial IRI (m/km) según tipo de carretera con carpeta asfáltica en caliente	39
Figura N° 20: Definición de deflexión característica según tipo de carretera	40
Figura N° 21: Gráfico de deflexiones admisibles	42

Figura N° 22: Textura Superficial	46
Figura N° 23: Magnitud del ahuellamiento	47
Figura N° 24: Reparaciones y procedimiento preventivos para pavimento asfáltico.....	47
Figura N° 25: Escala de evaluación PCI.....	49
Figura N° 26: Deterioros o fallas de los pavimentos asfaltados	51
Figura N° 27: Concepto del análisis del ciclo de vida en HDM-4	62
Figura N° 28: Efecto del estado de las carreteras sobre los costos de operación vehicular para terreno ondulado	63
Figura N° 29: Sistema de Clasificación de pavimentos asfálticos de HDM-4	64
Figura N° 30: Descripción de la capa y materiales de la base	65
Figura N° 31: Tipos genéricos de pavimentos asfálticos de HDM-4	65
Figura N° 32: Ajustes del tipo de pavimento después de los trabajos de conservación .	66
Figura N° 33: Arquitectura del sistema HDM-4.....	68
Figura N° 34: Definición de las medidas de deterioro.....	84
Figura N° 35: Clasificación de las actuaciones	85
Figura N° 36: Efectos y consecuencias de los programas de capacitación en HDM-4 ..	92
Figura N° 37: Configuración del HDM-4.....	93
Figura N° 38: Parametrización del HDM-4.....	94
Figura N° 39: Versión de la herramienta HDM-4	109
Figura N° 40: Sección típica del sector homogéneo 4.....	111
Figura N° 41: Tramo Puno-Chucuito - Variación de la Clasificación diaria por sentido	112
Figura N° 42: Tramo Chuchito –Ilave - Variación de la Clasificación Diaria por Sentido	113
Figura N° 43: Proyección de Tráfico por tipo de vehículo – Tramo Puno - Chucuito.	114
Figura N° 44: Proyección de Tráfico por tipo de vehículo – Chucuito - Ilave.....	115
Figura N° 45: Etapas para la realización del Inventario	121
Figura N° 46: Escala del PCI.....	124
Figura N° 47: Manual de fallas LTPP	125
Figura N° 48: Escala del PCI- Formato de Relevamiento de Fallas LTPP	127
Figura N° 49: Calificación de pavimentos asfálticos LTPP, AASHTO 2002	131
Figura N° 50: Escala del PCI.....	132
Figura N° 51: Gráfica PCI	133
Figura N° 52: Gráfica PCI	134

Figura N° 53: Gráfica PCI	134
Figura N° 54: Gráfica PCI	135
Figura N° 55: Gráfica PCI	135
Figura N° 56: Mediciones sobre tramos de distinta condición de rugosidad	139
Figura N° 57: Rugograma Tramo Puno - Ilave.....	139
Figura N° 58: Deflexiones	141
Figura N° 59: Condición estructural del pavimento	141
Figura N° 60: Zonas débiles por deflexiones altas	142
Figura N° 61: Resultados Obtenidos de Macrotextura	143
Figura N° 62: Coeficiente de Fricción al Deslizamiento.....	144
Figura N° 63: Patrón de intensidad de tráfico.....	155
Figura N° 64: Tipo velocidad / capacidad	156
Figura N° 65: Tipos de accidente	157
Figura N° 66: Zona climática.....	158
Figura N° 67: Moneda	158
Figura N° 68: Red de carretera	159
Figura N° 69: Datos globales del tramo en estudio	160
Figura N° 70: Definición del tramo 4	160
Figura N° 71: Geometría.....	161
Figura N° 72: Pavimento del tramo HDM-4	162
Figura N° 73: Condición del Pavimento.....	163
Figura N° 74: Parque automotor.....	163
Figura N° 75: Flota vehicular (Autos)	164
Figura N° 76: Características básicas (Autos)	164
Figura N° 77: Características básicas de flota vehicular (Autos)	165
Figura N° 78: Flota vehicular (Camiones).....	165
Figura N° 79: Características básicas (Camiones).....	166
Figura N° 80: Costos económicos unitarios (Camiones).....	166
Figura N° 81: Flota vehicular (Camioneta)	167
Figura N° 82: Características básicas (Camioneta)	167
Figura N° 83: Costos económicos unitarios (Camioneta)	168
Figura N° 84: Flota vehicular (Microbús)	168
Figura N° 85: Características básicas (Microbús)	169
Figura N° 86: Costos económicos unitarios (Microbús)	169

Figura N° 87: Flota vehicular (Ómnibus).....	170
Figura N° 88: Características básicas (Ómnibus).....	170
Figura N° 89: Costos económicos unitarios (Ómnibus).....	171
Figura N° 90: Estándar de conservación.....	171
Figura N° 91: Nombre de estándar de conservación	172
Figura N° 92: Intervención	173
Figura N° 93: Efectos	173
Figura N° 94: Valuación de Activos.....	174
Figura N° 95: Estándar de conservación Sellado de Fisuras	175
Figura N° 96: General.....	175
Figura N° 97: Acción de intervención	176
Figura N° 98: Efectos	177
Figura N° 99: Estándar de conservación recapado 5 cm	177
Figura N° 100: General.....	178
Figura N° 101: Diseño	179
Figura N° 102: Intervención	179
Figura N° 103: Efectos	180
Figura N° 104: Valuación de Activos.....	181
Figura N° 105: Estándar de Conservación de Sellado de Fisuras.....	181
Figura N° 106: Intervención	182
Figura N° 107: Efectos	183
Figura N° 108: Micropavimento.....	183
Figura N° 109: General.....	184
Figura N° 110: Diseño	185
Figura N° 111: Intervención	185
Figura N° 112: Efectos	186
Figura N° 113: Valuación de Activos.....	187
Figura N° 114: Estándar de conservación Sellado de Fisuras	187
Figura N° 115: General.....	188
Figura N° 116: Intervención	189
Figura N° 117: Efectos	189
Figura N° 118: Estándar de conservación Alternativa Base – Sellado de fisuras	190
Figura N° 119: General.....	191
Figura N° 120: Intervención	191

Figura N° 121: Efectos	192
Figura N° 122: Ventana de proyecto	193
Figura N° 123: Descripción general del proyecto	194
Figura N° 124: Definición de proyecto a detalle	194
Figura N° 125: Especificación de alternativas.....	195
Figura N° 126: alternativa base	195
Figura N° 127: Alternativa 1	196
Figura N° 128: Alternativa 2	196
Figura N° 129: Alternativa 3	197
Figura N° 130: Alternativa 4	197
Figura N° 131: Análisis de proyecto.....	198
Figura N° 132: Pestaña sensibilidad	198
Figura N° 133: Ejecutar corrida.....	199
Figura N° 134: Análisis multicriterio	199
Figura N° 135: Generación de informes	200
Figura N° 136: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa 1.....	201
Figura N° 137: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa 2.....	202
Figura N° 138: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa 3.....	202
Figura N° 139: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa 4.....	203
Figura N° 140: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa base	203
Figura N° 141: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados por tramo	204
Figura N° 142: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa 1	204
Figura N° 143: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa 2	205
Figura N° 144: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa 3	205
Figura N° 145: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa 4	206
Figura N° 146: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa base ..	206
Figura N° 147: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por proyecto	207
Figura N° 148: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por tramo	207

Figura N° 149: Resumen de la condición del pavimento alternativa 1	208
Figura N° 150: Resumen de la condición del pavimento alternativa 2	209
Figura N° 151: Resumen de la condición del pavimento alternativa 3	210
Figura N° 152: Resumen de la condición del pavimento alternativa 4	211
Figura N° 153: Resumen de la condición del pavimento alternativa base	212
Figura N° 154: El relevamiento de fallas.....	232
Figura N° 155: El relevamiento de fallas.....	232
Figura N° 156: Medición de Rugosidad	233
Figura N° 157: Medición de Rugosidad	233
Figura N° 158: Medición de Rugosidad	234
Figura N° 159: Medición de Rugosidad	234
Figura N° 160: Condición Estructural del pavimento	235
Figura N° 161: Condición Estructural del pavimento	235
Figura N° 162: Macrotextura.....	236
Figura N° 163: Macrotextura.....	237
Figura N° 164: Macrotextura.....	237
Figura N° 165: Equipo empleado en la Microtextura.....	238
Figura N° 166: Ubicación de la Carretera Puno - Ilave.....	239

RESUMEN

El presente trabajo de investigación abordó el deterioro del pavimento asfáltico en la Ruta Nacional 003S en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, Km 1363+000 - Km. 1413+000, ubicada en el departamento de Puno. El objetivo de la tesis fue determinar la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico a partir del análisis del deterioro del pavimento, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero. La investigación fue de tipo aplicada porque propone alternativas de mantenimiento y de nivel correlacional, porque se analizó la relación entre la variable independiente, deterioro del pavimento asfáltico y las variables dependientes: estrategias de mantenimiento del pavimento asfáltico, Software HDM-4, modelos del HDM-4 y tipos de intervención. El diseño de la investigación fue no experimental, de diseño transversal correlacional – causal. Considerada no experimental porque no se manipula la variable independiente y transversal correlacional – causal porque se describieron las relaciones entre las variables en el período 2020-2029. La aplicación de cuatro estrategias de mantenimiento, generó las gráficas del progreso de la irregularidad promedio en el tiempo (IRI) y 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, esta alternativa fue el resultado del análisis de la proyección del deterioro del pavimento asfáltico y tráfico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno – Ilave. Finalmente, la aplicación de la estrategia de mantenimiento mitiga el deterioro del pavimento asfáltico.

Palabras claves: IRI, Modelos del HDM-4, Software HDM-4

ABSTRACT

This research work addressed the deterioration of the asphalt pavement on National Route 003S in the Puno - Ilave section of the Puno - Desaguadero Highway, Km 1363 + 000 - Km. 1413 + 000, located in the department of Puno. The objective of the thesis was to determine the optimal maintenance strategy of the asphalt pavement from the analysis of the deterioration of the pavement, applying the HDM-4 tool, in the Puno - Ilave section of the Puno - Desaguadero highway. The research was of an applied type because it proposes maintenance alternatives and correlational level, because the relationship between the independent variable, deterioration of the asphalt pavement and the dependent variables was analyzed: asphalt pavement maintenance strategies, HDM-4 Software, HDM models -4 and types of intervention. The research design was non-experimental, cross-sectional correlational-causal design. Considered non-experimental because the correlational-causal independent and cross-sectional variable is not manipulated because the relationships between the variables were described in the period 2020-2029. The application of four maintenance strategies generated the graphs of the progress of the average irregularity over time (IRI) and resulted in the optimal maintenance strategy, which is defined by alternative 1, consisting of a 7.5 cm asphalt overlay and sealing cracks, this alternative was the result of the analysis of the projection of deterioration of the asphalt pavement and traffic on the Puno - Desaguadero highway, Section: Puno - Ilave. Finally, the application of the maintenance strategy mitigates the deterioration of the asphalt pavement.

Keywords: IRI, HDM-4 Models, HDM-4 Software

INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los principales problemas asociados con la infraestructura vial del país es el deterioro de los pavimentos asfálticos antes de cumplir su periodo de diseño. El tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero ubicada en el departamento de Puno presenta altos índices de deterioro del pavimento asfáltico según la evaluación funcional, estructural, superficial y de seguridad vial realizado en el último expediente técnico, por tanto, se requiere establecer estrategias de mantenimiento en el pavimento asfáltico para lograr conservar el activo vial.

Los objetivos del presente trabajo de investigación son determinar la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, estudiar las fallas y modelos de deterioro del pavimento asfáltico, analizar las actividades de Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico del pavimento asfáltico, aplicar la metodología del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4), identificar los modelos del HDM-4 y determinar las intervenciones oportunas de mantenimiento del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se realizó la modelación del pavimento asfáltico aplicando la herramienta HDM-4 y luego se determinaron las proyecciones del deterioro del pavimento y se analizaron las estrategias de mantenimiento correspondientes a las fallas y/o deterioro en el pavimento asfáltico.

La presente investigación está estructurada en seis capítulos de la siguiente manera:

- En el capítulo I se describe el planteamiento del problema, donde se presenta la descripción y formulación del problema general, preguntas específicas, objetivos generales y específicos, la importancia y justificación de la investigación.
- En el capítulo II se presenta el marco teórico donde se mencionan los antecedentes nacionales e internacionales, la estructura teórica y científica que sustenta el estudio, el Estado del Arte del HDM-4 y la definición de términos básicos.
- En el capítulo III se desarrolla el sistema de hipótesis, la hipótesis general, las hipótesis específicas, las variables del estudio.
- En el capítulo IV se desarrolla la metodología de la investigación, se determinó el tipo y nivel de investigación, diseño de investigación, la población y muestra, las

técnicas e instrumentos de recolección de datos y las técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

- En el capítulo V se presenta la evaluación técnica de la Carretera Puno – Desaguadero y los parámetros de la carretera.
- En el capítulo VI se describe la presentación y análisis de resultados de la investigación, el diagnóstico y situación de la Carretera Puno Desaguadero, el desarrollo de la modelación de la carretera en HDM-4, los resultados de la modelación, el análisis de los resultados. Se desarrolla la contrastación de hipótesis y la discusión de resultados.
- Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

En la actualidad uno de los principales problemas asociados con la infraestructura vial del país es el deterioro de los pavimentos asfálticos antes de cumplir su periodo de diseño. “Los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos asfálticos son: factores climáticos, de temperatura, precipitación, tránsito, drenaje, condiciones geológicas, diseño estructural y la construcción” (Chang, 2018)

De no aplicarse una política consecuente y con un criterio técnico-económico racional de Conservación Vial, el proceso de deterioro de la condición superficial, funcional, estructural y de los factores de seguridad de la Infraestructura Vial de nuestras vías podrían volverse inmanejables, y así se estaría desacertadamente apoyando la costosa política de rehabilitación - destrucción – rehabilitación, motivo por el cual y específicamente en el caso de la Carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave, es necesario ejecutar trabajos oportunos de Mantenimiento Periódico que incluyan Trabajos de Mantenimiento Rutinario diferido, Reparaciones y Trabajos de Prevención de Emergencias, a fin de mantener los Niveles de Servicio del tramo en condiciones similares a las de su último proyecto de Mejoramiento, contribuyendo así a asegurar la preservación de este importante activo del Patrimonio Vial Nacional durante un periodo de por lo menos diez (10) años.

En el presente trabajo de investigación se analizará la proyección del deterioro del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero ubicada en el departamento de Puno. Esta carretera, en el último estudio de mantenimiento del año 2008, presentó altos índices de deterioro en la carpeta asfáltica, por esta razón, ha sido considerada como la población de estudio de esta investigación, con el objetivo de analizar el deterioro del pavimento asfáltico y determinar las estrategias de mantenimiento periódico y rutinario al corto, mediano y largo plazo.

(Salomón, 2009) Dice que “un programa de conservación de carreteras bien estructurado ahorra dinero a largo plazo y este servicio es siempre bien recibido por

los usuarios, quienes como contribuyentes de impuestos proveen los fondos monetarios a las entidades gubernamentales” (pág. 8).

Por ello, existe la necesidad de implementar las Estrategias de Mantenimiento de los Pavimentos asfálticos en los proyectos nacionales para determinar el comportamiento de la estructura del pavimento en el tiempo, permitiendo prolongar el tiempo de vida de la carretera de estudio, los costos futuros y el comportamiento de la estructura del pavimento.

Uno de los principales problemas relacionados al deterioro de pavimentos, es el limitado uso de herramientas de gestión que permitan conocer las intervenciones oportunas en la infraestructura vial.

1.1.1 Problema general

¿De qué manera la estrategia óptima de mantenimiento permite mitigar el deterioro del pavimento asfáltico, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno - Desaguadero?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo establecer la estrategia óptima de mantenimiento del pavimento asfáltico a partir de las fallas y modelos de deterioro del pavimento asfáltico, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno - Desaguadero?
- b) ¿Cuáles son las actividades de Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico del pavimento asfáltico para recomendar la estrategia de mantenimiento aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero?
- c) ¿Cómo aplicar la metodología del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4) en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno - Desaguadero?
- d) ¿Qué modelos del HDM-4 intervienen en el análisis de la Estrategia de Mantenimiento del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno - Desaguadero?

- e) ¿Cuándo determinar las intervenciones oportunas de mantenimiento para prolongar la rehabilitación del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno - Desaguadero?

1.2 Objetivo general y específico

1.2.1 Objetivo general

Determinar la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico a partir del análisis del deterioro del pavimento asfáltico aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Establecer la estrategia óptima de mantenimiento del pavimento asfáltico, a partir del estudio de las fallas y modelos de deterioro del pavimento, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.
- b) Analizar las actividades de Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico del pavimento asfáltico para recomendar la estrategia de mantenimiento aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.
- c) Aplicar la metodología del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4), para determinar la Estrategia de Mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.
- d) Identificar los modelos del HDM-4, para determinar el análisis de la Estrategia de Mantenimiento del pavimento asfáltico, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.
- e) Determinar las intervenciones oportunas de mantenimiento para prolongar la rehabilitación del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática

1.3.1 Delimitación temporal

El estudio abarca el período comprendido entre los meses de junio a diciembre del 2020, el análisis se efectuará utilizando la herramienta HDM-4, y el Manual de Conservación vial del Ministerio de Transportes, para así poder

determinar una estrategia óptima de mantenimiento del pavimento asfáltico para el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno –Desaguadero.

1.3.2 Delimitación espacial

La presente investigación se sitúa en el Departamento de Puno, tomando como muestra el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno –Desaguadero, la cual contiene los parámetros necesarios para la utilización de la herramienta HDM-4.

1.3.3 Delimitación temática

La realización de la presente tesis, busca estudiar la estrategia óptima de mantenimiento que permite mitigar el deterioro del pavimento asfáltico del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, a través de la herramienta HDM-4, y el Manual de Conservación vial del Ministerio de Transportes, a fin de optimizar costos de construcción y conservación.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Teórica

La importancia de determinar modelos de deterioro del pavimento, para poder proponer Estrategias de Mantenimiento, utilizando la herramienta HDM-4; con el objetivo de intervenir en el tiempo oportuno el pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

1.4.2 Práctica

La implementación de la Estrategia óptima de Mantenimiento proporcionará información de la eficiencia y rentabilidad, las cuales deberán implementarse en el pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

1.4.3 Social

El aporte social es conservar el tramo Puno – Ilave de la Carretera: Puno - Desaguadero, por medio del establecimiento de un modelo de estrategias de mantenimiento del pavimento asfáltico, las cuales permitirán prolongar el tiempo de vida del activo vial. Asimismo, la aplicación de estrategias de mantenimiento permitirá la conexión de la población hacia los centros de abastecimientos más cercanos, colegios, hospitales y centros laborales.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de la investigación

“Los primeros estudios para el desarrollo de un sistema de evaluación de inversiones de carreteras fueron financiados por el Banco Mundial en 1968. Varias instituciones estadounidenses en colaboración con el Transport Research Laboratory (TRL) del Reino Unido emprendieron un proyecto para evaluar los efectos que la construcción y las actuaciones de conservación tienen sobre los costes de operación de los vehículos en carreteras. Estos estudios dieron lugar al primer modelo denominado Highway Cost Model (HCM) desarrollado por el instituto tecnológico de Massachussets (MIT)” (Núñez y Pérez, 2005). En la figura 1 se muestra la utilización internacional del HDM-4.

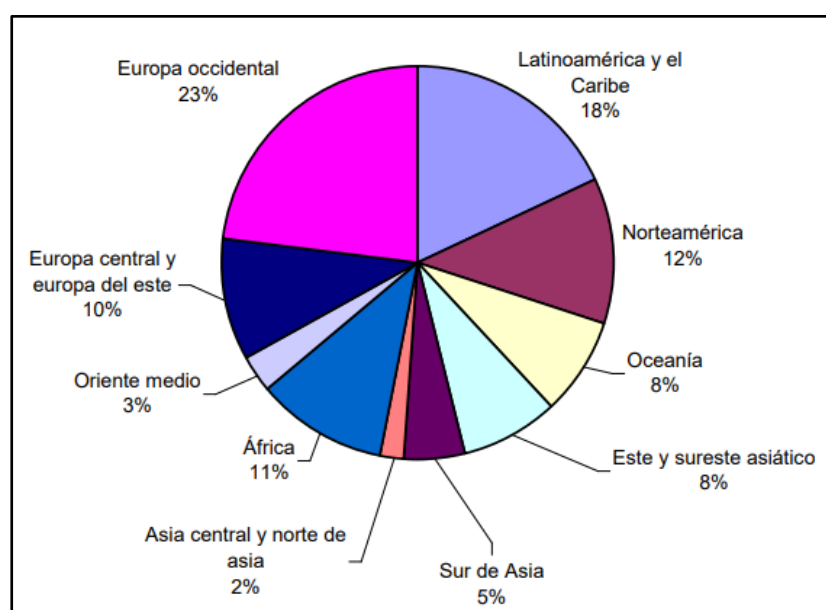


Figura N° 1: Utilización Internacional del HDM-4

Fuente: (Núñez y Pérez, 2005)

“Desde entonces el modelo se ha ido mejorando, a partir de diversos trabajos realizados fundamentalmente en países en vías de desarrollo. El HDM-III incorpora los resultados de estudios posteriores realizados en Kenia, India y el Caribe. La última versión del programa, el HDM-4, ha permitido ampliar el campo de aplicación del mismo, tras la actualización de los modelos y la incorporación de nuevos aspectos en el análisis como la modelización del comportamiento de pavimentos hidráulicos,

los efectos de la congestión, el consumo de energía y otros efectos medioambientales” (Núñez y Pérez, 2005, págs. 1-2).

“Según datos de la PIARC (Asociación mundial de la carretera), que gestiona y difunde el programa desde 1998, este se está aplicando ya en más de 100 países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo. La intención de la PIARC es la de fomentar su uso en países en vías de desarrollo y con economías en fase de transición” (Núñez y Pérez, 2005, pág. 2).

Descripción General del modelo HDM-4

“El objetivo del programa es el de optimizar el coste del transporte por carretera, entendido éste como la suma de los costes asumidos por el estado y los costes generados sobre los usuarios. Dentro de los costes de la administración hay que incluir los derivados de la construcción de la carretera y su posterior conservación y mantenimiento. Para el usuario, los costes se evalúan en términos de costes de operación del vehículo: consumo de combustible, coste del tiempo de viaje, costes derivados de accidentes.

En particular, el HDM permite evaluar ambos flujos de costes para un determinado periodo de análisis. El año de inicio del análisis podrá ser el primer año de construcción, el año de puesta en servicio o simplemente el año actual. El programa determinará a lo largo de la vida útil restante del pavimento, la evolución de su estado. En función de dicho estado se establecen las distintas alternativas de actuación y se calculan los costes generados.” (Núñez y Pérez, 2005, pág. 2).

“En el HDM-4 mediante un primer módulo se introducen los datos de partida. El segundo módulo evalúa los deterioros de la carretera. En particular se realiza una serie de análisis a partir de los modelos siguientes:

- Deterioro de la carretera (RD): Predice el deterioro del pavimento.
- Efectos de las actuaciones (WE): Implementa programas de actuaciones y determina sus costes.
- Efectos sobre los usuarios (RUE): Determina los costes de circulación de los vehículos, accidentes y el tiempo de viaje.

- Efectos sociales y medioambientales (SEE): Determina los efectos producidos por emisiones y ruidos y predice el número de accidentes y la cantidad de consumo de energía” (Núñez y Pérez, 2005, pág. 2).

“Un tercer módulo realiza el análisis económico. Calcula los indicadores económicos de las distintas alternativas de conservación planteadas. Por último, el cuarto módulo, de generación de resultados, proporciona una serie de informes sobre el estado del pavimento, los costes de operación de los vehículos y el análisis económico.

Por otra parte, el programa admite tres niveles de aplicación: planificación, programación y proyecto. El nivel de planificación estratégica permite un análisis global del sistema de carreteras, para la preparación de estimaciones a largo plazo sobre las necesidades de la red y las inversiones necesarias bajo distintos escenarios presupuestarios. El nivel de programación identifica y prioriza las actuaciones en distintos tramos de la red, según las disponibilidades presupuestarias en cada caso. Por último, el nivel de proyecto, en la que se evalúan para un tramo en concreto los beneficios económicos de las distintas opciones de actuación para así seleccionar la más adecuada.” (Núñez y Pérez, 2005, pág. 2).

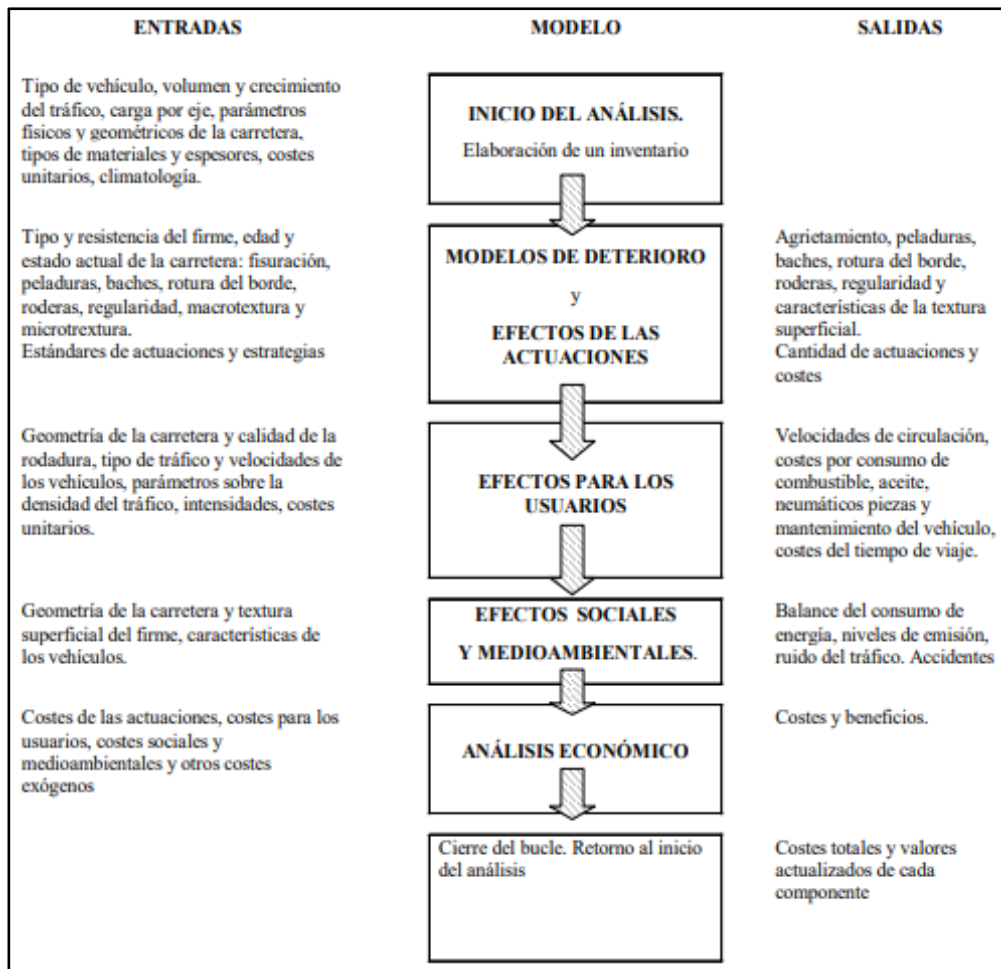


Figura N° 2: Análisis del ciclo de vida del pavimento con HDM-4

Fuente: (Núñez y Pérez, 2005)

“Además, es muy importante tener en cuenta que para poder utilizar los modelos anteriormente mencionados es imprescindible disponer de una base de datos. Ésta será tan completa en función del grado de complejidad del análisis que se vaya a realizar. Deberá considerar, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Sistema de referenciación.
- Tráfico.
- Clima.
- Inventario” (Núñez y Pérez, 2005, pág. 3).

Características del HDM-4.

“ Las herramientas incorporadas al HDM-4 permiten tareas como las siguientes:

- Pronosticar el deterioro del pavimento durante su vida útil.
- Calcular los efectos de las acciones de conservación y mejoramiento de la vía.
- Pronosticar costos de operación vehicular y de los usuarios de la infraestructura vial.
- Determinar los efectos de la congestión en la velocidad de operación de vehículos y en los costos de operación vehicular.
- Evaluar proyectos, políticas y programas de conservación bajo términos técnico-económicos, obteniendo los montos y beneficios de cada alternativa considerada, y calcular los indicadores de rentabilidad como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).
- Optimizar programas de conservación y mejoramiento, condicionadas a presupuestos limitados.
- Calcular la inversión necesaria para mantener un determinado nivel de servicio en una red vial, tal caso estimar el nivel de servicio que puede lograrse con un financiamiento limitado” (Lagos, 2019, págs. 41-42).

2.1.1 Antecedentes nacionales

(Giraldo, 2015) en su tesis de investigación nos indica que:

El objetivo general fue “determinar el adecuado procedimiento de una gestión vial como también una proyección de los costos de ejecución y del mantenimiento rutinario después de la conservación periódica, asimismo, proponer pautas para la mejora de las carreteras que se encuentran en condiciones inadecuadas mediante tratamientos y rehabilitaciones” (pág. 6).

A partir de los resultados, se concluye que “la conservación preventiva de las carreteras evita el deterioro acelerado al prolongar la vida útil en buen estado, evita cuantiosas pérdidas de tiempo y dinero” (pág. 134).

(Tenorio, 2005) en su tesis de investigación nos indica que:

El objetivo general fue “elaborar una guía o texto básico de los modelos de predicción del deterioro de pavimentos, en tanto, los objetivos específicos fueron presentar los diferentes modelos de predicción del deterioro de pavimentos existentes, mostrar las técnicas desarrolladas para el modelamiento, analizar y proponer el modelo que podría emplear las agencias de gestión de pavimentos en el país y aplicar estos modelos a carreteras en el país” (Tenorio, 2005)

A partir de los resultados, se concluye que “los modelos de predicción de deterioro o modelos de comportamiento de pavimentos se han desarrollado a partir de la necesidad de encontrar herramientas que permitan programar actividades de mantenimiento y/ rehabilitación de pavimentos y en consecuencia asignar recursos de la manera más precisa y rentable” (Tenorio, 2005)

(Huamán N. W., 2011) en su tesis de investigación nos indica que:

El objetivo general fue “efectuar un estudio bibliográfico extensivo sobre los mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos, discutiendo las causas que las producen, y presentando los equipos de laboratorio y de campo especializados utilizados para evaluar este problema” (pág. 1).

A partir de los resultados, se concluye que “altas temperaturas originan por lo tanto que las carpetas asfálticas sean sometidas a temperaturas muy altas, haciéndolas proclives a la falla por deformación permanente, como consecuencia de la susceptibilidad térmica que por constitución química está presente en el asfalto” (pág. 128).

(Chávez, 2008) en su tesis de investigación nos indica que:

“El objetivo general fue realizar la planificación de un sistema de gestión de pavimentos para el mantenimiento de una vía asfaltada.; para lo cual se define las estrategias a evaluar. La metodología de la investigación comprendió el Empleo del Inventario Vial de la Red Vial Nacional Asfaltada realizado por Technology and Management Ltd. (TNM) del año 2004, el subsistema de

Planeamiento (SPL) componente del Sistema de Gestión de Carreteras realizado por la Asociación BCEOM–OIST, Mayo 2001 y Empleo del software HDM-4, estudio y uso sólo de las herramientas para la modelación por estrategias” (pág. 16).

A partir de los resultados, se concluye que “los principales indicadores para realizar una planificación en un sistema de gestión de pavimentos incluyen datos de la carretera como: la geometría, IRI/huellas, tipos de daño en el pavimento asfáltico, deflexiones y textura del pavimento en estudio; información de estudio de demanda de tráfico, así como datos del parque automotor representativo de la zona en estudio que hacen uso de la vía en cuestión. El principal aporte de esta tesis es haber tomado los datos del inventario vial, tramo Sullana Aguas Verdes y aplicarlos al software HDM-4 generando una base de datos que forma parte de una guía práctica para realizar una planificación para el mantenimiento de una vía asfaltada” (págs. 95-96).

(Hidalgo, 2006) en su tesis de investigación nos indica que:

El objetivo general fue “realizar un análisis crítico de la gestión de pavimentos en el país, evaluando la eficiencia de la misma a través de la comparación de diversas metodologías de gestión y proponer nuevas herramientas de gestión de pavimentos o complementar las ya existentes” (pág. 18).

A partir de los resultados, se concluye que “el desarrollo del deterioro depende no solamente de los factores climáticos y de las cargas de tránsito sino también de la calidad o performance que presente el pavimento al inicio, esto a su vez está relacionado al buen diseño del pavimento y su buena construcción para lo que se requiere de una mayor inversión inicial, pero que convendrá a largo plazo al invertir menos en el mantenimiento o rehabilitación” (pág. 135).

2.1.2 Antecedentes internacionales

(Gamboa, 2019) en su tesis de investigación nos indica que:

“El objetivo general fue obtener curvas de deterioro de los parámetros del de Rugosidad – IRI, ahuellamiento, fisuras y grietas, resistencia al deslizamiento a partir de un modelo de deterioro agregado de las vías Concesionadas de Colombia (1G, 2G y 3G), que sirvan a las partes interesadas en la toma de decisiones para la proyección de mantenimientos o rehabilitaciones futuras, sobre un corredor vial determinado, nuevo o existente” (pág. 33).

A partir de los resultados, concluye que “en el país, a nivel de Red Vial Cantonal, existe un gran problema de planificación en cuanto al manejo de la infraestructura vial, lo cual se ve reflejado en la gran cantidad de caminos entre regular y mal estado. Esto se debe a que no existen estudios previos que permitan conocer la condición en la que se encuentran los caminos, lo que da paso a una mala práctica, donde se plantea la rehabilitación o la reconstrucción, sin tener pleno conocimiento de las curvas de deterioro para la debida toma de decisiones” (pág. 69).

(Sandoval, 2018) en su tesis de investigación nos indica que:

“El objetivo general fue diseñar una metodología para generar modelos de deterioro determinísticos en rutas con intervenciones periódicas como herramienta de un sistema de gestión a nivel estratégico (pág. 4), para lo cual se eligieron 5 rutas principales (1, 2, 32, 34 y 39) de todas las que pertenecen a la RVN, las cuáles serán los parámetros principales para el desarrollo de la metodología.” (pág. 36).

A partir de los resultados, concluye que “las curvas envolventes generales de deterioro, permite representar el comportamiento general de cada ruta analizada en esta investigación, los modelos envolventes generales de deterioro permiten priorizar los tramos de carretera que requieren una intervención en el tiempo para evitar que caigan en condiciones del pavimento más críticas, y así implementar estrategias que le permitan alargar la vida al pavimento con un menor costo” (págs. 160-161).

(Picado, 2016) en su tesis de investigación nos indica que:

El objetivo general fue “generar las curvas de deterioro de pavimentos asfálticos para carreteras de la Red Vial Cantonal” (pág. 6), para lo cual se aplicará “la metodología que comprenderá 3 fases. La primera, la fase preliminar, esta etapa se realizó previa a la visita de campo, con el fin de conceptualizar el problema en estudio, así como para familiarizarse con el método que se empleó en la determinación de la condición de los pavimentos. La segunda, fase de desarrollo, esta etapa consiste en la evaluación de los caminos y el procesamiento de los datos obtenidos, aplicando los lineamientos establecidos en la norma ASTM D-6433” (págs. 34-35) y “la fase final, en esta fase, se procede a realizar las recomendaciones y definir el tipo de intervención que se requiere para las carreteras, según las condiciones que presente” (pág. 44).

A partir de los resultados, concluye que “en el país, a nivel de Red Vial Cantonal, existe un gran problema de planificación en cuanto al manejo de la infraestructura vial, lo cual se ve reflejado en la gran cantidad de caminos entre regular y mal estado” (pág. 69).

(Turrado, 2016) en su tesis de investigación nos indica que:

“Se ha realizado un análisis de los Modelos de Deterioro de pavimentos, comparando los modelos de Fisuración, Regularidad (IRI) y Resistencia al Deslizamiento (CRT) de dos softwares con enfoques muy diferentes: el software ÍCARO, de la empresa Rauros ZM, con un enfoque Técnico-económico; y el software HDM-4 del Banco Mundial, con un enfoque Socioeconómico” (pág. 1).

“Los resultados del mismo han llevado a la conclusión de que ambos sistemas presentan grandes diferencias tanto en la complejidad de programación de sus ecuaciones, como en el número de datos y variables empleadas, como en la divergencia entre enfoques a la hora de realizar los calendarios de actuación o análisis de alternativas de actuación” (pág. 1).

(Miranda, 2010) en su tesis de investigación nos indica que:

El objetivo general fue “identificar las fallas que sufren los pavimentos asfálticos e hidráulicos, y otorgar soluciones para la conservación y rehabilitación de los mismos, al mínimo costo y con el más eficiente resultado posible” (Miranda, 2010). “En este trabajo como caso práctico se muestra la conservación de pavimentos aplicada a los sectores 1 y 2 de Valdivia, destacando las causas que produjeron estos deterioros, y las reparaciones aplicadas, destacando los procesos constructivos en la reconstrucción de calzadas de pavimentos y carpetas asfálticas, sirviendo de un gran aporte a los profesionales que pretendan desarrollarse en el área de obras viales” (Miranda, 2010).

A partir de los resultados, concluye que “Aún no se toma verdadera conciencia de que hacer mantención o conservación de pavimentación es mucho más barato que reparar el mismo pavimento, además de ahorrarnos millones de pesos, se puede ofrecer más serviciabilidad y confortabilidad a los conductores” (pág. 75).

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

Gestión de Pavimentos

“Una Gestión de Pavimentos completa, integra los sistemas de infraestructura vial a la conservación de pavimentos logrando así la optimización de los recursos económicos” (Salomón, 2009, pág. 2).

“Un sistema de gestión de pavimentos es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones 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” (Montoya, 2007, pág. 34).

Conservación de Pavimentos: Metodologías y Estrategias

“Este ensayo propone que una Gestión de Pavimentos completa, integra los sistemas de infraestructura vial a la conservación de pavimentos logrando así la optimización de los recursos económicos. Se argumenta que no es posible tomar decisiones estratégicas benéficas sin una integración efectiva de todos los componentes de la administración vial” (Salomón, 2009, pág. 2).

Propuesta de Estrategia de Mantenimiento de Pavimentos para municipalidades o gobiernos locales

(Sotil, 2014) “Una vez que el programa de SGP se establece, se propone la metodología para que las jurisdicciones respectivas construyan una base de datos histórica que permitan dar el salto a metodologías empíricas propias, que luego nos permitan, apropiadamente direccionados, dar el salto a largo plazo a métodos mecanísticos y empíricos” (pág. 13).

“Este trabajo propone un ejemplo aplicativo producido y que podría ser utilizado como guía por otras jurisdicciones. Más aún, puede ser tomado como el inicio para la elaboración y posterior implementación de un manual nacional para la Gestión de Pavimentos en el país” (pág. 13).

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1 Pavimentos

“El pavimento se define como “un elemento estructural monocapa o multicapas, construido sobre la subrasante de la vía, diseñado para soportar los esfuerzos de las cargas repetitivas que el tránsito le transmite durante un periodo de tiempo para el que fue diseñado. Dicho periodo de diseño es conocido como la vida útil o vida de servicio de la vía” (Ríos y Salcedo, 2013).

2.3.2 Elementos que conforman la estructura de un pavimento

“La estructura de un pavimento se halla formada por diferentes capas las cuales son: la subrasante, subbase, y capa de rodamiento y sello; sin embargo, es necesario aclarar que no siempre se encontrarán todas las capas que se detallan. En tales casos, la ausencia de una o varias de ellas dependerá de factores como la

capacidad de soporte del terreno de fundación, la clase de material a utilizarse, el tipo de pavimento, intensidad de tránsito, carga de diseño, etc.

Sub rasante: Es el suelo que sirve de fundación para todo el paquete estructural, se define como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura del pavimento; es decir, que es el terreno de cimentación del mismo.

Sub base: Es una capa de materiales granulares de buena graduación construida sobre la subrasante, consiste en la construcción de una o más capas de materiales granulares, que se colocan sobre una superficie preparada. Las funciones que esta capa debe cumplir son:

- Atenuar o suavizar aquellas deformaciones perjudiciales para la subrasante, como por ejemplo los cambios volumétricos producidos por cambios de humedad, evitando que se reflejen en la superficie del pavimento.
- Lograr espesores menores de la capa base para pavimentos asfálticos.
- Servir de drenaje al pavimento, esto quiere decir que debe ser capaz de desalojar el agua que se infiltra en la capa de rodadura.
- Transmitir los esfuerzos a la rasante en forma adecuada y reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que, por estar sobre la base, queda sujeta a esfuerzos menores y requiere de especificaciones menos rígidas.

Base: Constituye la capa intermedia entre la rasante y la subbase, generalmente se usa en los pavimentos asfálticos y consiste en la construcción de una o más capas de materiales granulares.

Entre sus funciones tenemos:

- Drenar el agua que se filtra a través de las carpetas y hombros.
- Resistir los cambios de temperatura, humedad y la desintegración por abrasión producida por el tránsito.
- Reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten a las capas inferiores.

- Proveer suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella, y transmitirla a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una subbase o una subrasante.
- Función económica, permite reducir el espesor de la carpeta asfáltica, que es la más costosa.

Capa de rodamiento: Formada por una o varias capas que se colocan sobre la base, dichas capas corresponden a los trabajos de pavimentación asfáltica como riegos, sellos, tratamientos superficiales, emulsiones y morteros asfálticos, así como de concretos asfálticos en caliente y en frío. La capa de rodamiento es el elemento del pavimento sobre el cual circulan directamente los vehículos y peatones. Las funciones que esta capa debe cumplir son:

- Recibir y absorber en primera instancia el peso de los vehículos que circulan sobre la vía.
- Minimizar sensiblemente los esfuerzos que se transmiten hacia el Terreno de fundación.
- Si la rodadura posee un espesor mayor o igual a cinco centímetros, se considera que trabaja junto al resto de capas para soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.
- Proveer una superficie estable para el tránsito, uniforme, prácticamente impermeable, con una textura y color convenientes y que a la vez sea capaz de resistir los efectos abrasivos del tráfico” (Vargas, 2017, págs. 9-13).

2.3.3 Pavimentos asfálticos

“Se denominan pavimentos asfálticos todos aquellos que están formados por una capa bituminosa apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad (base y subbase) que transmiten esfuerzos al terreno de soporte o fundación mediante un mecanismo de disipación de tensiones, las cuales van disminuyendo con la profundidad” (Zelada, 2019, pág. 3).

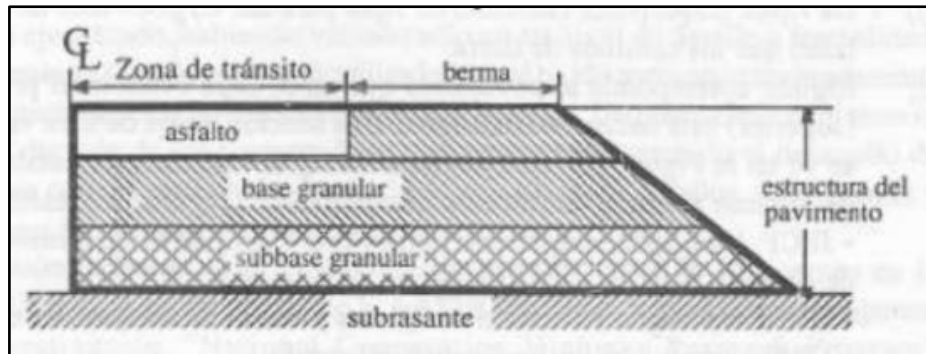


Figura N° 3: Sección transversal del pavimento asfáltico

Fuente: (Ríos & Salcedo, 2013)

2.3.4 Funciones de las capas de pavimentos asfálticos

“La función principal del pavimento asfáltico es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, de la intemperie y otros agentes perjudiciales, así como transmitir los esfuerzos por las cargas del tránsito a la subrasante.

Funciones de las capas que constituyen un pavimento asfáltico:

- a) Carpeta o capa de rodadura: Es la capa más superficial y tiene como principal función proporcionar una superficie segura, cómoda y estable en el tránsito vehicular; además de actuar como capa impermeable para impedir la infiltración de agua en la estructura del pavimento.
- b) Base: Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa de Superficial y es la encargada de recibir los esfuerzos de la capa de rodadura y transmitirlo de forma adecuada a la sub-base y a la subrasante. En general, se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar).
- c) Capa Sub-base: Se considera una capa netamente económica, debido a que el contenido de sus materiales es muy asequible y económico. Tiene la función de actuar como capa de transición entre la base y la subrasante, puesto que impide la penetración de materiales finos de la subrasante así, como la ascensión capilar” (Matos y Nuñez, 2018, págs. 20-21).

2.3.5 Diseño de pavimentos asfálticos

2.3.5.1 Consideraciones de diseño

- Comportamiento del pavimento

“Los conceptos de comportamiento de los pavimentos incluyen ciertas consideraciones de comportamiento funcional, comportamiento estructural y seguridad.

El comportamiento estructural de un pavimento se relaciona con su condición física, esto es, con la ocurrencia de agrietamientos, fallas, peladuras, u otras situaciones que podrían afectar exclusivamente la capacidad de soporte de la estructura del pavimento o en todo caso, requerir mantenimientos.

El comportamiento funcional de un pavimento se refiere a cuán bien sirve el pavimento al usuario. En este contexto el confort o calidad de la transitabilidad es la característica predominante” (AASHTO, 1993).

- Tráfico

“La información de tráfico requerida por las ecuaciones de diseño utilizadas en la Guía AASHTO 1993, incluye las cargas por ejes, configuración de ejes y número de aplicaciones” (AASHTO, 1993) “Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en ESALs, Equivalent Single Axle Loads 18-kip o 80-kN o 8.2 t, denominadas Ejes Equivalentes (EE). La sumatoria de ESALs durante el periodo de diseño es referida como (W18) o ESALD, denominado también Número de Repeticiones de EE de 8.2 t” (MTC, 2014).

- Suelo de fundación

“La propiedad definitiva de material usada para caracterizar al suelo de fundación es el módulo resiliente (MR). El módulo resiliente es una medida de la propiedad elástica del suelo, tomando en cuenta ciertas características no lineales” (AASHTO, 1993). “Para obtener el Módulo Resiliente a partir del CBR, se emplea la siguiente ecuación que correlaciona el Mr – CBR, obtenida del Appendix CC-1 “Correlation of CBR values with soil index

properties” preparado el 2001 por NCHRP Project 1-37A (National Cooperative Highway Research Program), documento que forma parte de MEPDG Mechanistic - Empirical Pavement Design Guide – AASHTO interim 2008)” (MTC, 2014).

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

Figura N° 4: Módulo de Resilencia

Fuente: (MTC, 2014)

- Materiales de construcción

“Los materiales usados para la construcción de la estructura del pavimento se dividen en dos clases generales: materiales para pavimentos asfálticos y materiales para pavimentos hidráulicos” (AASHTO, 1993).

- Medio ambiente

“Se considera dos de los principales factores ambientales, en relación al comportamiento de la estructura del pavimento: las lluvias y la temperatura.

La temperatura afectará las propiedades de fluencia del concreto asfáltico, los esfuerzos térmicos inducidos en el concreto asfáltico la expansión y contracción del concreto de cemento Portland y el hielo y deshielo del terreno de fundación” (AASHTO, 1993).

- Drenaje

“El drenaje del agua de los pavimentos ha sido siempre una consideración importante en el diseño de carreteras, sin embargo, los métodos corrientes de diseño han resultado a menudo en capas de base que no drena bien. Este exceso de agua combinada con volúmenes y cargas de tráfico crecientes, han llevado a menudo al destrozamiento prematuro de la estructura del pavimento” (AASHTO, 1993).

- Confiabilidad

“El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad (% R) que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su período de diseño, de acuerdo con lo previsto” (MTC, 2014).

- Costos de ciclo de vida

“Comprende la información relativa al análisis económico y a las comparaciones económicas de diseños alternativos basados en los costos durante el ciclo de vida.

- Diseño de bermas

Una berma de carretera es la porción de carretera, contigua a la vía de circulación para acoger durante emergencias a los vehículos parados y para el soporte lateral de las capas de base y subbase.

Se reconoce que las bermas pavimentadas adyacentes a pavimentos asfálticos, proporcionan soporte lateral a las capas de base y de superficie. La invasión de los camiones sobre la berma es la causa principal de daño; de aquí que cualquier tratamiento que minimice las operaciones sobre la berma, beneficiará el comportamiento de los pavimentos en la vía principal en la berma” (AASHTO, 1993).

2.3.5.2 Metodología AASHTO

Período de diseño

- “Periodo de diseño de 20 años (una sola etapa) y 20 años (en dos etapas, con una estructura para 10 años y reforzar hasta cubrir el periodo de vida de 20 años).
- Se determina el índice de serviciabilidad inicial
- Se determina el índice de serviciabilidad final a 10 años
- Se determina el índice de serviciabilidad final a 20 años
- Espesor mínimo de refuerzo en concreto asfáltico: 2.50cm o 1 Pulgada.

- Refuerzo máximo para el Periodo de Diseño de 10 años: 10 cm de concreto asfáltico.
- Las secciones que requieran una capa de refuerzo superior a los 10cm serán reconstruidas.
- Nivel de Confiabilidad: 90% para ambas etapas en concordancia a lo solicitado en los Términos de Referencia” (MTC, 2014).

2.3.5.3 Procedimiento de diseño

- “Cálculo del Tráfico de diseño
- Determinación del módulo resiliente efectivo de diseño del pavimento asfáltico.
- Cálculo del número estructural del pavimento asfáltico.
- Cálculo de los espesores (d) de diseño” (MTC, 2014)

2.3.5.4 Parámetros de diseño

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Figura N° 5: Ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento asfáltico

Fuente: (MTC, 2014)

- “W18: Número de repeticiones de eje equivalente (ESAL)
- ZR: Nivel de confiabilidad
- So: Desviación estándar
- SN: Número estructural
- ΔPSI: Pérdida de serviciabilidad
- MR: módulo de resiliencia de la subrasante
- Número estructural” (MTC, 2014)

“El Número Estructural representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, o sea de la capa de rodadura, de base y de sub base, mediante el uso de los coeficientes estructurales, esta conversión se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

Figura N° 6: Número estructural

Fuente: (MTC, 2014)

Donde:

- a_1, a_2, a_3 : coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente
- d_1, d_2, d_3 : espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente
- m_2, m_3 : coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente” (MTC, 2014)
- Nivel de confiabilidad (R)

“La confiabilidad es un parámetro relacionado con el grado de incertidumbre, la variación en las predicciones de tráfico y de la respuesta de la estructura del pavimento a las condiciones ambientales y la importancia de la vía.

Básicamente, es una forma de incorporar un cierto grado de certeza en el proceso de diseño, para garantizar que las diferentes alternativas de sección del pavimento proyectado se comportarán satisfactoriamente bajo las condiciones de tráfico y medio ambiente durante el periodo de diseño” (MTC, 2014).

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	100,000	150,000	65%
	TP1	150,001	300,000	70%
	TP2	300,001	500,000	75%
	TP3	500,001	750,000	80%
	TP4	750 001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	85%
	TP6	1,500,001	3,000,000	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	TP8	5,000,001	7,500,000	90%
	TP9	7,500,001	10'000,000	90%
	TP10	10'000,001	12'500,000	90%
	TP11	12'500,001	15'000,000	90%
	TP12	15'000,001	20'000,000	95%
	TP13	20'000,001	25'000,000	95%
	TP14	25'000,001	30'000,000	95%
	TP15	>30'000,000		95%

Figura N° 7: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

Fuente: (MTC, 2014)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)		
				1ERA. ETAPA (1)	2DA. ETAPA (2)	TOTAL (1) x (2)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	100,001	150,000	81%	81%	65%
	TP1	150,001	300,000	84%	84%	70%
	TP2	300,001	500,000	87%	87%	75%
	TP3	500,001	750,000	89%	89%	80%
	TP4	750 001	1,000,000	89%	89%	80%
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	92%	92%	85%
	TP6	1,500,001	3,000,000	92%	92%	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	92%	92%	85%
	TP8	5,000,001	7,500,000	95%	95%	90%
	TP9	7,500,001	10'000,000	95%	95%	90%
	TP10	10'000,001	12'500,000	95%	95%	90%
	TP11	12'500,001	15'000,000	95%	95%	90%
	TP12	15'000,001	20'000,000	97%	97%	95%
	TP13	20'000,001	25'000,000	97%	97%	95%
	TP14	25'000,001	30'000,000	97%	97%	95%
	TP15	>30'000,000		97%	97%	95%

Figura N° 8: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de Tráfico

Fuente: (MTC, 2014)

- Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_r)

“El coeficiente estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_r) representa el valor de la Confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal” (MTC, 2014).

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z_r)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	100,001	150,000	-0.385
	T_{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T_{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T_{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T_{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
T_{P15}		>30'000,000	-1.645	

Figura N° 9: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r) para una sola etapa de diseño (10 y 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

Fuente: (MTC, 2014)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	100,001	150,000	-0.878
	TP1	150,001	300,000	-0.994
	TP2	300,001	500,000	-1.126
	TP3	500,001	750,000	-1.227
	TP4	750,001	1,000,000	-1.227
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	-1.405
	TP6	1,500,001	3,000,000	-1.405
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.405
	TP8	5,000,001	7,500,000	-1.645
	TP9	7,500,001	10'000,000	-1.645
	TP10	10'000,001	12'500,000	-1.645
	TP11	12'500,001	15'000,000	-1.645
	TP12	15'000,001	20'000,000	-1.881
	TP13	20'000,001	25'000,000	-1.881
	TP14	25'000,001	30'000,000	-1.881
	TP15	>30'000,000		-1.881

Figura N° 10: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) para dos etapas de diseño de 10 años cada una según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

Fuente: (MTC, 2014)

- Desviación estándar combinada (So)

“Es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo.

La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos asfálticos, valores de So comprendidos entre 0.40 y 0.50.

El Manual de Suelos y Pavimentos (MTC) adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45” (MTC, 2014).

- Índice de Serviciabilidad presente (PSI)

“El Índice de Serviciabilidad Presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece” (MTC, 2014).

- Serviciabilidad inicial (Pi)

“La Serviciabilidad Inicial (Pi) es la condición de una vía recientemente construida” (MTC, 2014).

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	3.80
	T _{P2}	300,001	500,000	3.80
	T _{P3}	500,001	750,000	3.80
	T _{P4}	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	4.00
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	4.00
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	4.00
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	4.00
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	4.00
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	4.00
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	4.00
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	4.20
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	4.20
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	4.20
	T _{P15}	>30'000,000		4.20

Figura N° 11: Índice de Serviabilidad Inicial (Pi) según Rango de Tráfico

Fuente: (MTC, 2014)

- Serviabilidad final o terminal (PT)

“La Serviabilidad Terminal (Pt) es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción” (MTC, 2014).

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (PT)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	2.00
	T _{P2}	300,001	500,000	2.00
	T _{P3}	500,001	750,000	2.00
	T _{P4}	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	2.50
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	3.00
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T _{P15}	>30'000,000		3.00

Figura N° 12: Índice de Serviabilidad Final (Pt) según Rango de Tráfico

Fuente: (MTC, 2014)

- Coeficiente de drenaje

“Está dado por dos variables: La calidad del drenaje y la exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación” (MTC, 2014).

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Figura N° 13: Calidad del drenaje

Fuente: (MTC, 2014)

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Figura N° 14: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje m_i para Bases y SubBases granulares no tratadas en Pavimentos Asfálticos

Fuente: (MTC, 2014)

- Coeficientes estructurales

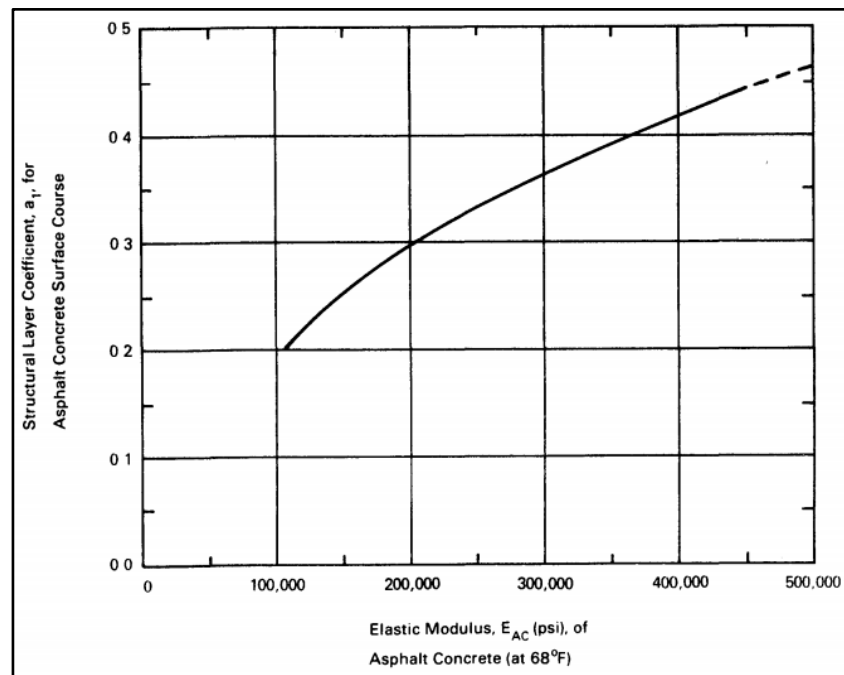


Figura N° 15: Variación a_1 en función del módulo resiliente del concreto asfáltico

Fuente: (AASHTO, 1993)

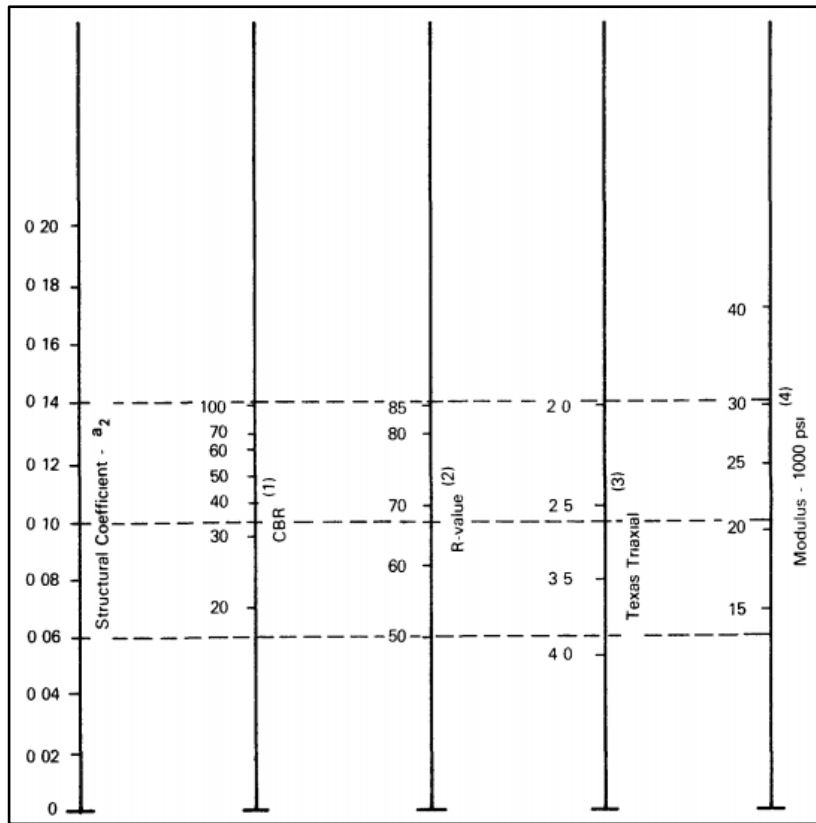


Figura N° 16: Variación a_2 con diferentes parámetros de resistencia de la base granular

Fuente: (AASHTO, 1993)

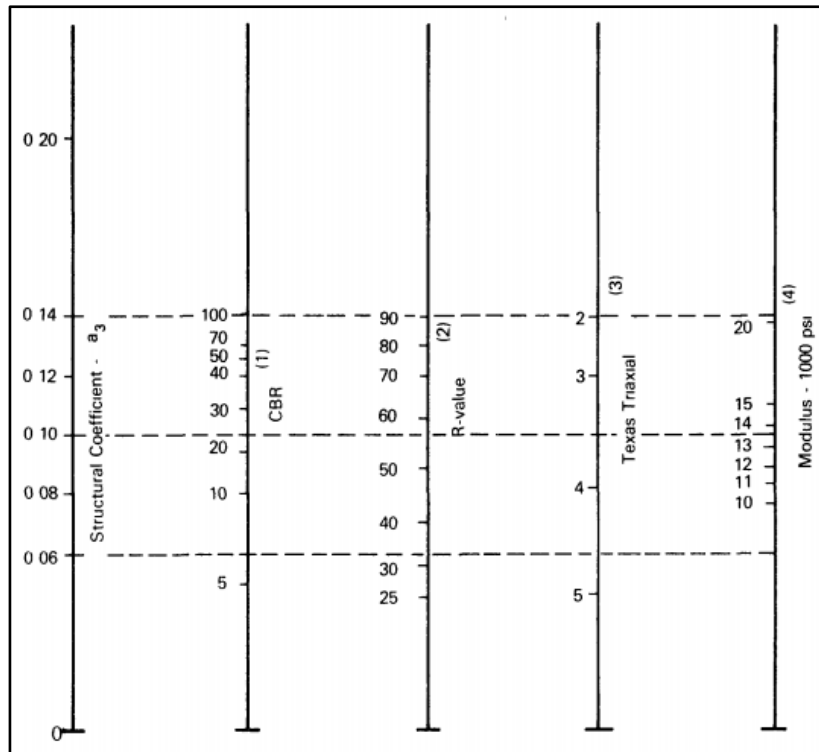


Figura N° 17: Variación a_3 con diferentes parámetros de resistencia de la subbase granular

Fuente: (AASHTO, 1993)

2.3.6 Fallas en el pavimento asfáltico

“La incidencia de factores de distinto origen determinan alteraciones de la superficie de rodadura de los pavimentos asfálticos que perjudican la seguridad, comodidad y rapidez con que debe circular el tráfico presente y el futuro.

El propósito fundamental de la renovación superficial y el refuerzo, es corregir los defectos de la superficie de rodadura del pavimento existente, que perjudican la seguridad, comodidad y rapidez con que debe circular el tráfico presente y el futuro, para alcanzar un grado de serviciabilidad adecuado durante un período de tiempo suficientemente prolongado que justifique la inversión requerida.

Las causas de defecto o fallas en el pavimento son de distinto origen y naturaleza, de los cuales mencionamos los siguientes:

- Exagerado incremento de las cargas circulantes; ya sea en peso o frecuencia, con respecto a las previstas en el diseño original, y que se traducen en un infradiseño.

- Deficiencias en el proceso constructivo: espesores menores que los previstos, elaboración inadecuada de las mezclas y estabilizaciones, deficiencias en el proceso de distribución, compactación o terminación, factores que traen como consecuencia una disminución de la calidad de los materiales y un debilitamiento estructural del pavimento.
- Proyecto deficiente: que da lugar a espesores menores de lo que realmente requiere la carretera.
- Factores climáticos regionales: excesivamente desfavorables o que no pudieron preverse en el proyecto y/o construcción, tales como la elevación de la napa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencias del drenaje superficial o subterráneo proyectado, variaciones térmicas externas, fenómenos de congelamiento, presencia de sales nocivas, etc.
- Deficiente conservación vial: por escasez de equipos, de fondos o de personal capacitado; por empleo de materiales y/o técnicas inadecuadas; o bien, por falta total de conservación.

La identificación de la causa más probable de una determinada falla, es de fundamental importancia para la evaluación de la misma, aunque muchas veces resulte de difícil apreciación. Para tal fin, puede tenerse en cuenta primariamente la localización de la misma, su evolución en los distintos sectores del tramo, la consideración de los factores tráfico – clima – drenaje, etc. La comprobación definitiva podrá obtenerse una vez finalizados los estudios de evaluación estructural.

La apreciación de las causas de las fallas observadas debe conducir a la diferenciación de dos casos globales en los que debe identificarse la falla analizada:

- Fallas superficiales: comprende los defectos de la superficie de rodadura debido a fallas de la capa asfáltica superficial propiamente dicha y no guardan relación con la estructura del pavimento.
- Fallas estructurales: comprende los defectos de la superficie de rodadura cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, afecta a una o más capas del pavimento.

Las fallas de tipo superficial se corrigen regularizando la superficie y confiriéndole la necesaria impermeabilidad y rugosidad. Ello se logra con capas asfálticas delgadas que poco aportan estructuralmente, fresados y capas nivelantes.

En cambio cuando se trata de fallas estructurales, es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente o una reconstrucción para que el conjunto responda a las exigencias del tráfico presente y futuro” (MTC, 2014).

2.3.7 Regularidad superficial

“Índice de Rugosidad Internacional o IRI, representa la regularidad superficial de un pavimento y afecta a la operación vehicular, en cuanto a seguridad, confort, velocidad de viaje y desgaste de partes del vehículo.

Los estudios del Banco Mundial permiten determinar la rugosidad tanto con equipos debidamente calibrados, como a partir de evaluaciones visuales que relacionan el tipo y estado general del pavimento con la velocidad de operación de los vehículos.

A continuación se presenta la Figura N° 18 donde se muestra escalas de rugosidad para distintos tipos de pavimento y condición” (MTC, 2014).

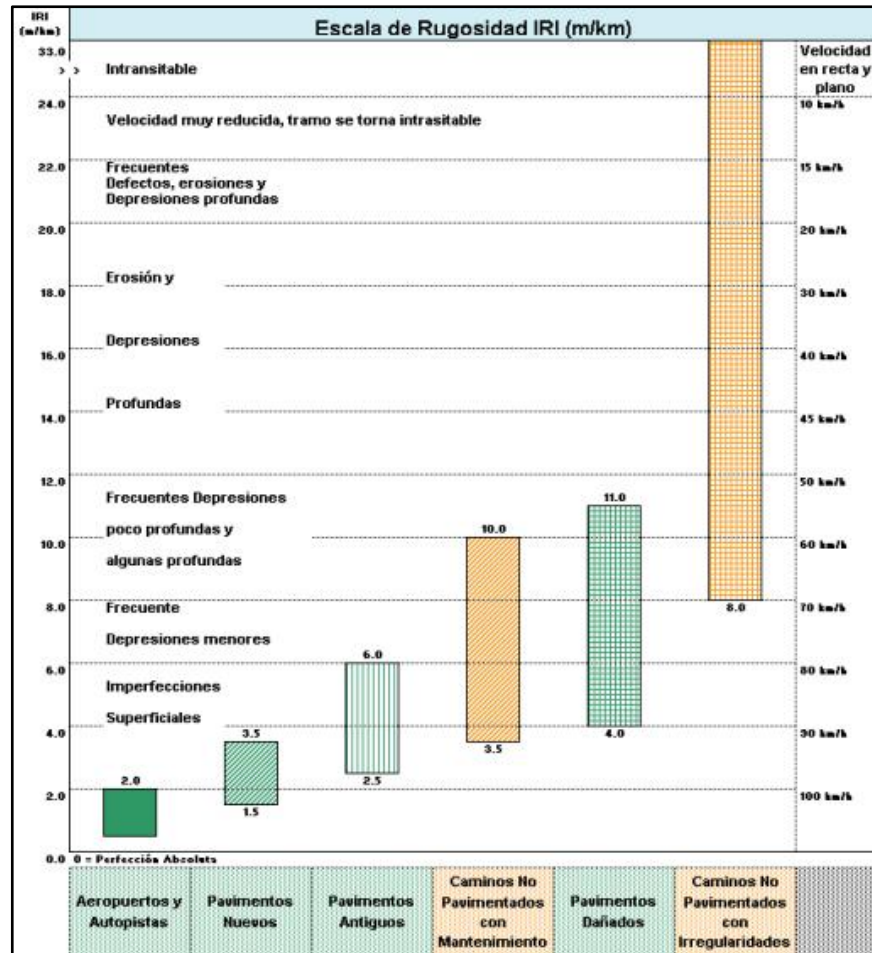


Figura N° 18: Escala de Rugosidad IRI (m/km)

Fuente: (MTC, 2014)

“Para la rugosidad inicial de un pavimento nuevo y de un pavimento existente reforzado, asimismo para la rugosidad durante el período de servicio, se recomienda los siguientes valores:” (MTC, 2014).

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

Figura N° 19: Rugosidad Inicial IRI (m/km) según tipo de carretera con carpeta asfáltica en caliente

Fuente: (MTC, 2014)

2.3.8 Evaluación estructural por deflectometría

“La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación.

La deflectometría es una medida de la respuesta del conjunto “pavimento – subrasante” frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuabilidad del pavimento desde el punto de vista estructural” (MTC, 2014)

A continuación se muestra la deflexión característica según tipo de carretera (Figura N° 20).

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

Figura N° 20: Definición de deflexión característica según tipo de carretera

Fuente: MTC, 2014

“Donde:

D_c = Deflexión característica

D_m = Deflexión media

D_s = desviación estándar

Las deflexiones se comparan con el valor límite admisible, que es la deflexión tolerable que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en relación con el tráfico que debe soportar. En el Manual de Carreteras se ha adoptado la relación propuesta para el paquete estructural del pavimento, por CONREVIAl (Estudio de Rehabilitación de Carreteras del País. MTC-Perú):

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N}\right)^{0.25}$$

Donde:

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

N = Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones” (MTC, 2014)

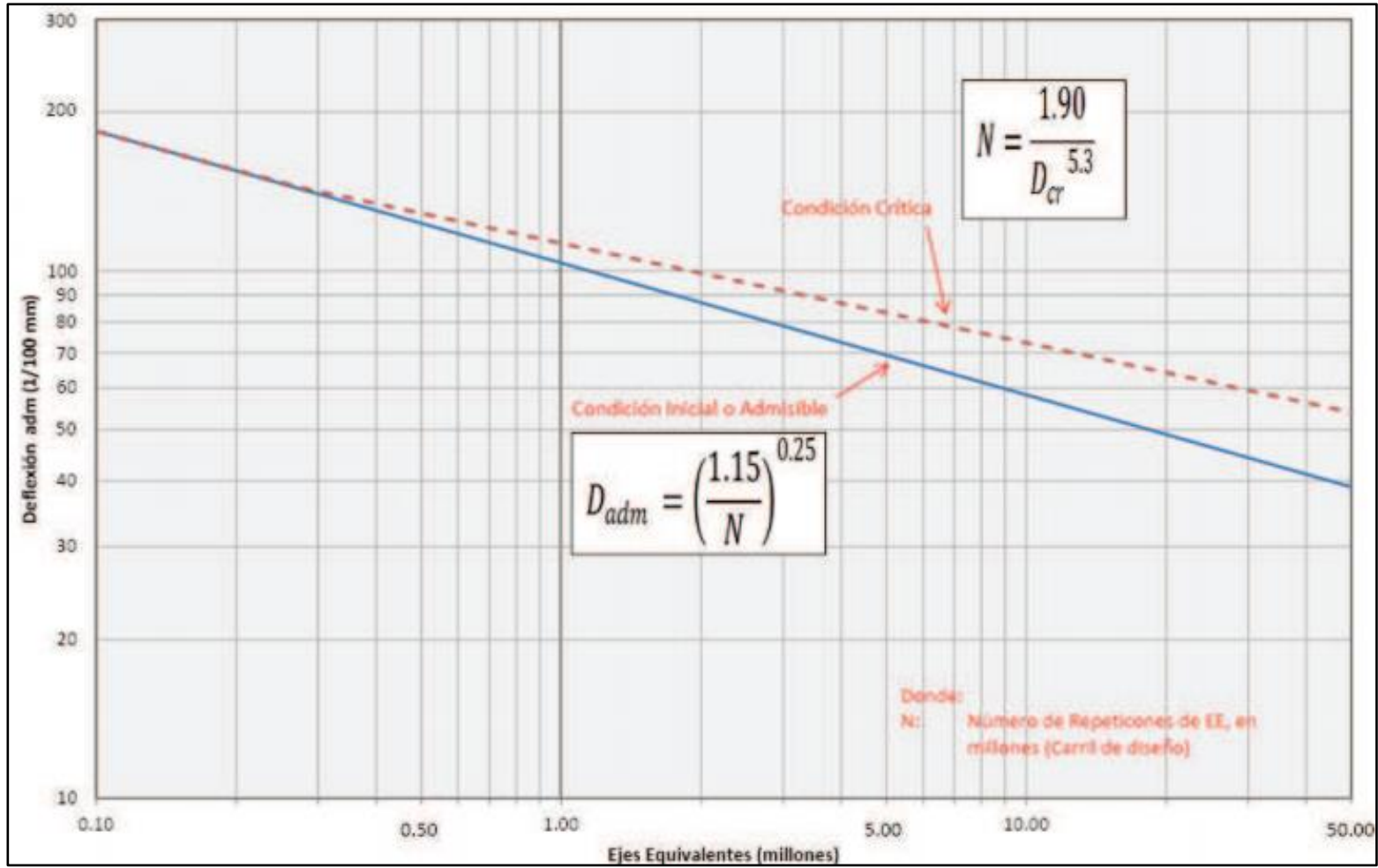


Figura N° 21: Gráfico de deflexiones admisibles

Fuente: MTC, 2014

“Las deflexiones características y admisible, se comparan mediante un análisis combinado de los resultados de la evaluación, presentándose una serie de posibilidades que merecen ser analizadas para finalmente establecer la capacidad estructural del pavimento existente en relación al tráfico y cargas circulantes, definiendo si la estructura del pavimento es adecuada y solo requiere de una renovación superficial; o se encuentra fatigada y requiere un refuerzo estructural; o, es una estructura deficiente y requiere una reconstrucción parcial o total.

Para la diferenciación de casos que podrían presentarse en el análisis de la evaluación se presenta el siguiente cuadro, el mismo que compara la deflexión característica con la admisible, en función del tráfico futuro” (MTC, 2014).

Tabla N° 1: Análisis combinado de los resultados de la evaluación

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
1° La deflexión característica resulta:	SUPERIOR 2° Hay fallas de origen estructural?	NO:		PRIMER PASO
		Estructura infradiseñada para el tráfico previsto		Pavimento necesita con urgencia un refuerzo estructural para resistir el tráfico previsto
		SI:	NO:	SEGUNDO CASO
		3° Existe una capa débil inmediata debajo de las capas asfálticas?	Las fallas se deben a otras causas	Este es el paso avanzado del primer caso, cuando no se han tomado a tiempo las medidas necesarias
			SI:	TERCER CASO
			Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80 m)	Está caracterizado por la presencia de una capa débil subyacente a la asfáltica, que determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentra apoyo suficiente y sea mayor

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
				a la que le corresponde en ausencia del espesor débil.
	IGUAL O INFERIOR 2° Hay fallas de origen estructural?	NO: Corregir fallas de origen superficial		
		SI: 3° De qué tipo?	Fallas por fatiga (piel de cocodrilo) Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80 m)	TERCER CASO En este caso los radios de curvatura de la línea de deflexión son reducidos y el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo es posible aún con deflexiones admisibles.
			Capa débil inmediatamente debajo de las asfálticas	
			Fallas por deformación permanente de la fundación que se traducen en depresiones, ahuellamiento marcado	CUARTO PASO Se caracteriza por el desarrollo de deformaciones permanentes, en particular ahuellamiento en la zona de canalización del tráfico, no atribuibles a desplazamientos plásticos de las capas asfálticas por

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
			(mayor a 12 mm), ondulaciones, Etc.	deficiente estabilidad o compactación, es decir que afectan toda la estructura. Se trata por lo general de pavimentos antiguos que han sido reforzados con capas asfálticas de espesor suficiente para evitar las fallas por fatiga pero insuficientes para compensar la debilidad de la fundación original. En estos casos las medidas de deflexión pueden no ser significativas, aquí lo más importante es apreciar el valor portante de la fundación y el aporte estructural que aún puede prestar el pavimento original y las capas asfálticas de refuerzo existente.

Fuente: (MTC, 2014)

2.3.9 Renovación superficial

“La renovación superficial de un pavimento consiste en restaurar sus características superficiales, no tiene por objeto aumentar la capacidad resistente del pavimento, aun cuando en determinados casos pueda mejorar su capacidad estructural.

Las condiciones que justifican una renovación superficial de un tramo de carretera son las siguientes:

- No es necesario un refuerzo, pero el estado superficial del pavimento presenta deficiencias que afectan a la seguridad vial, la comodidad del usuario o la durabilidad del pavimento. Entre estas deficiencias se cita las siguientes:

Pavimento deslizante por pulido o por falta de macrotextura.

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

Figura N° 22: Textura Superficial

Fuente: (MTC, 2014)

- Pavimento deformado longitudinal o transversalmente, con una rugosidad (IRI) inadecuada.
- Pavimento fisurado, cuya estructura no presenta deficiencias.

Los procedimientos de renovación superficial se clasifican en tres grupos:

a) Con aporte de material:

- Mezcla asfáltica
- Micropavimento
- Tratamientos superficiales
- Sellos o lechadas asfálticas
- Otros procedimientos

b) Con sustitución de material:

Supone la remoción de la capa o capas afectadas y su sustitución por otras nuevas de características adecuadas.

Para definir la magnitud del ahuellamiento, se recomienda los siguientes valores:

DESCRIPCIÓN	ESCASA	MODERADA	SEVERA
Ahuellamiento (mm)	< 6 mm	6 a 12 mm	> 12 mm

Figura N° 23: Magnitud del ahuellamiento

Fuente: (MTC, 2014)

c) Por tratamiento de la superficie del pavimento, se presentan algunas reparaciones recomendadas por AASHTO” (MTC, 2014)

DETERIORO	REPARACIONES	PROCEDIMIENTOS PREVENTIVOS
Fisuras en piel de cocodrilo	Reparación en espesor total	Sellado de fisuras
Exudación	Aplicar arena caliente	
Fisuras en bloque	Sellado de fisuras	
Depresión	Capa Nivelante	
Agregados pulidos	Resistencia al deslizamiento Tratamiento superficial. Sello	
Baches	Parchado Profundo	Sellado de fisuras y sellos de capa
Bombeo	Parchado Profundo	Sellado de fisuras y sellos de capa
Descascaramiento y oxidación	Sellos de capa	Sello o Lechada Asfáltica rejuvenecedor
Ahuellamiento	Capa Nivelante y Fresado en frío	
Abultamiento	Remoción y reemplazo	Impermeabilización de la berna

Figura N° 24: Reparaciones y procedimiento preventivos para pavimento asfáltico

Fuente: (MTC, 2014)

2.3.10 Refuerzo de pavimentos asfálticos

“Para el cálculo de refuerzos de pavimentos asfálticos se ha utilizado como parámetro fundamental la deflexión del pavimento; no obstante, si bien es empleada como indicador de debilidad estructural, finalmente es la observación de la condición del pavimento, manifestada a través de las fallas o defectos en su superficie, quién indica la necesidad de llevar a cabo un refuerzo.

El refuerzo recomendado en el manual es un refuerzo de mezcla asfáltica en caliente, que se aplicará cuando se presente el primero y segundo caso del análisis combinado de la evaluación estructural” (MTC, 2014).

2.3.11 Índice de condición presente (PCI)

“El PCI es un indicador numérico que califica la condición de la superficie del pavimento. El PCI proporciona una medida de la condición actual del pavimento basado en el deterioro observado en la superficie del pavimento, lo que también indica la integridad estructural y la condición operativa de la superficie (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no puede medir la capacidad estructural ni proporciona una medición directa del deslizamiento resistencia o rugosidad. Proporciona un objetivo y base racional para determinar las necesidades de mantenimiento y reparación y prioridades. El monitoreo continuo del PCI se utiliza para establecer la tasa de deterioro del pavimento, lo que permite identificar las principales necesidades de rehabilitación.

El PCI proporciona retroalimentación sobre el desempeño del pavimento para la validación o mejora del diseño actual del pavimento y los procedimientos de mantenimiento” (ASTM D 6433-07, 2007).

A continuación, se muestra la clasificación del PCI (Ver Figura N° 25 y Tabla N° 2).

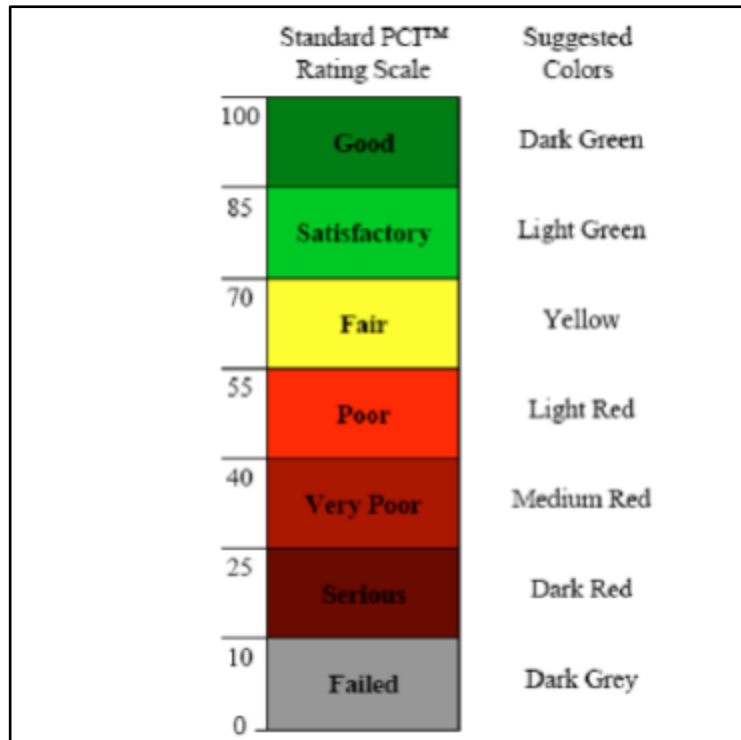


Figura N° 25: Escala de evaluación PCI

Fuente: (ASTM D 6433-07, 2007)

Tabla N° 2: Rangos de clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy malo
10-0	Fallado

Fuente: (ASTM D 6433-07, 2007)

2.3.12 Clasificación de los deterioros en el pavimento asfáltico

“Los deterioros/fallas de los pavimentos asfálticos pueden clasificarse en dos grandes categorías: los deterioros / fallas estructurales y los deterioros/fallas superficiales. Los deterioros de la primera categoría se asocian generalmente con obras de rehabilitación de costo alto. Los deterioros de la segunda categoría se relacionan generalmente con obras de mantenimiento periódico (por ejemplo, carpeta delgada de concreto asfáltico o tratamiento superficial). Tipos y causas de los daños estructurales

- Tipos y causas de los daños estructurales

Los deterioros estructurales caracterizan un estado estructural del pavimento, concerniente al conjunto de las diferentes capas del mismo o bien solamente a la capa de superficie.

Las cargas circulantes resultan generalmente en:

- ✓ Deformaciones verticales elásticas del material de las capas granulares y del suelo de la subrasante.
- ✓ Deformaciones horizontales elásticas de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas.

- Tipos y causas de los daños superficiales

Los deterioros superficiales se originan en general por un defecto de construcción, por un defecto en la calidad de un producto o por una condición local particular que el tráfico acentúa. Además, pueden resultar de la evolución de deterioros o fallas estructurales.

Se distinguen:

- ✓ Los desprendimientos
- ✓ Los baches (huecos)
- ✓ Las fisuras transversales (que no resultan de la fatiga del pavimento)
- ✓ La exudación” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

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.
	9	Exudación	1: Puntual 2: Continua 3: Continua con superficie viscosa

Figura N° 26: Deterioros o fallas de los pavimentos asfaltados

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

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.

- 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“ (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

b) Deterioro / falla 2: Fisuras longitudinales

- Descripción

“En este rubro se incluyen las fisuras longitudinales de fatiga. Discontinuas y únicas al inicio, evolucionan rápidamente hacia una fisuración continua y muchas veces ramificada antes de multiplicarse debido al tráfico, hasta convertirse en muy cerradas.

- Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de las fisuras 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” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

c) Deterioro / falla 3: Deformación por deficiencia estructural

- Descripción

“Las deformaciones propias de los pavimentos asfálticos se caracterizan, en la casi totalidad de los casos, por:

1. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas o localizadas
2. El ahuellamiento relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

- Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de las deformaciones (ahuellamiento y hundimiento) y su extensión, así como otros elementos de diagnóstico (fisuraciones, deflexión y rugosidad), se consideran:

- ✓ Ninguna medida
- ✓ Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente
- ✓ Carpeta asfáltica
- ✓ Rehabilitación o reconstrucción parcial o total (incluyendo el drenaje si fuera necesario)” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

d) Deterioro / falla 4: Ahuellamiento

- Descripción

“Las deformaciones propias de los pavimentos asfálticos 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.

- 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)” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

e) Deterioro / falla 5: Reparaciones o parchado

- Descripción

“Las reparaciones están destinadas a mitigar los defectos del pavimento, de manera provisional o definitiva: su número, su extensión y su frecuencia son elementos del diagnóstico. Una reparación reciente enmascara un problema, reparaciones frecuentes lo subrayan.

- Niveles de Gravedad

1: Reparación o parchado para deterioros/ fallas 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

a) Deterioro / falla 6: Peladura y Desprendimientos

- Descripción

Este deterioro incluye la desintegración superficial de la carpeta asfáltica debida a la pérdida del ligante bituminoso o del agregado (peladura) y la pérdida total o parcial de la capa de rodadura, (desprendimiento).

- Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de los desprendimientos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros deterioros/fallas:

- ✓ Ninguna medida
- ✓ Reparaciones con mezcla en caliente o tratamiento superficial
- ✓ Carpeta asfáltica, tratamiento superficial

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.

- 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.

c) Deterioro / falla 8: Fisuras transversales

- Descripción

Las fisuras transversales son fracturas del pavimento, transversales (o casi) al eje de la vía.

- Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de las fisuras transversales y de los otros deterioros que pueden acompañarlas y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas

- ✓ Ninguna medida
- ✓ Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente
- ✓ Sello
- ✓ Rehabilitación o reconstrucción.

d) Deterioro / falla 9: Exudación

- Descripción

Este deterioro o falla se manifiesta por un afloramiento de material bituminoso de la mezcla a la superficie del pavimento. Forma una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa según los niveles del fenómeno.

- Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de la exudación y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros daños

- ✓ Ninguna medida
- ✓ Carpeta asfáltica
- ✓ Fresado y carpeta asfáltica” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

2.3.13 Causas del deterioro del pavimento

“Son múltiples las causas que determinan el deterioro de los pavimentos, entre ellas se encuentran los siguientes:

- Diseño original
- Tipo de materiales y calidad de construcción
- Volumen de tránsito y carga por eje
- Alineamiento geométrico de la carretera
- Edad del pavimento
- Condiciones ambientales
- Políticas de mantenimiento

El diseño del pavimento es un factor determinante en el desempeño del mismo, La carencia de un diseño adecuado se refleja en deterioros prematuros del pavimento, los cuales se conjugan con otros factores como la calidad de los materiales, tránsito, clima, entre otros.

El efecto del daño de pasada de un eje con cierta más carga puede ser representado por un número de ejes de carga de 18 mil libras o bien llamados ejes sencillos equivalentes (ESALS, por sus siglas en inglés), (AASHTO 1993). Cada eje de carga provoca un daño en el pavimento, expresado en términos de factores de daño o pérdida del nivel de servicio del pavimento (PSI, por sus siglas en inglés).

El tránsito que circula por una vía, su composición vehicular y sus repeticiones de carga expresados en términos de ejes equivalentes sencillo de 8.2 toneladas o bien de espectros de carga juegan un papel importante en el desempeño de un pavimento.

Un buen pavimento provee un confort de marcha satisfactoria, integridad estructural y una segura resistencia a la fricción.

Identificar y analizar los factores que afectan el ciclo de vida del desempeño de estructuras de pavimento son esenciales para desarrollar modelos de desempeño. Hudson et al (1997), agrupa los factores que afectan el deterioro de la infraestructura en 5 categorías: i) carga/uso ii) medio ambiente iii) material iv) calidad de construcción v) efectos de interacción” (Ríos I. , 2019, pág. 49).

2.3.14 Los modelos de comportamiento para pavimentos asfálticos

“Los modelos disponibles para explicar el mecanismo de deterioro de los pavimentos asfálticos consideran el agrietamiento estructural y no estructural, el ahuellamiento, la formación de baches, el desprendimiento de material y la rugosidad. También es posible encontrar en la literatura modelos de comportamiento funcional que describen la progresión de macrotextura y resistencia al deslizamiento” (De Solminihaç, Echaveguren, y Chamorro, 2019, pág. 238).

2.3.15 Indicadores de la Performance de Pavimentos Asfálticos

“A la capacidad del camino para satisfacer las demandas del tráfico y el medioambiente, en su vida de diseño, se le denomina performance. Los indicadores más comunes de la performance de pavimentos asfálticos son: el agrietamiento por fatiga, el ahuellamiento, el desgaste superficial, la textura

superficial, la resistencia al deslizamiento y la rugosidad. El cambio en el valor de estos indicadores de la performance en el tiempo se conoce como deterioro. A continuación, se describe algunos de estos indicadores de la performance de pavimentos asfálticos:

El agrietamiento

El desgaste Superficial

El ahuellamiento

El ahuecamiento

La falla de Borde

La textura Superficial

La resistencia al deslizamiento

La rugosidad” (Tenorio, 2005)

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

“El HDM-4 es una herramienta diseñada para apoyar la toma de decisiones a nivel de red, relacionadas principalmente con la gestión de la conservación y mejoramiento de redes viales, principalmente en aplicaciones dirigidas a la planeación estratégica, la programación de intervenciones, la evaluación económica de iniciativas y/o planes de inversión para la gestión de infraestructura vial” (Salgado, 2020).

2.3.16.1 Rol del HDM-4 en la gestión de carreteras

Gestión de Carreteras

“El proceso de gestión de carreteras es un ciclo de actividades que se realizan como parte de cada una de las funciones de gestión: Planeación, Programación, Preparación y Operaciones. Las cuales se detallan a continuación.

Planeación

La planeación conlleva el análisis del carretero, el cual requiere estimar los gastos del mediano a largo plazo o estratégicos para el desarrollo y conservación de carreteras bajo distintos escenarios presupuestales y económicos.

Programación

La programación involucra la preparación de programas plurianuales de trabajos y gastos, sujetos a restricciones presupuestales, en los que se identifican y analizan los tramos de la red que requieran conservación, mejora o construcción nueva. En la etapa de programación, la red de carreteras se evalúa ruta por ruta, dividiendo cada una de estas en tramos homogéneos de pavimento, en función de sus atributos físicos.

Preparación

Es la etapa de planeación a corto plazo en la cual se agrupan los proyectos para su implementación. En esta fase, los diseños se preparan y precisan; se elaboran los listados de cantidades de obra y las cotizaciones, así como las órdenes de trabajo y contratos necesarios para la realización de los trabajos.

Operaciones

Son tareas que se refieren a la operación cotidiana de una organización. Las actividades típicamente se concentran en tramos individuales o en subtramos de una carretera, y las mediciones se toman con cierto nivel de detalle. A medida que el proceso de gestión pasa de la fase de planeación a la de operaciones, se observará que se necesitará el nivel de detalle de los datos requeridos” (HDMGlobal, 2013)

En la Tabla N°3 se observa el marco en el cual HDM-4 satisface las necesidades de una administración de carreteras.

Tabla N° 3: Funciones de gestión y sus aplicaciones correspondientes en HDM-4

Función de gestión	Descripciones comunes	Aplicaciones de HDM-4
Planeación	Sistema de análisis de estrategias	HDM-4: Análisis de estrategias
	Sistema de planeación de redes	
	Sistema de gestión de pavimentos	
Programación	Sistema de análisis de programas	HDM-4: Análisis de programas
	Sistema de gestión de pavimentos	
	Sistema de presupuesto	
Preparación	Sistema de análisis de proyectos	HDM-4: Análisis de proyectos
	Sistema de gestión de pavimentos	
	Sistema de gestión de puentes	
	Sistema de diseño de pavimentos / sobrecarpeta	

Función de gestión	Descripciones comunes	Aplicaciones de HDM-4
	Sistema de contrataciones	
Operaciones	Sistema de gestión de proyectos	(No incluidos en HDM-4)
	Sistema de gestión de la conservación	
	Sistema de gestión de equipos	
	Sistema de gestión financiera / contabilidad	

Fuente: (HDMGlobal, 2013)

2.3.16.2 Análisis del ciclo de vida del pavimento en HDM-4

“El análisis de HDM-4 se basa en el concepto del análisis del ciclo de vida del pavimento, el cual se aplica para predecir a lo largo del ciclo de vida del pavimento, los elementos: deterioro de la carretera, efectos de los trabajos, efectos sobre los usuarios de las carreteras, efectos socioeconómicos y ambientales.

Los pavimentos, luego de construidos, se deterioran como consecuencia de numerosos factores, entre los que se encuentran principalmente: cargas del tránsito, desgaste por efecto del medio ambiente y efecto de sistemas inadecuados de drenaje.

La tasa de deterioro del pavimento depende directamente de los estándares de conservación que se utilizan para reparar defectos en la superficie del pavimento (agrietamiento, desprendimiento, desprendimiento de agregados,

baches, entre otros) o para conservar la integridad estructural del pavimento (tratamientos superficiales, sobrecarpetas, entre otros); la aplicación de dichos estándares le permite a la carretera soportar el tránsito para el cual fue diseñada.

El estado general a largo plazo de los pavimentos está en función del conjunto de estándares de mejora o conservación aplicados” (HDMGlobal, 2013). La Figura N° 27 “muestra la tendencia de desempeño pronosticada para el pavimento, la cual se representa por la calidad de la rodadura que normalmente se mide usando el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Cuando se define un estándar de conservación, se está imponiendo un límite al nivel de deterioro del pavimento” (HDMGlobal, 2013).

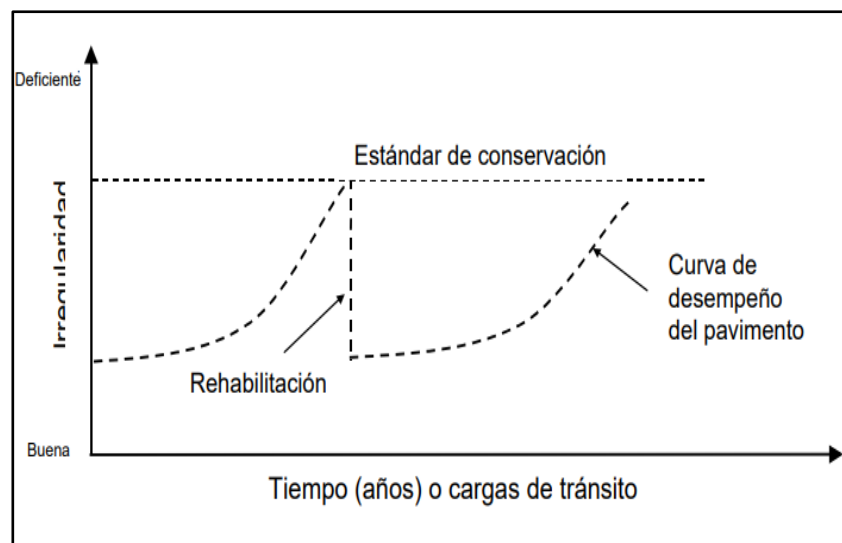


Figura N° 27: Concepto del análisis del ciclo de vida en HDM-4

Fuente: (HDMGlobal, 2013)

“Los impactos que tienen tanto el estado de la carretera como los estándares de diseño de la misma, se miden a partir de los costos que generan para los usuarios, en combinación con otros efectos sociales y ambientales. Los costos de usuario abarcan: costos de operación vehicular, costos del tiempo de traslado y costos económicos causados por accidentes viales.

Los efectos sociales y ambientales comprenden las emisiones de los vehículos, el consumo de energía y el ruido del tránsito, al igual que los

beneficios sociales para la población que hace uso de la carretera” (HDMGlobal, 2013).

Se muestra en la Figura N° 28 “el impacto que tiene el estado de una carretera sobre los costos de los distintos tipos de vehículos” (HDMGlobal, 2013).

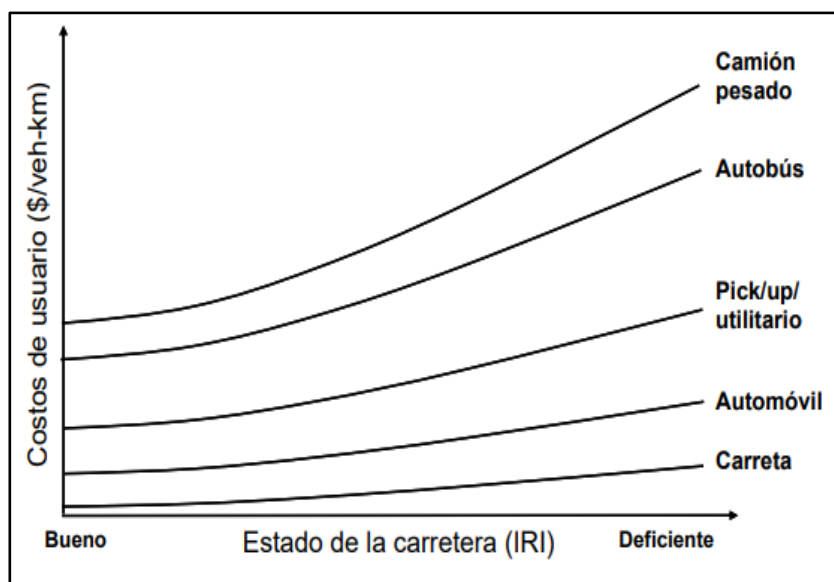


Figura N° 28: Efecto del estado de las carreteras sobre los costos de operación vehicular para terreno ondulado

Fuente: (HDMGlobal, 2013)

“En HDM-4, los costos de usuario se calculan mediante la predicción de las cantidades físicas de consumo de recursos, que después se multiplican por los costos unitarios correspondientes, especificados por los usuarios.

Los beneficios económicos derivados de las inversiones se obtienen comparando los flujos de costos totales de los distintos trabajos y de las alternativas de construcción contra un caso base (sin proyecto o hacer lo mínimo) que, representa el estándar mínimo de la conservación rutinaria” (HDMGlobal, 2013)

2.3.16.3 Deterioro de la carretera (RD)

“El deterioro de la carretera es una función que depende de muchos factores: el diseño geométrico y la sección de pavimento elegida para el tipo de carretera en estudio, capacidad estructural, calidad de la construcción,

intensidad y crecimiento de tráfico, condiciones medioambientales y políticas de conservación planteadas.

Todos estos factores intervienen en los modelos que se utilizan para predecir el deterioro del pavimento. El modelo permite estudiar el comportamiento de cualquier tipo de pavimento: asfálticos, hidráulicos y hasta caminos de tierra sin pavimentar” (Núñez y Pérez, 2005).

A continuación, se observa el Sistema de clasificación de pavimentos asfálticos de HDM-4 (Figura N° 29).

Tipo de capa	Material de la capa	Tipo de la base	Material de la base	Tipo de firme
AM	AC	GB	CRS	AMGB
	HRA		GM	
	PMA	AB	AB	AMAB
	RAC	SB	CS	AMSB
	CM		LS	
	PA	AP	TNA	AMAP
	SMA		FDA	
	Xx			
ST	CAPE	GB	CRS	STGB
	DBSD		GM	
	SBSD	AB	AB	STAB
	SL	SB	CS	STSB
	PM		LS	
	Xx	AP	TNA	STAP
			FDA	

Figura N° 29: Sistema de Clasificación de pavimentos asfálticos de HDM-4

Fuente: (HDMGlobal, 2013)

Se observa en la Figura N° 30 la descripción de la capa y material de la base del pavimento asfáltico.

Tipo de capa		Materiales de la capa	
Abreviatura	Descripción	Abreviatura	Descripción
AM	Mezcla bituminosa	AC	Hormigón bituminoso
		CM	Mezcla bituminosa suave (mezcla fría)
		HRA	Bitumen caliente compactado
		PA	Bitumen poroso
		PMA	Polímero de bitumen modificado
		RAC	Hormigón asfáltico engomado
		SMA	Almácigo de piedra
ST	Tratamiento superficial	CAPE	Capa sellada
		DBSD	Relleno superficial bituminoso doble
		PM	Penetración de macadán
		SBSD	Relleno superficial bituminoso sencillo
		SL	Lechada bituminosa
Tipos de base		Materiales de la base	
Abreviatura	Descripción	Abreviatura	Descripción
AB	Base bituminosa	CRS	Piedra molida
AP	Firme bituminoso	NG	Grava natural
GB	Base granular	CS	Estabilización de hormigón
SB	Base estabilizada	LS	Estabilización de cal
		TNA	Superficie de bitumen fina
		FDA	Bitumen profundo

Figura N° 30: Descripción de la capa y materiales de la base

Fuente: (HDMGlobal, 2013)

A continuación, se observa los tipos genéricos de pavimentos asfálticos de HDM-4.

Tipo de firme	Tipo de capa	Tipo de base	Descripción de tipos de firme
AMGB	AM	GB	Mezcla bituminosa sobre base granular
AMAB	AM	AB	Mezcla bituminosa sobre base de bitumen (macadán denso)
AMSB	AM	SB	Mezcla bituminosa sobre base estabilizada
AMAP	AM	AP	Mezcla bituminosa sobre firme de bitumen
STGB	ST	GB	Tratamiento superficial sobre base granular
STAB	ST	AB	Tratamiento superficial sobre base de bitumen (macadán denso)
STSB	ST	SB	Tratamiento superficial sobre base estabilizada
STAP	ST	AP	Tratamiento superficial sobre firme de bitumen

Figura N° 31: Tipos genéricos de pavimentos asfálticos de HDM-4

Fuente: (HDMGlobal, 2013)

En la siguiente Figura N° 32 se muestra los ajustes del tipo de pavimento después de realizar los trabajos de conservación.

Trabajo	Tipo de firme existente							
	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Rutina	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Tratamiento preventivo	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Resellado	STAP	STAP / STSB ¹	STAP	STAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Refuerzo	AMAP	AMAP / AMSB ¹	AMAP	AMAP	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP
Incrustación	AMGB	AMSB	AMAB	AMAP	STGB	STSB	STAB	STAP
Fresado y reemplazo a una capa intermedia del perfilado	**AP	**AP	**AP	**AP	N/A	**SB	**AB	**AP
Fresado y reemplazo de la base	**GB	**SB	**AB	**AP	**GB	**SB	**AB	**AP

Figura N° 32: Ajustes del tipo de pavimento después de los trabajos de conservación

Fuente: (HDMGlobal, 2013)

2.3.16.4 Estructura general del sistema HDM-4

“Las tres herramientas de análisis (de estrategias, programas y proyectos) sustentan la operación de la estructura general de HDM-4 en información que se define en algunos de los cuatro administradores siguientes:

- Flota vehicular

Define las características de la flota vehicular que circula por la red objeto del análisis.

- Red de carretera

Define las características físicas de los tramos de la red o subred por analizar.

- Trabajos

Define los estándares de conservación y mejora, junto con sus costos unitarios, que se aplicarán a los distintos tramos de la carretera por analizar.

- Configuración de HDM

Define los datos predeterminados que se emplearán en las aplicaciones.

En HDM-4, el análisis técnico se ejecuta con cuatro grupos de modelos:

- RD (Deterioro de la carretera)

Predice el deterioro de carreteras asfálticas, hidráulicas y no pavimentadas.

- WE (Efectos de los trabajos)

Simula los efectos de los trabajos sobre el estado del pavimento y determina los costos correspondientes.

- RUE (Efectos sobre los usuarios de las carreteras)

Determina los costos de la operación de vehículos, los accidentes viales y el tiempo de traslado.

- SEE (Efectos sociales y ambientales)

Determina los efectos de las emisiones vehiculares y el consumo de energía.

El modelo simula para cada tramo de manera anual, el estado de la carretera y los recursos destinados para su conservación con cada estrategia, así como las velocidades de los vehículos y los recursos físicos que se consumen con la operación vehicular” (HDMGlobal, 2013).

Se observa en la Figura N° 33 la arquitectura del sistema HDM-4.

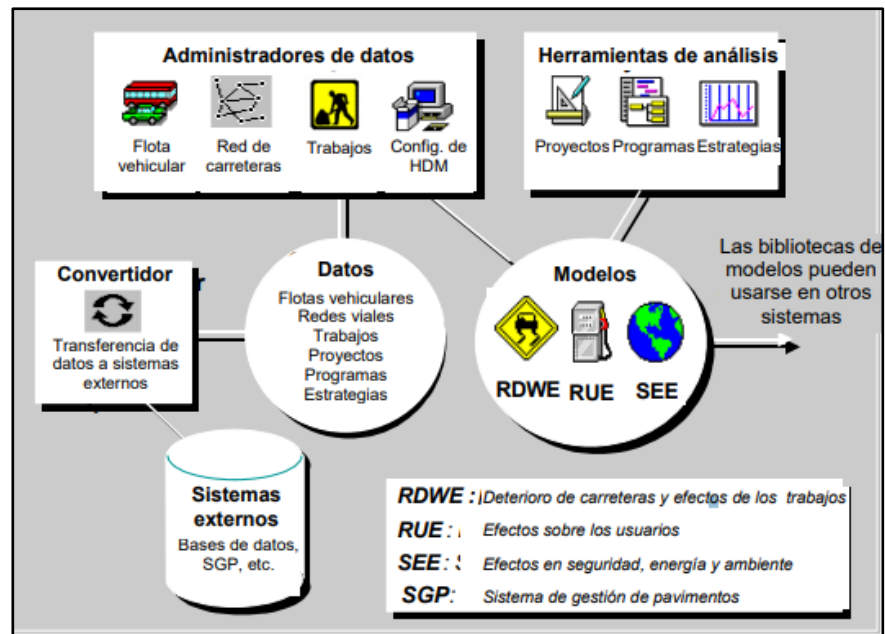


Figura N° 33: Arquitectura del sistema HDM-4

Fuente: (HDMGlobal, 2013)

2.3.17 Modelos de deterioro de pavimentos asfálticos en HDM-4

“El deterioro de la carretera se define a partir de ocho diferentes modelos catalogados como sigue:

2.3.17.1 Fisuración

La fisuración es uno de los más importantes deterioros de los pavimentos asfálticos. El desgaste y el paso del tiempo son los principales factores que contribuyen a la fisuración de las capas del pavimento asfáltico.

Existen dos tipos de fisuración consideradas en HDM-4:

a) Fisuración estructural

Se modela como Total y Ancha basada en las relaciones derivadas de Paterson (1987).

Inicio de la fisuración estructural total

Se dice que comienza cuando el 0,5% del área de la capa de rodadura de la calzada está fisurada. El inicio de la fisuración estructural total depende de la base:

- Base estabilizada

Si HSOLD = 0 (es decir, perfilados originales)

$$ICA = K_{cia} \{ CDS^2 a_0 \exp[a_1 HSE + a_2 \log_e CMOD + a_3 \log_e DEF + a_4 (YE_4)(DEF)] + CRT \}$$

Si HSOLD > 0 (es decir, refuerzos o resellados)

$$ICA = K_{cia} \{ CDS^2 [(0.8KA + 0.2KW)(1 + 0.1HSE) + (1 - KA)(1 - KW)a_0 \times \exp[a_1 HSE + a_2 \log_e CMOD + a_3 \log_e DEF + a_4 (YE_4)(DEF)]] + CRT \}$$

- Otras bases

Si HSOLD = 0

$$ICA = K_{CIA} \left\{ CDS^2 a_0 \exp \left[a_1 SNP + a_2 \left(\frac{YE_4}{SNP^2} \right) \right] + CRT \right\}$$

Si HSOLD > 0 (es decir, refuerzos o resellados)

Para todos los materiales de la capa excepto CM, SL y CAPE

$$ICA = K_{cia} \left\{ CDS^2 \left[\text{MAX} \left(\frac{a_0 \exp \left[a_1 SNP + a_2 \left(\frac{YE_4}{SNP^2} \right) \right]}{* \text{MAX} \left(1 - \frac{PCRW}{a_3}, 0 \right)}, a_4 \text{HSNEW} \right) \right] + CRT \right\}$$

Para materiales de la capa - CM, SL y CAPE

$$ICA = K_{cia} \left\{ CDS^2 \left[\text{MAX} \left(\frac{a_0 \exp \left[a_1 SNP + a_2 \left(\frac{YE_4}{SNP^2} \right) \right]}{* \text{MAX} \left(1 - \frac{PCRA}{a_3}, 0 \right)}, a_4 \right) \right] + CRT \right\}$$

Inicio de la fisuración estructural ancha

$$ICW = K_{ciw} \text{MAX}[(a_0 + a_1 ICA), a_2 ICA]$$

Donde:

ICA = inicio de la fisuración estructural total (en años)

ICW = inicio de la fisuración estructural ancha (en años)

CDS = indicador de los defectos de la construcción de pavimentos bituminosos

YE4 = número anual de ejes equivalentes (millones/carril)

SNP = promedio anual del número estructural ajustado del pavimento

DEF = media del desvío del rayo Benkelman en ambas rodadas (mm)

CMOD = módulo resiliente del suelo de hormigón (GPa) (en una escala de 0 a 30 GPa para la mayoría de ellos)

HSNEW = espesor del perfilado más reciente (mm)

HSOLD = espesor total de las capas subyacentes del perfilado anterior (mm)

PCRA = área de fisuración total antes del último resellado o refuerzo (% del área total de la calzada)

PCRW = área de fisuración ancha antes del último resellado o refuerzo (% del área total de la calzada).

$KW = \text{MIN} [0.05 \text{ MAX} (\text{PCRW} - 10, 0), 1]$

$KA = \text{MIN} [0.05 \text{ MAX} (\text{PCRA} - 10, 0), 1]$

$\text{HSE} = \text{MIN} [100, \text{HSNEW} + (1 - \text{KW}) \text{HSOLD}]$

Kcia = factor de calibración del inicio de la fisuración estructural total

Kciw = factor de calibración del inicio de la fisuración estructural ancha

CRT = tiempo de demora de la fisuración debido a la conservación (en años)

Progreso de la fisuración estructural total

La forma general del modelo de progreso de la fisuración estructural total se obtiene como sigue:

$$dACA = K_{cpa} \left[\frac{CRP}{CDS} \right] Z_A [(Z_A a_0 a_1 \delta t_A + SCA a_1)^{1/a_1} - SCA]$$

Progreso de la fisuración estructural ancha

La forma general del modelo de progresión de la fisuración estructural ancha se deriva de:

$$dACW = K_{cpw} \left[\frac{CRP}{CDS} \right] Z_w [(Z_w a_0 a_1 \delta t_w + SCW a_1)^{1/a_1} - SCW]$$

b) Fisuración termal transversal

Causada generalmente, por los grandes cambios de temperatura diurna o por condiciones de congelación/ deshielo.

Inicio de la fisuración termal transversal

Existe una diferencia entre el inicio de la fisuración termal transversal en perfilados originales y en perfilados reforzados o resellados.

▪ si HSOLD = 0 (es decir, perfilados originales)

$$ICT = K_{cit} \text{MAX}[a_0, (CDS)(CCT)]$$

▪ si HSOLD > 0 (es decir, reforzados o rellenados)

$$ICT = K_{cit} \text{MAX}[a_0, (CDS)(CCT + a_1 + a_2 HSNEW)]$$

Progreso de la fisuración termal transversal

Comienza cuando $\delta t_T > 0$

Donde:

$$\text{Si } ACT_a > 0 \quad \delta t_T = 1$$

$$\text{Si no } \delta t_T = \text{MAX}\{0, \text{MIN}[(AGE2 - ICT), 1]\}$$

- Si HSOLD = 0 (es decir, perfilados originales)

$$dNCT = K_{cpt} \left[\frac{1}{CDS} \right] MAX \left\{ 0, MIN \left[(NCT_{eq} - NCT_a), \left(\frac{2NCT_{eq}(AGE3-ICT-0.5)}{(T_{eq})^2} \right) \right] \right\} \delta t_T$$

- Si HSOLD > 0 (es decir, reforzados o rellenados)

$$dNCT = K_{cpt} \left[\frac{1}{CDS} \right] MIN \left\{ (NCT_{eq} - NCT_a), MAX \left[\frac{MIN(a_0 PNCT, (PNCT - NCT_a))}{\left(\frac{2NCT_{eq}(AGE3-ICT-0.5)}{(T_{eq})^2} \right), 0} \right] \right\} \delta t_T$$

Se asume que una fisura termal transversal atravesará el ancho total de la calzada. De este modo, el área de fisuración termal transversal se deriva de:

$$dACT = \frac{dNCT}{20}$$

Donde:

ICT = inicio de la fisura total transversal (años)

dNCT = cambios en el número de fisuras termales transversales durante el año analizado (n°/km)

CDS = indicador de los defectos de la construcción para perfilados bituminosos
dACT = cambios en el área de la fisuración termal transversal durante el año analizado (% del área total de la calzada)

CCT = coeficiente de fisuración termal

PNCT = número de fisuras termales transversales antes del último refuerzo o relleno (n°/km)

NCTa = número de fisuras termales transversales (reflejado) al comienzo del año analizado (n°/km)

NCTeq = número máximo de fisuras termales (no/km)

Teq = tiempo de alcance del número máximo de fisuras termales (años)

HSNEW = espesor del perfilado más reciente (mm)

Kcit = factor de calibración del inicio de la fisuración termal transversal

K_{cpt} = factor de calibración del progreso de la fisuración termal transversal” (HDMGlobal, 2013).

2.3.17.2 Desprendimiento de áridos

“Es la pérdida progresiva de material de la capa causado por efectos del clima y/o erosión del tráfico. El desprendimiento del árido varía considerablemente según las diferentes regiones y países en los que ocurra debido a sus métodos de construcción, especificaciones, disponibilidad de materiales y prácticas locales. El desprendimiento es un deterioro común en las construcciones pobres y en capas bituminosas finas, tales como tratamientos superficiales, pero no son frecuentes en construcciones de alta calidad o mezclas bituminosas calientes” (HDMGlobal, 2013).

Inicio. “Se establece que se ha producido desprendimiento en un tramo específico de la carretera, cuando el 0,5% del área de la capa de rodadura de la calzada, se clasifica como desprendida. El inicio se deriva de” (HDMGlobal, 2013).

$$IRV = K_{vi}CDS^2 a_0 RRF \exp(a_1 YAX)$$

Progresión: “La forma general del modelo del progreso del desprendimiento se obtiene a partir de” (HDMGlobal, 2013).

$$dARV = \left[\frac{K_{vp}}{RRF} \right] \left[\frac{1}{CDS^2} \right] Z \left[(Z(a_0 + a_1 YAX) a_2 \delta t_v + SRV^{a_2})^{1/a_2} - SRRV \right]$$

2.3.17.3 Bacheo

“Las áreas con baches, generalmente, se desarrollan en una capa de rodadura que previamente haya sufrido desprendimiento de árido, se haya fisurado, o ambos.

En los modelos, las áreas con baches se expresan en términos del número de baches con un área de 0,1 m².

Inicio

El inicio de las áreas con baches, surge solamente una vez que el área total de la fisuración estructural ancha (ACW) sobrepasa el 20%. El desprendimiento

que da origen a los baches surge cuando el área desprendida (ARV) excede del 30%.

$$IPT = K_{pi} \times a_0 \left[\frac{(1 + a_1 HS)}{(1 + a_2 CDB)(1 + a_3 YAX)(1 + a_4 MMP)} \right]$$

Donde:

IPT = tiempo entre el inicio de la fisuración estructural ancha o desprendimiento y el comienzo de los baches (años)

HS = espesor total del perfilado bituminoso (mm)

CDB = indicador de los defectos de la construcción de la base

YAX = número anual de ejes de todos los tipos de vehículos motorizados en el año analizado (millones/carril)

MMP = precipitación media mensual (mm/mes)

Kpi = factor de calibración del inicio de baches

Progreso

El progreso se origina a partir de los baches producidos por fisuración, desprendimiento o por el aumento de los existentes. Se afecta por el lapso de tiempo entre la aparición y el bacheo de los mismos. Un factor de lapso de tiempo (TLF) ha sido introducido como indicador del tiempo de respuesta del bacheo.

El aumento paulatino anual en el número de baches se calcula como sigue” (HDMGlobal, 2013).

$$dNPT_i = K_{pp} \times a_0 \times ADIS_i(TLF) \left[\frac{(1 + a_1 CDB)(1 + a_2 YAX)(1 + a_3 MMP)}{(1 + a_4 HS)} \right]$$

2.3.17.4 Rotura de borde

“Se puede definir como la pérdida de la capa de rodadura y de los materiales de la base al borde del pavimento, causado por golpes y desgaste. Generalmente ocurre en carreteras estrechas con arcenes sin sellar donde las ruedas de los vehículos pasan por encima o cerca de los bordes del pavimento. El modelo de rotura del borde se obtiene de la siguiente fórmula:

$$dVEB = K_{eb} a_0 PSH(AADT)^2 ESTEP(S)^{a_1} \left[a_2 + \frac{MMP}{1000} \right] 10^{-6}$$

$$PSH = \text{MAX} \left\{ \text{MIN} \left[\text{MAX} \left(a_3 + a_4 CW, \frac{CW_{max} - CW}{a_5} \right), 1 \right], 0 \right\}$$

Donde:

dVEB= pérdida anual de material del borde (m3/km)

PSH = proporción del tiempo en el que los vehículos usan el arcén debido a la anchura de la carretera

AADT = intensidad media diaria (veh/día)

ESTEP = diferencia de elevación entre el pavimento y el arcén (mm)

MMP = precipitación media mensual (mm/mes)

S = promedio de la velocidad del tráfico (km/h)

CW = ancho de la calzada (metros)

CWmax = ancho máximo de la calzada, definible por el usuario, al que puede ocurrir rotura del borde (metros) (predefinido = 7,2, máximo = 7,5)

Keb = factor de calibración del progreso de la rotura del borde” (HDMGlobal, 2013).

2.3.17.5 Profundidad de la rodera (Ahuellamiento)

“La rodera se define como la deformación permanente o irrecuperable asociada con el tráfico en las capas del pavimento que si se canalizan en rodadas, se acumulan con el tiempo convirtiéndose en roderas.

La modelización de la profundidad de la rodera se realiza después de la evaluación de todos los deterioros de la capa, es decir, fisuración, desprendimiento, áreas de baches y rotura del borde, y al final del año que esté siendo analizado.

El modelo de la profundidad de la rodera se basa en cuatro componentes:

- Densificación inicial
- Deformación estructural
- Deformación plástica
- Huellas de neumáticos con clavos

La profundidad de la rodera, en cualquier momento, es la suma de sus cuatro componentes.

Para HDM-4 la profundidad de la rodera se ha estandarizado a 2,0 m” (HDMGlobal, 2013).

Densificación inicial:

“La densificación inicial depende del grado de compactación relativa de la base, de la sub-base y de las capas subyacentes seleccionadas, es decir, COMP.

La densificación inicial es:

$$RDO = K_{rid} [a_0 (YE410^6)^{(a_1 + a_2 DEF)} SNP^{a_3} COMP^{a_4}]$$

Donde:

RDO: rodera debida por la densificación inicial (mm)

YE4: número anual de ejes equivalentes (millones/carril)

DEF: porcentaje anual de desviación del rayo Benkelman (mm)

SNP: promedio anual del número estructural ajustado del pavimento

COMP: compactación relativa (%)

K_{rid} : factor de calibración para la densificación inicial

Deformación estructural:

Se proponen términos separados para la deformación estructural sin fisuración y después de la fisuración como se indica a continuación:

Deformación estructural sin fisuración:

$$\Delta RDST_{uc} = K_{rst} (a_0 SNP^{a_1} YE4^{a_2} COMP^{a_3})$$

Deformación estructural después de la fisuración:

$$\Delta RDST_{crk} = K_{rst} (a_0 SNP^{a_1} YE4^{a_2} MMP^{a_3} ACX^{a_4})$$

Donde:

$\Delta RDST$ = aumento proporcional total de la deformación estructural en el año analizado (mm)

$\Delta RDST_{uc}$ = aumento de la rodera debido a la deformación estructural sin fisuración en el año analizado (mm)

$\Delta RDST_{crk}$ = aumento de la rodera debido a la deformación estructural después de la fisuración en el año analizado (mm)

MMP = precipitación media mensual (mm/mes)

ACXa = área de fisuración indexada al comienzo del año analizado (% del área total de la calzada)

SNP = promedio anual del número estructural ajustado del pavimento

YE4 = número anual de ejes equivalentes (millones/carril)

Krst = factor de calibración de la deformación estructural

Deformación plástica:

El modelo de deformación plástica incluye una variable, CDS, que indica si el perfilado es propenso a una deformación plástica.

El método incluye el uso de variables para pronosticar cambios en las propiedades de los materiales tales como el punto de suavizamiento de la capa intermedia y huecos en la mezcla, para modelizar el aumento proporcional de la deformación plástica.

El modelo general de la deformación plástica, es decir, sin las propiedades de los materiales, se obtiene de:” (HDMGlobal, 2013)

$$\Delta RDPD = K_{rpd} CDS^3 a_0 YE4 Sh^{a1} HS^{a2}$$

“Donde:

$\Delta RDPD$: aumento proporcional de la deformación plástica en el año analizado (mm)

CDS: indicador de defectos de la construcción de los perfilados bituminosos

YE4: número anual de ejes equivalentes (millones/carril)

Sh: velocidad de los vehículos pesados (Km/h)

HS: espesor total del perfilado bituminoso (mm)

K_{pd} : factor de calibración de la deformación plástica” (HDMGlobal, 2013).

Profundidad total de la rodera

“El aumento proporcional anual del total de la profundidad de la rodera, ΔRDM , se obtiene de:

$$\Delta RDM = RDO + \Delta RDPD + \Delta RDW$$

de otra manera:

$$\Delta RDM = \Delta RDST + \Delta RDPD + \Delta RDW$$

Donde:

ΔRDM : aumento proporcional de la profundidad media de la rodera en ambas rodadas en el año analizado (mm)

RDO: rodera debida a la densificación inicial en el año analizado (mm)

$\Delta RDST$: aumento proporcional de la deformación estructural en el año analizado (mm)

$\Delta RDPD$: aumento proporcional de la deformación plástica en el año analizado (mm)

ΔRDW : aumento proporcional del desgaste por neumáticos con clavos en el año analizado (mm).

La profundidad total de la rodera, RDM_b , en cualquier momento se obtiene de:

$$RDM_b = \text{MIN}[(RDM_a + \Delta RDM_b), 100]$$

Donde:

RDM_b : profundidad media total de la rodera en ambas rodadas al final del año analizado (mm)

RDM_a: profundidad media total de la rodera en ambas rodadas al comienzo del año analizado (mm)

Desviación estándar de la profundidad de roderas:

Se usa en el modelo de regularidad y se calcula a partir de la profundidad media total de la rodera, como sigue:

$$RDS_b = \text{MAX}[0.3, (0.9 - 0.04RDM_b)]RDM_b$$

Donde:

RDS_b: desviación estándar de la profundidad de la rodera al final del año de año analizado (mm)

RDM_b: profundidad media de roderas al final del año analizado (mm)” (HDMGlobal, 2013).

2.3.17.6 Regularidad

“El modelo de regularidad consta de varios componentes (fisuración, desintegración, deformación y conservación). La regularidad proporcional total es la suma de todos esos componentes. Los valores del deterioro de la capa usados para pronosticar la regularidad son aquellos que se han ajustado para que el total del área de la capa deteriorada más el área sin deterioros sea igual a 100%.

Estructural

El componente estructural de la regularidad está relacionado con la deformación de los materiales del pavimento bajo presiones impuestas por el peso del tráfico y se obtiene de:

$$\Delta RI_s = a_0 e^{(mK_{mg}^{AGE3})(1+SNPK_b)^{-5}} YE4$$

y:

$$SNPK_b = \text{MAX}[(SNP_a - dSNPK), 1.5]$$

y

$$dSNPK = K_{snpk} a_0 \{ \text{MIN}(a_1, ACX_a) HSNEW \text{MAX}[\text{MIN}(ACX_a - PACX, a_2), 0] HSOLD \}$$

Donde:

Δ IRIs: cambio proporcional en la regularidad debido al deterioro estructural durante el año analizado (IRI m/km)

dSNPK: Reducción del número estructural ajustado del pavimento debido a la fisuración.

SNPK_b: número estructural ajustado del pavimento debido a la fisuración al final del año analizado.

SNP_a: número estructural ajustado del pavimento al comienzo del año analizado

ACX_a: área de la fisuración indexada al comienzo del año analizado (% del área total de la calzada)

PACX: área de fisuración indexada anterior en el perfilado antiguo (% del área total de la calzada); es decir, 0.62 (PCRA) + 0.39 (PCRW)

HSNEW: espesor de la carpeta más reciente (mm)

HSOLD: espesor de la carpeta o carpetas anteriores (mm)

AGE3: edad del pavimento desde su último refuerzo (rehabilitación), reconstrucción o nueva construcción (años)

YE4: número anual de ejes equivalentes (millones/carril)

m: coeficiente del medio ambiente

K_{gm}: factor de calibración para el coeficiente del medio ambiente

K_{snpk}: factor de calibración para SNPK

Componente de ambiente

El componente de medioambiente de la regularidad se origina por factores que incluyen fluctuaciones en la temperatura y en la humedad, así como por movimientos del terreno, por ejemplo, hundimientos. Se obtiene a partir de:

$$\Delta RI_e = m K_{gm} RI_a$$

Donde:

ΔRI_e : cambio proporcional en la regularidad debido al medioambiente durante el año analizado (IRI m/km)

RI_a : regularidad al comienzo del año analizado (IRI m/km)

m : Coeficiente ambiental

K_{gm} : Factor de calibración del componente medioambiental

Cambio total en la regularidad

El cambio total en la regularidad del pavimento se deriva de:

$$\Delta RI = K_{gp}[\Delta RI_s + \Delta RI_c + \Delta RI_r + \Delta RI_t] + \Delta RI_e$$

Donde:

ΔRI = cambio proporcional total de la regularidad durante el año analizado (IRI m/km)

K_{gp} = factor de calibración del progreso de la regularidad

La regularidad del pavimento al final del año analizado se obtiene de:

$$RI_b = \text{MIN}[(RI_a + \Delta RI), a_0]$$

Donde:

RI_b = regularidad del pavimento al final del año analizado (IRI m/km)

RI_a = regularidad del pavimento al comienzo del año analizado (IRI m/km)

a_0 = límite máximo de regularidad del pavimento especificado por el usuario (predefinido = 16 IRI m/km)

El porcentaje anual de la regularidad del pavimento del año analizado se calcula de la siguiente forma:

$$RI_{av} = 0.5(RI_a + RI_b)$$

Donde:

RI_{av} = promedio anual de la regularidad del pavimento del año analizado (IRI m/km). Esta es la regularidad que se utiliza en el modelo de los Efectos sobre el usuario” (HDMGlobal, 2013).

2.3.17.7 Profundidad de la textura

El modelo de macro textura proporcional se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta TD = K_{td} \{ ITD - TD_a - a_0 ITD \log_{10} (10^{[(ITD - TD_a)/(a_0 ITD)]} + \Delta NELV) \}$$

Donde:

ΔTD = cambio proporcional en la mancha de arena derivada de la profundidad de la textura durante el año analizado (mm)

ITD = profundidad inicial de la textura en la construcción del perfilado (mm)

TD_a = profundidad de la textura al comienzo del año analizado (mm)

$\Delta NELV$ = número equivalente de veces que pasa un vehículo ligero durante el año analizado (un camión o un autobús pesado es igual a 10 NELV; un vehículo ligero es igual a 1)

K_{td} = factor de calibración de la profundidad de la textura

La profundidad de la textura al final del año analizado se define por la siguiente fórmula:

$$TD_b = \text{MAX}[(TD_a + \Delta TD), 0.1]$$

Donde:

TD_b = profundidad de la textura al final del año analizado (mm)

TD_a = profundidad de la textura al comienzo del año analizado (mm)

ΔTD = cambio proporcional de la profundidad de la textura durante el año analizado (mm)

El promedio anual de la profundidad de la textura para el año analizado se calcula como sigue:

$$TD_{av} = 0.5(TD_a + TD_b)$$

Donde:

TD_{av} = promedio anual de la profundidad de la textura del año analizado (mm). Esta es la profundidad de la textura usada en el modelo de los Efectos sobre los usuarios.

2.3.17.8 Coeficiente de rozamiento transversal

Está fuertemente influenciado por la micro textura y es una medida del grado de pulido de la capa del pavimento o del agregado y la capa. El modelo propuesto de coeficiente de rozamiento es el siguiente:

$$\Delta SFC_{50} = K_{sfc} a_0 \text{MAX}[0, \Delta QCV]$$

Donde:

ΔSFC_{50} = cambio proporcional en el coeficiente de fuerza lateral medido a 50 km/h durante el año analizado

ΔQCV = aumento proporcional anual del flujo de vehículos comerciales (veh/carril/día)

K_{sfc} = factor de calibración del coeficiente de rozamiento transversal” (HDMGlobal, 2013).

2.3.18 Parámetros principales de la modelización

Las principales medidas de deterioro del pavimento asfáltico a considerar en la modelización en HDM-4 se observa en la Figura N° 34.

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

Figura N° 34: Definición de las medidas de deterioro

Fuente: (HDMGlobal, 2013)

2.3.19 Definición del análisis de estrategias del HDM-4

“El HDM-4 permite realizar tres tipos de análisis: de proyectos, de programas y de estrategias. Como se mencionó al inicio del capítulo, el análisis de estrategias resulta el más adecuado para implementar la metodología propuesta, ya que su propósito específico es la evaluación de opciones de inversión a nivel de red, en el mediano y largo plazo, empleando datos agregados.

Para ejecutar el análisis de estrategias, se debe proporcionar la siguiente información adicional:

Función objetivo para la optimización presupuestal. Las opciones disponibles son: maximizar el valor presente neto, maximizar la mejora del IRI y minimizar el costo para un objetivo de IRI.

Parámetros para el análisis económico: año de inicio, periodo de análisis y tasa de actualización.

Alternativas de intervención. Una alternativa de intervención del HDM-4 consiste en un conjunto de estándares de conservación cuya aplicación se inicia en un año dado. Como se mencionó anteriormente, la metodología solo considera dos estándares de conservación: mantenimiento de rutina y conservación periódica. A partir de estos, se pueden definir inicialmente dos alternativas: una alternativa base para el mantenimiento rutinario y una alternativa de proyecto para la conservación periódica.” (Tenorio, 2005, pág. 67).

A continuación, se muestra la clasificación de las actuaciones (Figura N° 35).

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

Figura N° 35: Clasificación de las actuaciones

Fuente: (Núñez & Pérez, 2005)

2.3.20 Niveles de Intervención en la Conservación Vial

“Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

A continuación, se describe los términos utilizados en las tareas de mantenimiento y rehabilitación:

a) Mantenimiento Rutinario:

“Serie de actividades (limpieza, bacheo, perfilado, aplicación de pintura, etc.) que se ejecutan continuamente para conservar los niveles de servicio de una vía. Dentro de este tipo de mantenimiento podemos encontrar acciones menores tanto programadas como de emergencia, las cuales pueden ser manuales o mecánicas cada 3 meses

b) Mantenimiento Periódico:

Su finalidad es mantener los niveles de servicio iniciales del pavimento, mediante una serie de actividades programadas periódicamente (anuales, bianuales o cada 3 años) como:

- La reposición de capas de rodadura.
- Colocación de capas nivelantes y sello.
- Reparación o reconstrucción puntual de las capas inferiores del pavimento, la plataforma de la carretera, obras de drenaje, túneles, señalización, elementos de seguridad vial, etc” (Correa & Del Carpio, 2019, pág. 5).

c) Mantenimiento Diferido:

“El mantenimiento diferido se refiere a intervenciones que se requieren realizar para conservar los diversos elementos que componen la red vial pero que han sido pospuestas en el programa de actividades.

El incrementa los costos de conservación cuando la intervención es más a futuro y puede ser muy costosa como una rehabilitación y/o reconstrucción” (Yesquén, 2016, pág. 45).

d) Rehabilitación:

“Son aquellos trabajos destinados devolver sus niveles de servicio inicial a una vía, realizando una serie de acciones de reparación y/o ejecución en las diferentes obras que la componen (pavimentos, puentes, túneles, obras de drenaje, movimiento de tierras, etc)” (Correa & Del Carpio, 2019).

e) Mejoramiento:

“Se refiere a la introducción de mejoras en los caminos, relacionadas con el ancho, el alineamiento, la curvatura o la pendiente longitudinal, incluidos los trabajos relacionados a la renovación o la pendiente longitudinal, incluidos los trabajos relacionados a la renovación de la superficie y la rehabilitación. El objetivo de estas labores es incrementar la capacidad del camino y la velocidad, así como la seguridad de los vehículos que por el transitan. En estricto sentido, estos trabajos no son considerados como actividades de conservación, excepto la renovación de superficie” (Giraldo, 2015, pág. 33).

f) Reparaciones de emergencia:

“Este concepto se maneja con una doble connotación. De una parte, se refiere a la atención de emergencias como consecuencia de desastre naturales, mediante la cual se procura devolver a los caminos su transitabilidad en los plazos más cortos posibles para asegurar el flujo de pasajeros y productos; y de otra parte, se refiere a las actividades que se realizan con el propósito de devolver al camino la mínima transitabilidad cuando está en mal estado de conservación o incluso intransitable, como consecuencia de un descuido prolongado. Estas actividades proceden cuando los organismos viales no disponen de los recursos necesarios para su reconstrucción o rehabilitación que es lo que corresponde hacer” (Giraldo, 2015, pág. 33).

2.3.21 Estrategias de Mantenimiento de Pavimentos Asfálticos

“Las estrategias de mantenimiento corresponden a las indicadas en el Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial.

2.3.21.1 Conservación Rutinaria

- Sellado de fisuras y grietas en calzada

El sello de fisuras (aberturas iguales o menores a 3 mm) y de grietas (aberturas mayores a 3mm) consiste en la colocación de materiales especiales sobre o dentro de las fisuras o en realizar el relleno con materiales especiales dentro de las grietas.

El 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 presentan evidencias de afloramiento de agua y/o finos.
- 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.
- 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.
- Fisuras y/o grietas longitudinales coincidentes o sensiblemente paralelas al eje de la calzada.
- Fisuras y/o grietas de reflexión que se presentan en las capas asfálticas colocadas sobre pavimentos de concreto o sobre una base tratada con cemento. Se deben sellar cualquiera sea su ancho.
- Fisuras y /o grietas entre la berma y el pavimento.

2.3.21.2 Conservación Periódica

- Sellos asfálticos

Este trabajo consiste en la ejecución de riegos asfálticos, sobre la superficie de rodadura de la vía, incluyendo los correspondientes a los túneles, puentes y demás elementos, los cuales consisten en riegos con emulsión, lechada asfáltica, sellos arena-asfalto y tratamiento superficial simple o monocapa.

El objetivo es recuperar las condiciones superficiales de calzadas desgastadas o pulidas y, de esta manera, contribuir a una adecuada circulación vehicular. Además, para minimizar y/o retardar la formación de daños más severos en el pavimento. En este sentido, las técnicas de sellado asfáltico tienen por finalidad aplicar medidas que pueden ser preventivas, correctivas o ambas.

Por lo general, los sellos asfálticos son eficaces para tratar los siguientes tipos de daños en el pavimento:

Falta de adherencia superficial de la carpeta, la cual se presenta cuando en las mezclas asfálticas se utilizan agregados que no tienen afinidad con el asfalto y el tránsito produce un desgaste del ligante, dejando las partículas más gruesas expuestas. Este daño puede provocar una disminución en el coeficiente de fricción pavimento-neumático que puede resultar muy peligrosa.

Desgaste de la superficie de una mezcla asfáltica, el cual ocurre cuando se utilizan agregados poco resistentes que se fracturan con el paso vehicular y provocan pérdidas de asfalto.

Corrección de la carencia de una cantidad adecuada de asfalto en la mezcla, originada por deficiencias durante la construcción.

Las principales aplicaciones de las técnicas de sellado asfáltico para la conservación de pavimentos asfálticos son: Los sellos con emulsión asfáltica, que se utilizan para rejuvenecer superficies que presentan un cierto grado de envejecimiento (oxidación), para sellar fisuras y grietas pequeñas y cuando se detecta una insuficiencia de asfalto en la dosificación de la mezcla asfáltica utilizada en la construcción.

Las lechadas asfálticas cumplen una función similar que los sellos con emulsión y además detienen el desgaste superficial y mejoran la fricción entre el pavimento y los neumáticos.

Los sellos arena-asfalto y tratamiento superficial simple, al igual que los sellos anteriores, rejuvenecen, sellan la superficie, detienen el desgaste superficial y mejoran la fricción entre pavimento y neumático. El tamaño del agregado a utilizar se define en el diseño, según el objetivo propuesto y cumpliendo con las especificaciones técnicas correspondientes.

- Recapeos asfálticos

Este trabajo consiste en la colocación de una o más capas de mezcla asfáltica sobre la superficie de rodadura de un pavimento de la vía, incluyendo los correspondientes a los túneles, puentes y demás elementos.

El objetivo es recuperar las condiciones estructurales y superficiales del pavimento, para alcanzar una adecuada circulación vehicular con seguridad, comodidad, rapidez y economía.

Por lo general, la colocación de recapeos asfálticos se realiza como parte de la conservación periódica del pavimento asfáltico cuando éste se encuentra en un estado regular, el cual deberá ser determinado técnicamente a través de pruebas de auscultación. El estado regular de un pavimento asfáltico se ha alcanzado cuando el Índice de Rugosidad Internacional IRI, tiene un valor entre 2.8m/km y 4.0m/km” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

2.4 Estado del Arte del HDM-4

2.4.1 Contexto: Uso y Aplicación del HDM-4 en Latinoamérica

“En Latinoamérica la herramienta HDM-4 es empleada o ha sido utilizada en algún momento en el tiempo, prácticamente desde su aparición, en la mayoría de los países del continente.

Sin embargo, su uso y aplicación ha presentado realidades muy diversas en la forma en que se ha empleado en cada uno de los países de la región.

Mientras en algunos países se han dado procesos continuos y permanentes que han permitido su consolidación.

En otros países su uso es todavía incipiente o los procesos para adoptar la herramienta han quedado trucados en el tiempo” (Salgado, 2019).

2.4.1.1 Aspectos que han impedido una mayor penetración y uso del HDM-4

“Falta de “Cultura” y convicción por la Gestión de Carreteras en las Autoridades de las agencias viales de gobierno.

Ausencia de una estructura organizacional que facilite los medios para una adecuada implementación de un Sistema de Gestión de Carreteras.

Desconocimiento de los beneficios que conlleva la adopción de herramientas de Gestión (la adopción de sistemas y herramientas es considerada un costo y no una inversión).

Por desconocimiento (de autoridades y usuarios) existe el convencimiento que el manejo de la herramienta es “difícil y complejo”.

Resistencia al cambio” (Salgado, 2019).

2.4.1.2 Factores de Éxito en los Países que han logrado Aplicarlo e Implementarlo

“Respaldo institucional a los procesos de largo plazo.

Creación de una “Cultura de Gestión”.

Compromiso de respaldo y financiamiento, lo que implica la implementación y sostenimiento en el tiempo de sistemas y herramientas de gestión de infraestructura.

Desarrollo de proyectos y estudios conducentes a contar con mejores insumos de información.

Capacitación.

Paciencia” (Salgado, 2019).

2.4.1.3 Países donde se ha impartido algún tipo de Capacitación en HDM-4

“Chile - México - Brasil
Paraguay - Guatemala - Bolivia
Perú - Nicaragua - Panamá
El Salvador - Colombia - Costa Rica
Ecuador” (Salgado, 2019).

2.4.1.4 Efectos y consecuencias de los Programas de Capacitación en HDM-4

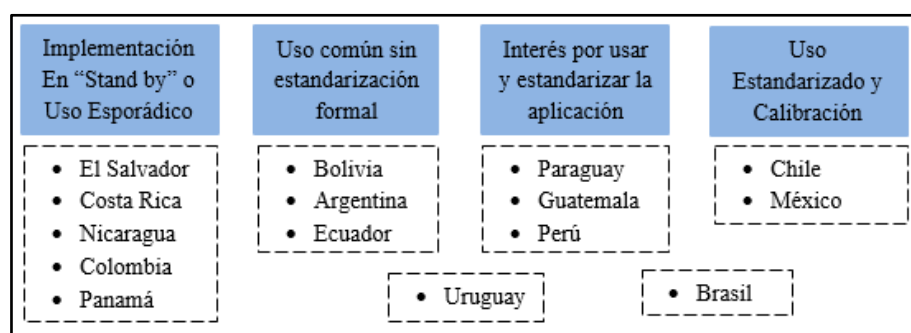


Figura N° 36: Efectos y consecuencias de los programas de capacitación en HDM-4

Fuente: (Salgado, 2019)

2.4.2 Implicaciones de implementar el HDM-4 en una agencia vial

“Una correcta aplicación y adecuada implementación es posible, si se cuenta como mínimo con los siguientes tres elementos:

- Usuarios capacitados, que conozcan con suficiencia la herramienta en su estructura, alcances y limitaciones.
- Buena calidad de la información con la cual se alimentará la herramienta.
- Un metódico y acertado proceso de ajuste y adecuación a las condiciones locales de la Herramienta” (Salgado, 2019).

2.4.3 Estudios de configuración y adaptación de HDM-4

“Los objetivos principales de la Configuración y Parametrización del HDM-4 a las condiciones locales son:

- Asegurar que la información mínima necesaria para operar corresponde con la que se requiere para representar las condiciones locales.
- Alcanzar un consenso en los criterios necesarios para definir el estándar de gestión de los análisis a realizar con el software.
- Lograr uniformidad en la aplicación de conceptos, con independencia de quien sea el usuario de la herramienta” (Salgado, 2019).

2.4.3.1 Aspectos que deben considerarse cuando se realiza la configuración del HDM-4 a las condiciones locales

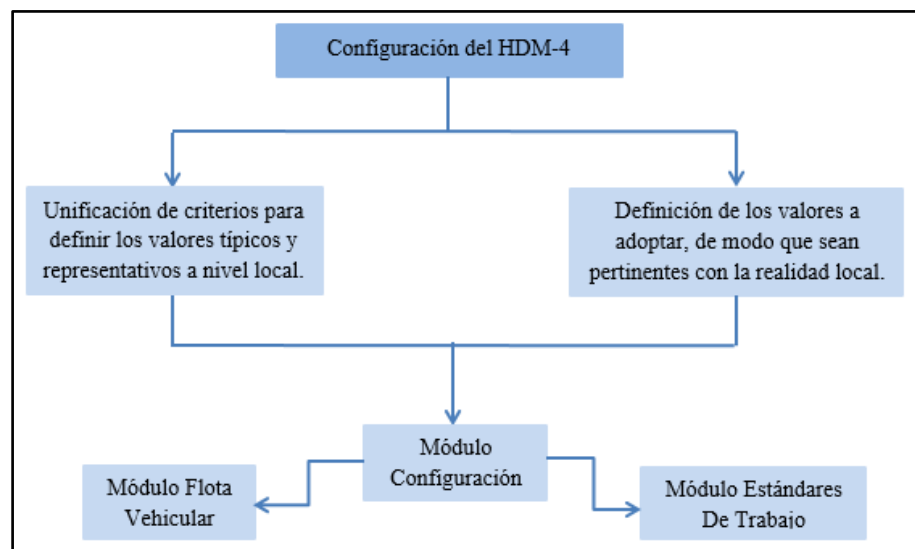


Figura N° 37: Configuración del HDM-4

Fuente: (Salgado, 2019)

2.4.3.2 Aspectos que deben considerarse cuando se realiza la Parametrización del HDM-4 a las condiciones locales

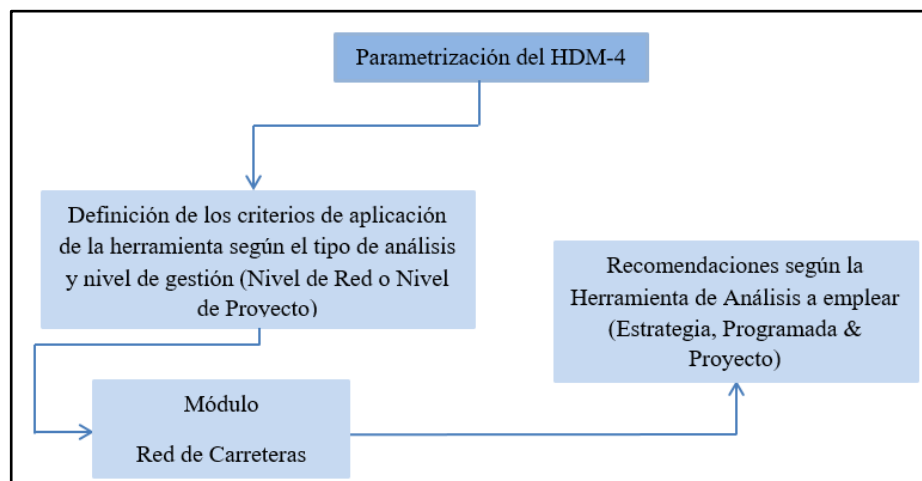


Figura N° 38: Parametrización del HDM-4

Fuente: (Salgado, 2019)

2.4.4 Lugares de aplicación

“El software HDM-4 (y su precursor, el HDM-III), se ha venido utilizando desde hace más de dos décadas en más de 100 países de los cinco continentes para combinar la evolución técnica y económica de proyectos, preparar programas de inversión y analizar estrategias de redes de carretera. Principalmente se ha utilizado en países en vías de desarrollo, es sus recomendaciones por el Banco Mundial, lo que ha permitido una evolución y una afinación o calibración de sus modelos en muchas regiones desfavorables, así como la cada vez mayor inclusión de datos y variables en sus ecuaciones.

África

En este continente se encuentran varios casos de utilización de los modelos del HDM-4, estudios de investigación, calibración de modelos y aplicaciones directas. Como proyecto más importante se encuentra el realizado por el SSATP, organismo internacional que facilita el desarrollo de políticas y la creación de capacidades en el sector del transporte en el África Subsahariana (SSATP, 2015). Dicha asociación engloba a 35 países y está financiada, entre otros, por el Banco Africano de Desarrollo, la Comisión Europea y el Banco Mundial. En 2007, a partir de los modelos de HDM-4, la SSATP crea RNET (Road Network

Evaluation Tools), aplicación programada en hojas de Excel. “RONET utiliza relaciones simplificadas de los costos de los usuarios de las carreteras, sobre la base de HDM-4, y simplifica las ecuaciones de deterioro de las carreteras derivadas de la investigación del HDM-4. Por lo tanto, RONET es un modelo de uso simple, que requiere menos datos y menos capacidad técnica para ejecutarlo que el HDM-4”. Esta aplicación integra y reemplaza a las antiguas RUC y PAM, utilizadas con asiduidad en África.

RONET realiza un análisis socio-económico de la distribución óptima de costos de rehabilitaciones, mantenimiento periódico, mantenimiento recurrente y los costos asociados tanto a la agencia gestora (pública o privada), como a los usuarios de las vías y a la sociedad en general, así como posibles beneficios. Para ello, utiliza únicamente dos modelos de HDM, los cuales simplifica: para carreteras pavimentadas, emplea el Modelo de progresión de la rugosidad en carreteras pavimentadas, mediante el IRI, Internacional Roughness Index: y en vías no pavimentadas emplea el Modelo de pérdida de material en carreteras de ripio, mediante el indicador MLA. Annual Material Loss. El primero de ellos (IRI).

Existe además un numeroso número de países que, bajo la financiación del Banco Mundial, realizan programas de formación para fomentar la utilización de RONET. Es el caso de Mozambique en Maputo, Tanzania en Arusha o Senegal en Dakar, entre otros.

Además existen proyectos de aplicaciones realizados con HDM-4, como la planificación de las actuaciones de conservación de la Red nacional de carreteras de Namibia o la planificación de actuaciones específicas de las carreteras interurbanas entre Ajasse Ipo e Ilorin, Nigeria.

Asia

En el continente asiático existen varias referencias de estudios realizados con HDM-4, así como calibraciones de sus Modelos en varios países. Por ejemplo, la concesión de la autopista Norte-Sur de Malasia, operada por Projek Lebuhraya Utara-Selatan Berhad, es gestionada con un PMS que cuenta con los modelos a las condiciones del país, realizada en 2002. También en la India existen numerosos proyectos, como estudios de calibración de los coeficientes de HDM-4, o incluso

software específico (programación en Visual Basic) para la calibración de los mismos a condiciones de una zona concreta. También en Japón existen estudios de calibración de sus modelos, así como en Tailandia, o en Myanmar.

Europa:

En el continente europeo también se han realizado estudios para efectuar calibraciones de los modelos de HDM, permitiendo así el máximo aprovechamiento de la herramienta y favoreciendo su empleo por los usuarios.

En el 2001 se realizó un proyecto financiado por el Banco Mundial para dicha calibración en Europa del Este. Tras ello, y debido a la insistencia de varias organizaciones en la utilización del HDM-4 en países menos desarrollados, actualmente se utiliza en varios países de esta región europea. Ejemplos de dicha insistencia se encuentran en los diferentes programas de formación promovidos por instituciones relacionadas con el Banco Mundial como el “Transitional Capacity Support for the Public Administration of Moldova”, programa de cursos de formación sobre HDM-4 para el Gobierno de Moldavia, promovidos por las Naciones Unidas; programadas financiados en Polonia, lo que dio lugar a uno de los mayores con HDM-4 en Europa, realizado por la Dirección General de Carreteras Nacionales de Polonia (GDDKiA), quien realizó un amplio estudio de planificación iniciado en 2004 para su Red Nacional de Autopistas, determinando el “12-years Strategic Investment Plan” y el “6-year Rolling Programme”, los cuales se determinaron las secuencias de actuaciones en los siguientes 6 años en la red carreteras y el mantenimiento requerido para mantenerla con unas condiciones de calidad, así como la calendarización de las nuevas construcciones, además de los proyectos de mejoras a lo largo de 12 años, demostrándose posteriormente que este proceso ha sido muy apropiado para el desarrollo de la red polaca de carreteras; en Estonia, en 1994, ya que se utilizó el HDM-III para evaluar 5 alternativas de mantenimiento y realizar un análisis económico calculando el TIR de la estrategia más efectiva (Banco Mundial, 1994), y a partir del 2001, se realizó una adaptación de los Modelos de HDM-4 para las carreteras del país.

Norteamérica:

Así como existen varios estudios relacionados con los Modelos de HDM en Canadá, la utilización tanto del software, como de sus Modelos, así como su calibración un software para países en vías de desarrollo, y donde ya existen diversos PMS independientes. Existen únicamente un estudio llevado a cabo por la WSDOT, el cual se trata de “la primera investigación en profundidad sobre la aplicación del HDM-4 en USA”, que indica que “los Modelos tanto de Deterioro de Carreteras (RD), como de efectos de las Obras (WE), son aptos para su utilización en la red de carreteras gestionada por la WSDOT para pavimentos flexibles, siempre que se realice una calibración previa, no siendo aplicables los Modelos para pavimentos rígidos.

Latinoamérica:

Se encuentran numerosas aplicaciones en Sudamérica. En Chile, país donde se ha utilizado HDM-4 con asiduidad, tuvo lugar un proceso de investigación de forma continuada a lo largo del tiempo desarrollada en conjunto por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y entes académicos como la Pontificia Universidad Católica de Chile, comenzando a trabajar incluso antes de que el software se encuentre disponible en el mercado. Todos los estudios se realizaron bajo la financiación del Banco Mundial, creándose en 1982 un departamento específico de Planificación de la Conservación, dependiente del estado chileno. Ello, sumado a los programas de formación que se organizan periódicamente, ha motivado que actualmente el HDM-4 se utilice en gran medida por consultores y concesionarios en dicho país, así como por el propio ministerio para evaluaciones técnico-económicas, distribución de presupuestos, etc. A continuación, se enumeran una serie de proyectos que ha realizado dicho ministerio en relación a modelos de HDM:

- Seguimiento para la calibración de Modelos de Deterioro de pavimentos asfálticos de Chile. Ministerio de Obras Públicas de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile (DICTUC S.A.) 1999 – 2001.
- Estudio de análisis de sensibilidad de parámetros de modelos HDM-4 y actualización de la metodología para la determinación del estado de caminos

pavimentados. Ministerio de Obras Públicas de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile (DICTUC S.A.). 2003-2004.

- Modelos de Deterioro de Caminos No Pavimentados. Ministerio de Obras Públicas de Chile 2007-2008.
- Estudio para la modelación del deterioro de pavimentos de Hormigón y calibración del HDM-4 en Chile. Ministerio de Obras Públicas de Chile. 2008.
- Estudio para la modelación del deterioro de pavimentos asfálticos y calibración del HDM-4 en Chile. Ministerio de Obras Públicas de Chile 2009-2011.

Otros ejemplos de utilización de HDM en Sudamérica se da en Colombia. En 2004, el INVIAS junto con la Universidad Javeriana, realizó un Estudio de Estructuración del Programa de Conservación denominado “Corredores de mantenimiento integral”, cuyo objetivo era recopilar durante cinco años, información suficiente para realizar una base de datos en al menos 2000 km de su red principal de carreteras. Dicho proyecto permitió calibrar los Modelos de Deterioro del HDM-4, ampliar el conocimiento de los pavimentos en diversos escenarios y plantear futuros planes de conservación, gestión y planificación de su red de carreteras, lo que ha supuesto que sea una herramienta ampliamente utilizada por las empresas colombianas y, en ocasiones, aspecto requerido en los contratos de concesiones.

En Perú también se ha incorporado el HDM-4 como requisito para licitaciones, como en el caso del Proyecto Oyón – Ambo, de 150 km, cuya licitación en octubre de 2015 exigía una evaluación económica previa mediante HDM-4, como el caso del Estudio de Mantenimiento Periódico de la Carretera Panamericana Norte, Tramo I (Km. 586+600 – km. 736+600), donde se realiza una evaluación económica con HDM-4.

En Venezuela, en el año 1996 se inicia el proceso de descentralización, con lo que se decide rehabilitar un total de 949 km de vías, cofinanciado por el BID y el Banco Mundial. Para ello, se realizó un análisis socio-económico mediante HDM-4 a nivel estratégico, con el que se ayudó a establecer el Budget necesario.

En Argentina también se ha realizado una calibración de los modelos de HDM, por la Universidad de San Juan (en Ciudad de San Juan, Argentina), para las

condiciones de la zona centro-oeste del país, así como para las regiones del litoral, por la universidad de Mississippi.

En México también se han utilizado modelos de HDM con asiduidad. Actualmente y desde el año 2003, la Dirección General de Conservación de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de México, utiliza el software HDM-4 para realizar los Programas Nacionales de Conservación de Carreteras Federales Libres de Peaje (Secretaría de Comunicaciones y Transportes del MOPT, 2015). Además el Instituto Mexicano de Transporte, órgano dependiente directamente del Estado, dispone de un programa de formación sobre el HDM-4 llamado “Cursos de actualización post profesional “, que organiza anualmente, enfocado a fomentar su utilización en el país (Instituto Mexicano del Transporte, 2016). No obstante, no existe una calibración de los coeficientes de los Modelos HDM.

En Nicaragua, en el año 1996 se inició la implementación del Sistema de Administración de Pavimentos (SAP), con el apoyo del Gobierno del Reino de Dinamarca y del Banco Mundial, y financiado por numerosas organizaciones (BID, BM, España, Unión Europea, Japón, Suecia, etc). Entre 1996 y 2001, se rehabilitaron y pavimentaron 800 km, lo que supuso un montante de 350 millones de dólares. En los años sucesivos, se han seguido realizando rehabilitaciones de forma más paulatina, alcanzando hoy los más de 1500 km con respecto a 1996. Todos estos proyectos han sido justificados mediante estudios de factibilidad realizados utilizando los modelos de predicción del comportamiento del pavimento en el HDM-III, RTIM2 y HDM-4.

En Brasil, aunque el número de aplicaciones es menor que en otros países de Sudamérica, existen una serie de predisposiciones a su utilización. Se pueden encontrar algunas calibraciones de modelos realizadas en partes muy concretas del país, que, debido a su gran extensión y a la diversidad climática y prestacional de sus vías, no pueden considerarse como calibraciones genéricas. Es el caso, por ejemplo, de la calibración y posterior utilización realizada en un tramo de la autopista de peaje SP-280, una de las principales vías de acceso a Sao Paulo, gestionada por la empresa Companhia de Concessões Rodoviárias. Los modelos

utilizados fueron el modelo de evolución de las fisuras y el modelo de evolución de la rugosidad.

Oceanía:

En este extendido continente también se encuentran diversos estudios en varios países como Australia, Nueva Zelanda, Samoa o Tonga, consistentes en la calibración de sus modelos, como en la realización de PMS basados en los Modelos de HDM (HCT Infrastructure Management LTd., 2000), (HTC Infrastructure Management Ltd., 2001)” (Turrado, 2016).

2.5 Definición de términos básicos

Índice de Regularidad Internacional (IRI): “El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino” (Ríos I. , 2019, pág. 22).

Índice de condición de pavimento (PCI): “Es un índice numérico que clasifica la superficie condiciones del pavimento, varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado” (Robles, 2015).

Modelos de deterioro: “Los modelos de deterioro del (IRI) son expresiones matemáticas que permiten predecir la evolución del estado funcional del pavimento en el tiempo, en base al conocimiento de las condiciones al inicio de la puesta en servicio (valores medidos en campo) y al momento de la realización del análisis” (Ríos I. , 2019).

Herramienta HDM-4: “El HDM-4 es una herramienta diseñada para apoyar la toma de decisiones a nivel de red, relacionadas principalmente con la gestión de la conservación y mejoramiento de redes viales, principalmente en aplicaciones dirigidas a la planeación estratégica, la programación de intervenciones, la evaluación económica de iniciativas y/o planes de inversión para la gestión de infraestructura vial” (Salgado, 2020).

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Proyectando el deterioro del pavimento asfáltico se determina la estrategia de mantenimiento óptima conformada por un recapado de 7.5 cm y sellado de fisuras en el pavimento asfáltico, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

3.1.2 Hipótesis secundarias

- a) La estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, es determinado por medio del estudio de las fallas y modelos de deterioro del pavimento, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.
- b) El análisis de las actividades de Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico del pavimento asfáltico permite recomendar la estrategia de mantenimiento aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.
- c) La aplicación del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4), determina la Estrategia de Mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.
- d) La identificación de los modelos de la herramienta HDM-4, determina el análisis de la Estrategia de Mantenimiento del pavimento asfáltico, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.
- e) Las intervenciones oportunas de mantenimiento prolonga la rehabilitación del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

3.2 Variables

Para la presente investigación, se denotan cinco variables las cuales constituyen el estudio del presente trabajo de investigación. La variable independiente es el deterioro del pavimento asfáltico y las variables dependientes son las siguientes:

Estrategias de mantenimiento de pavimentos asfálticos, software del HDM-4, modelos del HDM-4, tipos de intervenciones.

3.2.1 Definición conceptual de las variables

- Variable independiente

Deterioro del pavimento asfáltico: “El deterioro del pavimento a través del tiempo es un proceso continuo originado por diversos factores como el tránsito, clima, propiedades de los materiales que constituyen la estructura del pavimento, edad del pavimento, las acciones de mantenimiento llevadas a cabo, entre otros” (Ríos I. , 2019).

- Variable dependiente

Estrategias de mantenimiento del pavimento asfáltico: “Una estrategia de mantenimiento se define como un concepto de operaciones de mantenimiento que permiten mejorar los índices de desempeño estructural y funcional de la infraestructura en general y de un pavimento en particular”

Software HDM-4: “El HDM-4 es una herramienta diseñada para apoyar la toma de decisiones a nivel de red, relacionadas principalmente con la gestión de la conservación y mejoramiento de redes viales, principalmente en aplicaciones dirigidas a la planeación estratégica, la programación de intervenciones, la evaluación económica de iniciativas y/o planes de inversión para la gestión de infraestructura vial” (Salgado, I Curso de capacitación en HDM-4 (Online), 2020)

Modelos del HDM-4: “La forma del modelo HDM es incremental, es decir, que predice el cambio en la condición del pavimento a lo largo de un cierto incremento de tiempo como función de la condición actual del pavimento, de sus características estructurales y de las solicitudes externas” (Pérez, 2013)

Tipos de intervención: “Es la forma de cómo dar solución a un problema que se puede presentar en la infraestructura vial en la parte de su calidad, estructura y construcción. Los tipos de intervención son: M. rutinario, M. Periódico o Rehabilitación” (Urbano y Vargas, 2019).

3.2.2 Operacionalización de las variables

- Operacionalización de la variable X:

Tabla N° 4: Operacionalización de la Variable X

Variable Independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Item
Deterioro del pavimento asfáltico	El deterioro del pavimento a través del tiempo es un proceso continuo originado por diversos factores como el tránsito, clima, propiedades de los materiales que constituyen la estructura del pavimento, edad del pavimento, las acciones de mantenimiento llevadas a cabo, entre otros.	PCI IRI Deflexión Textura	0-100 2.5-6 D < 0.5mm 0.3-1.5 mm	Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)	8.0 Suelos y pavimentos

Fuente: Elaboración propia

- Operacionalización de la variable Y:

Tabla N° 5: Operacionalización de la Variable Y

Variable Dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Item
Estrategias de mantenimiento del pavimento asfáltico	“Una estrategia de mantenimiento se define como un concepto de operaciones de mantenimiento que permiten mejorar los índices de desempeño estructural y funcional de la infraestructura en general y de un pavimento en particular”	MTC Manual de Conservación Vial Manual del HDM-4	Sellado de grietas Recapado	HDM-4	Estrategia de mantenimiento y conservación de mantenimiento
HDM-4	“El HDM-4 es una herramienta diseñada para apoyar la toma de decisiones a nivel de red, relacionadas principalmente con la gestión de la conservación y mejoramiento de redes viales, principalmente en	Manual del HDM-4	Mejoramiento Conservación	Software HDM-4	Flota vehicular, Redes de carretera, estándares de trabajo, proyectos, programa, estrategias, configuración

Variable Dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Item
	aplicaciones dirigidas a la planeación estratégica, la programación de intervenciones, la evaluación económica de iniciativas y/o planes de inversión para la gestión de infraestructura vial” (Salgado, 2020)				ración, estándares de conservación y mejora.
Modelos del HDM-4	“La forma del modelo HDM es incremental, es decir, que predice el cambio en la condición del pavimento a lo largo de un cierto incremento de tiempo como función de la condición actual del pavimento, de sus características estructurales y de las solicitudes	Modelo de Deterioro y Efectos de los Trabajos Modelos de Efectos de los Usuarios, Modelos de Seguridad Vial, Balance de Energía y Efectos Ambientales	IRI, Flujo Costos Administrativos, Volumen Capacidad, Flujo Costos Operación Vehicular, Flujo Costos Tiempo de Viaje, Costos de accidentabilidad.	Software HDM-4	Configuración en HDM-4, flota vehicular en HDM-4, Red de carretera en HDM-4, Estándares de trabajo

Variable Dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Item
	externas” (Pérez, 2013)				
Tipo de intervenciones	“Es la forma de cómo dar solución a un problema que se puede presentar en la infraestructura vial en la parte de su calidad, estructura y construcción. Los tipos de intervención son: Mantenimiento rutinario, Mantenimiento Periódico o Rehabilitación” (Urbano & Vargas, 2019)	Mantenimiento Rutinario, Mantenimiento Periódico, Rehabilitación	Sellado de fisuras y grietas en la calzada, recapado asfáltico	Manual MTC	Manual de Carreteras o Conservación Vial

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel

4.1.1 Tipo de investigación

Según (Valderrama, 2013) “la investigación aplicada se le denomina también “práctica” o “empírica”. Se encuentra íntimamente ligada a la investigación básica, ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos para llevar a cabo la solución de problemas, con la finalidad de generar bienestar a la sociedad” (pág. 164).

La investigación es de tipo aplicada porque propone alternativas de mantenimiento en el pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

4.1.2 Nivel de investigación

Según (Hernández, 2014), “el nivel correlacional tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular” (pág. 98).

Esta investigación es de nivel correlacional, porque se analiza la relación entre la variable independiente, deterioro del pavimento asfáltico y las variables dependientes, estrategias de mantenimiento del pavimento asfáltico, Software HDM-4, Modelos del HDM-4 y tipos de intervención.

4.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, de diseño transversal correlacional – causal. No experimental porque “se lleva a cabo sin manipular la variable independiente, toda vez las evaluaciones ya ocurrieron antes de la investigación” (Valderrama, 2013) y transversal correlacional – causal “porque se describe las relaciones entre dos o más variables en un momento determinado” (Valderrama, 2013).

4.3 Población y muestra

La población comprende el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero (Km. 1363+000 al Km. 1413+000), el área de influencia abarca, el departamento de

Puno, provincias de Puno, el Collao y Chucuito. El análisis se realizará en la estructura de pavimento asfáltico.

La muestra está delimitada por el sector homogéneo número 4 del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

a) Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009), 14 Tesis Nacionales, 8 Tesis Internacionales, 9 papers o artículos científicos, investigaciones, publicaciones, 3 libros y 3 normativas nacionales.

b) Recolección de la data de los parámetros estructurales y funcionales del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, con base al Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009) obtenido.

c) Acervo documentario de las diferentes tesis nacionales investigadas sobre pavimentos asfálticos.

d) Análisis y manejo del Software HDM-4 para las Estrategias de Mantenimiento de pavimentos asfálticos.

4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó como instrumento el software HDM-4, versión 2.11, versión estudiantil; para proyectar el deterioro del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero. El software HDM-4 ha sido el resultado del estudio de los Modelo de estándares de diseño y mantenimiento de carreteras (HDM-III), desarrollado por el Banco Mundial en 1998.

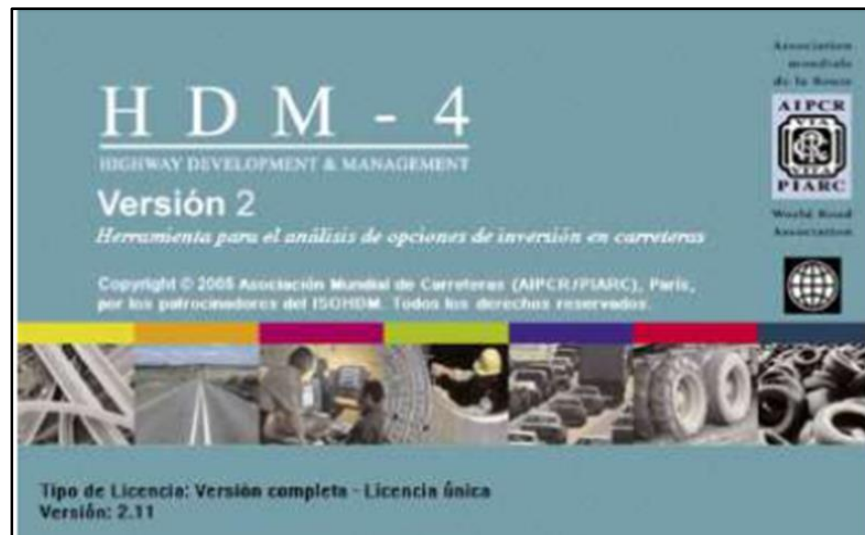


Figura N° 39: Versión de la herramienta HDM-4

Fuente: Software HDM-4

4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos

El procedimiento consiste en recolectar la información de parámetros funcionales y estructurales del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, con base al Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009) obtenido, ubicado en el departamento de Puno y realizar el análisis del deterioro de pavimentos con el objetivo de proponer en el tiempo oportuno las estrategias de mantenimiento idóneas relacionadas a las condiciones locales.

4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

La técnica para el procesamiento de información se obtuvo de la página web de Provias Nacional la cual tuvimos acceso, a través de la búsqueda del mismo, y así poder recopilar y procesar los datos a la herramienta HDM-4. Asimismo se asume la confiabilidad de los datos y validez de los procedimientos para determinar el mantenimiento óptimo para el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero. El análisis de datos comprende el estudio de los modelos de deterioro de pavimentos asfálticos con el fin de predecir el comportamiento de la estructura vial durante el tiempo, de este modo, se propone el modelo de las estrategias de mantenimiento de la carretera en mención.

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA CARRETERA PUNO-DESAGUADERO

5.1 Antecedentes de la Carretera Puno - Desaguadero

La Carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave, requería ejecutar trabajos oportunos de Mantenimiento Periódico, a fin de mantener los Niveles de Servicio del tramo en condiciones similares a las de su último proyecto de Mejoramiento, contribuyendo así a asegurar la preservación de este importante activo del Patrimonio Vial Nacional durante un periodo de por lo menos diez (10) años.

El proyecto estuvo referido a identificar, cuantificar, ubicar y plantear las soluciones o tratamientos más adecuados para conservar la Infraestructura Vial, por ello, el requerimiento del Expediente Técnico para los trabajos de Mantenimiento Periódico del Tramo: Puno - Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero y su respectivo presupuesto de obra.

5.2 Generalidades

5.2.1 Ubicación

La carretera del Tramo: Puno – Ilave tiene como punto de inicio la ciudad de Puno, en el Km. 1363+000 y finaliza en la localidad de Ilave.

Geográficamente, se inicia en las coordenadas Norte: 8°246,036.33 Este 392,877.76 del Sistema WGS-84 zona 19 Sur, en el hito kilométrico 1363 de la carretera Puno – Desaguadero, ruta Nacional 003S, y finaliza en las coordenadas Norte: 8°221,727.93 Este: 431,070.29 del Sistema UTM WGS-84, zona 19 Sur, en el hito kilométrico 1413 de la carretera en mención.

Topográficamente, comienza a una altura de 3,810 m (Km. 1363+000), llegando hasta su punto más alto en el nivel 3,850 m (Km. 1377+500) aproximadamente.

5.2.2 Plano de ubicación

Se anexa al presente el plano de ubicación del proyecto.

5.2.3 Plano clave

Se presenta adjunto el plano clave del tramo.

5.2.4 Plano de secciones típicas y sectorización

Con base a los resultados de la evaluación del pavimento, se formularon los sectores que tendrán un mismo tratamiento de Mantenimiento Periódico (Sectores Homogéneos). Por lo tanto, de acuerdo a las evaluaciones del pavimento realizadas a lo largo del tramo, estudio de tráfico, clima, altitud, tipo de estructura del pavimento, características geométricas del sector u otras.

A continuación se muestra la sección transversal típica del sector homogéneo 4, como se muestra en la Figura N° 40.

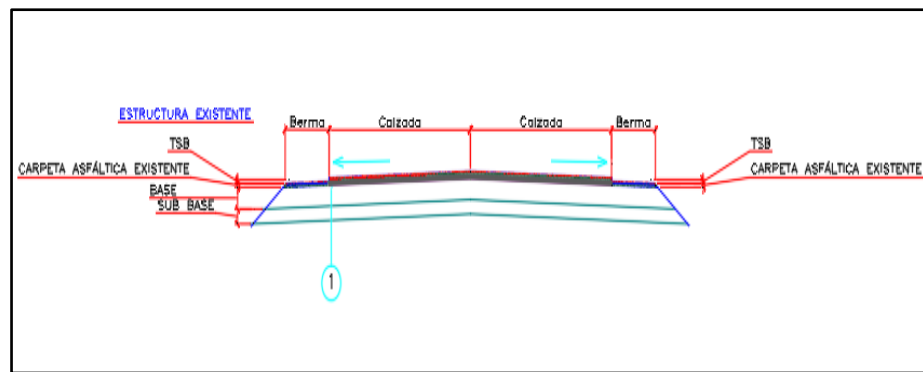


Figura N° 40: Sección típica del sector homogéneo 4

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

5.3 Parámetros de la carretera Puno-Desaguadero

5.3.1 Topografía

- Aspectos técnicos del inicio

Las características iniciales de la vía existente se mencionan a continuación:

TRAMO: 1363+000 (PUNO) - Km. 1413+000 (ILAVE)

Red Vial : Ruta Nacional 003S (Km 1363+000 – Km 1413+000)

Categoría : 3ra categoría

Velocidad Directriz: 30 Km/h

Longitud : 50.00 Km.

Cunetas : de concreto, y de tierra en diferentes sectores

Ancho de Superficie de Rodadura: 6.20 m

Superficie de Rodadura : Tratamiento Superficial Bicapa

Bombeo : 2%

5.3.2 Características técnicas del trazo existente

Velocidad Directriz	: 30 Km/h.
Ancho de superficie de rodadura	: 6.20 m.
Bermas laterales	: de tierra variable
Cunetas	: Triangulares de 1.50 x 0.55m
Radio Mínimo	: 195.0m
Radio Máximo	: 1500.0 m.
Pendiente Máxima	: 5.8 %.
Pendiente Mínima	: 0.01%
Bombeo	: 2.0%.
Número de carriles	: 2
Pavimento	: TSB
Talud en relleno	: 1:1.5
Talud en Corte	: De acuerdo al estudio geológico.

5.3.3 Tráfico y carga

Tramo Puno-Chucuito

Se presenta el resumen de los recuentos de tráfico y la clasificación diaria para cada sentido y total en ambos sentidos (Figura N° 41).

DÍA	SENTIDO	LIGEROS				BUS	CAM UNIT	CAM ACOP	TOTAL
		AUTOS	CMTA	CR	MICRO				
JUEVES	SENTIDO: A CHUCUITO	193	92	431	177	36	62	74	1065
	SENTIDO: A PUNO	180	92	424	161	36	56	42	991
	SENTIDO:AMBOS	373	184	855	338	72	118	116	2056
VIERNES	SENTIDO: A CHUCUITO	195	123	496	223	50	56	70	1213
	SENTIDO: A PUNO	240	116	483	262	41	59	57	1258
	SENTIDO:AMBOS	435	239	979	485	91	115	127	2471
SABADO	SENTIDO: A CHUCUITO	299	116	558	182	37	81	70	1343
	SENTIDO: A PUNO	301	104	519	155	33	90	51	1253
	SENTIDO:AMBOS	600	220	1077	337	70	171	121	2596
DOMINGO	SENTIDO: A CHUCUITO	389	107	496	196	35	80	38	1341
	SENTIDO: A PUNO	406	98	513	207	36	127	56	1443
	SENTIDO:AMBOS	795	205	1009	403	71	207	94	2784
LUNES	SENTIDO: A CHUCUITO	227	79	523	205	43	65	43	1185
	SENTIDO: A PUNO	213	99	503	204	33	49	28	1129
	SENTIDO:AMBOS	440	178	1026	409	76	114	71	2314
MARTES	SENTIDO: A CHUCUITO	207	87	428	171	30	64	70	1057
	SENTIDO: A PUNO	213	77	441	173	30	52	54	1040
	SENTIDO:AMBOS	420	164	869	344	60	116	124	2097
MIERCOLES	SENTIDO: A CHUCUITO	203	108	444	172	28	61	60	1076
	SENTIDO: A PUNO	194	99	429	172	31	50	45	1020
	SENTIDO:AMBOS	397	207	873	344	59	111	105	2096

Figura N° 41: Tramo Puno-Chucuito - Variación de la Clasificación diaria por sentido

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Tramo Chuchito –Ilave

Se presenta el resumen de los recuentos de tráfico y la clasificación diaria para cada sentido y total en ambos sentidos (Figura N° 42).

DIA	SENTIDO	LIGEROS				BUS	CAM UNIT	CAM ACOP	TOTAL
		AUTOS	CMTA	CR	MICRO				
VIERNES	SENTIDO: A PUNO	186	78	153	235	40	58	44	794
	SENTIDO: A ILAVE	156	80	154	212	41	58	57	758
	SENTIDO:AMBOS	342	158	307	447	81	116	101	1552
SABADO	SENTIDO: A PUNO	184	50	212	146	32	86	48	758
	SENTIDO: A ILAVE	186	58	244	155	30	90	71	834
	SENTIDO:AMBOS	370	108	456	301	62	176	119	1592
DOMINGO	SENTIDO: A PUNO	193	66	418	197	31	109	55	1069
	SENTIDO: A ILAVE	234	62	403	202	33	68	39	1041
	SENTIDO:AMBOS	427	128	821	399	64	177	94	2110
LUNES	SENTIDO: A PUNO	148	60	177	186	32	51	25	679
	SENTIDO: A ILAVE	169	63	203	199	33	65	41	773
	SENTIDO:AMBOS	317	123	380	385	65	116	66	1452
MARTES	SENTIDO: A PUNO	129	73	142	162	26	60	56	648
	SENTIDO: A ILAVE	132	90	144	168	28	78	74	714
	SENTIDO:AMBOS	261	163	286	330	54	138	130	1362
MIERCOLES	SENTIDO: A PUNO	122	76	143	156	30	55	45	627
	SENTIDO: A ILAVE	134	80	146	159	28	71	58	676
	SENTIDO:AMBOS	256	156	289	315	58	126	103	1303
JUEVES	SENTIDO: A PUNO	145	77	162	161	33	39	48	665
	SENTIDO: A ILAVE	168	79	173	164	34	51	92	761
	SENTIDO:AMBOS	313	156	335	325	67	90	140	1426

Figura N° 42: Tramo Chuchito –Ilave - Variación de la Clasificación Diaria por Sentido

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Proyección del tráfico por tipo de vehículo Tramo Puno - Chucuito

TIPO DE VEHICULO	TASA ANUAL %
AUTO	4.81
CAMIONETA	1.15
CAMIONETA RURAL	1.14
MICRO	1.14
BUS	1.4
CAMIONES	3.1

TRAMO: PUNO-CHUCUITO

PROYECCIONES DEL TRAFICO AÑO

ESTACION E-1

TRAFICO NORMAL	AÑO 2008	2009	AÑO 2014	AÑO 2019	AÑO 2024	AÑO 2029	AÑO 2034
AUTO	507	530	664	832	1043	1306	1636
CAMIONETA	204	206	218	231	245	259	275
CAM RURAL	980	991	1049	1110	1175	1243	1316
MICRO	389	393	416	441	466	494	522
BUS	72	73	78	84	90	96	103
CAMION 2E	113	117	136	158	184	215	250
CAMION 3E	27	28	32	38	44	51	60
ARTICULADO	111	114	133	155	181	211	245
TOTAL	2403	2514	2726	3049	3428	3875	4407
TRAFICO GENERADO=0,20							
AUTO	101	106	133	166	209	261	327
CAMIONETA	41	41	44	46	49	52	55
CAM RURAL	196	198	210	222	235	249	263
MICRO	78	79	83	88	93	99	104
BUS	14	15	16	17	18	19	21
CAMION 2E	23	23	27	32	37	43	50
CAMION 3E	5	6	6	8	9	10	12
ARTICULADO	22	23	27	31	36	42	49
TOTAL	481	490	545	610	686	775	881
TRAFICO TOTAL							
AUTO	608	636	797	998	1252	1567	1963
CAMIONETA	245	247	262	277	294	311	330
CAM RURAL	1176	1189	1259	1332	1410	1492	1579
MICRO	467	472	499	529	559	593	626
BUS	86	88	94	101	108	115	124
CAMION 2E	136	140	163	190	221	258	300
CAMION 3E	32	34	38	46	53	61	72
ARTICULADO	133	137	160	186	217	253	295

Figura N° 43: Proyección de Tráfico por tipo de vehículo – Tramo Puno - Chucuito

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Proyección del tráfico por tipo de vehículo Tramo Chucuito - Ilave

TIPO DE VEHICULO	TASA ANUAL %
AUTO	4.61
CAMIONETA	1.15
CAMIONETA RURAL	1.14
MICRO	1.14
BUS	1.4
CAMIONES	3.1

TRAMO: CHUCUITO-ILAVE
PROYECCIONES DEL TRAFICO AÑO

TRAFICO NORMAL	ESTACION E-2						
	AÑO 2008	2009	AÑO 2014	AÑO 2019	AÑO 2024	AÑO 2029	AÑO 2034
AUTO	335	350	439	550	689	863	1081
CAMIONETA	145	147	155	164	174	184	195
CAM RURAL	421	426	451	477	505	534	566
MICRO	366	370	392	415	439	464	491
BUS	66	67	72	77	82	88	95
CAMION 2E	116	120	139	162	189	220	257
CAMION 3E	22	23	28	31	36	42	49
ARTICULADO	108	111	130	151	176	205	239
TOTAL	1579	1652	1804	2027	2290	2600	2972
TRAFICO GENERADO=0,20							
AUTO	67	70	88	110	138	173	218
CAMIONETA	29	29	31	33	35	37	39
CAM RURAL	84	85	90	95	101	107	113
MICRO	73	74	78	83	88	93	98
BUS	13	13	14	15	16	18	19
CAMION 2E	23	24	28	32	38	44	51
CAMION 3E	4	5	5	6	7	8	10
ARTICULADO	22	22	26	30	35	41	48
TOTAL	316	323	361	405	458	520	594
TRAFICO TOTAL							
AUTO	402	420	527	660	827	1036	1297
CAMIONETA	174	176	186	197	209	221	234
CAM RURAL	505	511	541	572	606	641	678
MICRO	439	444	470	498	527	557	589
BUS	79	80	88	92	98	106	114
CAMION 2E	139	144	167	194	227	264	308
CAMION 3E	26	28	31	37	43	50	59
ARTICULADO	130	133	156	181	211	246	287
TOTAL	1895	1937	2165	2432	2748	3120	3566

Figura N° 44: Proyección de Tráfico por tipo de vehículo – Chucuito - Ilave

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

5.3.4 Geología y geotecnia

En cuanto a suelos por su origen se han identificado:

- Aluviales (Q-al1-al2)

Son materiales depositados por corrientes de ríos principales y permanentes, transporte de fragmentos rocosos a grandes distancias, bien trabajados. Ocupan la mayor parte de materiales que atraviesan el trazo, interrumpidos por los suelos que se describen líneas abajo. Están conformadas por limos, arenas y gravas, también bolos y bloques. Se han subclasificado en aluviales antiguos Q – al1 y más reciente Q – al2.

- Proluviales (Q-pl)

Son materiales provenientes de corrientes temporales de aguas de lluvia, transporte violento de fragmentos de roca y lodo. En las desembocaduras conforman los conos deyeativos.

- Deluviales (Q-dl)

Son suelos producto de la meteorización química, vientos, lluvias y la gravedad, son capas de suelos, poco a moderadamente consolidados.

- Escombros o coluviales (Q-e)

Son acumulaciones de fragmentos rocosos en las laderas de los cerros de diferentes tamaños hasta llegar a bloques depositados por gravedad, la mayoría de veces con escasa matriz o ausencia de ella.

Se presentan muy cerca de los depósitos proluviales y deluviales anteriormente mencionados, hasta en extensión de 1.5 Km., de largo.

Geología Estructural

Existencia de afloramientos de rocas ígneas intrusivas que se denominan deoritas (T.di), afloran hacia el Este del trazo en el Km. 15 aproximadamente y se consideran de Edad Terciaria. Son rocas de color verde pálido o rosáceo, de grano medio a grueso, porfiríticos.

En general esta especialidad debe ser relacionada con el rasgo geomorfológico que más prevalece, es decir, el Altiplano, definido como una superficie ligeramente plana, que en su mayor extensión se encuentra cubierta por depósitos aluviales, así mismo existen afloramientos dispersos con rocas del Paleozoico, Cretácico y Terciario, incluyendo rocas con buzamientos a veces horizontales, áreas de pliegues complejos y un gran número de fallas tanto de alto como de bajo ángulo y fallas normales. Las fuerzas de compresión fueron dirigidas NE a SW, evidenciándose en los sobreescurrecimientos y en los pliegues recostados y volteados que son muy comunes.

5.3.5 Hidrología, hidráulica y drenaje

a) Análisis de las Lluvias

- Precipitación Total Mensual y Anual

La totalidad de las lluvias son de origen orográfico y convectivo. Se dice que las lluvias son orográficas cuando se originan por la condensación de las nubes al elevarse estas para trasmontar las cordilleras ocurriendo

generalmente a sotavento de las montañas ubicadas al paso de las nubes. Se entiende por lluvias convectivas aquellas que se producen como consecuencia de fenómenos locales.

De acuerdo a la información del expediente técnico, se observa que el régimen de precipitación de la zona es del tipo ecuatorial con un periodo húmedo durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo y un periodo seco en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre.

En las Estaciones de Puno, Juliaca y Juli la precipitación media anual alcanza los 706.8 mm, 567.5 mm y 813.0 mm. Respectivamente.

- Análisis de la Precipitación máxima en 24 horas

Las precipitaciones máximas en 24 horas fueron tomadas en las estaciones pluviométricas, Puno, Juliaca y Juli.

De los valores registrados en la Estación Puno, se observa que el máximo valor es de 71.6 mm. Y corresponde al mes de octubre de 1984 y el menor de 23.6 mm, corresponde al mes de enero de 1990. En la estación Juliaca se observa que el máximo valor es de 51.3 mm. Y corresponde al mes de marzo de 1971 y el menor es de 15.0 mm. Y corresponde al mes de enero de 1996. En la estación Juli, se observa que el máximo valor es de 63.2 mm. Y corresponde al mes de marzo de 1964 y el menor es de 14.0 mm. Y corresponde al mes de marzo de 1980.

- Intensidades de Lluvia

Las intensidades han sido estimadas a partir de la precipitación máxima en 24 horas y la precipitación máxima mensual para el mismo periodo de retorno. Para ellos las precipitaciones máximas en 24 horas y la precipitación total mensual correspondiente, fueron ajustadas a la distribución Log Pearson Tipo III.

- Descripción de las Cuencas

Los ríos más importantes que están cerca de la vía son:

Tabla N° 6: Características de los ríos

Río	Ubicación	Área (Km ²)	Desnivel	Longitud (m.)	Pendiente (%)	Tiempo de Concentración (horas)
Huenque (Ilave)	Km 1412+000	480.50	15.50	55700	0.07	2.97

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

- Evaluación de insuficiencia hidráulica e insuficiencia de drenaje

El tramo en estudio, presenta en general, óptima eficiencia de la red de drenaje, se aprecia que en la totalidad de la carretera hay cunetas que permiten escurrir con facilidad el agua evitando desbordes que dañen la calzada.

Tabla N° 7: Inventario de estructuras principales de drenaje

Obras	Unidades
Puentes y pontones	3
Alcantarillas	149
TOTAL	152

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

b) Diagnóstico de las Obras Existentes

- Pontones

En general, los pontones se encuentran en buen estado.

- Alcantarillas

La mayoría de las alcantarillas que cubren el tramo estudiado, no presentan colmatamiento, ni obstrucción en su cauce interno, pero si necesita un mantenimiento de limpieza en sus cauces externos.

- Badenes

En el tramo de estudio no se encontró ningún badén existente.

- Cunetas Laterales

Las cunetas de borde, de sección triangular y revestidas, existen en el tramo en estudio, actualmente no se encuentran colmatadas.

En el expediente técnico, no se han identificado problemas hidrodinámicos como: erosión de riberas, deslizamiento de materiales (huaycos), erosiones por escorrentías superficiales, etc.; encontrándose la vía en buen estado.

El único problema observado es el mantenimiento, los trabajos de Mantenimiento Rutinario de obras de drenaje no se han ejecutado en su integridad en la carretera, los cuales estarán referidos prioritariamente a la limpieza de cauces externos de las alcantarillas.

De la Oficina General de Estadística e Información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), se obtiene el procesado de las alturas de lluvia correspondiente a las estaciones meteorológicas en el área del proyecto.

Los datos empleados, corresponden a los valores de precipitaciones máximas en 24 horas registradas.

✓ Precipitación Máxima Diaria

Los análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas diarias, se efectúan en base a la distribución “Gumbel” y la “Log. Pearson III” de las cuales se han elegido los valores proporcionados por “Gumbel”, por considerarse que brinda un mayor ajuste para los valores extremos.

Las descargas de avenidas en cuencas mayores de 50 Km² no se calculan con los registros de lluvia, sino más bien con los parámetros característicos de las cuencas.

✓ Vida Útil de las Estructuras de Drenaje

La vida útil estimada de cada estructura de drenaje, se ha establecido como se especifica a continuación, debiendo ser compatibles, obviamente, con los períodos de retorno de las descargas de diseño.

Tabla N° 8: Vida útil estimada de las estructuras de drenaje

Estructuras mayores (puentes)	100 años
Estructuras medias (pontones)	50 años
Alcantarillas, cunetas, etc.	25 años

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

5.3.6 Estructuras de concreto, obras de arte y drenaje

A continuación se presenta el inventario de las estructuras de Obras de arte y drenaje realizadas al 100% (Figura N° 45).

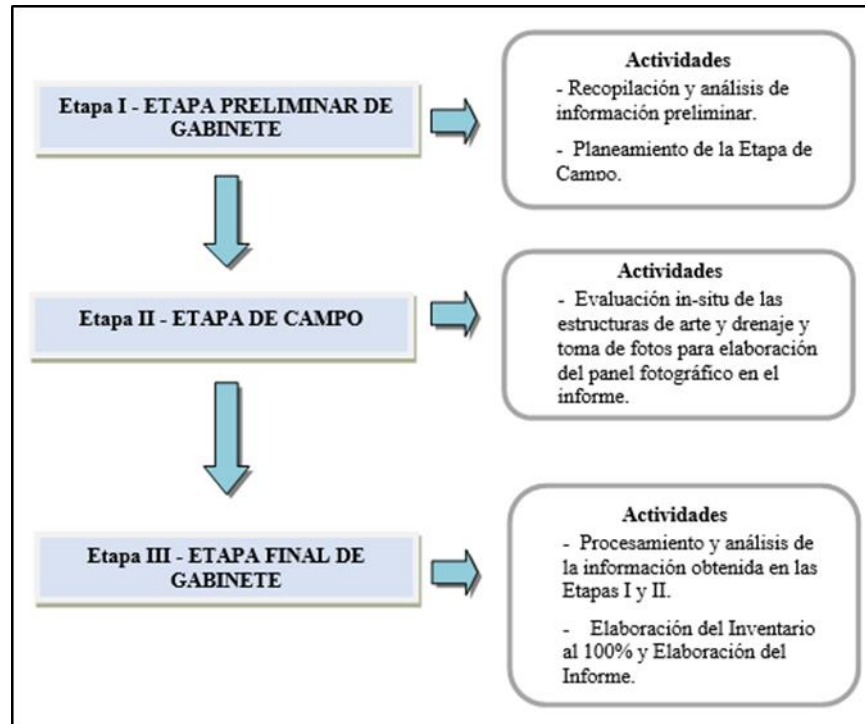


Figura N° 45: Etapas para la realización del Inventario

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

a) Inventario de estructuras de concreto

Evaluación Funcional

- Pontones

Se ha evaluado 03 pontones existentes:

Pontón Km 1378+362, ubicado en el Km 1378+362, se encuentra en regulares condiciones de servicio. Tiene una luz de 5.20 m y una altura de 1.70 m.

Pontón km 1379+231, ubicado en el Km 1379+231, se encuentra en regulares condiciones de servicio, debido a que está lleno de material granular. Tiene una luz de 5.25 m y una altura de 2.00 m.

Pontón Km 1385+028, ubicado en el km 1385+028, se encuentra en regulares condiciones de servicio, debido a que tiene material suelto. Tiene una luz de 3.25 m y una altura de 1.00 m.

Evaluación Estructural

- Pontones

Pontón Km 1378+362, la evaluación de la estructura tiene resultados satisfactorios, no presenta fisuras que pudieran ser de consideración.

Pontón Km 1379+231, la evaluación de la estructura tiene resultados satisfactorios, no presenta fisuras que pudieran ser de consideración en la parte delantera. En la parte posterior tiene partes dañadas, fisuras en los apoyos.

Pontón km 1385+028, la evaluación de la estructura tiene resultados satisfactorios, no presenta fisuras que pudieran ser de consideración.

b) Inventario de obras de arte y drenaje

- Alcantarillas

De la evaluación realizada a la condición funcional, superficial y estructural se llegó a las siguientes conclusiones:

Evaluación Funcional

En el tramo se encontraron 144 alcantarillas, se notó en general que las alcantarillas necesitan limpieza de cabezal de ingreso y de salida, limpiar la maleza que obstruye el ingreso y limpiar la basura que existe al interior de las alcantarillas.

Evaluación Estructural

La mayoría de alcantarillas son de TMC (tubería de metal corrugado), siendo solo dos (02) alcantarillas de concreto; presentan cabezal de entrada y de salida. A lo largo del tramo la mayoría de estos elementos presentan regulares condiciones; sin embargo, cabe mencionar que, en algunos casos los muretes de entrada y salida se encuentran con fisuras moderadas a lo largo de su eje.

No se ha proyectado ninguna estructura debido a que las existentes cumplen cabalmente con sus funciones.

Evaluación Superficial

Se encontró 07 alcantarillas de dos ojos y 137 de un ojo, la mayor parte de ellas se encuentra con óxido moderado.

Se realizó el inventario de 144 alcantarillas a lo largo del tramo en estudio de los cuales la mayoría necesitan limpieza para mejorar la eficiencia del drenaje.

Se notó en general que el drenaje en las alcantarillas no es eficiente, el % de obstrucción es considerable, por tanto se requiere de continuidad en los trabajos de mantenimiento, siendo la limpieza uno de los trabajos con mayor necesidad.

- Cunetas

En el tramo se encontraron 15 cunetas, las cuales se encuentran en regulares condiciones como se indica en el inventario de obras de arte y drenaje.

El material de las cunetas encontradas es el concreto, son de tipo triangular con regulares características estructurales en general.

El estado de las cunetas en gran parte es bueno; sin embargo, se han registrado cunetas en donde las juntas se encuentran deterioradas.

Evaluación Funcional

De acuerdo al estudio de hidrología y drenaje, las estructuras de obras de arte se encuentran funcionando en forma regular, ya que se encuentran sucios, con agua empozada y lleno de material.

Evaluación Estructural

De acuerdo al Expediente técnico, todas las cunetas son de concreto y estructuralmente las cunetas se encuentran en regulares condiciones, siendo en algunos tramos necesario reconstruirlos.

5.3.7 Evaluación de pavimentos

- Evaluación de la Condición Superficial del Pavimento

Un índice de condición del pavimento (PCI-Pavement Condition Index), es un indicador de la salud del pavimento. Se puede utilizar cualquier escala; sin embargo es conveniente usar una que sea lo suficientemente grande para que permita distinguir con número enteros a pavimentos en diferente condición. El PCI desarrollado por el sistema PAVER son comúnmente utilizados para la gestión de pavimentos, la escala es del PCI es del 0 al 100 como se aprecia en la figura siguiente.

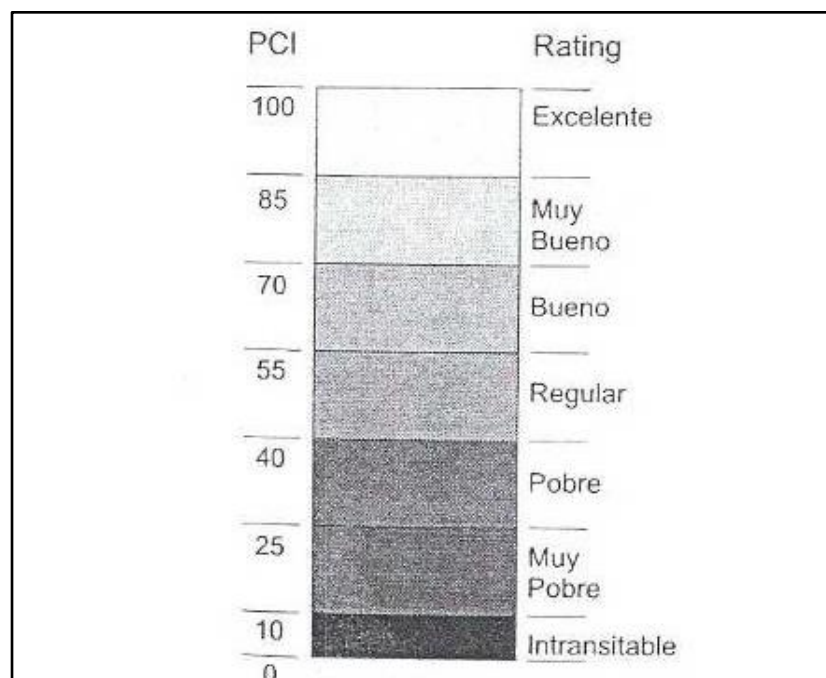


Figura N° 46: Escala del PCI

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

El relevamiento de fallas en la carretera en estudio identifica las fallas sobre superficie de concreto asfáltico tal como se indica en la Figura N°47.

TIPO DE FALLA	UNIDAD DE MEDIDA	NIVELES DE SEVERIDAD DEFINIDOS?
A. Agrietamiento / página 7		
1. Rotura de Fatiga	Metros Cuadrados	Si
2. Agrietamiento en Bloque	Metros Cuadrados	Si
3. Agrietamiento de Borde	Metros	Si
4a. Agrietamiento Longitudinal sobre la Huella Vehicular	Metros	Si
4b. Agrietamiento Longitudinal fuera de la Huella Vehicular	Metros	Si
5. Agrietamiento Reflejo en las Juntas	Número, Metros	Si
Agrietamiento Transversal Reflejo	Metros	Si
6. Agrietamiento Longitudinal Reflejo	Número, Metros	Si
Agrietamiento Transversal		
B. Parches / página 19		
7. Parches/Deterioro en los Parches	Número, m ²	Si
8. Baches	Número, m ²	Si
C. Deformaciones Superficiales / página 25		
9. Ahuellamiento	Milimetro	No
10. Corrimiento	Número, m ²	No
D. Defectos Superficiales / página 29		
11. Sangrado	Metros Cuadrados	Si
12. Agregado Pulido	Metros Cuadrados	No
13. Peladuras	Metros Cuadrados	Si
E. Fallas Diversas / página 33		
14. Desnivel Pista-Berma	Milímetros	No
15. Eyección de Agua y Bombeo	Número, Metros	No

Figura N° 47: Manual de fallas LTPP

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009).

Los tipos de fallas están identificadas del siguiente modo:

- a) Agrietamientos
- b) Parches y Baches
- c) Deformaciones Superficiales
- d) Defectos Superficiales
- e) Misceláneos

De tal manera que cada tipo de falla, está subdividida en un tipo de falla específico, de tal modo que todas las fallas de los pavimentos quedan identificadas, así las subdivisiones se indican a continuación:

- a) Agrietamientos
 1. Agrietamiento por fatiga
 2. Agrietamiento en Bloque
 3. Agrietamiento de Borde
 4. Agrietamiento Longitudinal
 5. Agrietamiento Reflejo
 6. Agrietamiento Transversal

- b) Parches y Baches
 - 1. Parches
 - 2. Baches
- c) Deformaciones Superficiales
 - 1. Ahuellamiento
 - 2. Corrimiento
- d) Defectos Superficiales
 - 1. Sangrado
 - 2. Agregado Pulido
 - 3. Peladuras
- e) Misceláneos
 - 1. Desnivel pista-berma
 - 2. Eyección de agua y bombeo

El formato que se utilizó para evaluar la condición del pavimento está basado en el manual descrito anteriormente, el formato utilizado para los fines que perseguimos se indica continuación, donde se indican los tipos de fallas descritos (Figura N° 48).

MANUAL FOR THE LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE PROJECT LTTP													
CARRETERA: PUNO - ILAVE			SECTOR:			ANCHO BERMA DERECHA:			REALIZADO: Ing. Hery Torres				
TRAMO: KM 1353+000 al N° 1413+000			FECHA:			ANCHO BERMA IZQUIERDA:			REVISADO: Ing. Adolfo Cabrera				
CAPA DE PAVIMENTO: TSS			ANCHO CALZADA:										
INSPECCIÓN DEL DETERIORO	UNIDAD DE MEDIDA	MAGNITUD DE DEFECTOS (FALLAS)			FRECUENCIA			LOCALIZACIÓN			DIBUJO		
		LEVE (L)	MODERADO (M)	SEVERO (S)	0-10%	10%-30%	30%-70%	EXTENSIVA > 10% - 100%	HUELLAS	BORDES	E/E	ENTRE HUELLA	CM
A AGRIETAMIENTO	1) ROTURA DE FATIGA	m ²											
	2) EN BLOQUE	m ²											
	3) DE BORDE	m											
	4a) LONGITUDINAL SOBRE HUELLA VEHICULAR	m											
	4b) LONGITUDINAL FUERA DE HUELLA VEHICULAR	m											
	5) REFLEJO EN LAS JUNTAS TRANSVERSALES	m											
	6) TRANSVERSALES	m											
B PARCHES	7) PARCHES / DETERIORO DE PARCHES	m ²											
	8) PARCHES	m ²											
C DEFORMACIONES SUPERFICIALES	9) AHUELLAMIENTO (rut)	mm											
	10) CORRIPIADO	m ²											
D DEFECTOS SUPERFICIALES	11) EXHALACIONES	m ²											
	12) AGREGADO PULIDO	m ²											
	13) PELADURAS	m ²											
E FALLAS DIVERSAS	14) DESVAL PARA BERMA	mm											
	15) DIRECCIÓN DE AGUA Y ROLLO	m											
	DEFICIENCIA DE DRENAJE												
	EROSIÓN DE BERMAS	m ²											
	ONDULACIÓN / HUNDIMIENTO DE CALZADA	m ²											

Figura N° 48: Escala del PCI- Formato de Relevamiento de Fallas LTTP

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

- Agrietamiento por Fatiga

Se producen por estar sujetas a repetidas cargas de tráfico, y se ubican en las huellas vehiculares, la unidad de medida es en m², los niveles de severidad son:
 Bajo: Una área de grietas con pocas o ninguna de ellas interconectadas (ramificada)

Moderado: Un área de grietas interconectadas formando un patrón completo
 Alto: Área de grietas interconectadas astilladas (Piel de cocodrilo)

- Agrietamiento en Bloque

Es un patrón de grietas que divide al pavimento en piezas aproximadamente rectangulares, la unidad de medida es en m², los niveles de severidad son:
 Bajo: grietas con un ancho menor de 6 mm
 Moderado: grietas con anchos entre 6 mm y 19 mm

Alto: grietas con un ancho mayor a 19mm

- Agrietamiento de borde

Son grietas que intersectan al borde del pavimento, la unidad de medida es en m, los niveles de severidad son:

Bajo: grietas sin quiñaduras

Moderado: grietas con algunas quiñaduras hasta el 10% de la longitud

Alto: grietas con quiñaduras con 10% mayor de la longitud

- Agrietamiento Longitudinal

Grietas semiparalelas a la línea central del pavimento, la unidad de medida es en m, los niveles de severidad son:

Bajo: grietas con un ancho menor de 6mm

Moderado: grietas con anchos entre 6 mm y 19 mm

Alto: grietas con un ancho mayor a 19 mm

- Agrietamiento Reflejo

Grietas reflejas de sobrecapas asfálticas sobre concreto portland, la unidad de medida es en m, los niveles de severidad son:

Bajo: grietas con un ancho menor de 6 mm

Moderado: grietas con anchos entre 6 mm y 19 mm

Alto: grietas con un ancho mayor a 19 mm

- Agrietamiento Transversal

Grietas predominantemente perpendicular a la línea central del pavimento, la unidad de medida es en m, los niveles de severidad son:

Bajo: grietas con un ancho menor de 6 mm

Moderado: grietas con anchos entre 6 mm y 19 mm

Alto: grietas con un ancho mayor a 19 mm

- Parches

Porción de superficie de un pavimento que ha sido removido o reemplazado, la unidad de medida es en m², los niveles de severidad son:

Bajo: falla de cualquier tipo al más bajo nivel de severidad

Moderado: falla de cualquier tipo al nivel de severidad moderado

Alto: falla de cualquier tipo al nivel de severidad Alto

- Baches

Agujeros de varios tamaños, la unidad de medida es en m^2 , los niveles de severidad son:

Bajo: menos de 25 mm de profundidad

Moderado: entre 25 mm y 50 mm de profundidad

Alto: mayor de 50 mm de profundidad

- Ahuellamiento

Depresión longitudinal en la superficie de la huella vehicular, la unidad de medida es en mm, los niveles de severidad son:

Bajo: no definido

Moderado: no definido

Alto: no definido

- Corrimiento

Desplazamiento longitudinal de la superficie del pavimento, la unidad de medida es en m^2 , los niveles de severidad son:

Bajo: no definido

Moderado: no definido

Alto: no definido

- Sangrado (exudación)

Exceso de ligante en la mezcla asfáltica, la unidad de medida es en m^2 , los niveles de severidad son:

Bajo: área descolorada

Moderado: pérdida de textura

Alto: brillo en la superficie

- Pulimento

Pérdida de ligante superficial, la unidad de medida es en m^2 , los niveles de severidad son:

Bajo: no definido

Moderado: no definido

Alto: no definido

- Peladuras

Perdida de mezcla de concreto asfáltico en la superficie, la unidad de medida es en m^2 , los niveles de severidad son:

Bajo: alguna pérdida de finos

Moderado: pérdida de finos y pocos gruesos, rugoso

Alto: pérdida de finos y gruesos, ahuecado

- Resalto

Diferencia de elevación entre la calzada y la berma, la unidad de medida es en mm, los niveles de severidad son:

Bajo: no definido

Moderado: no definido

Alto: no definido

- Eyección de agua

Flujo de agua debajo del pavimento a través de las grietas, la unidad de medida es en m, los niveles de severidad son:

Bajo: no definido

Moderado: no definido

Alto: no definido

- Erosión de Bermas

Cualquier tipo de falla, la unidad de medida es en m^2 , los niveles de severidad son:

Bajo: falla de cualquier tipo al más bajo nivel de severidad

Moderado: falla de cualquier tipo al nivel de severidad moderado

Alto: falla de cualquier tipo al nivel de severidad Alto

Se presenta la caracterización de la condición del pavimento de acuerdo con las recomendaciones de la nueva Guía AASHTO 2002, indicadas en el expediente técnico, que a continuación se indica (Figura N° 49).

			METRADOS			
MANIFESTACION DEL DETERIORO			UNIDAD	LEVE	MODERADO	SEVERO
A	AGRIETAMIENTO	1) ROTURA DE FATIGA	m2	2,508.25	14,713.15	55,588.15
		2) EN BLOQUE	m2	42.00	2,620.05	2,683.35
		3) DE BORDE	m	0.00	0.00	0.00
		4a) LONGITUDINAL FUERA DE HUELLA VEHICULAR	m	299.50	394.50	92.75
		5) REFLEJO EN LAS JUNTAS TRANSVERSALES	m	0.00	0.00	0.00
		6) TRANSVERSALES	m	390.50	504.00	29.00
B	PARCHES	7) PARCHES/DETERIORO DE PARCHES	m2	9,526.00	14,851.82	11,838.45
		8) BACHES	m2	4.30	84.70	627.99
C	DEFORMACIONES SUPERFICIALES	9) AHUELLAMIENTO	m2	5,875.00	14,625.00	2,375.00
		10) CORRIMIENTO	m2	0.00	0.00	0.00
D	DEFECTOS SUPERFICIALES	11) EXUDACIONES	m2	0.00	0.00	0.00
		12) AGREGADO PULIDO	m2	0.00	0.00	0.00
		13) PELADURAS	m2	5,075.95	22,032.10	16,557.35
E	FALLAS DIVERSAS	14) DESNIVEL PISTA BERMA	m	0.00	0.00	0.00
		15) EROSION DE BERMAS	m	0.00	0.00	0.00
		16) ONDULACIÓN Y HUNDIMIENTO EN CALZADA	m2	0.00	382.05	73.50

Figura N° 49: Calificación de pavimentos asfálticos LTPP, AASHTO 2002

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Factor	Possible Condition	
Fatigue Cracking	Interconnected cracks forming a complete pattern	Over 45 percent of the wheel path area; crack deterioration around edges
		Severely deteriorated cracks over 20 percent of wheel path area; pieces move under traffic
Longitudinal Cracks in Wheel Path	Longitudinal Cracks in or adjacent to wheel path	Mean crack width exceeds 0.25 in and has some deterioration in at least one wheel path over 25 percent of the length.
Reflection Cracking	Transverse or longitudinal cracks that have a mean width that exceeds 0.25 in with some crack deterioration	
Transverse Cracking	Crack spacing is less than 100 ft	Mean crack width exceeds 0.25 in with crack deterioration
Block Cracking	Transverse and longitudinal cracks that form a grid pattern	Mean crack width exceeds 0.25 in and has some crack deterioration
Rutting	Average depth between both wheel paths exceeds 0.5 in	
Shoving	Depression-swells exceed 25 percent of wheel path area	Stripping in HMA Layer
		High asphalt content mixtures
Raveling	Surface is rough and pitted, loose of coarse aggregate over more than 50 percent of the lane area	Moisture sensitive HMA mixture
		Thin film thickness (low asphalt content)
Bleeding	Loss of surface texture over more than 25 percent of the wheel path area	Stripping in HMA mixtures
		High asphalt content mixtures
Pumping	Pumping along construction joints or cracks along lane	Saturated aggregate base materials or soils
Lane-to-Shoulder Drop-off	Average difference in elevation of the traffic lane and shoulder exceeds 0.8 in	
Depressions/Swells, Longitudinal Profile	HMA pavements supported by expansive soils that are subjected to seasonal variations in moisture content	
	HMA pavements supported by frost-susceptible soils that have insufficient cover to prevent frost penetration into the soil	
Surface Transverse Profile	Rutting	Greater than 0.5 in
	Shoving	More than 25 percent of wheel path area
Patch/Patch Deterioration	Loss of material around the edges of the patch and/or pumping around the edges	
Potholes	Depth of the pothole exceeds 1 in with a frequency of more than 2 per mile	
Uniformity of Support	Localized area with high deflections or frequent abrupt changes in deflection magnitude and basin curvature	
Deflection Softening Structural Response	Deflection increase with increasing load at an accelerated rate	

Figura N° 50: Escala del PCI

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Se realizaron los cálculos de los índices por tipo de daño y se realizaron gráficos con los resultados obtenidos, los resúmenes de información se indican a continuación:

Los valores PCI obtenidos son:

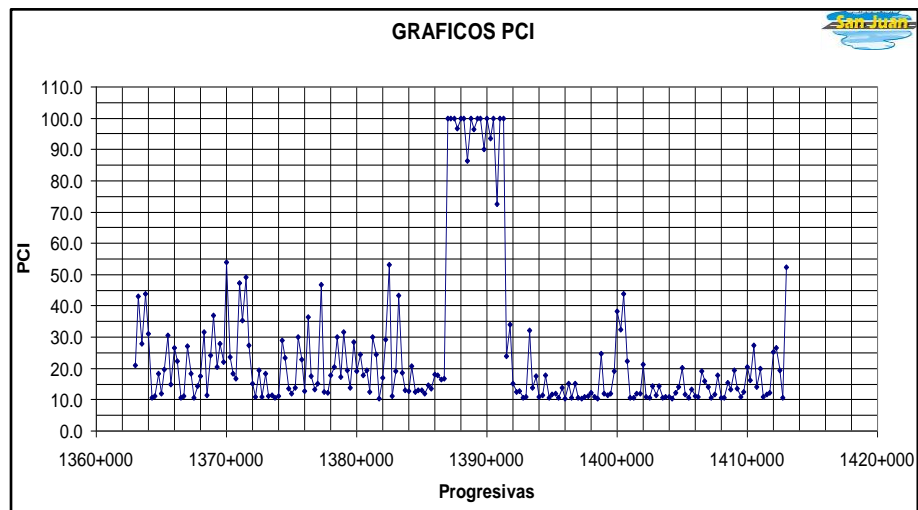


Figura N° 51: Gráfica PCI

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Tal como se observa en el gráfico anterior, se tiene que el mayor porcentaje de valores, se encuentran en un nivel muy pobre debido principalmente a la fatiga de la capa de rodadura y el envejecimiento de la carretera, también se puede apreciar un tramo bien marcado de muy bueno a excelentes condiciones en los Km. 1386+860 al Km. 1391+280 correspondiente a un tramo de carpeta asfáltica recientemente construida.

Esto se representa en los siguientes gráficos, de mayor incidencia que son de: fatiga, ahuellamientos, parches y peladura en la carretera, siendo los de tipo severo lo más significativos.

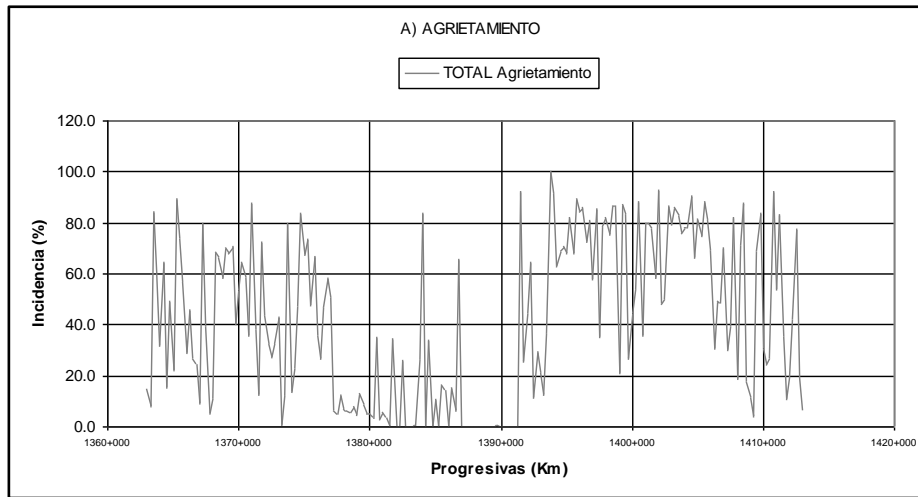


Figura N° 52: Gráfica PCI

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

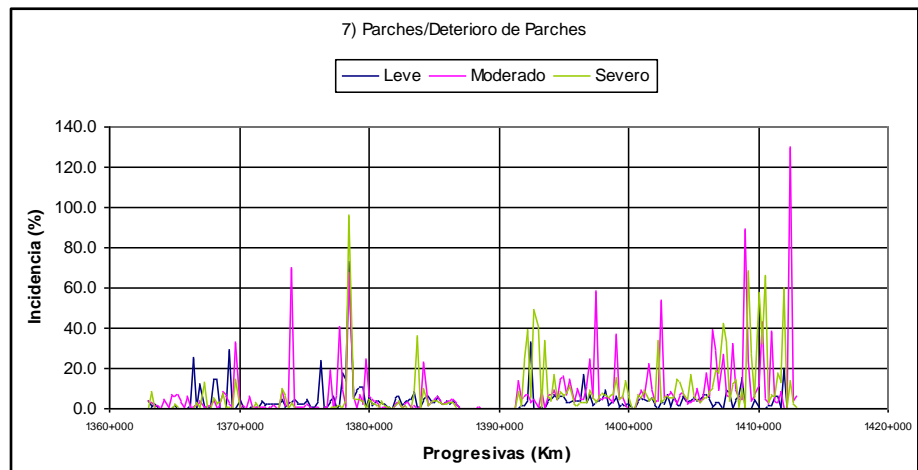


Figura N° 53: Gráfica PCI

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

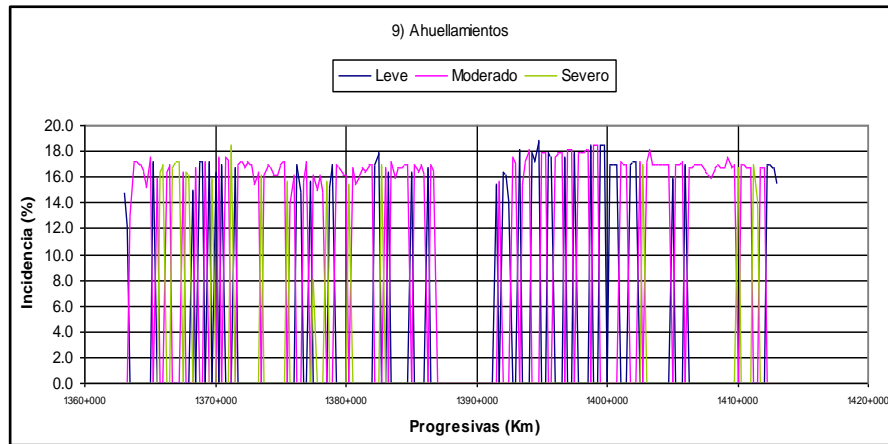


Figura N° 54: Gráfica PCI

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

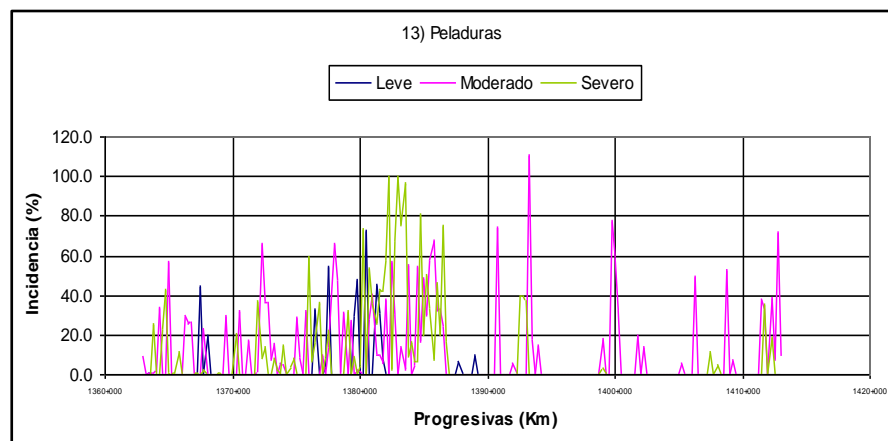


Figura N° 55: Gráfica PCI

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Los valores estadísticos del PCI por sector se presentan.

Sector N° 01 Km. 1363+000 – Km. 1366+000

Tabla N° 9: Sector homogéneo 1

Promedio	24.8
D. Estándar	11.9
Cof. Variación	48.1
Máximo	43.9
Mínimo	10.6

Fuente: Expediente técnico

Sector N° 02 Km. 1366+000 – Km. 1370+000

Tabla N° 10: Sector homogéneo 2

Promedio	22.4
D. Estándar	7.3
Cof. Variación	32.7
Máximo	37.0
Mínimo	12.2

Fuente: Expediente técnico

Sector N° 03 Km. 1370+000 – Km. 1387+000

Tabla N° 11: Sector homogéneo 3

Promedio	22.0
D. Estándar	10.7
Cof.	48.7
Variación	
Máximo	53.9
Mínimo	10.5

Fuente: Expediente técnico

Sector N° 04 Km. 1387+000 – Km. 1392+000

Tabla N° 12: Sector homogéneo 4

Promedio	89.7
D. Estándar	21.9
Cof.	24.4
Variación	
Máximo	100.0
Mínimo	23.8

Fuente: Expediente técnico

Sector N° 05 Km. 1392+000 – Km. 1407+000

Tabla N° 13: Sector homogéneo 5

Promedio	15.0
D. Estándar	6.9
Cof. Variación	45.8
Máximo	43.9
Mínimo	10.4

Fuente: Expediente técnico

Sector N° 06 Km. 1407+000 – Km. 1413+000

Tabla N° 14: Sector homogéneo 6

Promedio	17.1
D. Estándar	9.0
Cof. Variación	52.2
Máximo	52.4
Mínimo	10.6

Fuente: Expediente técnico

- Condición Funcional del Pavimento

La medición de rugosidad, realizada en Julio del año 2008, se efectuó con un rugosímetro tipo respuesta Bump Integrator de marca RTRRM-FARNELL montado sobre una camioneta Rural de eje posterior hidráulico marca Toyota de tracción simple, especialmente acondicionada y un navegador satelital GPS marca Garmin.

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es el parámetro más recomendado por el Banco Mundial y es el más difundido actualmente para la medición de la rugosidad en pavimentos (Figura N°56).

Pistas de calibración			Sentido	IRI Merlin			Bump Integrator					
N°	Km. inicio	Km. final		Huella		(eje Y)	Lecturas					(eje X)
				Interna	Externa	Promedio	1	2	3	4	5	
1	Km. 1370+000	Km. 1370+200	Carril Derecho	6.127	5.096	5.61	44	47	47	47	47	46.40
2	Km. 1373+800	Km. 1374+000	Carril Izquierdo	6.559	6.539	6.55	60	61	65	58	57	60.20
3	Km. 1387+600	Km. 1387+800	Carril Izquierdo	1.142	1.189	1.17	8	7	7	8	8	7.60
4	Km. 1395+400	Km. 1395+600	Carril Derecho	6.362	5.774	6.07	52	53	54	52	51	52.40
5	Km. 1405+000	Km. 1405+200	Carril Derecho	3.082	2.513	2.80	22	22	32	31	31	27.60
6	Km. 1415+700	Km. 1415+900	Carril Izquierdo	1.7	2.485	2.09	16	17	18	17	16	16.80

Figura N° 56: Mediciones sobre tramos de distinta condición de rugosidad

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

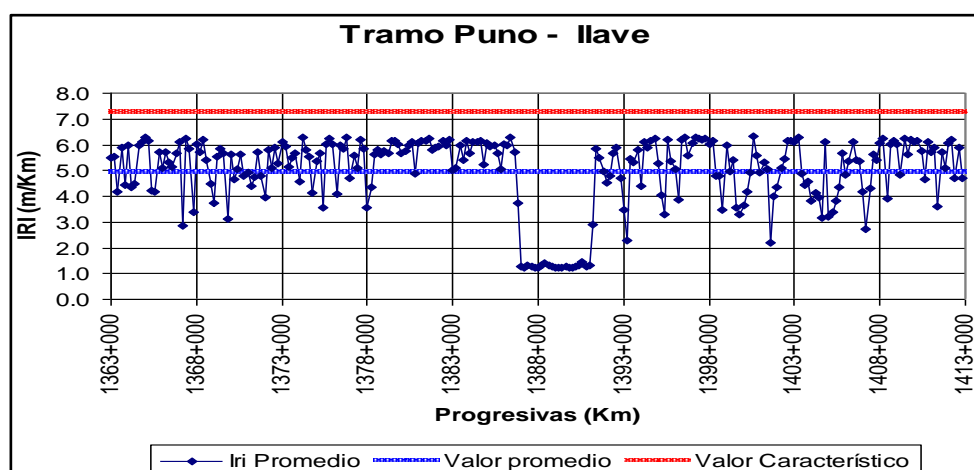


Figura N° 57: Rugograma Tramo Puno - Ilave

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Los valores estadísticos obtenidos de la totalidad de valores son los siguientes:

Tabla N° 15: Valores estadísticos IRI Tramo Puno-Ilave

Promedio	4.95
D. Estándar	1.4
Cof. Variación	28.7%
Máximo	6.3
Mínimo	1.2
<hr/>	
IRI	7.28
Característica:	

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

- Condición Estructural del Pavimento

La condición estructural del pavimento fue evaluada mediante mediciones de curvas de deflexión o deformada del pavimento, las cuales permiten efectuar modelaciones y cálculos de parámetros elásticos a través de teorías mecanicistas.

Las deflexiones son una medida de la deformación elástica que experimenta un pavimento al paso de una carga. Se empleó la viga de doble brazo, con un camión de peso normalizado. Las mediciones se han realizado cada 50 m alternados en cada sentido, la medición se efectuó en cada uno de los carriles y a lo largo de todo el tramo. A continuación, se observa la gráfica de deflexiones, ver Figura N° 58.

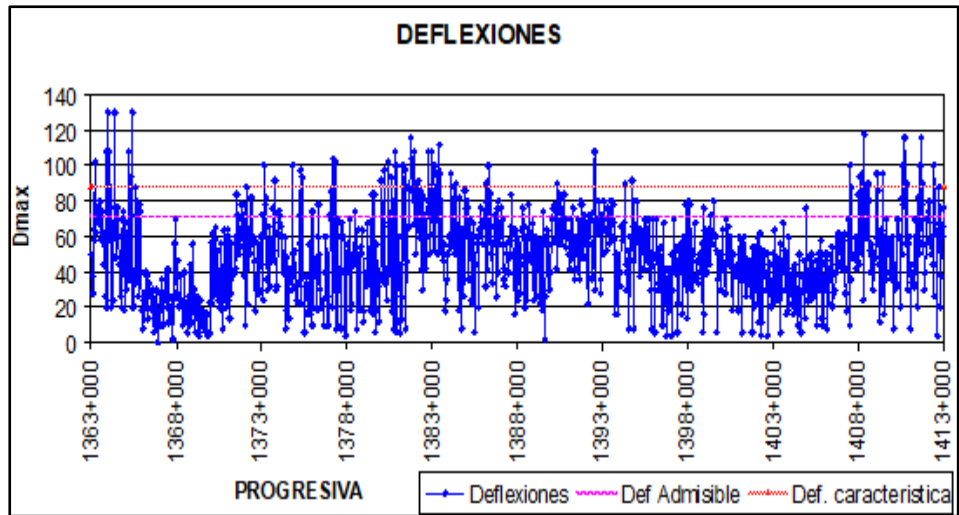


Figura N° 58: Deflexiones

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

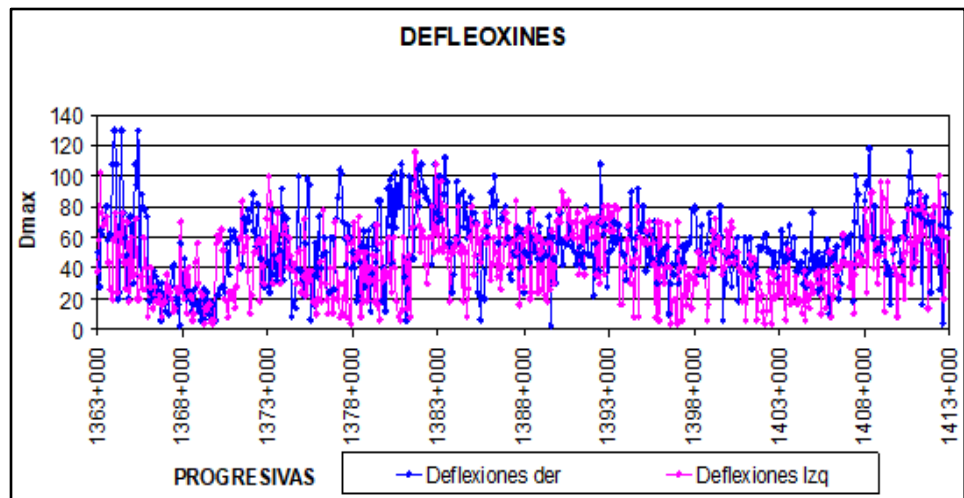


Figura N° 59: Condición estructural del pavimento

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

A continuación se muestra la estadística de los valores de deflexiones:

Tabla N° 16: Valores estadísticos de deflexiones

Promedio	48.60
Desviación Est.	24.36
Coef. Var.	50.13
Max	130
Min	0
Característico	88.67

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

De acuerdo al gráfico anterior, se observa que en general los valores de deflexión son altas lo cual indica un comportamiento inadecuado del material del pavimento por encontrarse envejecida, el valor promedio de la deflexión en todo el tramo es de 48.60 (mm-2), cuyo coeficiente de variación es de 50.13 (%), asimismo el valor característico obtenido ha sido de 88.67 (mm-2), con una desviación estándar de 24.36.

De acuerdo a los valores obtenidos, se determinaron zonas débiles por deflexiones altas, dichos sectores son:

CDA-01	Km.1364+400
CDA-02	Km. 1365+400
CDA-03	Km. 1374+800
CDA-04	Km. 1377+300
CDA-05	Km. 1380+900
CDA-06	Km. 1381+300
CDA-07	Km. 1381+750
CDA-08	Km. 1382+000
CDA-09	Km. 1382+800
CDA-10	Km. 1383+400
CDA-11	Km. 1386+300
CDA-12	Km. 1392+500
CDA-13	Km. 1407+500
CDA-14	Km. 1408+300
CDA-15	Km. 1410+700
CDA-16	Km. 1412+450

Figura N° 60: Zonas débiles por deflexiones altas

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

En los demás sectores estudiados, se ha observado la carencia de una adecuada berma.

- Condición de los Factores de Seguridad del Pavimento

Macrotextura

Este método de ensayo es adecuado para pruebas de campo, ya que permite determinar en forma simple el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macrotextura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos.

Las mediciones del espesor de la textura producida utilizando este método de ensayo se ve influenciada por las características de la macrotextura de la superficie. La forma de la partícula del agregado, tamaño y distribución son características de la textura superficial no tomada en cuenta en este procedimiento. A continuación se muestran los resultados obtenidos de macrotextura (Figura N° 61).

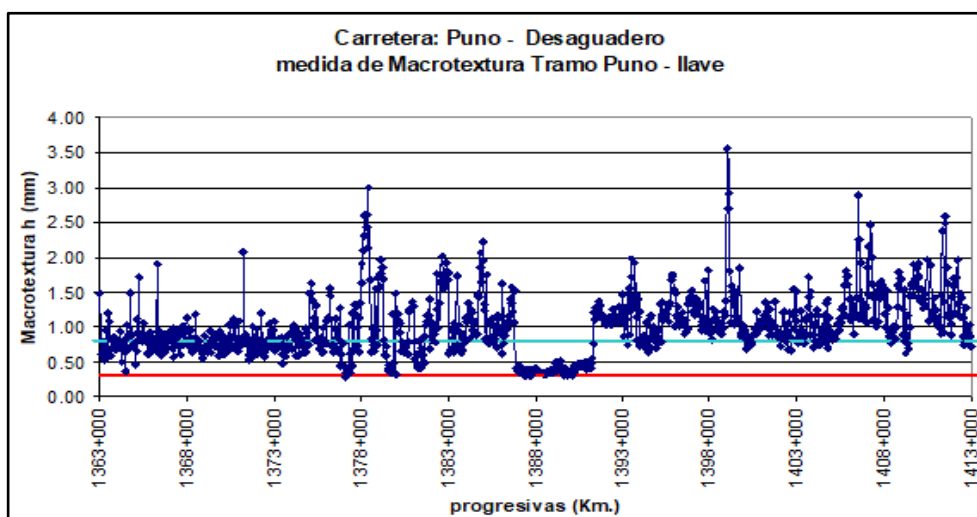


Figura N° 61: Resultados Obtenidos de Macrotextura

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Se observa, que los resultados de Macrotextura indican en el tramo, una profundidad de 0.29 a 3.56 mm, con una altura promedio de 0.99 mm, se puede apreciar un tramo bien marcado correspondiente al tramo con carpeta asfáltica cumple con las exigencias para la Macrotextura.

Microtextura

El procedimiento tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CDR) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo. El método de ensayo se puede emplear también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. Se observan las medidas de microtextura en la Figura N° 62.

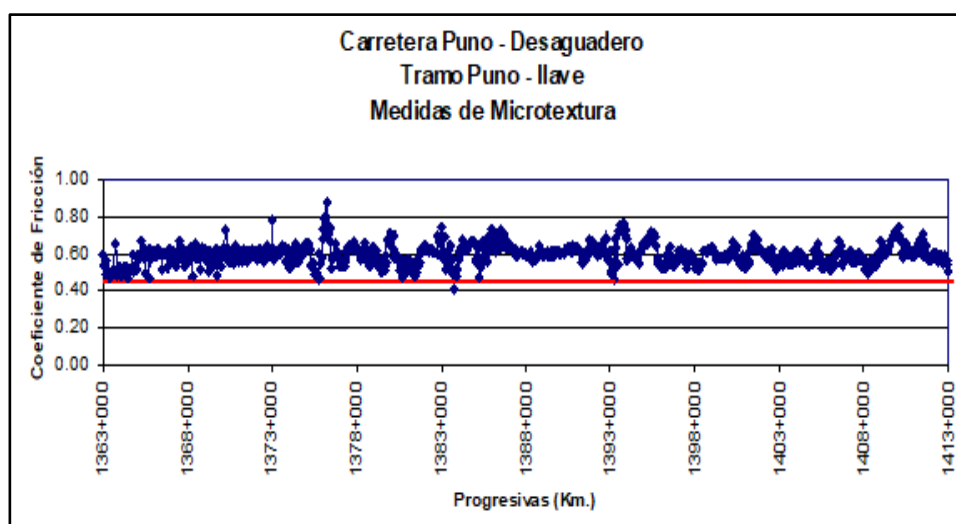


Figura N° 62: Coeficiente de Fricción al Deslizamiento

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Se observa, que en general los valores obtenidos, se encuentran por encima del valor 0.45, indicando una resistencia a la fricción adecuada, se asocia al tipo de superficie de rodadura que presenta. En general, la intervención planteada deberá mantener un coeficiente de fricción superior a 50.

5.3.8 Prospecciones de Suelos y Ensayos Destructivos en el Pavimento

Se muestra en el expediente técnico las prospecciones realizadas para la verificación de los espesores de las capas del pavimento y la clasificación visual de los suelos y materiales que lo conforman, con una frecuencia de una cada dos (2) Km., y una profundidad de 1.2m aproximadamente, totalizando 26 calicatas, denominadas C-1 a C-26.

Asimismo, se realizaron calicatas de 1.50m en las cuales se efectuaron ensayos de caracterización física de los materiales de las distintas capas de los pavimentos encontrados, totalizando 08 calicatas denominadas CDA-1 a CDA-08, estos puntos de investigación corresponden a zonas débiles por deflexiones altas.

Del expediente técnico, los espesores hallados de las capas existentes del pavimento se muestran en la Tabla N° 17.

Tabla N° 17: Resumen de espesores por capas

RESUMEN DE ESPESORES POR CAPAS - ESTUDIO DEFINITIVO PARA EL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA CARRETERA CATA-C - HUARI, TRAMO: CATA-C - TUNEL KAHUIS																
PROGRESIVA	CARPETA			MUESTRA 1			MUESTRA 2			MUESTRA 3			SUELO NATURAL			ESPEJOR PAQUETE ESTRUCTURAL
	DE	HASTA	e	DE	HASTA	e	DE	HASTA	e	DE	HASTA	e	DE	HASTA	e	
SECTOR I																
1363+000	0.000	0.080	0.080	0.080	0.680	0.600	0.680	0.680	0.000	0.680	1.200	0.520			0.000	0.680
1364+400	0.000	0.025	0.025	0.025	0.380	0.355	0.380	0.380	0.000	0.380	1.500	1.120			0.000	0.380
1365+000	0.000	0.080	0.080	0.080	0.450	0.370	0.450	0.450	0.000	0.450	1.200	0.750			0.000	0.450
1365+400	0.000	0.025	0.025	0.025	0.380	0.355	0.380	0.380	0.000	0.380	1.500	1.120			0.000	0.380
PROMEDIO			0.053			0.420			0.000			0.878				0.473
D. ESTÁNDAR			0.032			0.120			0.000			0.295				0.142
COF. VARIACION			60.484			28.621						33.657				30.098
MÁXIMO			0.080			0.600			0.000			1.120				0.680
MÍNIMO			0.025			0.355			0.000			0.520				0.380
VALOR CARACTERISTICO			0.105			0.618			0.000			1.363				0.706
SECTOR II																
1367+000	0.000	0.025	0.025	0.025	0.380	0.355	0.380	0.380	0.000	0.380	1.300	0.920			0.000	0.380
1369+000	0.000	0.025	0.025	0.025	0.480	0.455	0.480	0.480	0.000	0.480	0.880	0.400	0.880	1.200	0.320	0.480
PROMEDIO			0.025			0.405			0.000			0.660				0.430
D. ESTÁNDAR			0.000			0.071			0.000			0.368				0.071
COF. VARIACION			0.000			17.459						55.711				16.444
MÁXIMO			0.025			0.455			0.000			0.920				0.480
MÍNIMO			0.025			0.355			0.000			0.400				0.380
VALOR CARACTERISTICO			0.025			0.521			0.000			1.265				0.546
SECTOR III																
1371+000	0.000	0.025	0.025	0.025	0.680	0.655	0.680	0.680	0.000	0.680	1.200	0.520			0.000	0.680
1373+000	0.000	0.030	0.030	0.030	0.480	0.450	0.480	0.480	0.000	0.480	0.780	0.420			0.000	0.480
1374+800	0.000	0.025	0.025	0.025	0.450	0.425	0.450	0.700	0.250	0.700	1.500	0.800			0.000	0.700
1375+000	0.000	0.030	0.030	0.030	0.530	0.500	0.530	0.530	0.000	0.530	1.200	0.670			0.000	0.530
1377+000	0.000	0.150	0.150	0.150	0.550	0.400	0.550	0.550	0.000	0.550	1.200	0.650				0.550
1377+300	0.000	0.150	0.150	0.150	0.350	0.200	0.350	0.600	0.250	0.600	1.500	0.900				0.600
1379+000	0.000	0.050	0.050	0.050	0.250	0.200	0.250	0.250	0.000	0.250	1.200	0.950				0.250
1380+900	0.000	0.060	0.060	0.060	0.260	0.200	0.260	0.260	0.000	0.260	1.500	1.240				0.260
1381+000	0.000	0.050	0.050	0.050	0.200	0.150	0.200	0.200	0.000	0.200	1.200	1.000				0.200
1381+300	0.000	0.060	0.060	0.060	0.210	0.150	0.210	0.210	0.000	0.210	1.500	1.290				0.210
1381+750	0.000	0.040	0.040	0.040	0.240	0.200	0.240	0.240	0.000	0.240	1.500	1.260				0.240
1382+000	0.000	0.020	0.020	0.020	0.170	0.150	0.170	0.170	0.000	0.170	1.500	1.330				0.170
1382+800	0.000	0.040	0.040	0.040	0.240	0.200	0.240	0.240	0.000	0.240	1.500	1.260				0.240
1383+000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.240	0.200	0.240	0.840	0.600	0.840	1.200	0.360				0.840
1383+400	0.000	0.040	0.040	0.040	0.190	0.150	0.190	1.200	1.010	1.200	1.500	0.300				1.200
1385+000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.240	0.200	0.240	0.840	0.600	0.840	1.200	0.360			0.000	0.840
1386+300	0.000	0.040	0.040	0.040	0.390	0.350	0.390	0.890	0.500	0.890	1.500	0.610			0.000	0.890
PROMEDIO			0.052			0.281			0.206			0.819				0.540
D. ESTÁNDAR			0.038			0.152			0.304			0.366				0.311
COF. VARIACION			73.446			54.129			147.323			44.662				57.612
MÁXIMO			0.150			0.655			1.010			1.330				1.200
MÍNIMO			0.020			0.150			0.000			0.300				0.170
VALOR CARACTERISTICO			0.116			0.532			0.707			1.420				1.052
SECTOR IV																
1387+000	0.000	0.050	0.050	0.050	0.550	0.500	0.550	1.100	0.550	1.100	1.520	0.420			0.000	1.100
1389+000	0.000	0.050	0.050	0.050	0.200	0.150	0.320	0.500	0.180	0.500	1.600	1.100			0.000	0.380
1391+000	0.000	0.050	0.050	0.050	0.550	0.500	0.550	0.950	0.400	0.950	1.520	0.570				0.950
PROMEDIO			0.050			0.383			0.377			0.697				0.810
D. ESTÁNDAR			0.000			0.202			0.186			0.357				0.380
COF. VARIACION			0.000			52.715			49.407			51.281				46.897
MÁXIMO			0.050			0.500			0.550			1.100				1.100
MÍNIMO			0.050			0.150			0.180			0.420				0.380
VALOR CARACTERISTICO			0.050			0.716			0.683			1.284				1.435
SECTOR V																
1392+500	0.000	0.035	0.035	0.035	0.440	0.405	0.440	0.440	0.000	0.440	1.500	0.000	0.990	1.200	0.000	0.440
1393+000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.490	0.450	0.490	0.990	0.500	0.990	0.990	0.000			0.210	0.990
1395+000	0.000	0.030	0.030	0.030	0.230	0.200	0.230	0.230	0.000	0.230	1.200	0.230				0.230
1397+000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.240	0.200	0.240	1.040	0.800	1.040	1.040	0.000	1.040	1.200	0.160	1.040
1399+000	0.000	0.050	0.050	0.050	0.450	0.400	0.450	0.450	0.000	0.450	1.200	0.450				0.450
1401+000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.340	0.300	0.340	0.340	0.000	0.340	1.200	0.340			0.000	0.340
1403+000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.340	0.300	0.340	0.340	0.000	0.340	1.200	0.340			0.000	0.340
1405+000	0.000	0.025	0.025	0.025	0.230	0.205	0.230	0.630	0.400	0.630	0.630	0.000	0.630	1.200	0.570	0.630
PROMEDIO			0.038			0.308			0.213			0.000				0.558
D. ESTÁNDAR			0.008			0.101			0.314			0.000				0.305
COF. VARIACION			20.158			33.005			147.612			0.000				54.758
MÁXIMO			0.050			0.450			0.800			0.000				1.040
MÍNIMO			0.025			0.200			0.000			0.000				0.230
VALOR CARACTERISTICO			0.050			0.474			0.728			0.000				1.060
SECTOR VI																
1407+000	0.000	0.025	0.025	0.025	0.430	0.405	0.430	0.430	0.000	0.430	1.200	0.770			0.000	0.430
1407+500	0.000	0.040	0.040	0.040	0.440	0.400	0.440	0.740	0.300	0.740	1.500	0.760			0.000	0.740
1408+300	0.000	0.030	0.030	0.030	0.380	0.350	0.380	0.480	0.100	0.480	1.500	1.020				0.480
1409+000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.340	0.300	0.340	0.340	0.000	0.340	1.200	0.860				0.340
1410+700	0.000	0.045	0.045	0.045	0.450	0.405	0.450	0.650	0.200	0.650	1.050	0.400	1.050	1.500	0.450	0.650
1411+000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.440	0.400	0.440	0.740	0.300	0.740	1.200	0.460			0.000	0.740
1412+450	0.000	0.020	0.020	0.020	0.300	0.280	0.300	0.300	0.000	0.300	1.500	1.200			0.000	0.300
1413+000	0.000	0.030	0.030	0.030	0.280	0.250	0.280	0.280	0.000	0.280	1.200	0.920			0.000	0.280
PROMEDIO			0.034			0.349			0.113			0.799				0.495
D. ESTÁNDAR			0.009			0.064			0.136			0.268				0.192
COF. VARIACION			25.964			18.										

- Sectorización del Tramo

Los criterios básicos de sectorización obedecen principalmente a la evaluación defletoométrica y superficial, siendo coincidentes ambos criterios en la sectorización seleccionada.

En base a los análisis efectuados en el expediente técnico se seleccionaron seis sectores homogéneos, los mismos que se aprecian en los planos correspondientes. Se observan los sectores en la Tabla N° 18.

Tabla N° 18: Selección de Sectores Homogéneos

Sectores	Km. inicio	Km. final
1	1363+000	1366+000
2	1366+000	1372+000
3	1372+000	1387+000
4	1387+000	1392+000
5	1392+000	1407+000
6	1407+000	1413+000

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

- Tráfico

El número acumulado de repeticiones de carga de eje equivalente (8,2 toneladas), se determinará en base a los estudios de tráfico y cargas por eje.

De acuerdo al expediente técnico, para los primeros 10 años se tendrá el siguiente número acumulado de repeticiones de carga:

$$N_1 = 365 \times FC \left[a_1 FD_a \frac{(1 + R_{01})^{n_1} - 1}{Ln(1 + R_{01})} + (c_1 FD_c + d_1 FD_d + e_1 FD_e + f_1 FD_f) \frac{(1 + R_{c1})^{n_1} - 1}{Ln(1 + R_{c1})} \right] + 365 \times FC [3 \times FD_f + 3 \times FD_g]$$

Donde:

FC : Factor carril.

a_1 : Número de ómnibus por día (ambas direcciones) – Año inicial

c_1 : Número de camiones de 2 ejes pesados por día (ambas direcciones) – Año inicial

d_1 : Número de camiones de 3 ejes por día (ambas direcciones) – Año inicial

e_1 : Número de camiones 2S2 por día (ambas direcciones) – Año inicial

f_1 : Número de camiones 3S2 por día (ambas direcciones) – Año inicial

FD : Factor destructivo, correspondiente a cada tipo vehículo

R_{01} , R_{c1} : Tasas anuales de crecimiento, para ómnibus y camiones respectivamente

n_1 : Período inicial de 10 años.

Ln : Logaritmo natural

En base a los análisis estadísticos descritos en el estudio de Tráfico y de acuerdo a las consideraciones expuestas en el expediente técnico se ha calculado los números acumulados de eje equivalente (EAL), así se observa en la Tabla N° 19.

Tabla N° 19: EAL por tramos

Tramo	EAL
Puno – Ilave (a 5 años)	2.08×10^6
Puno – Ilave (a 10 años)	4.47×10^6

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

- Estructura existente

En base al expediente técnico, en la exploración de Suelos y las calicatas efectuadas se ha medido los diferentes espesores de la estructura del pavimento, así se ha observado que existen distintos espesores del mismo a lo largo del tramo estudiado.

En general, el pavimento presenta una primera capa compuesta por gravas arcillosas con un moderado contenido de finos, superior al 10% del material

pasante la malla #200, con un porcentaje de compactación en promedio de 95.5% respecto de la densidad del ensayo proctor, se observa que el comportamiento, para el nivel actual de tráfico ha sido adecuado, toda vez que los tratamientos superficiales tienen horizontes de vida útil de 3 a 4 años dependiendo principalmente del mantenimiento que reciben.

La segunda capa está conformada por materiales de similares características.

El material de subrasante, presenta materiales de dos tipos, en el sector 3, está conformado principalmente por arena o grava arcillosa con contenidos de finos altos con algunos tramos que contienen el mismo material con presencia de piedras grandes, mientras que en los sector 6 presenta arcilla y limos inorgánicos y puntualmente arcillas.

Tabla N° 20: Secciones analizadas según sectorización

Secciones analizadas según sectorización								
Variables Analizadas			Km	Km	Km	Km	Km	Km
			1363+000 -	1366+000 -	1370+000 -	1387+000 -	1392+000 -	1407+000
			Km	Km	Km	Km	Km	- Km
			1366+000	1370+000	1387+000	1392+000	1407+000	1413+000
			1	2	3	4	5	6
Evaluación Destructiva	Superficie de rodadura	(m)	0.053	0.025	0.052	0.050	0.038	0.034
	Muestra 1	(m)	0.420	0.405	0.281	0.383	0.308	0.349
	Muestra 2	(m)	0.000	0.000	0.206	0.377	0.377	0.113
	Superficie de rodadura	(cm)	5.3	2.5	5.2	5.0	3.8	3.4
	Muestra 1	(cm)	42.0	40.5	28.1	38.3	30.8	34.9
	Muestra 2	(cm)	0.0	0.0	20.6	37.7	37.7	11.3
	Muestra 1 _ CBR (95%)	(%)	36.5	38.0	46.8	50.0	49.1	49.5
	Muestra 2 _ CBR (95%)	(%)	23.9	24.0	22.4	46.0	32.0	26.3
	CBR _ SUBRASANTE (95%)	(%)	13.7	16.0	14.7	11.5	13.8	8.3

Secciones analizadas según sectorización							
Variables Analizadas		Km	Km	Km	Km	Km	Km
		1363+000 - Km 1366+000	1366+000 - Km 1370+000	1370+000 - Km 1387+000	1387+000 - Km 1392+000	1392+000 - Km 1407+000	1407+000 - Km 1413+000
		1	2	3	4	5	6
	CBR SELECCIONADO (%)	13.7	16.0	14.7	11.5	13.8	8.3
	Módulo Resiliente (fórmula ASSTHO 2002) Mr (psi)	13642.4	15067.0	14271.6	12196.6	13706.1	9899.2
Evaluación NO Destructiva	Deflexión Do	60.0	33.5	52.6	55.0	46.9	58.9
	CBR según modelo Hogg (%)	12.8	16.5	12.5	11.7	13.5	11.5
	Módulo Resiliente (fórmula ASSTHO 2002) Mr (psi)	13060.9	15372.8	12843.3	12309.0	13540.1	12189.7
	Módulo Elástico (según Hogg) E (psi)	14349.8	18472.0	14719.9	14449.3	15990.5	13849.7
	CBR promedio	13.2	16.3	13.6	11.6	13.7	9.9
Mr de Diseño	Selección del CBR de Diseño (%)	13.2	16.3	13.6	11.6	13.7	9.9

Secciones analizadas según sectorización							
Variables Analizadas		Km	Km	Km	Km	Km	Km
		1363+000 - Km 1366+000	1366+000 - Km 1370+000	1370+000 - Km 1387+000	1387+000 - Km 1392+000	1392+000 - Km 1407+000	1407+000 - Km 1413+000
		1	2	3	4	5	6
Selección del Mr de Diseño (ASSHTO 2002)	Mr (psi)	13353.5	15220.3	13568.1	12252.8	13623.2	11077.8

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

- Sectores homogéneos

Los sectores homogéneos seleccionados son seis, los mismos que se indican a continuación en la Tabla N°21.

Tabla N° 21: Sectores homogéneos

Sectores	Km. inicio	Km. final
1	1363+000	1366+000
2	1366+000	1372+000
3	1372+000	1387+000
4	1387+000	1392+000
5	1392+000	1407+000
6	1407+000	1413+000

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 Diagnóstico y situación del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero

La Carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave, requería ejecutar trabajos oportunos de Mantenimiento Periódico que incluyan Trabajos de Mantenimiento Rutinario diferido, Reparaciones y Trabajos de Prevención de Emergencias, a fin de mantener los Niveles de Servicio del tramo en condiciones similares a las de su último proyecto de Mejoramiento, contribuyendo así a asegurar la preservación de este importante activo del Patrimonio Vial Nacional durante un periodo de por lo menos diez (10) años.

El proyecto estuvo referido a identificar, cuantificar, ubicar y plantear las soluciones o tratamientos más adecuados para conservar la Infraestructura Vial, previa selección de la alternativa óptima que permita maximizar la rentabilidad de los recursos empleados, determinación de la oportunidad de su aplicación, por ello, el requerimiento del Expediente Técnico para los trabajos de Mantenimiento Periódico del Tramo: Puno - Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero y su respectivo presupuesto de obra.

6.2 Desarrollo de la Modelación de la carretera en HDM-4.

6.2.1 Patrón de intensidad de tráfico

En la ventana de Modelo de Tránsito se ingresa el porcentaje del TDPA (PCNAD Tp), el cual se observa en la descripción, el cual tiene un nombre SH4 MODEL TRÁNSITO, el cual se muestra en la figura N°63.

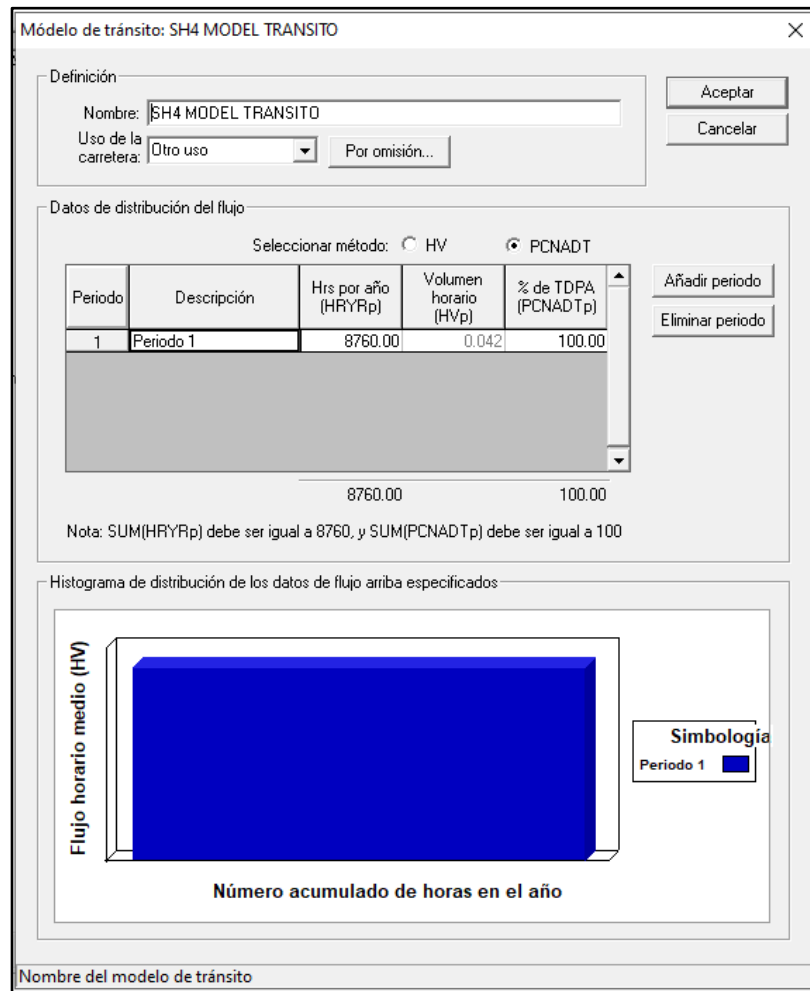


Figura N° 63: Patrón de intensidad de tráfico

Fuente: Software HDM-4

6.2.2 Tipo velocidad/capacidad

En la ventana de tipos de velocidad/capacidad de HDM-4, se representan las características de capacidad de la Carretera Puno – Desaguadero, se le coloca el número de carriles, el tipo de carretera y el nombre a usar, luego se pone aceptar, tal como se muestra en la siguiente Figura N° 64.

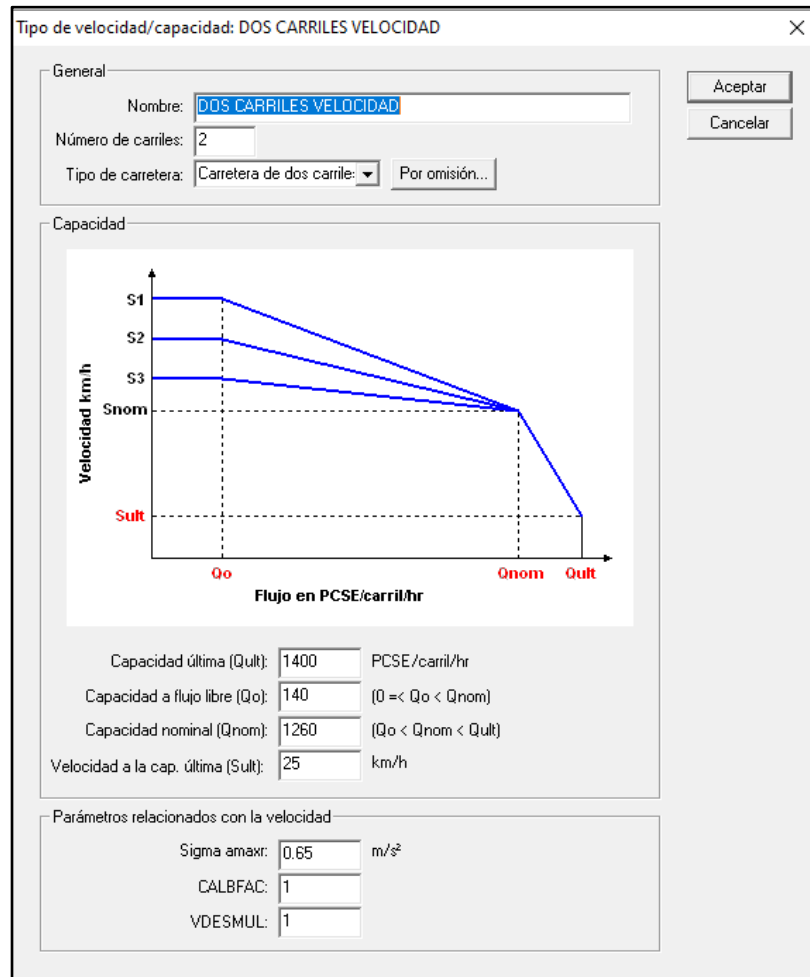


Figura N° 64: Tipo velocidad / capacidad

Fuente: Software HDM-4

6.2.3 Tipos de accidente

En la ventana de tipos de accidentes de HDM-4, se representan las características de accidentalidad de la Carretera Puno – Desaguadero. Esta característica se define en términos de tasas de accidentes por vehículos-km, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 65.

Tipos de accidentes: DOS CARRILES ACCIDENTES

Nombre: DOS CARRILES ACCIDENTES

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

por tipo

Fatales: 0

Heridos: 0

Sólo daños: 0

todos: Todos los accidentes: 0

Aceptar

Cancelar

Nombre del tipo de accidente

Figura N° 65: Tipos de accidente

Fuente: Software HDM-4

6.2.4 Zona climática

En la ventana de zona climática se emplea para representar las condiciones climatológicas que existe en la Carretera Puno – Desaguadero, los datos colocados representan las condiciones actuales del Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 66.

Zona climática: SH4 CLIMA

Clima

Nombre: SH4 CLIMA

Clasificación por humedad: Húmedo

Índice de humedad: 60

Duración de la estación seca: 0 meses

Precipitación media mensual: 72 mm

Clasificación por temperatura: Templado - con heladas

Temperatura media: 8 °C

Rango prom. de temperaturas: 11 °C

Días con T > 32°C: 0 días

Índice de congelamiento: 220 °C-día

Porcentaje del tiempo que se conduce en

Carreteras cubiertas de nieve: 20 0<=PCTDS<=100

Carreteras cubiertas de agua: 10 0<=PCTDW<=100

Nombre de la zona climática

Botones: Aceptar, Cancelar, Por omisión...

Figura N° 66: Zona climática

Fuente: Software HDM-4

6.2.5 Moneda

En la ventana de unidades monetarias, se muestra el tipo de moneda a usar para la evaluación de los costos a utilizar, para los mantenimientos obtenidos, en esta caso usaremos la moneda Sol S/. , el cual se muestra en la siguiente Figura N° 67.

Unidades monetarias

Descripción	Símbolo	Posición del símbolo
US Dollar	US\$	¤1.1
Pound Sterling	£	¤1.1
Euro	€	1.1 ¤
Indian Rupee	Rs	¤1.1
Malaysian Ringgit	MR	¤1.1
SOL	S/.	¤1.1

Definición de unidades monetarias

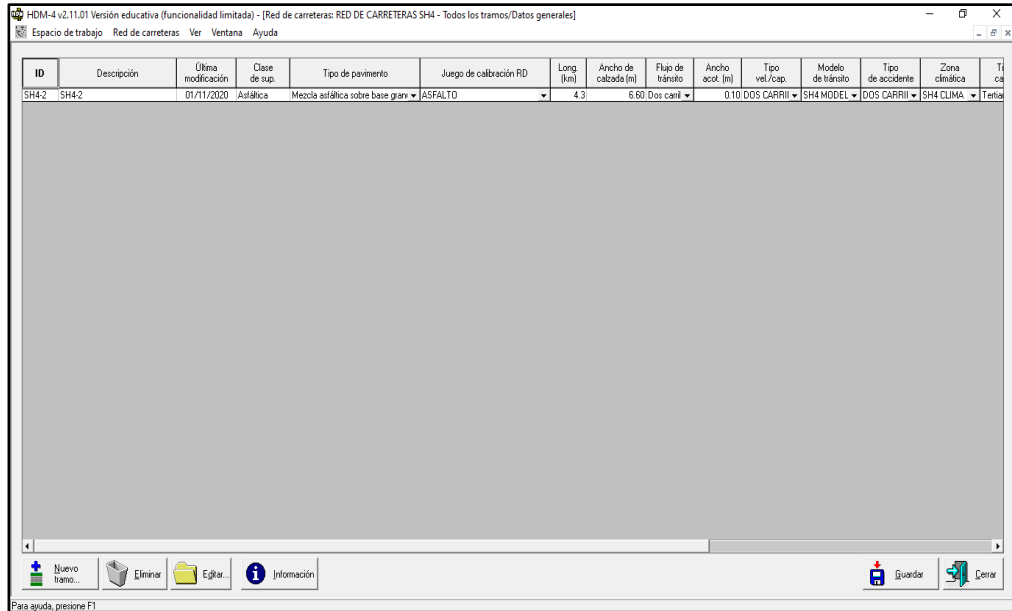
Botones: Añadir..., Eliminar..., Aceptar, Cancelar

Figura N° 67: Moneda

Fuente: Software HDM-4

6.2.6 Red de carretera

En la ventana de red de carreteras de HDM-4, se almacena detalles de la Carretera Puno – Desaguadero, es analizada. Cada red está formada por varios tramos. Por lo regular, un tramo corresponde a una longitud identificable de carretera, en esta caso el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 68.



ID	Descripción	Última modificación	Clase de sup.	Tipo de pavimento	Juego de calibración RD	Long. (km)	Ancho de calzada (m)	Flujo de tránsito	Ancho acot. (m)	Tipo vel/csp.	Modelo de tránsito	Tipo de accidente	Zona climática	Tipo de clima
SH4-2	SH4-2	01/11/2020	Asfáltica	Mezcla asfáltica sobre base gran.	ASFALTO	4.3	6.60	Dos carril	0.10	DOS CARRIL	SH4 MODEL	DOS CARRIL	SH4 CLIMA	Tertio

Figura N° 68: Red de carretera

Fuente: Software HDM-4

- Datos globales del tramo en estudio

En la ventana electrónica, se analiza el atributo del Tramo Puno – Ilave, Para editar el atributo que no se muestran en la hoja de cálculo, se hace doble clic en un tramo. Aparecerá el cuadro de diálogo Tramo, el cual dará acceso a todos los atributos del tramo, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 69.

Figura N° 69: Datos globales del tramo en estudio

Fuente: Software HDM-4

- Definición

En la ventana Definición se adaptan los datos de la red existente donde se describe el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la Figura N° 70.

Figura N° 70: Definición del tramo 4

Fuente: Software HDM-4

- Geometría

En la ventana de Geometría del Tramo Puno – Ilave, se detalla la capacidad estructural, los ascensos y descensos, el límite de velocidad, el cual se muestra en la siguiente Figura N°71.

Tramo: SH4-2

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

Ascensos y descensos: 0.6 m/km
No. de ascensos y descensos: 8 no./km
Sobreelevación: 3 %
Curvatura horizontal promedio: 28 deg/km
adral: 0.1 m/s²
Límite de velocidad: 30 km/h
Cumplimiento del límite de velocidad: 1.1
Altitud: 3817 m

Factores de reducción de la velocidad

XNMT: 1 0.4 <= XNMT <= 1
Fricción lateral: 1 0.4 <= XFRI <= 1
XMT: 1 0.4 <= XMT <= 1

Aceptar Cancelar

Promedio de ascensos y descensos de la carretera (en m/km)

Figura N° 71: Geometría

Fuente: Software HDM-4

- Pavimento

En la ventana de Pavimento, se muestra la capacidad estructural del pavimento, con el número estructural ajustado –SNP. Este puede ingresarse directamente o calcularse usando otras características del pavimento, ver Figura N° 72.

Tramo: TRAMO 4

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

Capa superficial

Tipo de pavimento: Mezcla asfáltica sobre base granular

Tipo de material: Concreto asfáltico

Espesor más reciente: 50 mm

Espesor anterior: 0 mm

Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)

Últ. reconstrucción o nueva construcción: 2000 año

Última rehabilitación (sobrecarpeta): 2000 año

Último tratamiento superficial (sello): 2000 año

Último tratamiento preventivo: 2000 año

Capacidad estructural

Parámetros del modelo estacional Húmedo

SNP: 5.13 DEF: 0.47 mm

[1] Número estructural: 3.798

VRS de la subrasante: 11.5 %

Estación seca Estación húmeda

[2] SNP calculado

Capa de base (sólo para bases estabilizadas)

Espesor de base: mm

Módulo resiliente: GPa

Aceptar Cancelar

Detalles de la estructura del pavimento

Figura N° 72: Pavimento del tramo HDM-4

Fuente: Software HDM-4

- Condición

En la ventana de Condición, se observa las características actuales del pavimento del Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N°73.

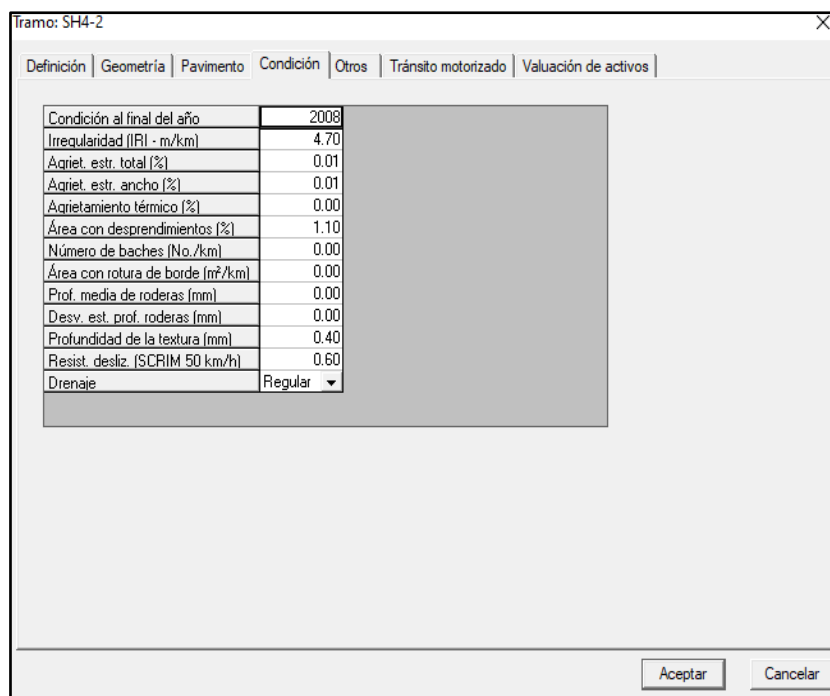


Figura N° 73: Condición del Pavimento

Fuente: Software HDM-4

6.2.7 Parque automotor

En la ventana de flota vehicular se determinan las categorías de los tipos de vehículo y/o de atributos que circulan dentro del Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N°74.

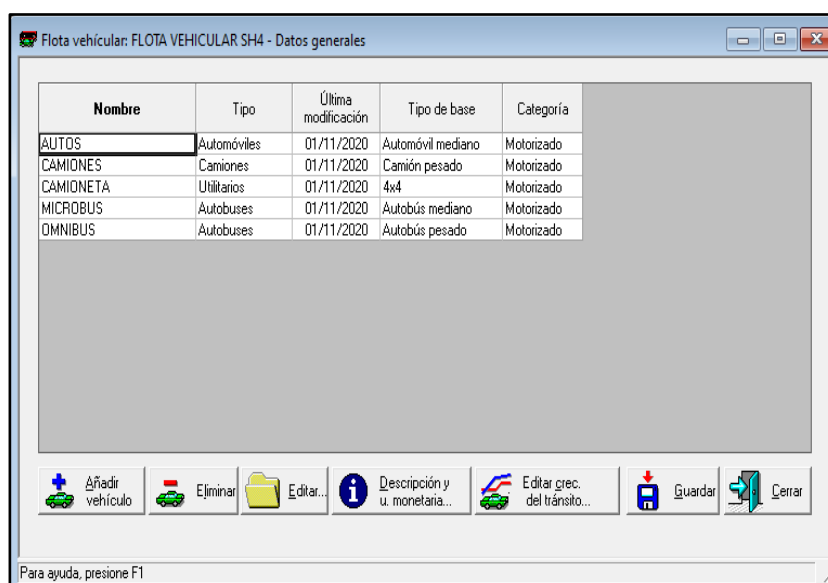


Figura N° 74: Parque automotor

Fuente: Software HDM-4

- Definición de flota vehicular (Autos)

En la ventana de Autos, se hace doble clic en un tipo de vehículo, luego aparecerá el cuadro de diálogo definición del Auto, el cual dará acceso a todos los atributos del Auto, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 75.

The screenshot shows a dialog box titled 'Atributos del vehículo: AUTOS' with a close button (X) in the top right corner. It has two tabs: 'Definición' (selected) and 'Costos económicos unitarios'. The 'Definición' tab contains the following fields and controls:

- Nombre:
- Tipo base:
- Clase:
- Categoría:
- Descripción:
- Método de vida útil: Vida constante Vida óptima
- Buttons: Calibración..., Valores por omisión:, Aceptar, Cancelar

At the bottom of the dialog, there is a label 'Nombre del tipo de vehículo'.

Figura N° 75: Flota vehicular (Autos)

Fuente: Software HDM-4

- Características básicas (Autos)

En la ventana de Característica básica del Auto, se muestran las principales características de los autos que circulan por el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N°76.

The screenshot shows the same dialog box 'Atributos del vehículo: AUTOS' but with the 'Características básicas' tab selected. It contains the following fields and controls:

- Buttons: Calibración..., Valores por omisión:, Aceptar, Cancelar
- Físicas:**
 - Espacios equivalentes en vehículos de pasajeros:
 - Número de ruedas:
 - Número de ejes:
- Neumáticos:**
 - Tipo de neumático:
 - No. de renovaciones:
 - Costo de renovación: %
- Utilización:**
 - km anuales: km
 - Hrs. laborables: hrs
 - Vida promedio: años
 - Calculador... (button)
 - Uso privado: %
 - Pasajeros: personas
 - Viajes de trabajo: %
- Carga:**
 - ESALF:
 - Calculador... (button)
 - Peso en operación: ton

Figura N° 76: Características básicas (Autos)

Fuente: Software HDM-4

- Costos económicos unitarios (Autos)

Costos económicos unitarios del Auto, el cual se muestra en la siguiente Figura N°77.

The screenshot shows a software window titled 'Atributos del vehículo: AUTOS' with a close button (X) in the top right corner. It has three tabs: 'Definición', 'Características básicas', and 'Costos económicos unitarios'. The 'Costos económicos unitarios' tab is active. On the right side, there are buttons for 'Calibración...', 'Valores por omisión:', 'Aceptar', and 'Cancelar'. The main area is divided into two sections: 'Recursos del vehículo' and 'Valor del tiempo'. The 'Recursos del vehículo' section contains the following data:

Vehículo nuevo:	81636.3	Mano de obra mantenimiento:	11.5394	por hora
Reemplazo neumático:	211.086	Salarios de los operadores:	4.97225	por hora
Combustible:	14.4477	por litro	Gastos generales anuales:	781.956
Lubricante:	24.7674	por litro	Interés anual:	14.99 %

The 'Valor del tiempo' section contains:

Pasajero tiempo de trabajo:	0	por hora	Retraso de carga:	0	por hora
Pasajero tiempo de ocio:	0	por hora			

At the bottom of the dialog, there is a note: 'Todos los costos deben expresarse en la unidad monetaria de la flota - Sol'. Below the dialog box, the text 'Costo de adquisición promedio de un vehículo nuevo de este tipo' is visible.

Figura N° 77: Características básicas de flota vehicular (Autos)

Fuente: Software HDM-4

- Definición de flota vehicular (Camiones)

En la ventana de Definición de la flota vehicular de los Camiones, se describe el tipo de Base, Clase pesado y la descripción del camión, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 78.

The screenshot shows a software window titled 'Atributos del vehículo: CAMIONES' with a close button (X) in the top right corner. It has three tabs: 'Definición', 'Características básicas', and 'Costos económicos unitarios'. The 'Definición' tab is active. On the right side, there are buttons for 'Calibración...', 'Valores por omisión:', 'Aceptar', and 'Cancelar'. The main area contains the following fields:

- Nombre: CAMIONES
- Tipo base: Camión pesado
- Clase: Camiones
- Categoría: Motorised
- Descripción: camión multieje

At the bottom, there is a section for 'Método de vida útil' with two radio buttons: 'Vida constante' (unselected) and 'Vida óptima' (selected).

Below the dialog box, the text 'Nombre del tipo de vehículo' is visible.

Figura N° 78: Flota vehicular (Camiones)

Fuente: Software HDM-4

- Características básicas (Camiones)

En la ventana de Característica básica de los Camiones, se muestran las principales características de los Camiones que circulan por el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 79.

Atributos del vehículo: CAMIONES

Definición | Características básicas | Costos económicos unitarios

Físicas

Espacios equivalentes en vehículos de pasajeros: 16

Número de ruedas: 10

Número de ejes: 3

Neumáticos

Tipo de neumático: Diagonal

No. de renovaciones: 1.3

Costo de renovación: 15 %

Utilización

km anuales: 86000 km

Hrs. laborables: 2050 hrs

Vida promedio: 14 años

Uso privado: 0 %

Pasajeros: 0 personas

Viajes de trabajo: 0 %

Carga

ESALF: 1.39

Peso en operación: 13 ton

Calibración...

Valores por omisión:

Aceptar

Cancelar

Factor de espacios equivalentes de automóviles de pasajeros (PCSE)

Figura N° 79: Características básicas (Camiones)

Fuente: Software HDM-4

- Costos económicos unitarios (Camiones)

Costos económicos unitarios de los Camiones, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 80.

Atributos del vehículo: CAMIONES

Definición | Características básicas | Costos económicos unitarios

Recursos del vehículo

Vehículo nuevo: 703676

Reemplazo neumático: 2157.77

Combustible: 13.1342 por litro

Lubricante: 54.7416 por litro

Mano de obra mantenimiento: 13.3219 por hora

Salarios de los operadores: 2.48612 por hora

Gastos generales anuales: 1563.58

Interés anual: 6 %

Valor del tiempo

Pasajero tiempo de trabajo: 0 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 - SOL

Calibración...

Valores por omisión:

Aceptar

Cancelar

Costo de adquisición promedio de un vehículo nuevo de este tipo

Figura N° 80: Costos económicos unitarios (Camiones)

Fuente: Software HDM-4

- Definición de flota vehicular (Camioneta)

En la ventana de Definición de la flota vehicular de la Camioneta, se describe el tipo de Base, Clase pesado y la descripción de la Camioneta, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 81.

The screenshot shows a software window titled 'Atributos del vehículo: CAMIONETA'. It has three tabs: 'Definición', 'Características básicas', and 'Costos económicos unitarios'. The 'Definición' tab is active. The form contains the following fields and controls:

- Nombre: CAMIONETA
- Tipo base: 4x4
- Clase: Utilitarios
- Categoría: Motorised
- Descripción: vehículo tipo Landrover/Jeep
- Método de vida útil: Vida constante, Vida óptima
- Buttons: Calibración..., Valores por omisión:, Aceptar, Cancelar

At the bottom of the window, the text 'Nombre del tipo de vehículo' is visible.

Figura N° 81: Flota vehicular (Camioneta)

Fuente: Software HDM-4

- Características básicas (Camioneta)

En la ventana de Características básicas de la Camioneta, se muestran las principales Características de las Camionetas que circulan por el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N°82.

The screenshot shows the same software window, but with the 'Características básicas' tab selected. The form is divided into several sections:

- Físicas:** Espacios equivalentes en vehículos de pasajeros: 1; Número de ruedas: 4; Número de ejes: 2.
- Neumáticos:** Tipo de neumático: Diagonal; No. de renovaciones: 1.3; Costo de renovación: 15 %.
- Utilización:** km anuales: 30000; Hrs. laborables: 1300; Vida promedio: 8 años; Uso privado: 0 %; Pasajeros: 1 personas; Viajes de trabajo: 0 %.
- Carga:** ESALF: 0.02; Peso en operación: 1.8 ton.
- Buttons: Calibración..., Valores por omisión:, Aceptar, Cancelar.

At the bottom of the window, the text 'Factor de espacios equivalentes de automóviles de pasajeros (PCSE)' is visible.

Figura N° 82: Características básicas (Camioneta)

Fuente: Software HDM-4

- Costos económicos unitarios (Camioneta)

Costos económicos unitarios de la Camioneta, el cual se muestra en la siguiente Figura N°83.

Recursos del vehículo	
Vehículo nuevo:	126193
Reemplazo neumático:	365.882
Combustible:	13.1342 por litro
Lubricante:	24.7674 por litro
Mano de obra mantenimiento:	11.5394 por hora
Salarios de los operadores:	4.97225 por hora
Gastos generales anuales:	781.956
Interés anual:	7 %

Valor del tiempo	
Pasajero tiempo de trabajo:	0 por hora
Pasajero tiempo de ocio:	0 por hora
Retraso de carga:	0 por hora

Figura N° 83: Costos económicos unitarios (Camioneta)

Fuente: Software HDM-4

- Definición de flota vehicular (Microbús)

En la ventana de definición de flota vehicular del Microbús, se describe el tipo de Base, Clase pesado y la descripción del Microbús, el cual se muestra en la siguiente Figura N°84.

Nombre:	MICROBUS
Tipo base:	Autobús mediano
Clase:	Autobuses
Categoría:	Motorised
Descripción:	autobús mediano (3.5 - 8.0 ton)

Método de vida útil: Vida constante Vida óptima

Figura N° 84: Flota vehicular (Microbús)

Fuente: Software HDM-4

- Características básicas (Microbús)

En la ventana de Características básicas del Microbús, se muestran las principales Características de los Microbuses que circulan por el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 85.

Atributos del vehículo: MICROBUS

Definición | Características básicas | Costos económicos unitarios

Físicas

Espacios equivalentes en vehículos de pasajeros: 1.5

Número de ruedas: 6

Número de ejes: 2

Neumáticos

Tipo de neumático: Diagonal

No. de renovaciones: 1.3

Costo de renovación: 15 %

Utilización

km anuales: 70000 km

Hrs. laborables: 1750 hrs

Vida promedio: 7 años

Uso privado: 0 %

Pasajeros: 40 personas

Viajes de trabajo: 75 %

Carga

ESALF: 3.01

Peso en operación: 6 ton

Calibración...

Valores por omisión:

Aceptar

Cancelar

Factor de espacios equivalentes de automóviles de pasajeros (PCSE)

Figura N° 85: Características básicas (Microbús)

Fuente: Software HDM-4

- Costos económicos unitarios (Microbús)

Costos económicos unitarios del Microbús, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 86.

Atributos del vehículo: MICROBUS

Definición | Características básicas | Costos económicos unitarios

Recursos del vehículo

Vehículo nuevo: 243474

Remplazo neumático: 698.548

Combustible: 13.1342 por litro

Lubricante: 24.7674 por litro

Mano de obra mantenimiento: 13.3219 por hora

Salarios de los operadores: 4.1279 por hora

Gastos generales anuales: 938.16

Interés anual: 7 %

Valor del tiempo

Pasajero tiempo de trabajo: 0 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 - SOL

Calibración...

Valores por omisión:

Aceptar

Cancelar

Costo de adquisición promedio de un vehículo nuevo de este tipo

Figura N° 86: Costos económicos unitarios (Microbús)

Fuente: Software HDM-4

- Definición de flota vehicular (Ómnibus)

En la ventana de definición de flota vehicular de los Ómnibus, se describe el tipo de Base, Clase pesado y la descripción del Ómnibus, ver la Figura N° 87.

The screenshot shows the 'Atributos del vehículo: OMNIBUS' window with the 'Definición' tab selected. The fields are as follows:

Nombre:	OMNIBUS
Tipo base:	Autobús pesado
Clase:	Autobuses
Categoría:	Motorised
Descripción:	autobús grande de dos o más ejes
Método de vida útil:	<input type="radio"/> Vida constante <input checked="" type="radio"/> Vida óptima

Buttons on the right: Calibración..., Valores por omisión:, Aceptar, Cancelar.

Footer: Nombre del tipo de vehículo

Figura N° 87: Flota vehicular (Ómnibus)

Fuente: Software HDM-4

- Características básicas (Ómnibus)

En la ventana de Características básicas de los Ómnibus, se muestran las principales Características de los Ómnibus que circulan por el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 88.

The screenshot shows the 'Atributos del vehículo: OMNIBUS' window with the 'Características básicas' tab selected. The fields are organized into sections:

Físicas		Neumáticos	
Espacios equivalentes en vehículos de pasajeros:	1.6	Tipo de neumático:	Diagonal
Número de ruedas:	10	No. de renovaciones:	1.3
Número de ejes:	3	Costo de renovación:	15 %
Utilización			
km anuales:	70000 km	Uso privado:	0 %
Hrs. laborables:	1750 hrs	Pasajeros:	40 personas
Vida promedio:	12 años	Viajes de trabajo:	75 %
Carga			
ESALF:	3.01	Peso en operación:	10 ton

Buttons on the right: Calibración..., Valores por omisión:, Aceptar, Cancelar.

Footer: Factor de espacios equivalentes de automóviles de pasajeros (PCSE)

Figura N° 88: Características básicas (Ómnibus)

Fuente: Software HDM-4

- Costos económicos unitarios (Ómnibus)

Costos económicos unitarios de los Ómnibus, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 89.

Atributos del vehículo: OMNIBUS

Definición | Características básicas | Costos económicos unitarios

Recursos del vehículo

Vehículo nuevo:	609847	Mano de obra mantenimiento:	13.3219	por hora
Reemplazo neumático:	1712.14	Salarios de los operadores:	1.92323	por hora
Combustible:	13.1342	por litro	Gastos generales anuales:	2032.66
Lubricante:	14.4477	por litro	Interés anual:	7 %

Valor del tiempo

Pasajero tiempo de trabajo:	0	por hora	Retraso de carga:	0	por hora
Pasajero tiempo de ocio:	0	por hora			

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

Calibración...
Valores por omisión:
Aceptar
Cancelar

Costo de adquisición promedio de un vehículo nuevo de este tipo

Figura N° 89: Costos económicos unitarios (Ómnibus)

Fuente: Software HDM-4

6.2.8 Estándar de conservación

En la ventana de estándar de conservación se representan los objetivos o niveles de condición y desempeño que se desea alcanzar del Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 90.

Estándar de conservación: ALTERNATIVA 1

General

Nombre: ALTERNATIVA 1
Código: A1
Clase de superficie: Asfáltica

Acciones

RECAPADO 7.5	R7.5
--------------	------

Nueva acción
Copiar
Eliminar
Editar

Listado de acciones de conservación asociadas con el estándar

Acción de conservación: RECAPADO 7.5

General | Diseño | Intervención | Costos | Efectos | Valuación de activos

Nombre: RECAPADO 7.5
Código: R7.5
Capa superficial: Asfáltica
Tipo de elemento: Calzada
Acción: Sobrecarpeta de mezcla densa

Nombre de esta acción

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura N° 90: Estándar de conservación

Fuente: Software HDM-4

a) Estándar de conservación Recapado

En la ventana de Estándar de conservación Recapado 7.5 cm, en la parte superior se muestra la definición del estándar, incluyendo la clase de superficie. La parte inferior contiene las acciones definidas para el estándar, el cual se muestra en la siguiente Figura N°91.

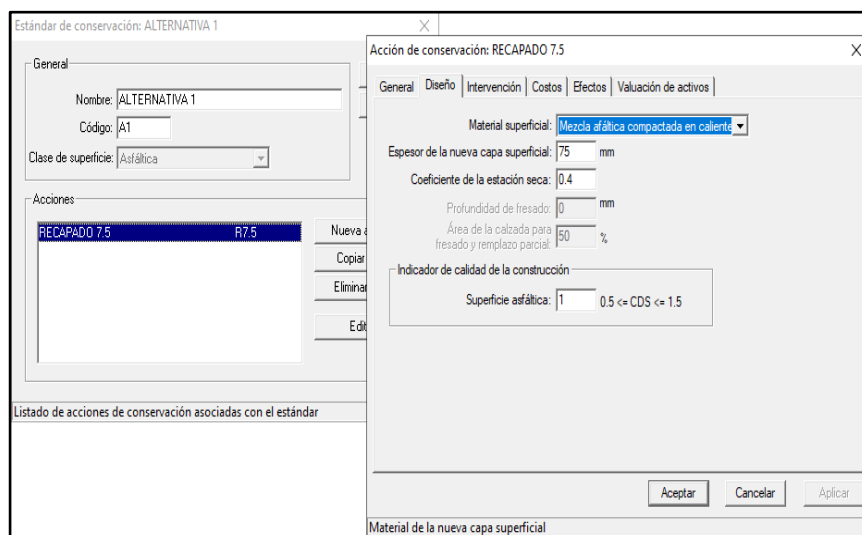


Figura N° 91: Nombre de estándar de conservación

Fuente: Software HDM-4

- Intervención

En la ventana de criterio de intervención se define una expresión lógica que determina cuándo debe ejecutarse una acción de conservación. Por lo regular, lo anterior ocurre cuando el tramo alcanza una condición predefinida, en un año o un intervalo dado, para el caso lo aplicaremos para el Tramo Puno – Ilave, ver la Figura N° 92.

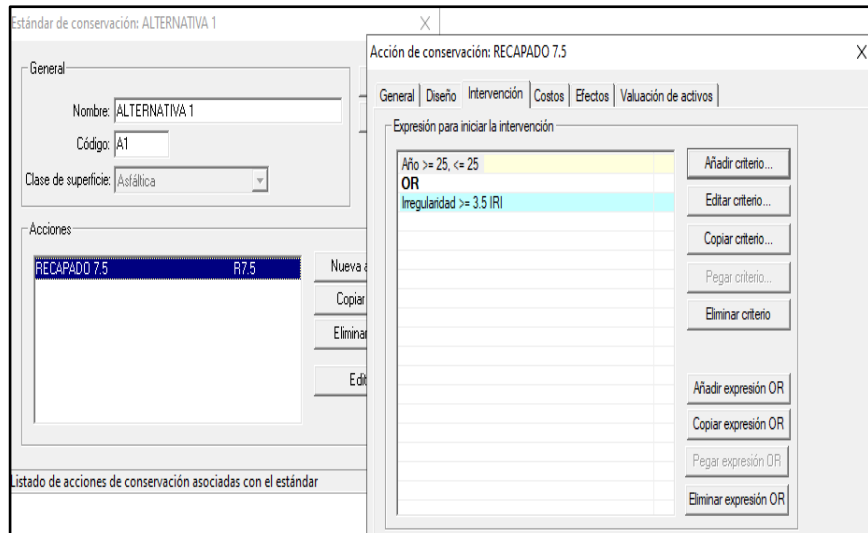


Figura N° 92: Intervención

Fuente: Software HDM-4

- Efectos

En la ventana de efectos se presentan las condiciones después del trabajo es decir la Irregularidad y Roderas, para el Recapado de 7.5 cm, ver la Figura N° 93.

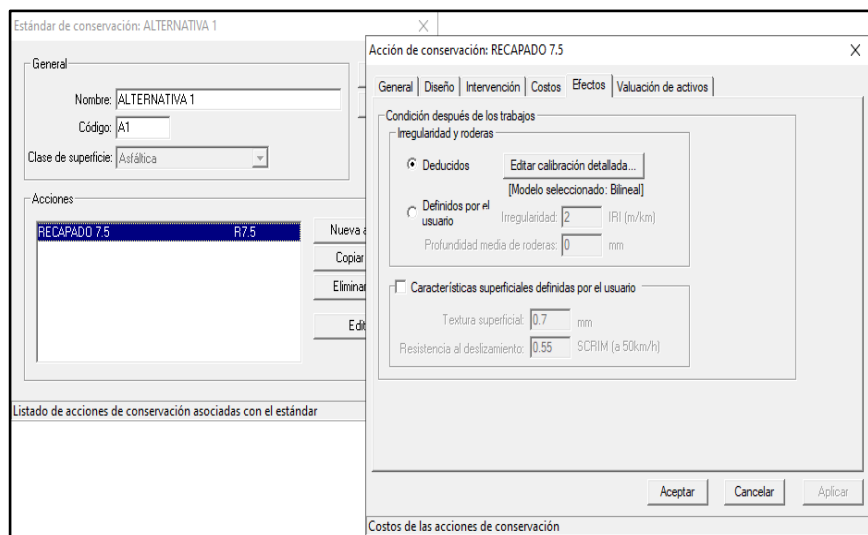


Figura N° 93: Efectos

Fuente: Software HDM-4

- Valuación de activos

En la ventana siguiente, se presenta la pantalla de Valuación de activos en el cual se observa la proporción de costos de los trabajos de la capa del pavimento el cual se encuentra al 100%, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 94.

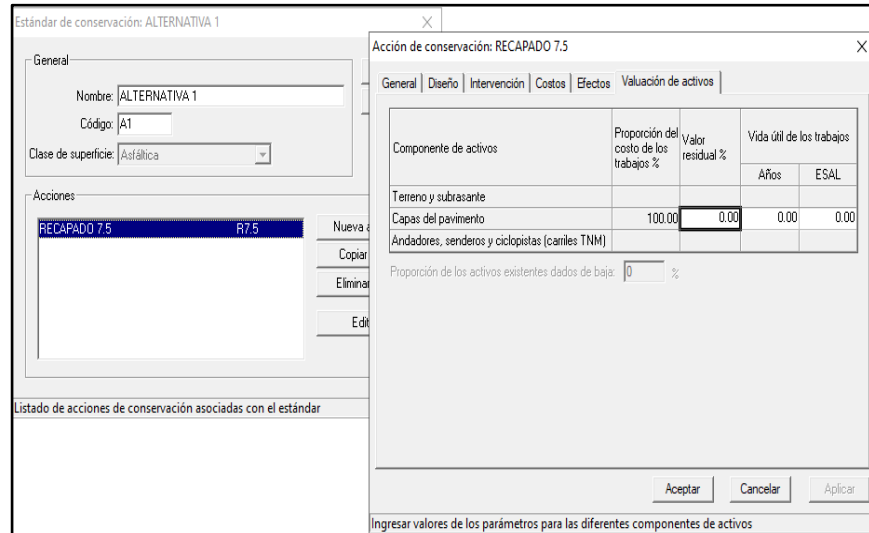


Figura N° 94: Valuación de Activos

Fuente: Software HDM-4

b) Estándar de conservación Sellado de Fisuras

En la ventana se presenta el cuadro de diálogo Estándar de conservación de Sellado de Fisuras, incluyendo la clase de superficie. La parte inferior contiene las acciones definidas para el estándar, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 95.

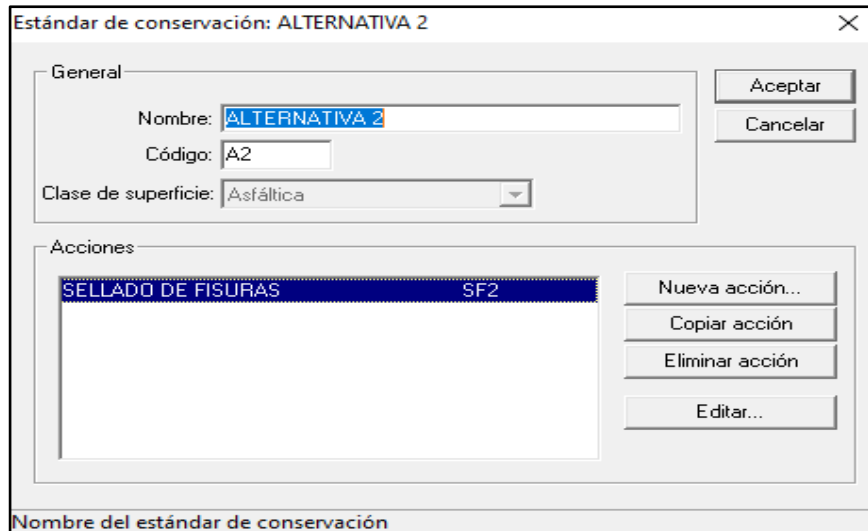


Figura N° 95: Estándar de conservación Sellado de Fisuras

Fuente: Software HDM-4

- General

En la ventana se observa la pestaña General, la cual contiene el nombre y el código de la acción de conservación Sellado de Fisuras, el cual se muestra en la Figura N° 96.

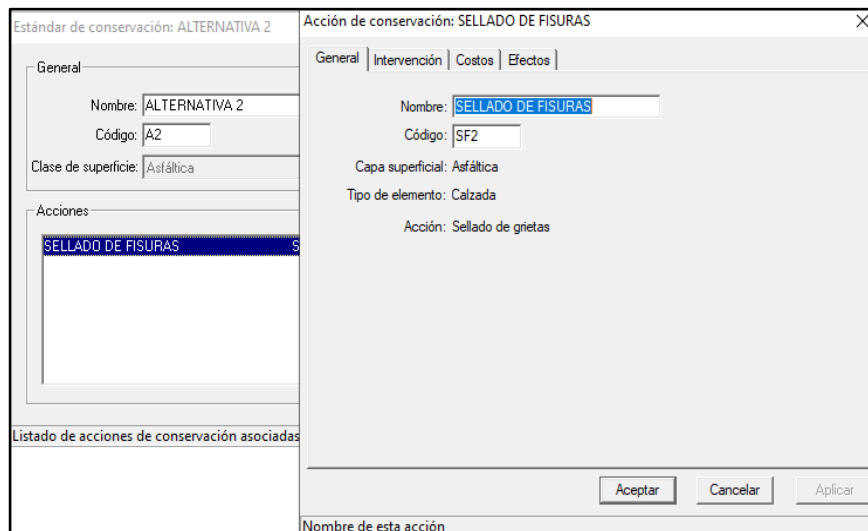


Figura N° 96: General

Fuente: Software HDM-4

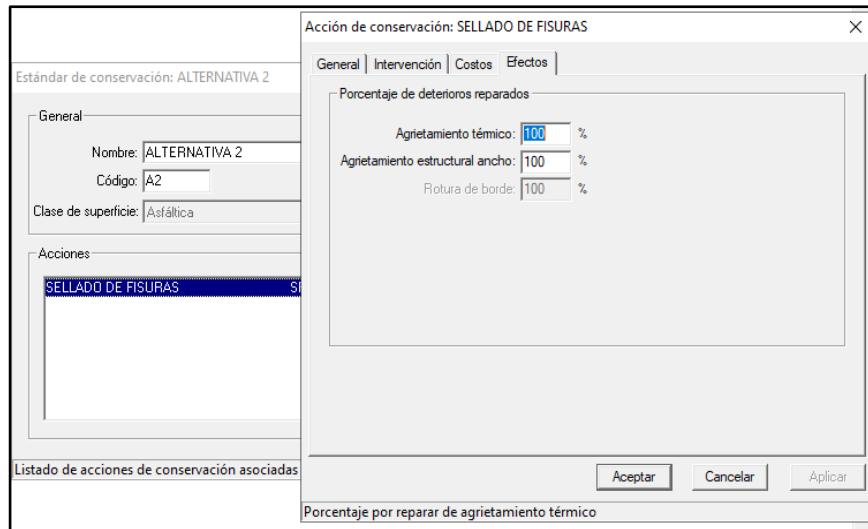


Figura N° 98: Efectos

Fuente: Software HDM-4

c) Estándar de conservación recapado

En la ventana se observa la pestaña de Estándar de conservación Recapado 5 cm, se observa la clase de superficie y la nueva acción a realizar para el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 99.

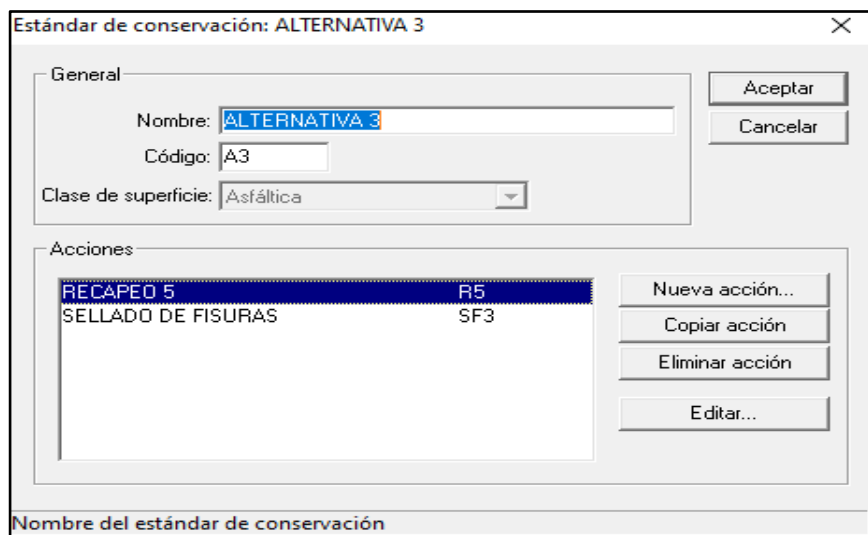


Figura N° 99: Estándar de conservación recapado 5 cm

Fuente: Software HDM-4

- General

En la ventana se observa la pestaña General, la cual nos muestra la capa superficial, el tipo de elemento y la acción a realizar del Tramo Puno – Ilave, tal como se muestra en la siguiente Figura N° 100.

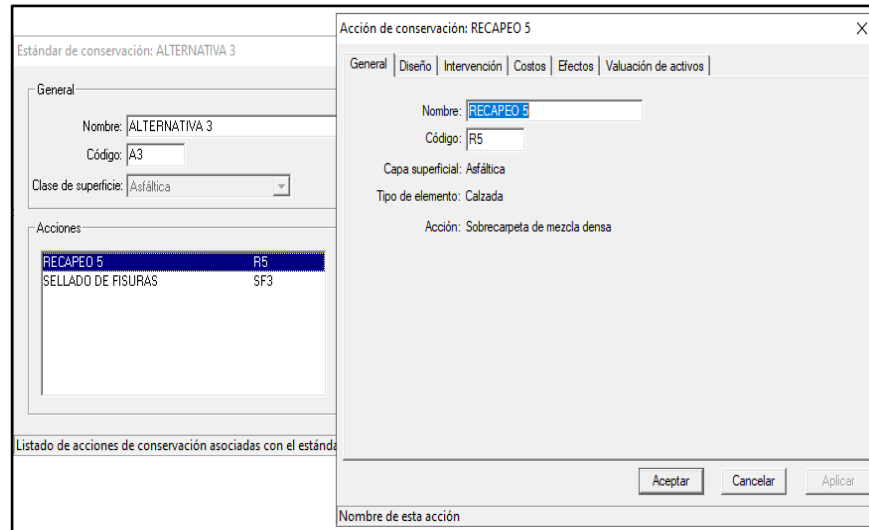


Figura N° 100: General

Fuente: Software HDM-4

- Diseño

En la ventana de diseño, se observa el material superficial, el espesor de la nueva capa superficial, el coeficiente de la estación seca y el indicador de calidad de la construcción, para el Tramo Puno – Ilave, ver Figura N° 101.

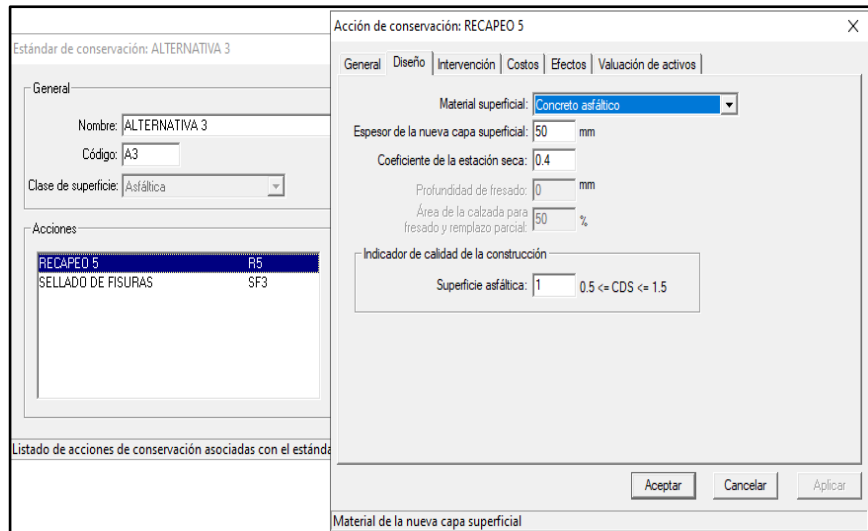


Figura N° 101: Diseño

Fuente: Software HDM-4

- Intervención

En la ventana de Intervención, se observa el umbral de la Irregularidad mayor e igual a 3, para un Recapado de 5cm, para el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 102.

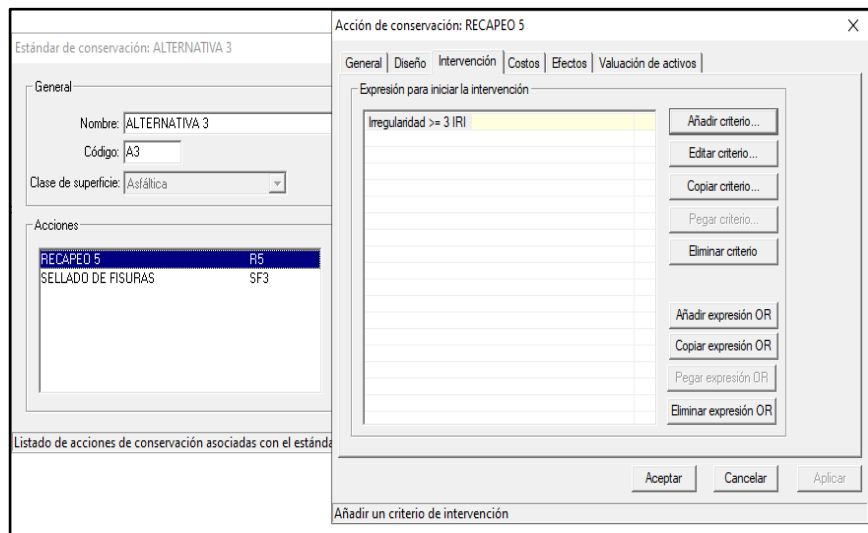


Figura N° 102: Intervención

Fuente: Software HDM-4

- Efectos

En la ventana de efectos se presenta la condición después de los trabajos para la Irregularidad y Roderas, se selecciona la opción de efectos deducidos, ver Figura N° 103.

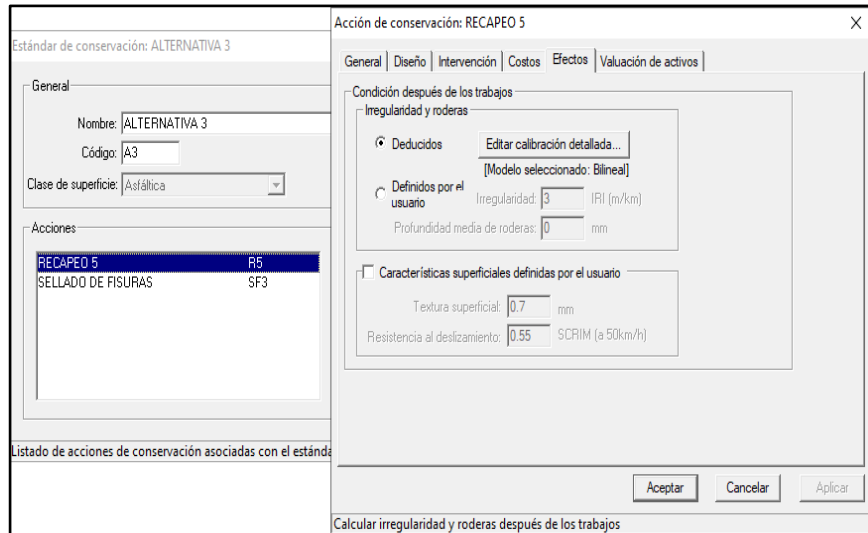


Figura N° 103: Efectos

Fuente: Software HDM-4

- Valuación de Activos

En la ventana siguiente, se presenta la pantalla de Valuación de activos en el cual se observa la proporción de costos de los trabajos de la capa del pavimento el cual se encuentra al 100%, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 104.

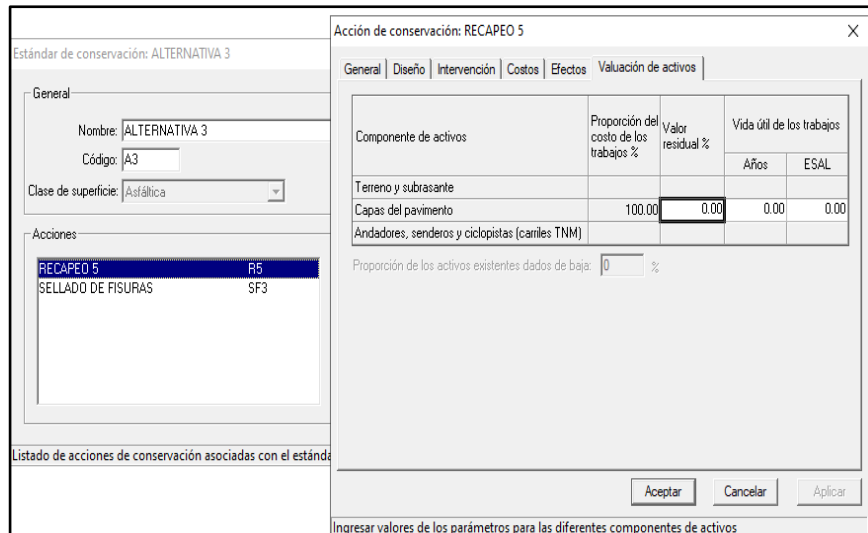


Figura N° 104: Valuación de Activos

Fuente: Software HDM-4

d) Estándar de conservación Sellado de Fisuras

En la ventana se presenta el cuadro de diálogo Acción de conservación de Sellado de Fisuras, incluyendo la clase de superficie, en la parte inferior contiene las acciones definidas para el estándar, para el Tramo Puno – Ilave, ver Figura N° 105.

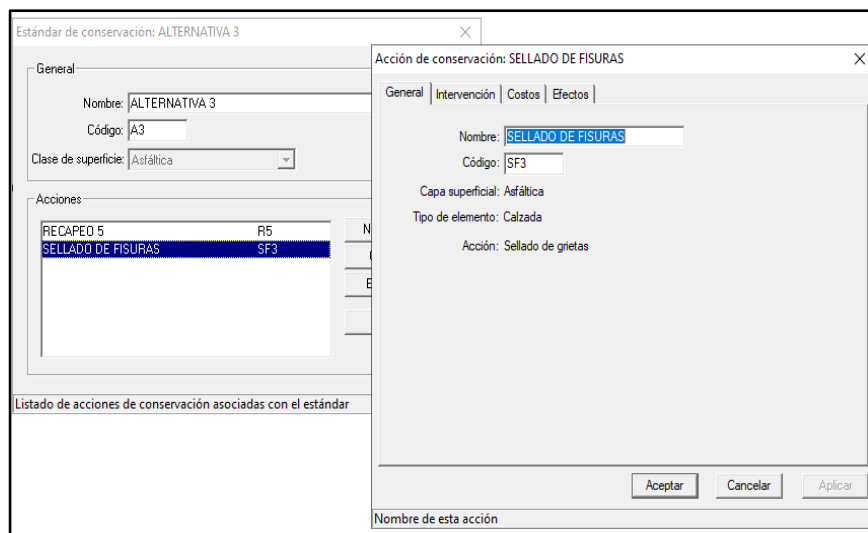


Figura N° 105: Estándar de Conservación de Sellado de Fisuras

Fuente: Software HDM-4

- Intervención

En la ventana de Intervención, se observa un umbral para el agrietamiento total mayor al 5% para el Sellado de Fisuras para el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 106.

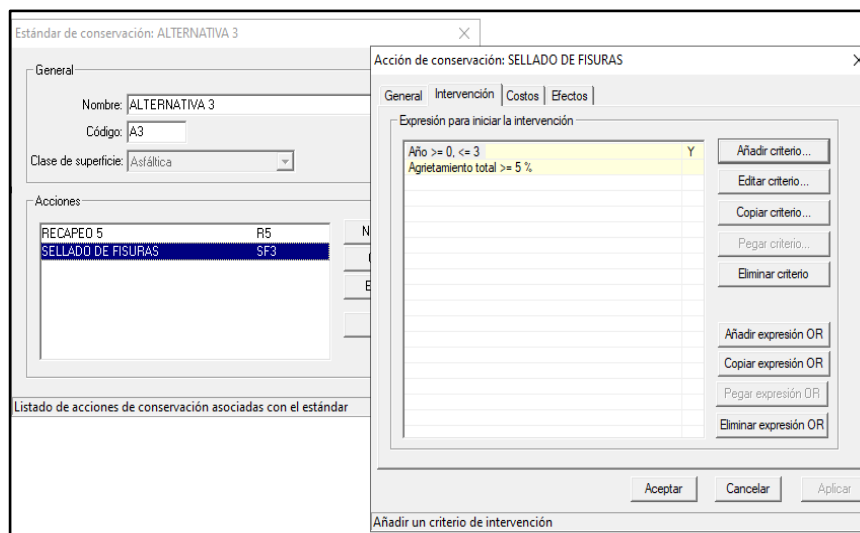


Figura N° 106: Intervención

Fuente: Software HDM-4

- Efectos

En la ventana de Efectos, se muestra el Porcentaje de deterioro reparado, el cual contiene el Agrietamiento térmico al 100% y el Agrietamiento estructural al 100% para el Sellado de Fisuras, del Tramo Puno – Ilave, ver Figura N° 107.

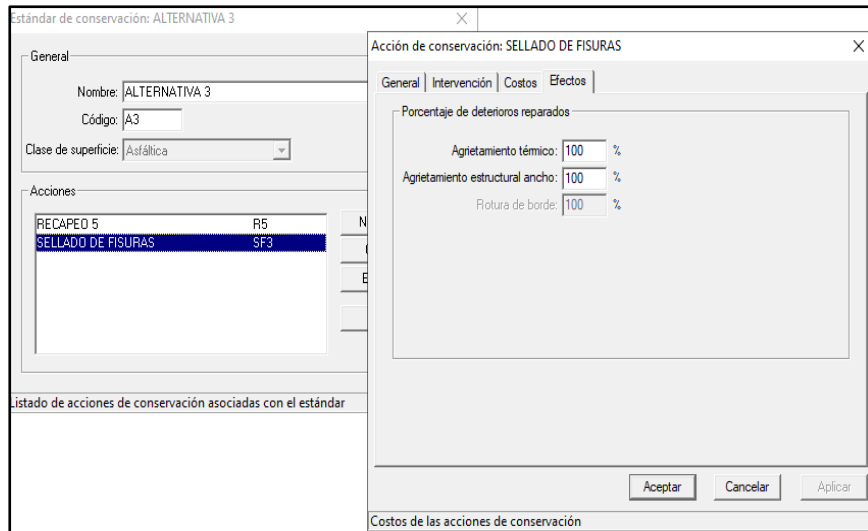


Figura N° 107: Efectos

Fuente: Software HDM-4

e) Estándar de conservación Micropavimento

En la ventana de Estándar de conservación Micropavimento, incluyendo la clase de superficie, en la parte inferior contiene las acciones definidas para el Micropavimento, para el Tramo Puno – Ilave, ver Figura N° 108.

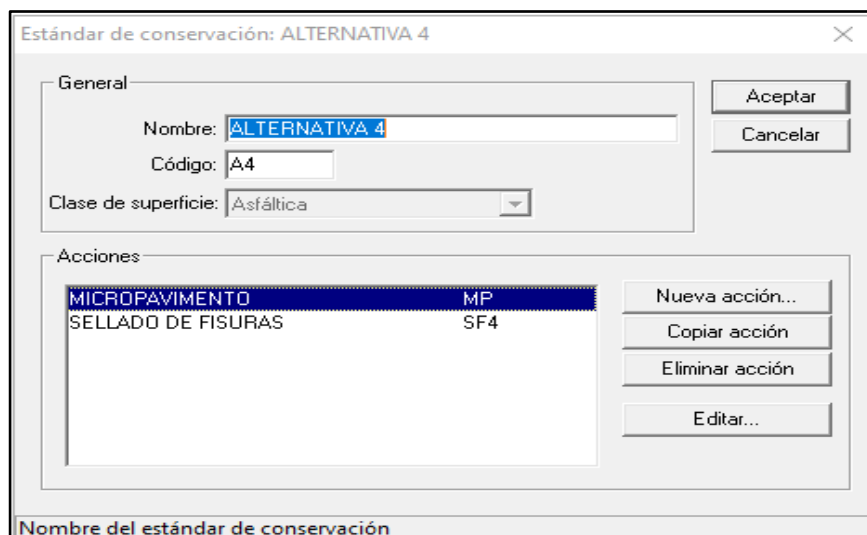


Figura N° 108: Micropavimento

Fuente: Software HDM-4

- General

En la ventana se observa la pestaña General, la cual nos muestra la capa superficial, el tipo de elemento y la acción a realizar del Tramo Puno – Ilave, tal como se muestra en la siguiente Figura N° 109.

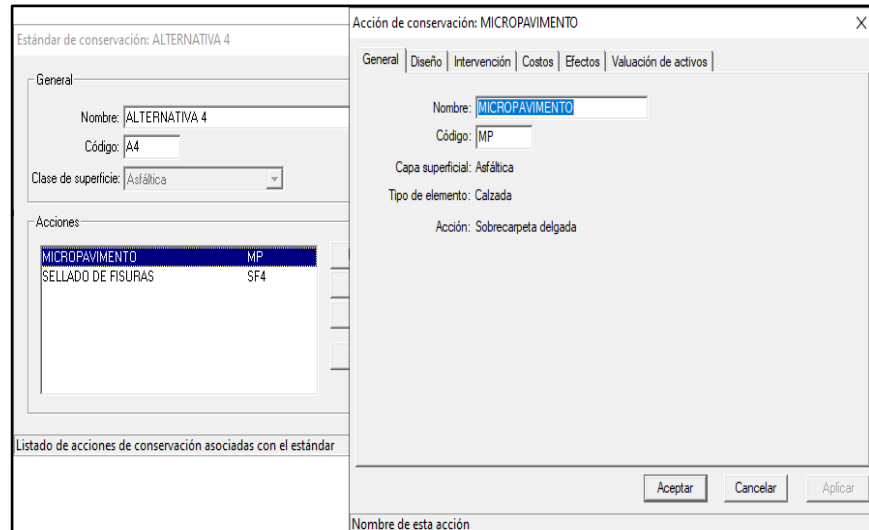


Figura N° 109: General

Fuente: Software HDM-4

- Diseño

En la ventana de diseño, se observa el material superficial, el espesor de la nueva capa superficial y el coeficiente de la estación seca, para el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N°110.

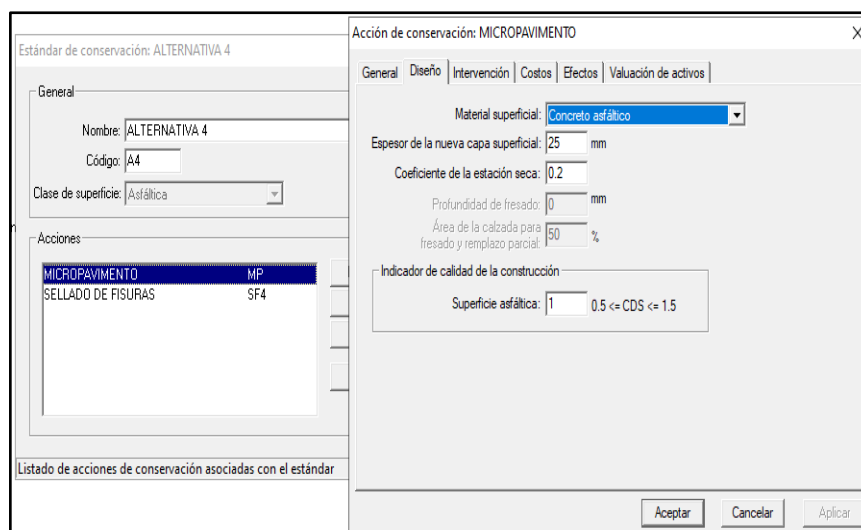


Figura N° 110: Diseño

Fuente: Software HDM-4

- Intervención

En la ventana de Intervención, se observa el umbral para la Irregularidad mayor al 3% IRI, para un Micropavimento, para el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 111.

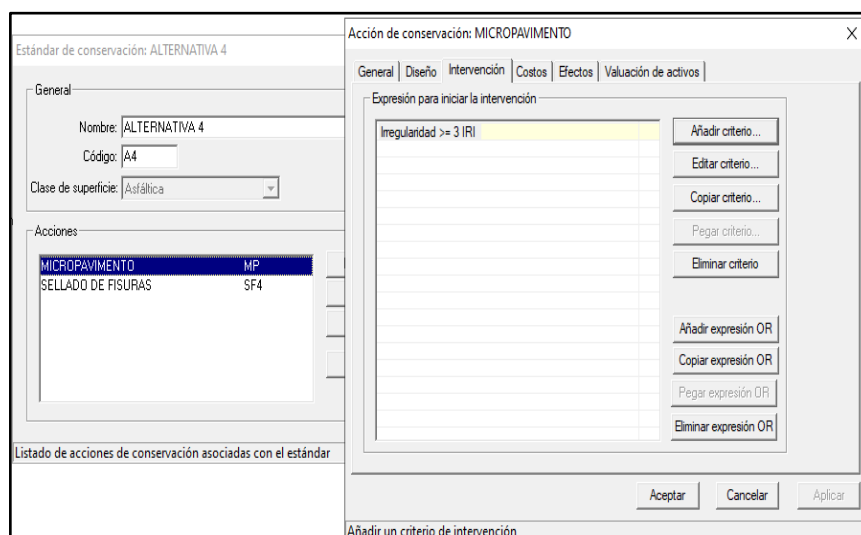


Figura N° 111: Intervención

Fuente: Software HDM-4

- Efectos

En la ventana de Efectos, se muestra la condición después de los trabajos, en cual contiene irregularidad y roderas, del Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 112.

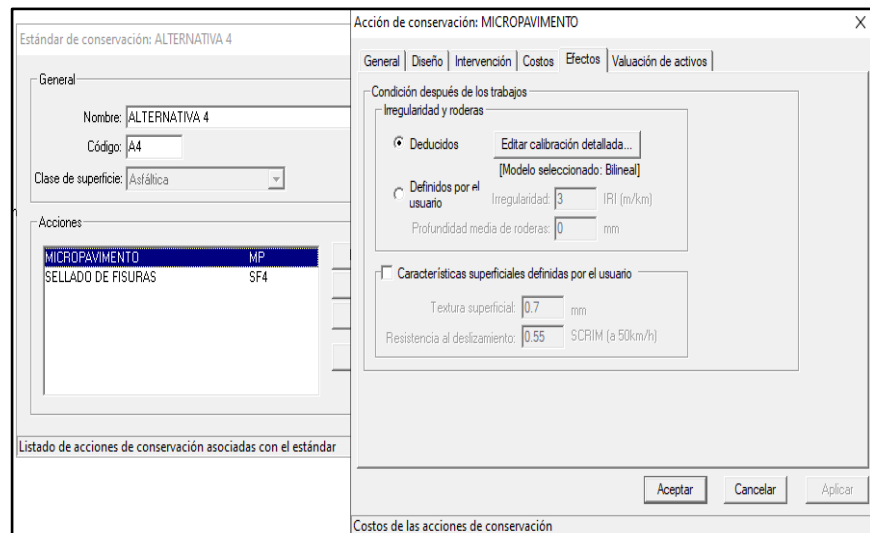


Figura N° 112: Efectos

Fuente: Software HDM-4

- Valuación de Activos

En la ventana siguiente, se presenta la pantalla de Valuación de activos en el cual se observa la proporción de costos de los trabajos de la capa del pavimento el cual se encuentra al 100%, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 113.

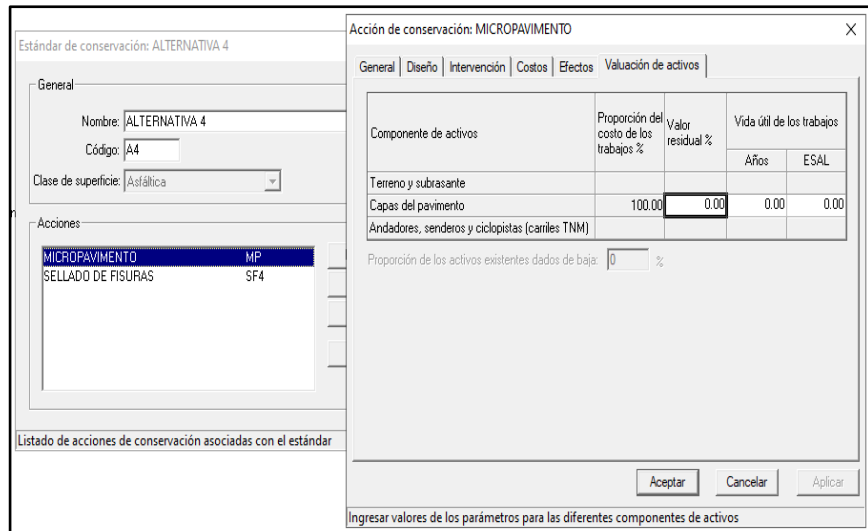


Figura N° 113: Valuación de Activos

Fuente: Software HDM-4

f) Estándar de conservación Sellado de Fisuras

En la ventana se presenta el cuadro de diálogo Acción de conservación de Sellado de Fisuras, incluyendo la clase de superficie, tipos de elemento y en la parte inferior contiene las acciones definidas para el sellado de fisuras, para el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 114.

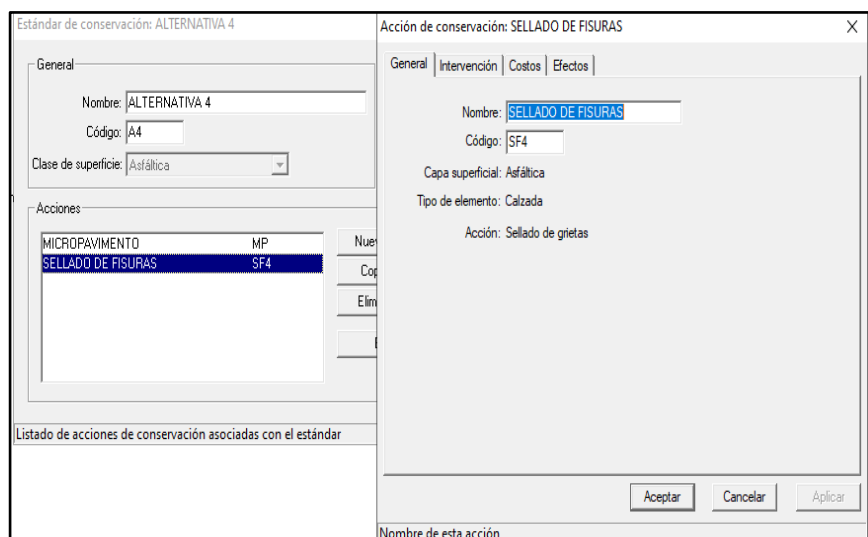


Figura N° 114: Estándar de conservación Sellado de Fisuras

Fuente: Software HDM-4

- General

En la ventana se observa la pestaña General, la cual nos muestra la capa superficial, el tipo de elemento y la acción a realizar del Tramo Puno – Ilave, tal como se muestra en la siguiente Figura N° 115.

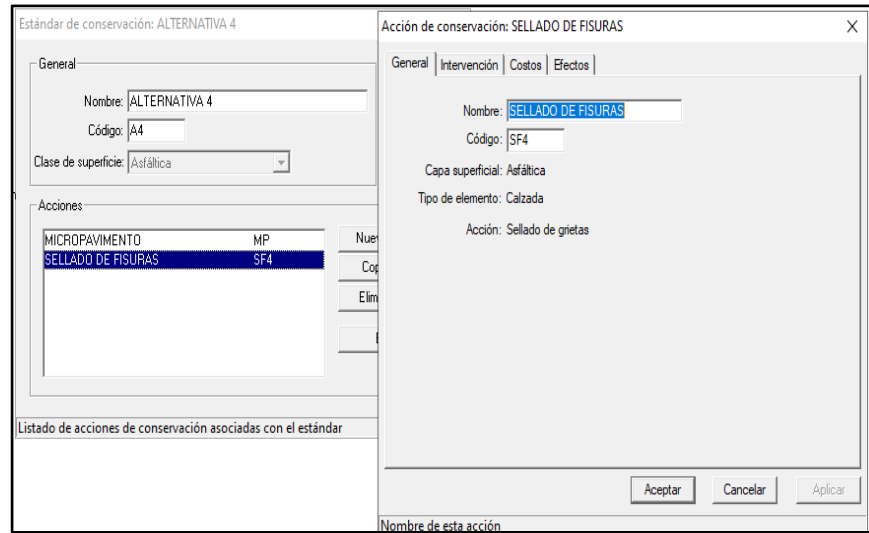


Figura N° 115: General

Fuente: Software HDM-4

- Intervención

En la ventana de Intervención, se observa el umbral para el Agrietamiento Total mayor al 5%, para un Sellado de Fisuras, para el Tramo Puno – Ilave, ver la Figura N° 116.

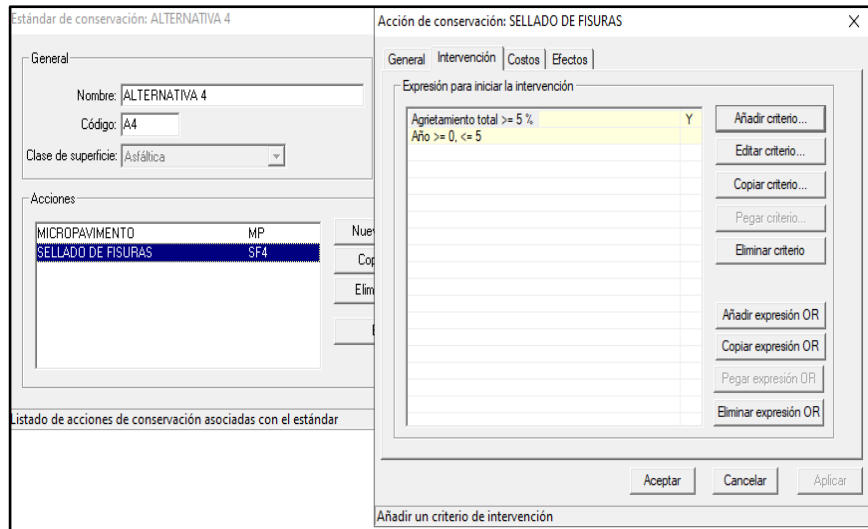


Figura N° 116: Intervención

Fuente: Software HDM-4

- Efectos

En la ventana Efectos, se muestra el porcentaje de deterioro reparado, el cual contiene un Agrietamiento Térmico y un Agrietamiento estructural ancho, ambos al 100%, para el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 117.

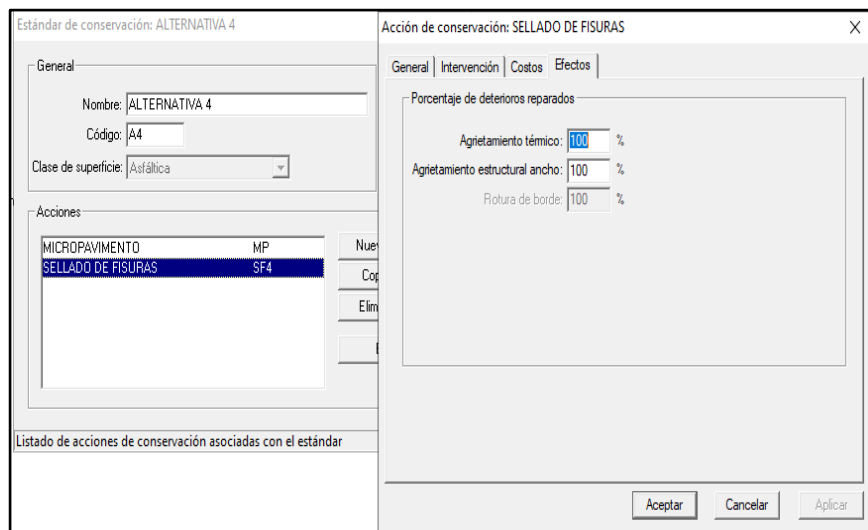


Figura N° 117: Efectos

Fuente: Software HDM-4

g) Estándar de conservación Alternativa Base – Sellado de fisuras

En la ventana se presenta el cuadro de diálogo Estándar de conservación Alternativa Base - Sellado de Fisuras y en la parte inferior contiene las acciones definidas para el sellado de fisuras, para el Tramo Puno – Ilave, ver Figura N° 118.



Figura N° 118: Estándar de conservación Alternativa Base – Sellado de fisuras

Fuente: Software HDM-4

- General

En la ventana se observa la pestaña General, la cual nos muestra la capa superficial, el tipo de elemento y la acción a realizar del Tramo Puno – Ilave, ver la Figura N° 119.

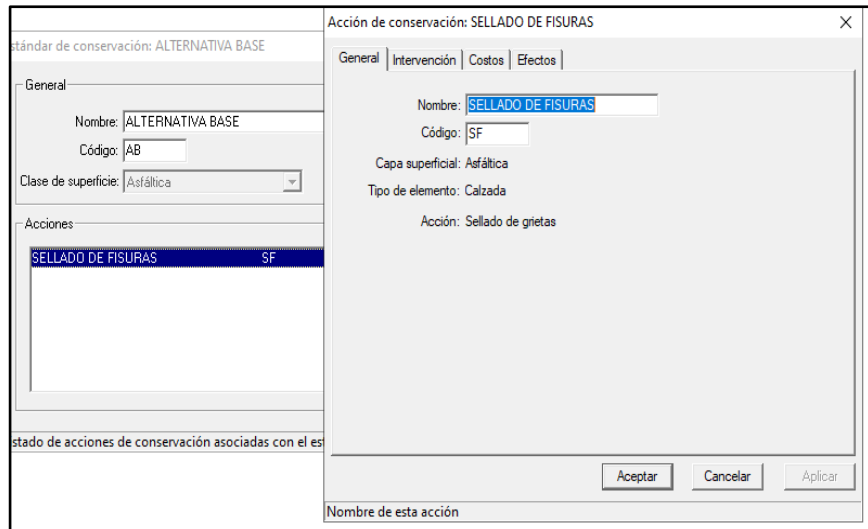


Figura N° 119: General

Fuente: Software HDM-4

- Intervención

En la ventana de Intervención, se observa el umbral para el Agrietamiento Total mayor al 10%, para un Sellado de Fisuras, para el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 120.

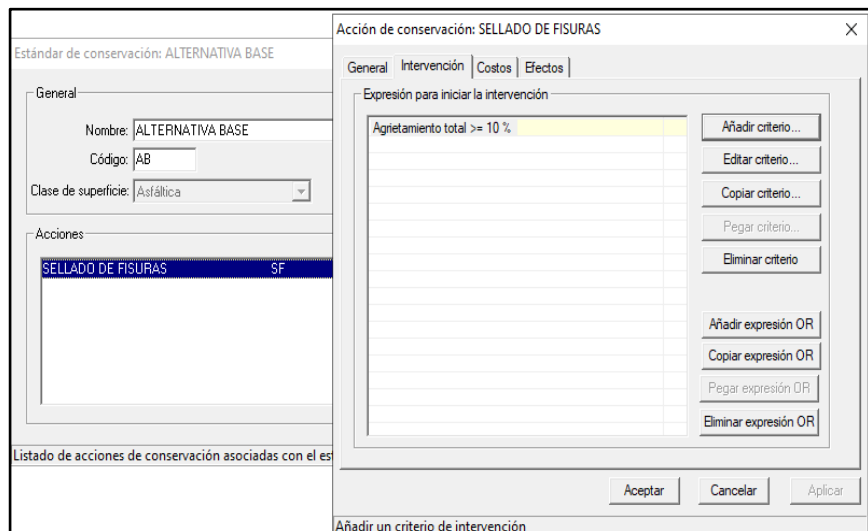


Figura N° 120: Intervención

Fuente: Software HDM-4

- Efectos

En la ventana de Efectos, se muestra el porcentaje de deterioro reparado, el cual contiene un Agrietamiento Térmico y un Agrietamiento estructural ancho, ambos al 100%, para el Tramo Puno – Ilave, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 121.

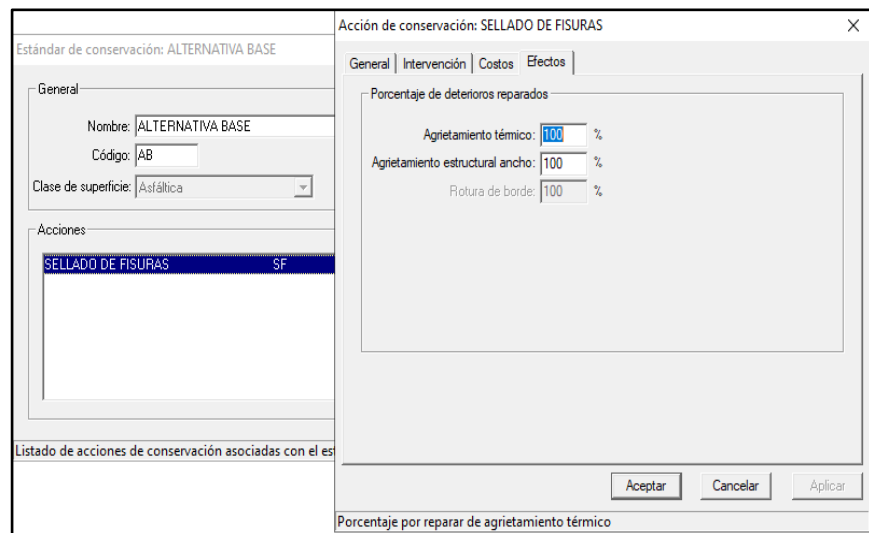


Figura N° 121: Efectos

Fuente: Software HDM-4

6.2.9 Creación de proyecto

Un proyecto de HDM-4 contiene información sobre tramos existentes, tramos nuevos, tipos de vehículos, tránsito y alternativas de inversión. La ventana del proyecto se muestra en la siguiente Figura N° 122.

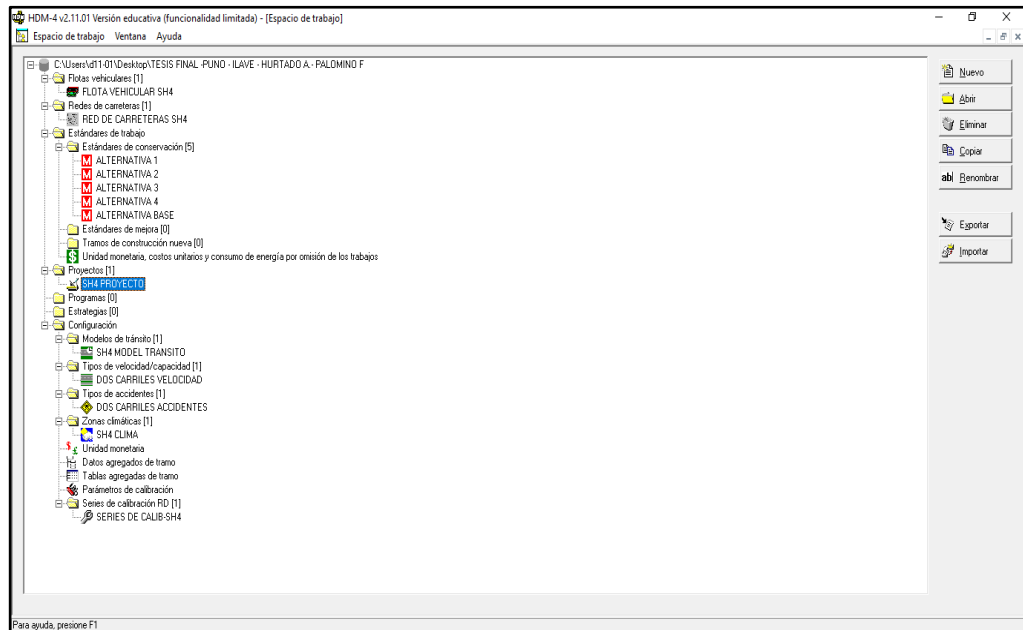


Figura N° 122: Ventana de proyecto

Fuente: Software HDM-4

6.2.9.1 Descripción general del proyecto

En la ventana Proyecto se muestra los cinco botones de flujo de trabajo ubicados en el costado izquierdo, estos botones guían a través del proceso de definición y ejecución del análisis del proyecto, el cual se muestra en la Figura N° 123.

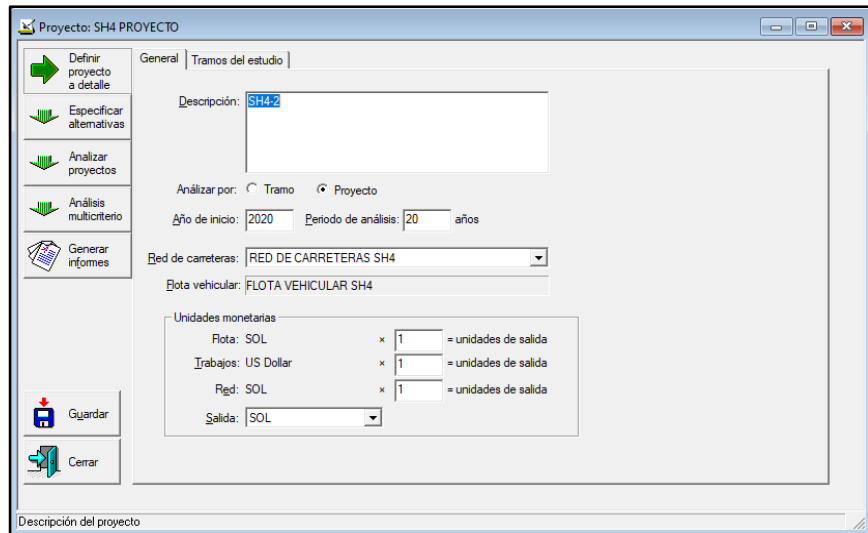


Figura N° 123: Descripción general del proyecto

Fuente: Software HDM-4

6.2.9.2 Definición de proyecto a detalle

En el botón definir proyecto a detalle se observan 2 pestañas. En la pestaña general, se especifica la red de carreteras que contiene el tramo homogéneo N°4 que se va a analizar, se especifica la información general del proyecto y el método de análisis; en tramos de estudio se selecciona el tramo específico para el análisis y asignación del crecimiento de tránsito, ver la Figura N° 124.

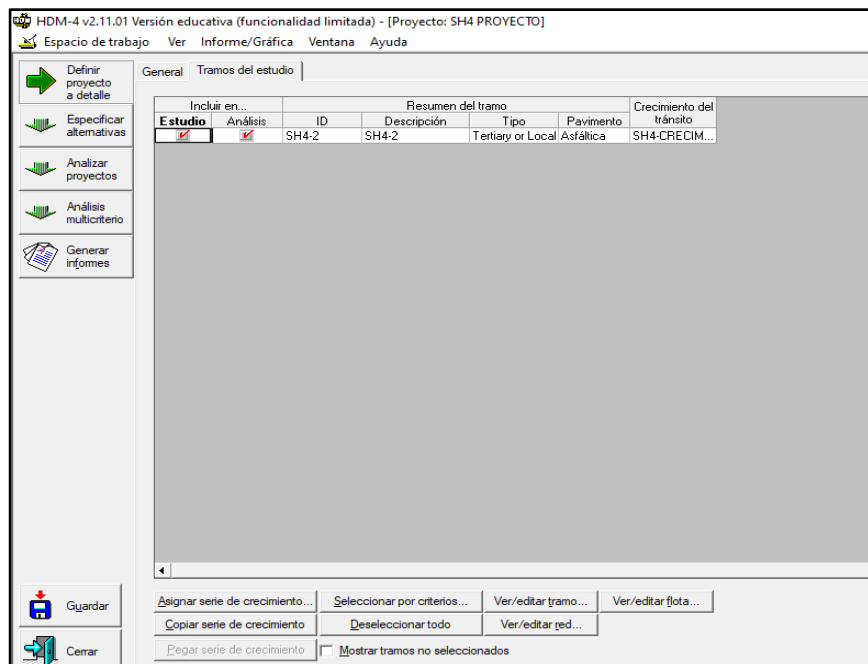


Figura N° 124: Definición de proyecto a detalle

Fuente: Software HDM-4

6.2.9.3 Especificación de alternativas

En el botón especificar alternativas se define las alternativas que se van a analizar, el cual se muestra en la siguiente Figura N° 125.

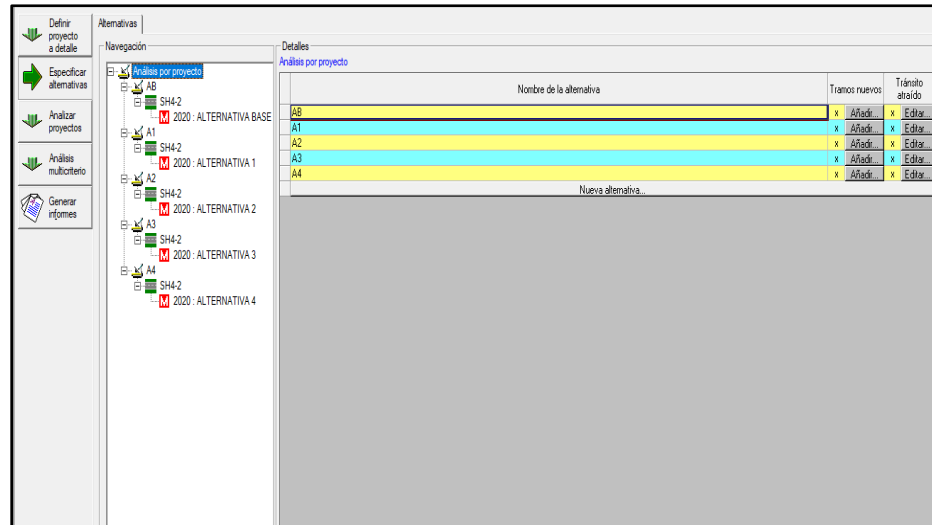


Figura N° 125: Especificación de alternativas

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa Base

La alternativa base la constituye el sellado de fisuras, tal como se muestra en la figura N°126.

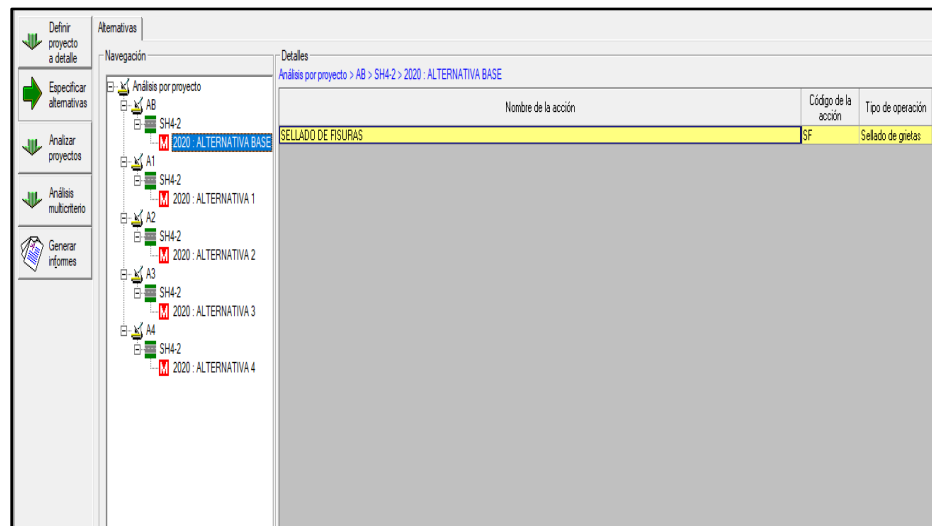


Figura N° 126: alternativa base

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 1

La alternativa 1 la constituye el recapado de 7.5 cm, tal como se muestra en la figura N°127.

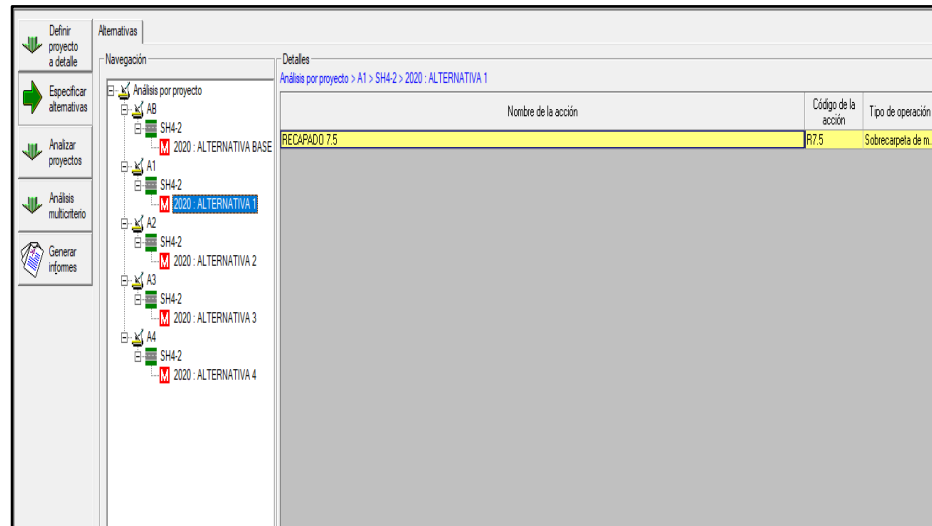


Figura N° 127: Alternativa 1

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 2

La alternativa 2 la constituye el sellado de fisuras, tal como se muestra en la figura N°128.

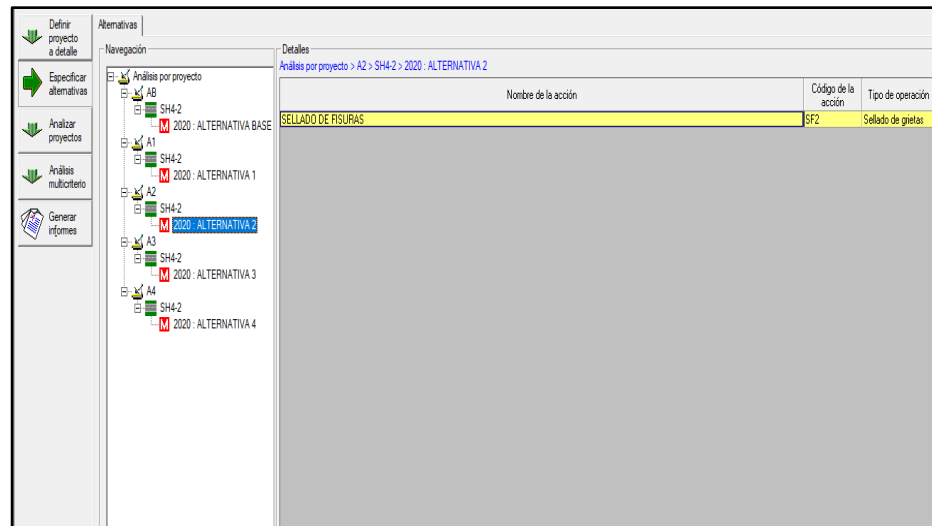
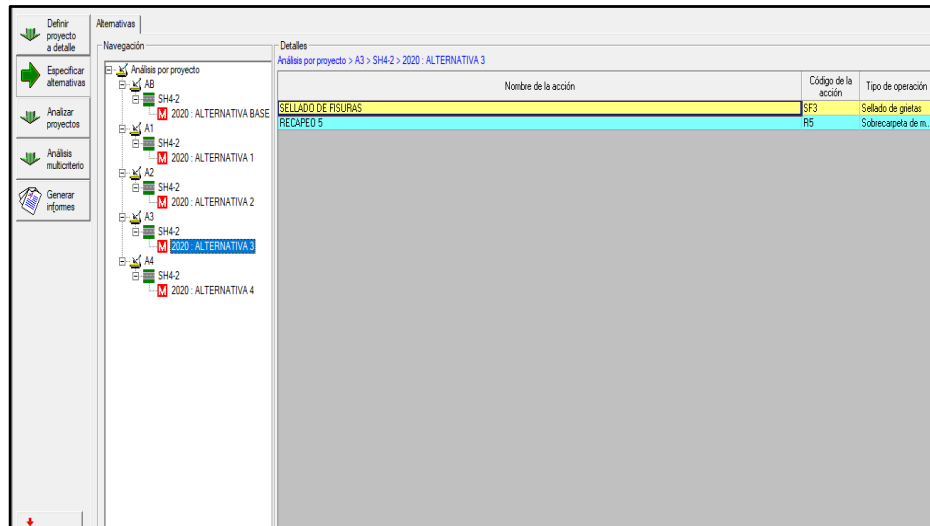


Figura N° 128: Alternativa 2

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 3

La alternativa 3 la constituye el sellado de fisuras y recapado de 5cm, tal como se muestra en la figura N°129.



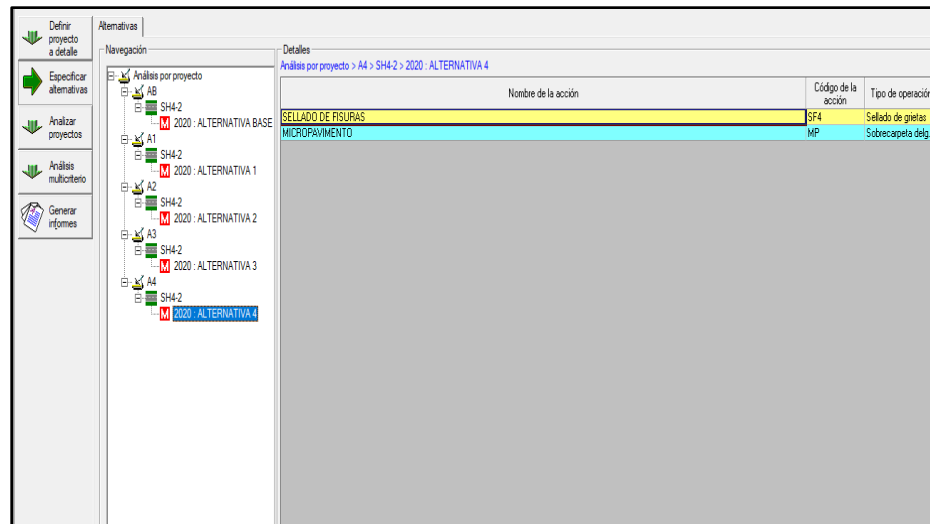
Nombre de la acción	Código de la acción	Tipo de operación
SELLADO DE FISURAS	SF3	Sellado de grietas
RECAPEO 5	R5	Sobrecarpeta de m...

Figura N° 129: Alternativa 3

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 4

La alternativa 4 la constituye el sellado de fisuras y micropavimento, tal como se muestra en la figura N°130.



Nombre de la acción	Código de la acción	Tipo de operación
SELLADO DE FISURAS	SF4	Sellado de grietas
MICROPAVIMENTO	MP	Sobrecarpeta delg...

Figura N° 130: Alternativa 4

Fuente: Software HDM-4

6.2.9.4 Análisis de proyecto

En el botón de flujo de trabajo de análisis de proyecto se realiza la configuración de la ejecución, sensibilidad y ejecución de la corrida.

En esta pestaña se personaliza la configuración de la corrida, tal como se muestra en la Figura N° 131.

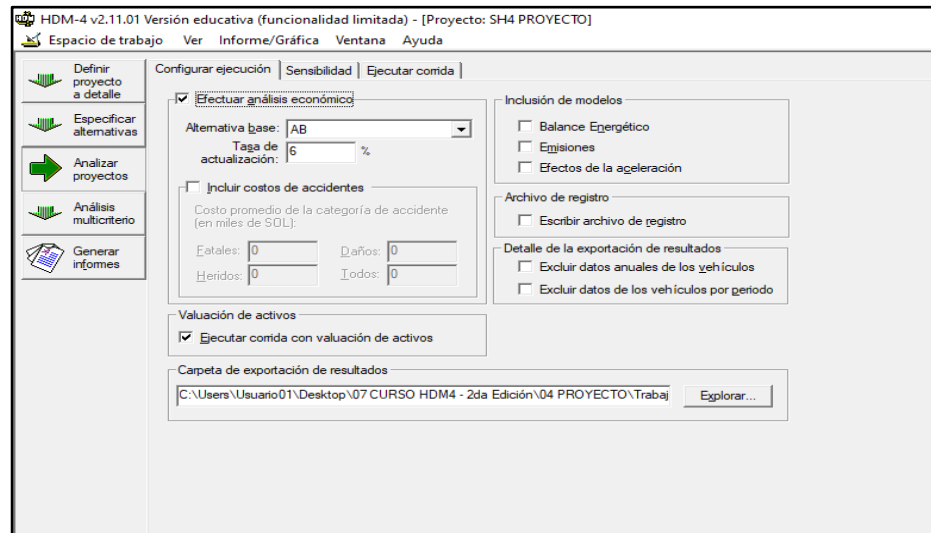


Figura N° 131: Análisis de proyecto

Fuente: Software HDM-4

- Pestaña sensibilidad

En esta pestaña se ejecuta el análisis de sensibilidad, tal como se muestra en la figura N° 132.

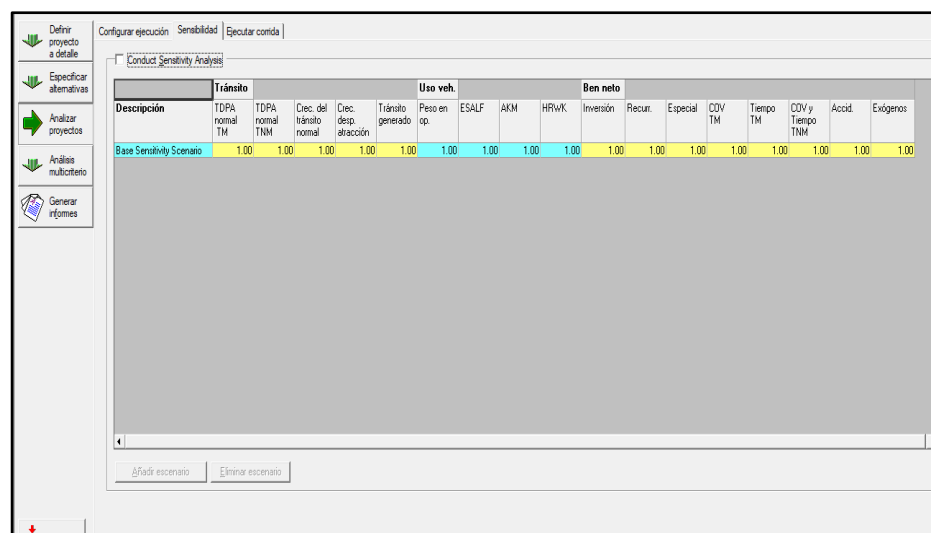


Figura N° 132: Pestaña sensibilidad

Fuente: Software HDM-4

- Pestaña ejecutar corrida

En esta pestaña se realiza la ejecución del análisis, tal como se observa en la figura N°133.

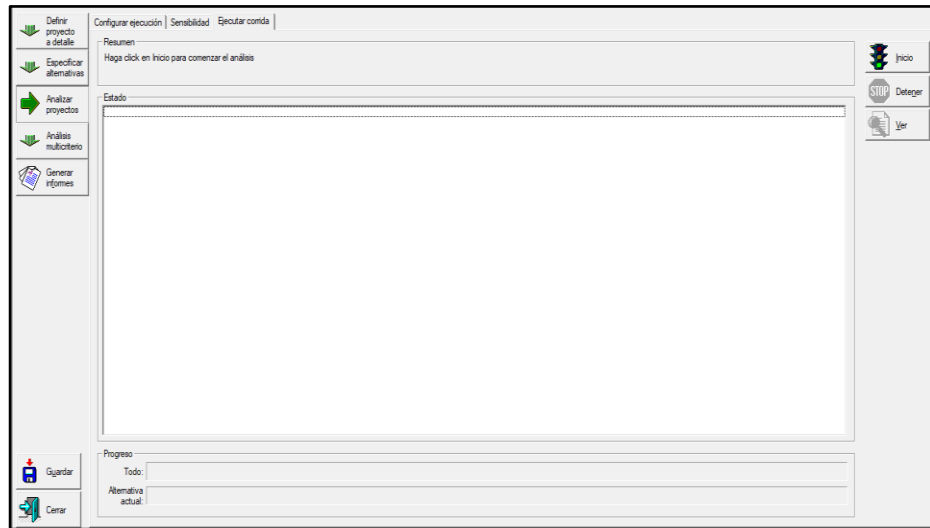


Figura N° 133: Ejecutar corrida

Fuente: Software HDM-4

6.2.9.5 Análisis multicriterio

En esta pestaña, se realiza la configuración de los parámetros requeridos para ejecutar un análisis multicriterio, tal como se muestra en la Figura N°134.

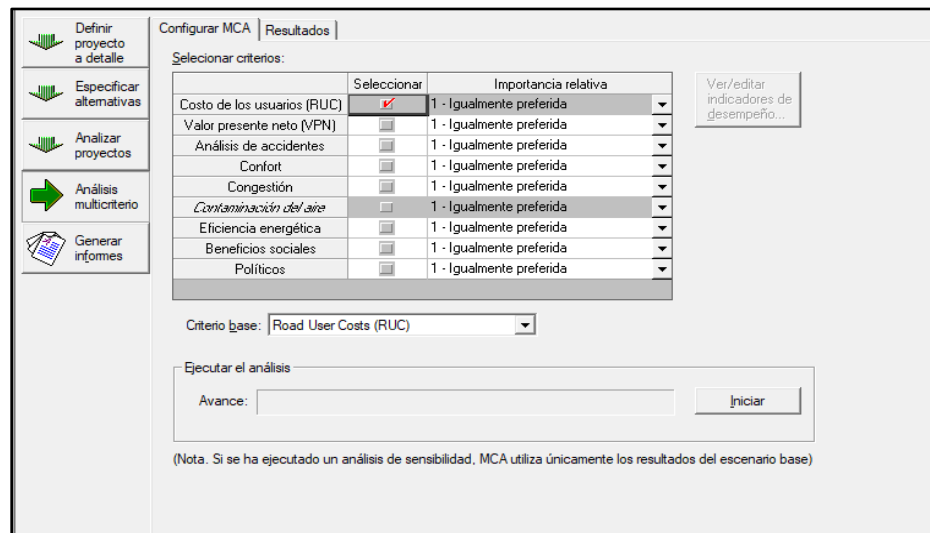


Figura N° 134: Análisis multicriterio

Fuente: Software HDM-4

6.2.9.6 Generar informes

En la pestaña seleccionar informes se generan los informes y examinan los resultados de la corrida, se muestra en la figura N°135.

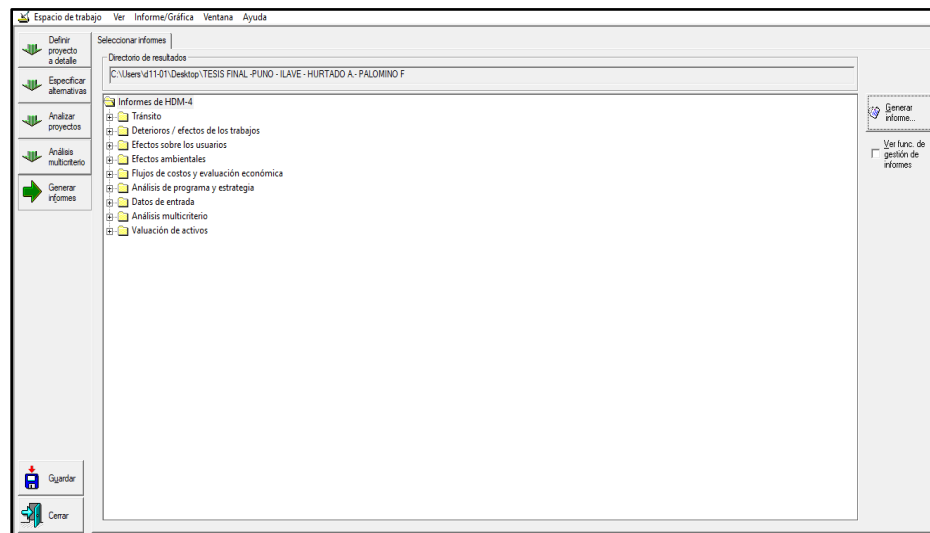


Figura N° 135: Generación de informes

Fuente: Software HDM-4

6.3 Presentación de Resultados

6.3.1 Tránsito diario promedio anual (TDPA) por alternativa

- Alternativa 1

Se muestra la gráfica de Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados de la alternativa 1 (Figura N° 136).

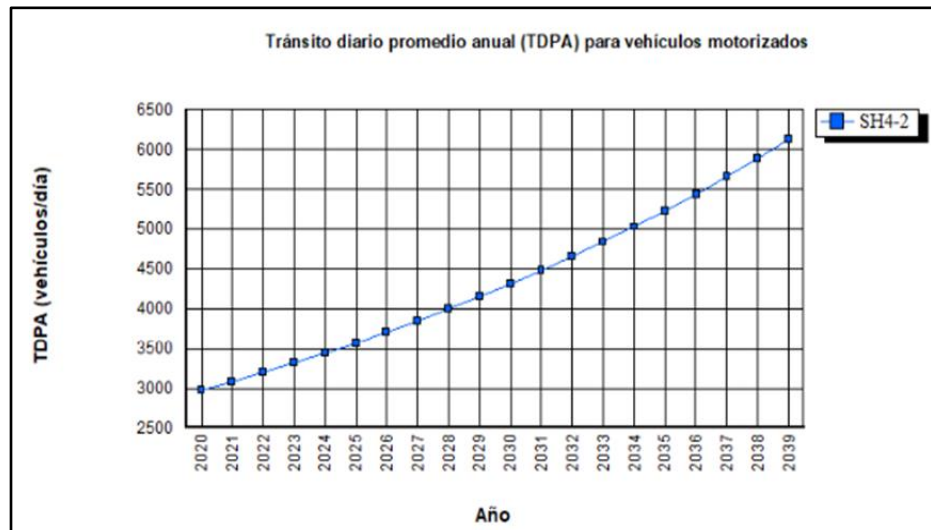


Figura N° 136: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa 1

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 2

Se muestra la gráfica de tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados de la alternativa 2 (Figura N° 137).

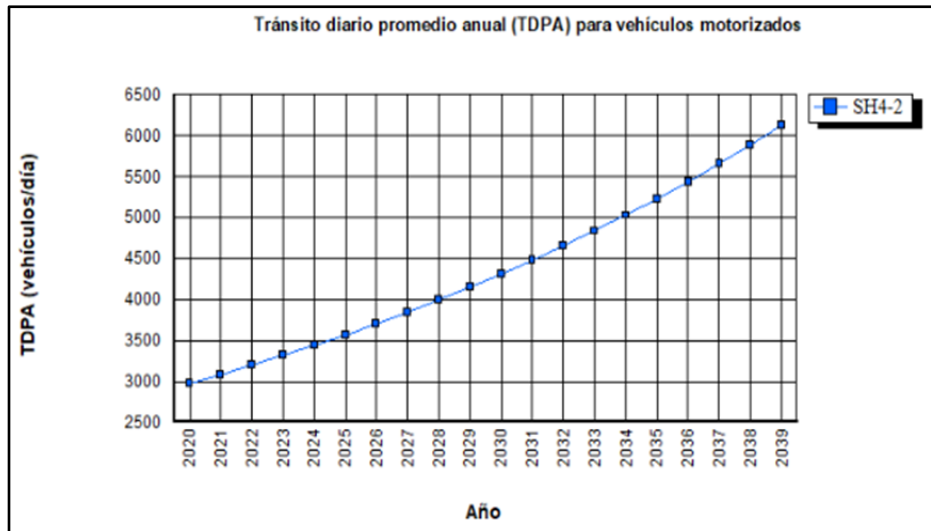


Figura N° 137: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa 2

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 3

Se muestra la gráfica de tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados de la alternativa 3 (Figura N° 138).

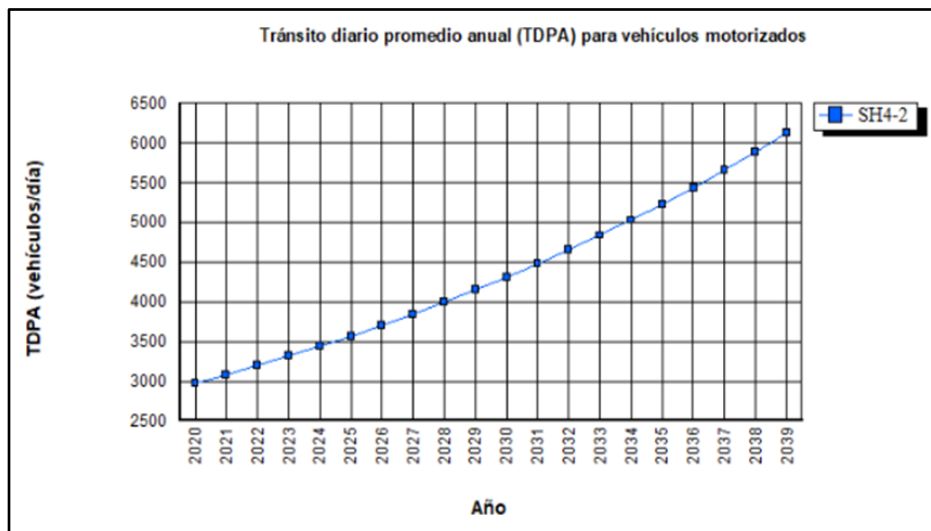


Figura N° 138: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa 3

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 4

Se muestra la gráfica de tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados de la alternativa 4 (Figura N° 139).

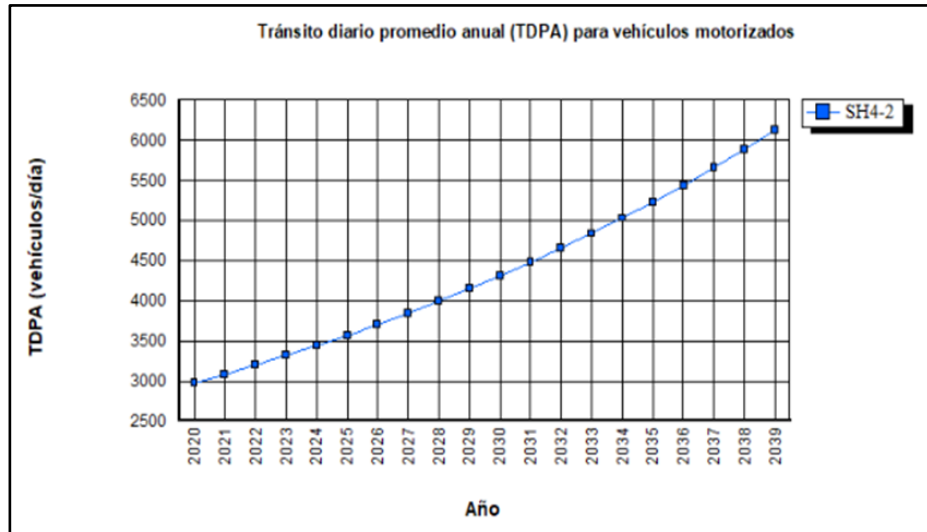


Figura N° 139: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa 4

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa Base

Se muestra la gráfica de tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados de la alternativa base (Figura N° 140).

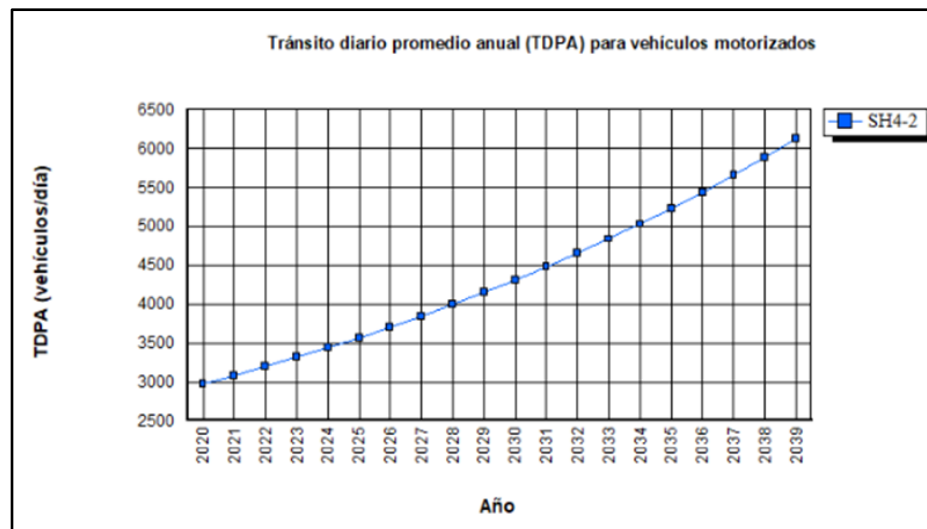


Figura N° 140: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados alternativa base

Fuente: Software HDM-4

6.3.2 Tránsito diario promedio anual (TDPA) por tramo

Se muestra la gráfica de tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados por tramo (Figura N° 141).

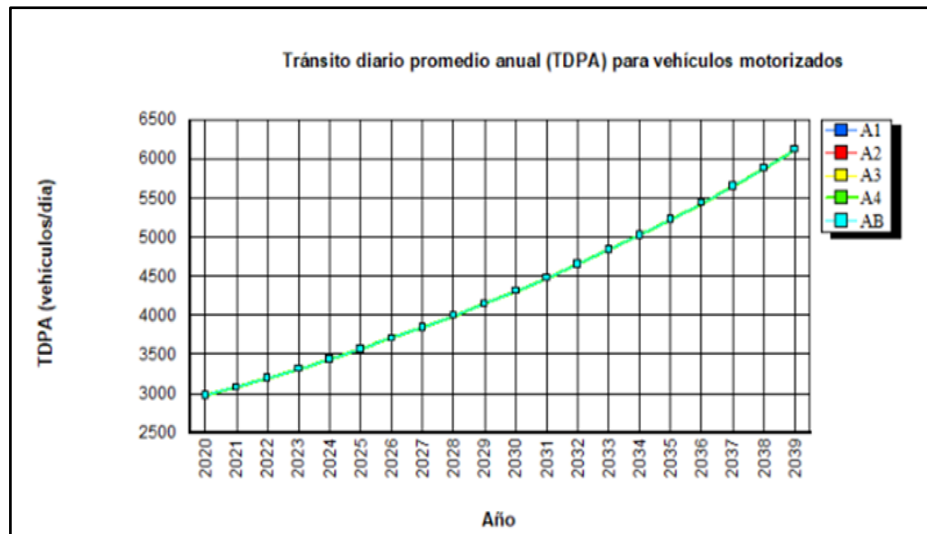


Figura N° 141: Tránsito diario promedio anual (TDPA) para vehículos motorizados por tramo

Fuente: Software HDM-4

6.3.3 Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por alternativa

- Alternativa 1

Se muestra la gráfica Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo de la alternativa 1 (Figura N° 142).



Figura N° 142: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa 1

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 2

Se muestra la gráfica Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo de la alternativa 2 (Figura N° 143).



Figura N° 143: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa 2

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 3

Se muestra la gráfica Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo de la alternativa 3 (Figura N° 144).



Figura N° 144: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa 3

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 4

Se muestra la gráfica Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo de la alternativa 4 (Figura N° 145).



Figura N° 145: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa 4

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa base

Se muestra la gráfica Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo de la alternativa base (Figura N° 146).



Figura N° 146: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo alternativa base

Fuente: Software HDM-4

6.3.4 Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por proyecto

Se muestra la gráfica progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por proyecto (Figura N° 147).

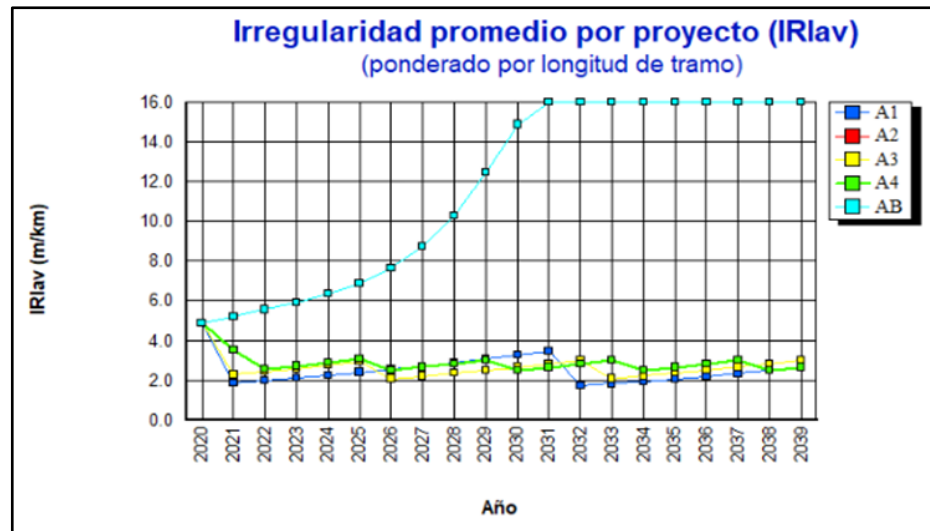


Figura N° 147: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por proyecto

Fuente: Software HDM-4

6.3.5 Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por tramo

Se muestra la gráfica progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por tramo (Figura N° 148).

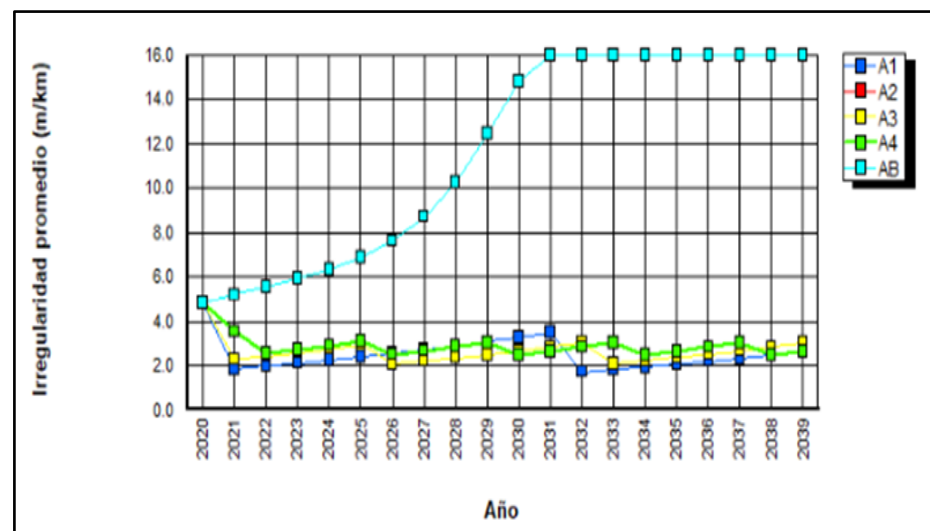


Figura N° 148: Progreso de la irregularidad promedio en el tiempo por tramo

Fuente: Software HDM-4

6.3.6 Resumen de la condición del pavimento

- Alternativa 1

Se muestra el resumen de la condición del pavimento aplicando la alternativa 1 (Figura N° 149).

Año	TDPA 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. estruct.
2020	2,971	0.13	5.02	4.86	1.09	1.99	3.07	0.10	0.00	5.68
2021	3,080	0.13	1.92	1.87	0.00	0.00	12.06	0.16	0.00	6.24
2022	3,195	0.13	2.05	1.99	0.00	0.00	25.03	0.30	0.00	6.24
2023	3,314	0.13	2.18	2.12	0.00	0.00	38.98	0.44	0.00	6.24
2024	3,439	0.13	2.32	2.25	0.00	0.00	54.01	0.58	0.00	6.24
2025	3,569	0.13	2.47	2.40	0.00	0.00	70.19	0.72	0.00	6.24
2026	3,704	0.14	2.63	2.55	0.00	0.00	87.62	0.86	0.00	6.24
2027	3,846	0.14	2.80	2.71	0.00	0.00	106.41	1.00	0.00	6.24
2028	3,993	0.14	2.98	2.89	0.00	0.00	126.68	1.14	0.00	6.23
2029	4,147	0.14	3.16	3.07	0.00	0.00	148.53	1.28	0.00	6.23
2030	4,308	0.14	3.37	3.26	0.50	0.00	172.12	1.42	0.00	6.23
2031	4,476	0.14	3.58	3.47	0.75	1.10	98.79	0.89	0.00	6.79
2032	4,651	0.15	1.77	1.72	0.00	0.00	27.49	0.35	0.00	7.35
2033	4,834	0.15	1.88	1.83	0.00	0.00	57.19	0.47	0.00	7.35
2034	5,025	0.15	2.01	1.94	0.00	0.00	89.28	0.59	0.00	7.34
2035	5,225	0.15	2.13	2.07	0.00	0.00	123.97	0.70	0.00	7.34
2036	5,433	0.15	2.27	2.20	0.00	0.00	161.48	0.82	0.00	7.34
2037	5,651	0.16	2.41	2.34	0.00	0.00	202.06	0.94	0.00	7.34
2038	5,878	0.16	2.57	2.49	0.00	0.00	245.96	1.06	0.00	7.34
2039	6,115	0.16	2.73	2.65	0.00	0.00	293.48	1.17	0.00	7.34

Figura N° 149: Resumen de la condición del pavimento alternativa 1

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 2

Se muestra el resumen de la condición del pavimento aplicando la alternativa 2 (Figura N° 150).

Año	TDPA TM	ESAL millones /ELANE	IRI ant. m/km	IRI prom. m/km	Agriet. struct. total %	an- dimientos %	Rotura de borde m2	f. de roderas mm	No. de baches	No. estruct.
2020	2,971	0.13	5.02	4.86	2.18	3.97	6.14	0.17	0.00	5.13
2021	3,080	0.13	5.36	5.19	5.99	9.63	30.26	0.35	0.00	5.11
2022	3,195	0.13	5.74	5.55	10.02	18.98	56.20	0.53	0.00	5.07
2023	3,314	0.13	6.12	5.91	12.97	32.90	84.12	0.70	0.00	5.05
2024	3,439	0.13	6.57	6.33	17.05	52.17	114.17	0.88	25.07	5.01
2025	3,569	0.13	7.19	6.86	22.46	69.90	146.54	1.07	73.08	4.96
2026	3,704	0.14	8.10	7.63	29.41	64.66	181.41	1.26	150.91	4.90
2027	3,846	0.14	9.38	8.72	38.09	55.26	219.01	1.45	250.00	4.83
2028	3,993	0.14	11.17	10.26	48.65	43.90	259.58	1.65	374.65	4.74
2029	4,147	0.14	13.72	12.43	59.55	32.10	303.42	1.86	532.89	4.63
2030	4,308	0.14	16.00	14.84	68.65	21.99	351.06	2.08	737.60	4.53
2031	4,476	0.14	16.00	15.98	75.98	13.46	403.57	2.31	1,009.34	4.45
2032	4,651	0.15	16.00	15.98	81.72	6.29	461.30	2.55	1,377.96	4.38
2033	4,834	0.15	16.00	15.98	86.07	0.22	523.67	2.79	1,886.97	4.32
2034	5,025	0.15	16.00	15.98	84.83	0.00	591.07	3.03	2,600.56	4.29
2035	5,225	0.15	16.00	15.99	82.38	0.00	663.92	3.28	3,620.04	4.29
2036	5,433	0.15	16.00	15.99	79.08	0.00	742.70	3.53	5,092.04	4.28
2037	5,651	0.16	16.00	15.99	75.56	0.00	827.93	3.78	6,600.00	4.27
2038	5,878	0.16	16.00	15.99	73.97	0.00	920.14	4.02	6,600.00	4.28
2039	6,115	0.16	16.00	15.99	72.47	0.00	1,019.94	4.27	6,600.00	4.29

Figura N° 150: Resumen de la condición del pavimento alternativa 2

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 3

Se muestra el resumen de la condición del pavimento aplicando la alternativa 3 (Figura N° 151).

Año	TDPA TM	ESAL millones /ELANE	IRI ant. m/km	IRI prom. m/km	Agriet. struct. total %	h- dimientos %	Rotura de borde m2	f. de roderas mm	No. de baches	No. estruct.
2020	2,971	0.13	5.02	4.86	1.09	1.99	3.07	0.10	0.00	5.50
2021	3,080	0.13	2.35	2.28	0.00	0.00	12.06	0.17	0.00	5.87
2022	3,195	0.13	2.51	2.43	0.00	0.00	25.03	0.32	0.00	5.87
2023	3,314	0.13	2.67	2.59	0.00	0.00	38.98	0.47	0.00	5.87
2024	3,439	0.13	2.84	2.75	0.00	0.00	54.01	0.62	0.00	5.87
2025	3,569	0.13	3.02	2.93	0.00	0.00	35.10	0.44	0.00	6.24
2026	3,704	0.14	2.14	2.08	0.00	0.00	17.43	0.25	0.00	6.61
2027	3,846	0.14	2.28	2.21	0.00	0.00	36.22	0.38	0.00	6.61
2028	3,993	0.14	2.42	2.35	0.00	0.00	56.49	0.51	0.00	6.61
2029	4,147	0.14	2.58	2.50	0.00	0.00	78.34	0.64	0.00	6.61
2030	4,308	0.14	2.74	2.66	0.00	0.00	101.93	0.77	0.00	6.61
2031	4,476	0.14	2.92	2.83	0.00	0.00	127.38	0.90	0.00	6.61
2032	4,651	0.15	3.10	3.01	0.00	0.00	77.44	0.60	0.00	6.97
2033	4,834	0.15	2.15	2.08	0.00	0.00	29.70	0.27	0.00	7.35
2034	5,025	0.15	2.29	2.22	0.00	0.00	61.79	0.39	0.00	7.35
2035	5,225	0.15	2.43	2.36	0.00	0.00	96.48	0.51	0.00	7.35
2036	5,433	0.15	2.58	2.51	0.00	0.00	133.99	0.62	0.00	7.34
2037	5,651	0.16	2.75	2.67	0.00	0.00	174.57	0.74	0.00	7.34
2038	5,878	0.16	2.92	2.83	0.00	0.00	218.47	0.86	0.00	7.34
2039	6,115	0.16	3.10	3.01	0.00	0.00	133.00	0.57	0.00	7.71

Figura N° 151: Resumen de la condición del pavimento alternativa 3

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa 4

Se muestra el resumen de la condición del pavimento aplicando la alternativa 4 (Figura N° 152).

Año	TDPA TM	ESAL millones /ELANE	IRI ant. m/km	IRI prom. m/km	Agriet. struct. total %	an- dimientos %	Rotura de borde m2	f. de roderas mm	No. de baches	No. estruct.
2020	2.971	0.13	5.02	4.86	1.09	1.99	3.07	0.10	0.00	5.23
2021	3.080	0.13	3.65	3.54	0.00	0.00	6.03	0.11	0.00	5.41
2022	3.195	0.13	2.64	2.56	0.00	0.00	12.97	0.19	0.00	5.50
2023	3.314	0.13	2.81	2.72	0.00	0.00	26.93	0.35	0.00	5.50
2024	3.439	0.13	2.99	2.90	0.00	0.00	41.95	0.51	0.00	5.50
2025	3.569	0.13	3.18	3.08	0.00	0.00	29.07	0.39	0.00	5.60
2026	3.704	0.14	2.59	2.51	0.00	0.00	17.43	0.26	0.00	5.69
2027	3.846	0.14	2.76	2.67	0.00	0.00	36.23	0.41	0.00	5.69
2028	3.993	0.14	2.93	2.84	0.00	0.00	56.49	0.57	0.00	5.69
2029	4.147	0.14	3.12	3.02	0.00	0.00	39.17	0.42	0.00	5.78
2030	4.308	0.14	2.58	2.50	0.00	0.00	23.58	0.26	0.00	5.87
2031	4.476	0.14	2.75	2.66	0.00	0.00	49.04	0.41	0.00	5.87
2032	4.651	0.15	2.92	2.83	0.00	0.00	76.53	0.56	0.00	5.87
2033	4.834	0.15	3.11	3.01	0.00	0.00	53.12	0.41	0.00	5.96
2034	5.025	0.15	2.58	2.50	0.00	0.00	32.09	0.25	0.00	6.06
2035	5.225	0.15	2.75	2.66	0.00	0.00	66.78	0.40	0.00	6.06
2036	5.433	0.15	2.92	2.83	0.00	0.00	104.29	0.55	0.00	6.06
2037	5.651	0.16	3.10	3.01	0.00	0.00	72.44	0.39	0.00	6.15
2038	5.878	0.16	2.58	2.50	0.00	0.00	43.90	0.25	0.00	6.24
2039	6.115	0.16	2.74	2.66	0.00	0.00	91.43	0.39	0.00	6.24

Figura N° 152: Resumen de la condición del pavimento alternativa 4

Fuente: Software HDM-4

- Alternativa base

Se muestra el resumen de la condición del pavimento aplicando la alternativa base (Figura N° 153).

Año	TDPA TM	ESAL millones /ELANE	IRI ant. m/km	IRI prom. m/km	Agriet. struct. total %	an- dimientos %	Rotura de borde m2	f. de roderas mm	No. de baches	No. estruct.
2020	2,971	0.13	5.02	4.86	2.18	3.97	6.14	0.17	0.00	5.13
2021	3,080	0.13	5.36	5.19	5.99	9.63	30.26	0.35	0.00	5.11
2022	3,195	0.13	5.74	5.55	10.02	18.98	56.20	0.53	0.00	5.07
2023	3,314	0.13	6.12	5.91	12.97	32.90	84.12	0.70	0.00	5.05
2024	3,439	0.13	6.57	6.33	17.05	52.17	114.17	0.88	25.07	5.01
2025	3,569	0.13	7.19	6.86	22.46	69.90	146.54	1.07	73.08	4.96
2026	3,704	0.14	8.10	7.63	29.41	64.66	181.41	1.26	150.91	4.90
2027	3,846	0.14	9.38	8.72	38.09	55.26	219.01	1.45	250.00	4.83
2028	3,993	0.14	11.17	10.26	48.65	43.90	259.58	1.65	374.65	4.74
2029	4,147	0.14	13.72	12.43	59.55	32.10	303.42	1.86	532.89	4.63
2030	4,308	0.14	16.00	14.84	68.65	21.99	351.06	2.08	737.60	4.53
2031	4,476	0.14	16.00	15.98	75.98	13.46	403.57	2.31	1,009.34	4.45
2032	4,651	0.15	16.00	15.98	81.72	6.29	461.30	2.55	1,377.96	4.38
2033	4,834	0.15	16.00	15.98	86.07	0.22	523.67	2.79	1,886.97	4.32
2034	5,025	0.15	16.00	15.98	84.83	0.00	591.07	3.03	2,600.56	4.29
2035	5,225	0.15	16.00	15.99	82.38	0.00	663.92	3.28	3,620.04	4.29
2036	5,433	0.15	16.00	15.99	79.08	0.00	742.70	3.53	5,092.04	4.28
2037	5,651	0.16	16.00	15.99	75.56	0.00	827.93	3.78	6,600.00	4.27
2038	5,878	0.16	16.00	15.99	73.97	0.00	920.14	4.02	6,600.00	4.28
2039	6,115	0.16	16.00	15.99	72.47	0.00	1,019.94	4.27	6,600.00	4.29

Figura N° 153: Resumen de la condición del pavimento alternativa base

Fuente: Software HDM-4

6.4 Análisis de Resultados

Tabla N° 22: Resumen de fallas del Sector Homogéneo N° 4

Agrietamiento		Parches	Deformaciones Superficiales		Peladuras	
Rotura de Fatiga	383.3 m ²					
Longitud Fuera Huella Vehicular	16.1 m	Parches/Deterioro de Parches	100.06 m ²	Ahuellamientos	63 mm	294.83 m ²
Transversal	0.9 m					

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

- Según lo analizado, los modelos que generalmente se utilizan en el análisis del deterioro del pavimento pueden clasificarse en dos grandes grupos: mecanicistas y empíricos, la presente tesis es un modelo empírico debido a que normalmente es un análisis estadístico del deterioro observado en tramos específicos y, por lo tanto, podrían no ser aplicables en condiciones distintas a las prevalecientes durante las observaciones.
- Según lo analizado los mantenimientos adecuados para el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero son:
 - Para El Sellado de Fisura, se recomienda un Mantenimiento Rutinario, con el fin de mantener las condiciones óptimas para la transitabilidad en la vía, este mantenimiento permitirá evitar la destrucción continua del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, mediante acciones y reparaciones preventivas de protección física de la estructura básica y de su superficie de rodadura.
 - Para el Recapado Asfáltico, se recomienda un Mantenimiento, debido a que es destinado a recuperar los deterioros de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y por fenómenos climáticos, también podrá contemplar la construcción de algunas obras de drenaje menores y de protección faltantes en la vía, este mantenimiento protegerá la estructura básica y la superficie del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, mediante la ejecución de actividades extensivas periódicas, tales como tratamientos superficiales.
- La estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico fue establecido a partir del estudio de las fallas y modelos de deterioro del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, las cuales son:

- Recapado asfáltico de 7.5 cm

El objetivo es recuperar las condiciones estructurales y superficiales del pavimento, para alcanzar una adecuada circulación vehicular con seguridad, comodidad, rapidez y economía. Por lo general, la colocación de recapeos asfálticos se realiza como parte de la conservación periódica del pavimento asfáltico, cuando éste se encuentra en un estado regular, el cual deberá ser determinado técnicamente a través de pruebas de auscultación. El estado regular de un pavimento asfáltico se ha alcanzado cuando el Índice de Rugosidad Internacional IRI, tiene un valor entre 2.8m/km y 4.0m/km.

- Sellado de fisuras

El objetivo del sello de fisuras es impedir la entrada de agua y la de materiales incompresibles como piedras o materiales duros dentro de ellas y, de esta manera, minimizar y/o retardar la formación de agrietamientos más severos como los de piel de cocodrilo y la posterior aparición de baches.

La actividad de sellado de fisuras debe ser realizada en el menor tiempo posible después de que ellas se han desarrollado y han hecho su aparición visible en el pavimento. Lo anterior requiere de inspecciones permanentes de la calzada con el fin de identificar su presencia lo más pronto posible después de su aparición, se dará especial atención, antes de las estaciones o periodos de lluvia.

4. Según lo desarrollado en la modelación del tramo homogéneo 4, aplicando la herramienta HDM-4, se identificaron los modelos de deterioro, a través de las curvas de deterioro de pavimentos utilizando el Índice de Regularidad Internacional (IRI), las cuales se observan en las figuras N° 142-146 que representan los progresos de la irregularidad promedio en el tiempo por alternativa de estrategia de mantenimiento.
5. Según la creación de estándares de conservación en el sector homogéneo 4, utilizando la herramienta HDM-4 y de acuerdo con las características de la carretera, se utilizó como criterio de intervención oportuna de mantenimiento el umbral de IRI de 3.5 m/km, a partir de este umbral se aplicaron las cuatro alternativas de mantenimiento, las cuales se observan en la Figura N° 147.
6. Según el análisis del deterioro del pavimento asfáltico, aplicando la herramienta HDM-4, se observa de la Figura N° 148 el progreso de la irregularidad promedio en el tiempo en el sector homogéneo 4, por alternativa de mantenimiento, de acuerdo con la mitigación del deterioro del pavimento asfáltico se determina que

la estrategia de mantenimiento óptima para el pavimento asfáltico es la alternativa 1 conformada por un recapado de 7.5 cm y sellado de fisuras.

6.5 Contrastación de hipótesis

La contrastación de la hipótesis se ejecutará mediante la comparación entre la hipótesis planteada y los resultados obtenidos del análisis de las 4 alternativas de estrategias de mantenimiento.

6.5.1 Hipótesis específica 1

Hipótesis alterna (H_{i1}): La estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, es determinada por medio del estudio de las fallas y modelos de deterioro del pavimento, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

Hipótesis nula (H_{o1}): La estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, no es determinada por medio del estudio de las fallas y modelos de deterioro del pavimento, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

- Se analizaron los modelos de deterioro del pavimento asfáltico, a partir del estudio de las fallas ubicadas en el sector homogéneo N°4 del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, obteniéndose la estrategia óptima de mantenimiento, la cual está definida por la alternativa 1 conformada por un recapado asfáltico de 7.5 cm y sellado de fisuras, tal como se observa en la Figura N° 142, la cual representa la estrategia óptima de mantenimiento y corresponde un tipo de intervención periódico que abarca la actividad de sellado de grietas; por lo tanto, se valida la hipótesis alterna H_{i1} y se rechaza la hipótesis nula H_{o1} .
- Según Hidalgo “El desarrollo del deterioro depende no solamente de los factores climáticos y de las cargas de tránsito sino también de la calidad o performance que presente el pavimento al inicio, esto a su vez está relacionado al buen diseño del pavimento y su buena construcción para lo que se requiere de una mayor inversión inicial, pero que convendrá a largo plazo al invertir menos en el mantenimiento o rehabilitación” (Hidalgo, 2006).

Por lo anterior, se valida la hipótesis alterna H_{i1} y se rechaza la hipótesis nula H_{o1} .

6.5.2 Hipótesis específica 2

Hipótesis alterna (H_{i2}): El análisis de las actividades de Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico del pavimento asfáltico permite recomendar la estrategia de mantenimiento aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

Hipótesis nula (H_{o2}): El análisis de las actividades de Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico del pavimento asfáltico no permite recomendar la estrategia de mantenimiento aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

- Se analizó el deterioro del pavimento asfáltico con la herramienta HDM-4, obteniéndose actividades de mantenimiento periódico y rutinario que representan las alternativas de mitigación y/o reducción del deterioro del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero y corresponde la intervención de mantenimiento periódico y rutinario; por lo tanto, se valida la hipótesis alterna H_{i2} y se rechaza la hipótesis nula H_{o2} .
- Según Chávez “Las alternativas de conservación a emplear dependerá de las características de la vía y de la disponibilidad presupuestal con que cuenta la entidad encargada del mantenimiento de la vía” (Chávez, 2008).

Por lo anterior, se valida la hipótesis alterna H_{i2} y se rechaza la hipótesis nula H_{o2} .

6.5.3 Hipótesis específica 3

Hipótesis alterna (H_{i3}): La aplicación del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4), determina la Estrategia de Mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

Hipótesis nula (H_{o3}): La aplicación del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4), no determina la Estrategia de Mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

- Se realizó la aplicación del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4) en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, obteniéndose la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico la alternativa 1 conformado por un recapado asfáltico de 7.5 cm y sellado de fisuras que representa la alternativa de mitigación del deterioro del pavimento y le corresponde la intervención periódica y rutinaria; por lo tanto, se valida la hipótesis alterna H_1 y se rechaza la hipótesis nula H_0 .
- Según Santana “Los beneficios de tener un sistema de gestión de pavimentos es desarrollar un instrumento que ayuda a tomar decisiones basándose en los modelos matemáticos que dan a conocer el comportamiento del pavimento y son expresados en curvas de deterioro, así mismo, permite planificar las actividades de mantenimiento previendo los costos asociados, por lo que se tiene presupuestos anticipados para el mantenimiento del pavimento” (Santana, 2020).

Por lo anterior, se valida la hipótesis alterna H_{13} y se rechaza la hipótesis nula H_{03} .

6.5.4 Hipótesis específica 4

Hipótesis alterna (H_{i4}): La identificación de los modelos de la herramienta HDM-4, determina el análisis de la Estrategia de Mantenimiento del pavimento asfáltico, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

Hipótesis nula (H_{o4}): La identificación de los modelos de la herramienta HDM-4, no determina el análisis de la Estrategia de Mantenimiento del pavimento asfáltico, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

- Se realizó la identificación de los modelos de la herramienta HDM-4 en el sector homogéneo N°4 del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, obteniéndose la estrategia de mantenimiento del pavimento asfáltico de recapado asfáltico de 7.5 cm y sellados de fisuras, que representa la estrategia óptima de mantenimiento y corresponde un tipo de intervención periódico y rutinario; por lo tanto, se valida la hipótesis alterna H_1 y se rechaza la hipótesis nula H_0 .

- Según Tenorio “Los modelos de predicción de deterioro o modelos de comportamiento de pavimentos se han desarrollado a partir de la necesidad de encontrar herramientas que permitan programar actividades de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos y en consecuencia asignar recursos de la manera más precisa y rentable” (Tenorio, 2005).

Por lo anterior, se valida la hipótesis alterna H_{i4} y se rechaza la hipótesis nula H_{o4} .

6.5.5 Hipótesis específica 5

Hipótesis alterna (H_{i5}): Las intervenciones oportunas de mantenimiento prolonga la rehabilitación del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

Hipótesis nula (H_{o5}): Las intervenciones oportunas de mantenimiento no prolonga la rehabilitación del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

- Se analizó la aplicación de intervenciones de mantenimiento en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, obteniéndose proyecciones de reducción del deterioro del pavimento asfáltico, empleando la alternativa 1 como estrategia de mantenimiento, que representa la alternativa óptima en el tramo homogéneo N° 4 en estudio y le corresponde la intervención de mantenimiento de recapado asfáltico de 7.5 cm y sellados de fisuras; por lo tanto, se valida la hipótesis alterna H_1 y se rechaza la hipótesis nula H_0 .
- Según Giraldo “La conservación preventiva de las carreteras para evitar su deterioro acelerado al prolongar la vida útil en buen estado, evita cuantiosas pérdidas de tiempo y dinero” (Giraldo, 2015).

Por lo anterior, se valida la hipótesis alterna H_{i5} y se rechaza la hipótesis nula H_{o5} .

6.5.6 Hipótesis general

Hipótesis alterna (H_1): Proyectando el deterioro del pavimento asfáltico se determina la estrategia de mantenimiento óptima conformada por un recapado de 7.5 cm y sellado de fisuras en el pavimento asfáltico, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

Hipótesis nula (H_0): Proyectando el deterioro del pavimento asfáltico no se determina la estrategia de mantenimiento óptima conformada por un recapado de 7.5 cm y sellado de fisuras en el pavimento asfáltico, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.

- Se analizó la proyección del deterioro del pavimento asfáltico con el software HDM-4, a partir del estudio de la condición del pavimento asfáltico en el sector homogéneo N°4 del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, obteniéndose la estrategia de mantenimiento óptima de recapado de 7.5 cm y sellado de fisuras, que representa un tipo de intervención periódico y rutinario; por lo tanto, se valida la hipótesis alterna H_1 y se rechaza la hipótesis nula H_0 .
- Según Hidalgo “El desarrollo del deterioro depende no solamente de los factores climáticos y de las cargas de tránsito sino también de la calidad o performance que presente el pavimento al inicio, esto a su vez está relacionado al buen diseño del pavimento y su buena construcción para lo que se requiere de una mayor inversión inicial, pero que convendrá a largo plazo al invertir menos en el mantenimiento o rehabilitación, el conocimiento de la condición de deterioro del pavimento, es decir la severidad y cantidad de éste, permite aplicar políticas eficientes a lo largo de la vida de servicio del pavimento” (Hidalgo, 2006).

Por lo anterior, se valida la hipótesis general H_1 y se rechaza la hipótesis nula H_0 .

6.6 Discusión de resultados

Tabla N° 23: Discusión de resultados

Hipótesis Planteadas	Marco teórico	Antecedentes Nacionales	Resultados
<p>Hipótesis específica 1:</p> <p>La estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, es determinada por medio del estudio de las fallas y modelos de deterioro del pavimento, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.</p>	<p>Los deterioros/fallas de los pavimentos asfálticos pueden clasificarse en dos grandes categorías: los deterioros / fallas estructurales y los deterioros/fallas superficiales. El manual de Carreteras o Conservación Vial - 2018, clasifica los deterioros de pavimento asfáltico según se observa en la Fig. N° 24.</p>	<p>“El desarrollo del deterioro depende solamente de los factores climáticos y de las cargas de tránsito sino también de la calidad o performance que presente el pavimento al inicio, esto a su vez está relacionado al buen diseño del pavimento y su buena construcción para lo que se requiere de una mayor inversión inicial, pero que convendrá a largo plazo al invertir menos en el mantenimiento o rehabilitación” (Hidalgo, 2006).</p>	<p>La estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico fue establecida a partir del estudio de las fallas y modelos de deterioro del pavimento comprendido en el sector homogéneo 4 de la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno – Ilave.</p>
<p>Hipótesis específica 2:</p> <p>El análisis de las actividades de Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico del pavimento asfáltico permite recomendar la estrategia de mantenimiento</p>	<p>Las estrategias de mantenimiento se dividen en el Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial en dos grupos: Conservación Rutinaria y Conservación periódica</p>	<p>“Las alternativas de conservación a emplear dependerá de las características de la vía y de la disponibilidad presupuestal con que cuenta la entidad encargada del mantenimiento de la vía” (Chávez, 2008).</p>	<p>La aplicación de la metodología del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4) determinó la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico conformado por un recapado asfáltico de 7.5 cm y sellado de fisuras.</p>

Hipótesis Planteadas	Marco teórico	Antecedentes Nacionales	Resultados
aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.			
Hipótesis específica 3: La aplicación del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4), determina la Estrategia de Mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.	La Herramienta de desarrollo y gestión de carreteras (HDM-4), supera las evaluaciones tradicionales de los proyectos y proporciona un potente sistema para el análisis de la gestión de carreteras y de las alternativas de inversión.	“Los beneficios de tener un sistema de gestión de pavimentos es desarrollar un instrumento que ayuda a tomar decisiones basándose en los modelos matemáticos que dan a conocer el comportamiento del pavimento y son expresados en curvas de deterioro, así mismo, permite planificar las actividades de mantenimiento previendo los costos asociados, por lo que se tiene presupuestos anticipados para el mantenimiento del pavimento” (Santana, 2020).	Los mantenimientos periódicos y rutinarios conformados por un recapado asfáltico de 7.5 cm y sellado de fisuras fueron el resultado de la identificación de los modelos de deterioro del software HDM-4, a través del indicador del índice de Regularidad Internacional.
Hipótesis específica 4: Las intervenciones oportunas de mantenimiento prolonga la rehabilitación del pavimento asfáltico	El Manual del HDM-4, establece ocho diferentes modelos de deterioro: Fisuración, Desprendimiento de áridos, Bacheo, Rotura de borde, Profundidad de la	“Los modelos de predicción de deterioro o modelos de comportamiento de pavimentos se han desarrollado a partir de la necesidad de encontrar herramientas	Las intervenciones oportunas de mantenimiento rutinario y periódico está comprendido para el período de 10 años, las cuales permiten mitigar el deterioro

Hipótesis Planteadas	Marco teórico	Antecedentes Nacionales	Resultados
en el tramo Puno – llave de la Carretera Puno – Desaguadero.	rodadura (Ahuellamiento), Regularidad, Profundidad de la textura, Coeficiente de rozamiento transversal, tal como se detalla en el Ítem 2.3.17. del Capítulo II.	que permitan programar actividades de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos y en consecuencia asignar recursos de la manera más precisa y rentable” (Tenorio, 2005).	acelerado, y de este modo, prolongar la vida útil del pavimento y posponer la rehabilitación de la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno – llave.
Hipótesis específica 5: Las intervenciones oportunas de mantenimiento prolonga la rehabilitación del pavimento asfáltico en el tramo Puno – llave de la Carretera Puno – Desaguadero.	El estado general a largo plazo de los pavimentos está en función del conjunto de estándares de mejora o conservación aplicados, tal como se observa en la Figura N° 25: Concepto del análisis del ciclo de vida en HDM-4 Fuente: Manual de HDM-4	“La conservación preventiva de las carreteras para evitar su deterioro acelerado al prolongar la vida útil en buen estado, evita cuantiosas pérdidas de tiempo y dinero” (Giraldo, 2015).	Para el desarrollo de la modelación de la Carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno – llave, utilizando la herramienta HDM-4, se requirió la identificación de los parámetros superficiales, funcionales del pavimento asfáltico, obteniendo la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento.
Hipótesis general: Proyectando el deterioro del pavimento asfáltico se determina la estrategia de mantenimiento óptima conformada por un recapado de 7.5 cm y sellado de fisuras en el	El análisis de HDM-4 se basa en el concepto del análisis del ciclo de vida del pavimento, el cual se aplica para predecir a lo largo del ciclo de vida del pavimento, los elementos: deterioro de la carretera La tasa de	“El desarrollo del deterioro depende no solamente de los factores climáticos y de las cargas de tránsito sino también de la calidad o performance que presente el pavimento al inicio, esto a su vez está relacionado al buen	En base a la modelación desarrollada con el software HDM-4, se determinó la estrategia de mantenimiento óptima, la cual está definida por la alternativa 2 conformada por un recapado asfáltico de 7.5 cm y sellado de

Hipótesis Planteadas	Marco teórico	Antecedentes Nacionales	Resultados
pavimento asfáltico, aplicando la herramienta HDM-4, en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.	deterioro del pavimento directamente de los estándares de conservación que se utilizan para reparar defectos en la superficie del pavimento o para conservar la integridad estructural del pavimento la aplicación de dichos estándares le permite a la carretera soportar el tránsito para el cual fue diseñada.	del diseño del pavimento y su buena construcción para lo que se requiere de una mayor inversión inicial, pero que convendrá a largo plazo al invertir menos en el mantenimiento o rehabilitación, el conocimiento de la condición de deterioro del pavimento, es decir la severidad y cantidad de éste, permite aplicar políticas eficientes a lo largo de la vida de servicio del pavimento” (Hidalgo, 2006).	fisuras, las cuales fueron el resultado del análisis de la proyección del deterioro del pavimento asfáltico y tráfico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno – Ilave.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la presente investigación, fueron obtenidos del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero. En el caso de la herramienta utilizada fue la herramienta HDM-4, las técnicas empleadas permitieron determinar la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, certificando la validez de los resultados que se consiguieron.

CONCLUSIONES

1. Se ha determinado la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico, la cual está definida por la alternativa 1 conformada por un recapado asfáltico de 7.5 cm y sellado de fisuras, la cual fue el resultado del análisis de la proyección del deterioro del pavimento asfáltico y tráfico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno - Desaguadero, en base a la modelación desarrollada con el software HDM-4.
2. Se ha determinado la estrategia óptima de mantenimiento del pavimento asfáltico definida por la alternativa 1 conformada por un recapado asfáltico de 7.5 cm y sellado de fisuras, en base al estudio de las fallas y modelos de deterioro del pavimento comprendido en el sector homogéneo 4 en el tramo: Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, mediante la aplicación de la herramienta HDM-4.
3. En base al análisis de las actividades de mantenimientos periódicos y rutinarios del pavimento asfáltico comprendido en el sector homogéneo 4 en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno - Desaguadero, se determinó la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento definida por la alternativa 1 conformada por un recapado asfáltico de 7.5 cm y sellado de fisuras, mediante la aplicación de la herramienta HDM-4.
4. Se ha determinado la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero, por medio de la aplicación de la metodología del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4).
5. El análisis de las cuatro estrategias de mantenimiento del pavimento asfáltico del sector homogéneo N°4 en estudio del tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno - Desaguadero, fue desarrollado a partir de la identificación de los modelos de deterioro del HDM-4, obteniendo como resultado la estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico.
6. Se han determinado las intervenciones oportunas de mantenimiento rutinario y periódico del pavimento asfáltico, las cuales permiten mitigar para un período de 10 años, el deterioro acelerado del pavimento asfáltico, obteniendo como resultado la prolongación de la vida útil del pavimento en el tramo Puno – Ilave de la Carretera Puno – Desaguadero.
7. La aplicación del modelo HDM-4 determina la proyección de la condición del pavimento a lo largo del tiempo en función de la condición actual del pavimento a través de sus características estructurales y factores externos al pavimento.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la utilización del manual de carreteras de mantenimiento o conservación vial del Ministerio de Transportes de Perú para determinar la estrategia de mantenimiento óptima para el tramo: Puno – Ilave de la Carretera Puno - Desaguadero, asimismo analizar el manual del software HDM-4, para realizar la configuración y parametrización de las variables intervenidas en el pavimento asfáltico.
2. Se recomienda el uso de la aplicación del software HDM-4 en los proyectos viales de Perú para analizar el deterioro de los pavimentos asfálticos en su ciclo de vida y establecer un conjunto de alternativas de conservación que permitan al usuario determinar la estrategia óptima para la carretera en estudio.
3. Se recomienda la utilización del software HDM-4 para la optimización de los recursos económicos en la determinación de las estrategias de mantenimiento y rehabilitación del pavimento asfáltico, permitiendo favorecer la economía del país, debido a que, el mercado interno necesita una mejor infraestructura vial que sea eficiente, segura y sostenible que permita facilitar el intercambio de servicios en el territorio nacional.
4. Se recomienda la incorporación de una base de datos que contenga toda la información de inventarios y climas de las carreteras de Perú para la aplicación del software HDM-4, permitiendo establecer estrategias de mantenimiento de manera más rápida, rentable y representativo.
5. Se recomienda ingresar los modelos del HDM-4, referentes al deterioro y efectos de los trabajos, es decir, los efectos de los usuarios, seguridad vial; para determinar los siguientes indicadores, IRI, flujo de costos administrativos, flujo de costos de operación vehicular, flujo de costos de tiempo de viaje y costos de accidentabilidad.
6. Se recomienda finalmente estudiar los modelos de deterioro del pavimento asfáltico en la gestión de los proyectos viales para intervenir oportunamente la carretera, permitiendo así la prolongación de la vida útil del activo vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos.
- ASTM D 6433-07. (2007). Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. Estados Unidos.
- Chang, C. (2018). XVII Congreso Internacional de Infraestructura Vial. Herramientas Modernas para el Diseño de Pavimentos de Concreto. Lima.
- Chávez, C. M. (2008). Propuesta de planificación de un sistema de gestión de pavimentos. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/1987>
- Correa, M. A., & Del Carpio, L. G. (2019). Evaluación PCI y propuesta de intervención para el pavimento flexible del jirón Los Incas de Piura . Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/4162>
- Gamboa, G. A. (2019). Análisis técnico del deterioro del pavimento de las concesiones viales de Colombia conforme a los parámetros de evaluación establecidos en los contratos de concesión para la evaluación de modelos del comportamiento de los pavimentos. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/16470>
- Giraldo, A. F. (2015). Control de gestión y preservación vial, caso: corredor vial “Santa-Yuracmarca-Sihuashuacrachuco-San Pedro de Chonta-Uchiza-EMP. PE 5N y Puente Huarochiri-Huallanca-Molinopampa”, Tramo: Puente Huarochiri – Sihuas . Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2401>
- HDMGlobal. (2013). Manual de HDM-4. Obtenido de www.hdmglobal.com
- Hernández, R. (2014). Metodología de la investigación. McGraw Hill.
- Hidalgo, J. C. (2006). Evaluación del sistema de gestión de pavimentos flexibles en el Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/561355>
- Huamán, N. W. (2011). La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/819>

- Lagos, R. (2019). Calibración del modelo de progresión del índice de regularidad internacional con HDM-4 para el Proyecto Vial Conococha –Cátac. Obtenido de <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/9634>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras o Conservación Vial. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4877.pdf
- Miranda, R. J. (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- Montoya, J. E. (2007). Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos con Herramienta HDM-4 para la Red Vial Nro. 5 Tramo Ancón - Huacho - Pativilca. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/137>
- MTC. (2014). MANUAL DE CARRETERAS SUELOS GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- Núñez, C., & Pérez, I. (2005). El modelo HDM-4: descripción y posibilidades de aplicación dentro de un sistema de gestión de carreteras. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2183/17777>
- Pérez, M. B. (2013). Análisis de evaluación técnica y económica del proyecto vial Comitancillo- San Lorenzo-Santa Irene, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos utilizando el modelo de estandares de conservación y diseño de carreteras (HDM).
- Picado, G. (2016). Desarrollo de curvas de deterioro para la red vial cantonal en pavimentos flexibles. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/7343>
- Ríos, I. (2019). Modelos de deterioro del pavimento y su correlación con las evaluaciones funcionales de los años 2010-2016, en la carretera Inambari – Azángaro. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2557>

- Ríos, O. H., & Salcedo, Ó. B. (2013). Los estudios de preinversión y una propuesta de cálculo del valor residual en Proyectos de Infraestructura Vial en el Perú. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2644>
- Robles, R. (2015). Cálculo del índice de condición del pavimento (PCI) Barranco - Surco – Lima. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2399>
- Salgado, M. (2019). Experiencia Latinoamericana en la configuración y adaptación de HDM-4 a las condiciones locales.
- Salgado, M. (2020). I Curso de capacitación en HDM-4 (Online). Lima.
- Salomón, D. (2009). Conservación de Pavimentos: Metodología y Estrategias. Obtenido de <https://www.pavementpreservationsystems.com/publications.html>
- Sandoval, A. (2018). Diseño de una metodología para generar modelos envolventes de deterioro como herramienta de un sistema de gestión. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/7462>
- Santana, J. K. (2020). Propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de Pavimentos para la carretera central margen izquierda del km 34 al km 78 basándose en el IRI clase III. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/7896>
- Sotil, A. (2014). Propuesta de sistema de gestión de pavimentos para municipalidades y gobiernos locales. Infraestructura Vial. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/14582>
- Tenorio, A. (2005). Modelos de predicción del deterioro de pavimentos. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1931>
- Turrado, P. (2016). Análisis de los modelos de deterioro de firmes en la gestión de la conservación de redes de carreteras. Obtenido de <http://oa.upm.es/43090/>
- Urbano, K. S., & Vargas, M. (2019). El estado de condición de una carretera no pavimentada y los tipos de intervención, aplicando MTC, URCI, TMH-12 de la ruta LM -580. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2641>

- Valderrama, S. (2013). Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación. Lima: San Marcos.
- Vargas, J. C. (2017). Evaluación técnica y económica entre las modalidades ejecutivas de conservación vial aplicando el modelo HDM – 4 en la carretera PE – 38 tramo: Tacna – Tarata. Obtenido de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2872>
- Yesquén, I. A. (2016). Gestión y conservación de pavimentos flexibles a través del índice de desempeño PCI en el entorno del distrito de Surquillo Lima. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/568>
- Zelada, L. A. (2019). Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca - Puno. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13836>

ANEXOS

1. Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES GENERALES	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICAS / INSTRUMENTOS	DISEÑO METODOLÓGICO
¿De qué manera la aplicación de la herramienta HDM 4 determina la estrategia óptima de mantenimiento del pavimento asfáltico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno asimismo reduce el deterioro del pavimento?	Realizar el análisis del deterioro del pavimento asfáltico de la Carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave, aplicando la herramienta HDM-4, para poder determinar la estrategia de mantenimiento óptima.	La aplicación de la herramienta HDM-4 en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno determina la estrategia óptima de mantenimiento de sellado de fisuras para la vía en estudio.	Deterioro de pavimentos asfálticos	PCI IRI DEFLEXIÓN TEXTURA	0 - 100 2.5 - 6 D < 0.5 mm 0.3 - 1.5 mm		La investigación es de tipo básica y es de nivel correlacional. La población comprende una vía de la carretera Puno - Desaguadero, tramo Puno - Ilave (Km. 1363+000 al Km. 1413+000). La muestra está delimitada por un Tramo Homogéneo N°4.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLES ESPECÍFICAS	DIMENSIÓN	INDICADOR		
1. ¿Cómo establecer la estrategia óptima de mantenimiento del pavimento asfáltico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno?	1. Establecer la estrategia óptima de mantenimiento del pavimento asfáltico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno considerando los factores funcionales y estructurales.	1. La estrategia de mantenimiento óptima del pavimento asfáltico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno, es determinado por los factores funcionales y estructurales.	Estrategias de mantenimiento de pavimento asfáltico	MTC MANUAL DE CONSERVACIÓN VIAL MANUAL DEL INSTITUTO DEL ASFALTO MANUAL DEL HDM-4	Sellado de grietas Recapado Lechada asfáltica	Expediente Técnico Puno-Ilave 2010 (RD 1041-2009) Software HDM-4	
2. ¿Cómo aplicar la metodología del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4) en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno?	2. Aplicar la metodología del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4) para determinar la estrategia de mantenimiento óptima en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno.	2. La aplicación de la metodología del sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4) permite determinar la estrategia de mantenimiento óptima en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno.	METODOLOGÍA HDM-4	MANUAL DEL HDM-4	Conservación Mejoramiento		
3. ¿Qué modelos del HDM-4 intervienen en el análisis de la Estrategia de Mantenimiento del pavimento asfáltico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno?	3. Identificar los modelos del HDM-4 que intervienen en el análisis de las estrategias de mantenimiento del pavimento asfáltico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno.	3. El análisis de las estrategias de mantenimiento del pavimento asfáltico, aplicando la herramienta HDM-4, fue desarrollado por medio de la identificación de los modelos del HDM-4 en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno.	Modelos del HDM-4	Modelos de Deterioro y Efectos de los Trabajos Modelos de Efectos de los Usuarios Modelos de Seguridad Vial, Balance de Energía y Efectos Ambientales	Zonificación climática Parque automotor Geometría Características pavimento Parámetros de la vía Estado del pavimento		
4. ¿Cuándo determinar las intervenciones oportunas de mantenimiento para prolongar la rehabilitación del pavimento asfáltico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno?	4. Determinar las intervenciones oportunas de mantenimiento para prolongar la rehabilitación del pavimento asfáltico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno.	4. Las intervenciones oportunas de mantenimiento prolonga la rehabilitación del pavimento asfáltico en la carretera Puno - Desaguadero, Tramo: Puno - Ilave - Puno.	Tipo de intervenciones	MTC MANUAL DE CONSERVACIÓN VIAL MANUAL DEL INSTITUTO DEL ASFALTO	Rutinaria Periódica Trabajos especiales Trabajos de mejoramiento Trabajos de reconstrucción		

2. Matriz de operacionalización

Variable Independiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Item
Deterioro de pavimentos asfálticos	El deterioro del pavimento a través del tiempo Es un proceso continuo originado por diversos factores como el tránsito, clima, propiedades de los materiales que constituyen la estructura del pavimento, edad del pavimento, las acciones de mantenimiento llevadas a cabo, entre otros.	<ul style="list-style-type: none"> . PCI . IRI . Deflexión . Textura 	<ul style="list-style-type: none"> 0 - 100 2.5 - 6 D < 0.5 mm 0.3 - 1.5 mm 	Expediente Técnico Puno-llave 2010 (RD 1041-2009)	8.0 Suelos y Pavimentos
Variable Dependiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Item
Estrategias de mantenimiento de pavimento asfáltico	Una estrategia de mantenimiento se define como un concepto de operaciones de mantenimiento que permiten mejorar los índices de desempeño estructural y funcional de la infraestructura en general y de un pavimento en particular.	<ul style="list-style-type: none"> . MTC Manual de Conservación Vial . Manual del HDM-4 	<ul style="list-style-type: none"> . Sellado de grietas . Recapado . Lechada asfáltica 	HDM-4	Estrategia de mantenimiento y conservación de mantenimiento
HDM-4	El HDM-4 es una herramienta diseñada para apoyar la toma de decisiones a nivel de red, relacionadas principalmente con la gestión de la conservación y mejoramiento de redes viales, principalmente en aplicaciones dirigidas a la planeación estratégica, la programación de intervenciones, la evaluación económica de iniciativas y/o planes de inversión para la gestión de infraestructura vial.	Manual del HDM-4	Mejoramiento Conservación	Software HDM-4	<ul style="list-style-type: none"> . Flota vehicular . Redes de carretera . Estándares de trabajo . Proyectos . Programa . Estrategias . Configuración . Estándares de conservación y mejora
Modelos del HDM-4	La forma del modelo HDM es incremental, es decir, que predice el cambio en la condición del pavimento a lo largo de un cierto incremento de tiempo como función de la condición actual del pavimento, de sus características estructurales y de las solicitudes externas	<ul style="list-style-type: none"> . Modelos de Deterioro y Efectos de los Trabajos . Modelos de Efectos de los Usuarios 	<ul style="list-style-type: none"> . IRI . Volumen/Capacidad . Flujo Costos Operación Vehicular 	Software HDM-4	<ul style="list-style-type: none"> . Configuración en HDM-4 . Flota vehicular en HDM-4 . Red de carretera en HDM-4 . Estándares de trabajo
Tipo de Intervenciones	Es la forma de cómo dar solución a un problema que se puede presentar en la infraestructura vial en la parte de su calidad, estructura y construcción. Los tipos de intervención son: M.rutinario, M. Periódico o Rehabilitación	<ul style="list-style-type: none"> . Mantenimiento Rutinario . Mantenimiento Periódico . Rehabilitación 	<ul style="list-style-type: none"> . Sellado de fisuras y grietas en la calzada . Recapado asfáltico . Micropavimento 	Manual MTC	<ul style="list-style-type: none"> . Manual de Carreteras . Mantenimiento o Conservación Vial

3. Evaluación de pavimentos

El relevamiento de fallas

Se efectuó cada 250 metros de longitud de calzada. Y el área evaluada comprendió todo el ancho de la calzada por 50m de longitud, a partir del inicio de la estaca.

El formato que se utilizó para evaluar la condición del pavimento está basado en el manual descrito, anteriormente, el formato utilizado para los fines que perseguimos se indica en el cuadro DP-12, donde se indican los tipos de fallas descritos.



Figura N° 154: El relevamiento de fallas

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)



Figura N° 155: El relevamiento de fallas

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Trabajos de campo

La medición de rugosidad, realizada en Julio del año 2008, se efectuó con un rugosímetro tipo respuesta Bump Integrator de marca RTRRM-FARNELL montado sobre una camioneta Rural de eje posterior hidráulico marca Toyota de tracción simple, especialmente acondicionada y un navegador satelital GPS marca Garmin.



Figura N° 156: Medición de Rugosidad

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)



Figura N° 157: Medición de Rugosidad

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)



Figura N° 158: Medición de Rugosidad

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)



Figura N° 159: Medición de Rugosidad

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Condición Estructural del pavimento

El consultor ha evaluado la condición estructural del pavimento mediante mediciones de curvas de deflexión o deformada del pavimento, las cuales permiten efectuar modelaciones y cálculos de parámetros elásticos a través de teorías mecanicistas.



Figura N° 160: Condición Estructural del pavimento

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)



Figura N° 161: Condición Estructural del pavimento

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Condición de los Factores de Seguridad del Pavimento

Trabajo de Campo



Figura N° 162: Macrotextura

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Macrotextura

Este método de ensayo es adecuado para pruebas de campo, ya que permite determinar en forma simple el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macrotextura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos.

Procedimiento de Ensayo

Los materiales y método de prueba estándar constan de una cantidad de material uniforme, un recipiente de volumen conocido, una pantalla adecuada para protección contra el viento, brochas para limpiar la superficie, un disco plano para dispersar al material sobre la superficie y una regla o cualquier otro dispositivo para determinar el área cubierta por el material. Se recomienda también una balanza de laboratorio para asegurarse de la consistencia de las mediciones de cada ensayo.



Figura N° 163: Macrotextura

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)



Figura N° 164: Macrotextura

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Equipo empleado en la Microtextura

Se utiliza el péndulo británico o también conocido como Péndulo del TRRL (Transport and Road Research Laboratory), una regleta graduada, termómetro, recipientes para agua, cepillo, cinta métrica.



Figura N° 165: Equipo empleado en la Microtextura

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Plano de ubicación de la Carretera Puno -Ilave

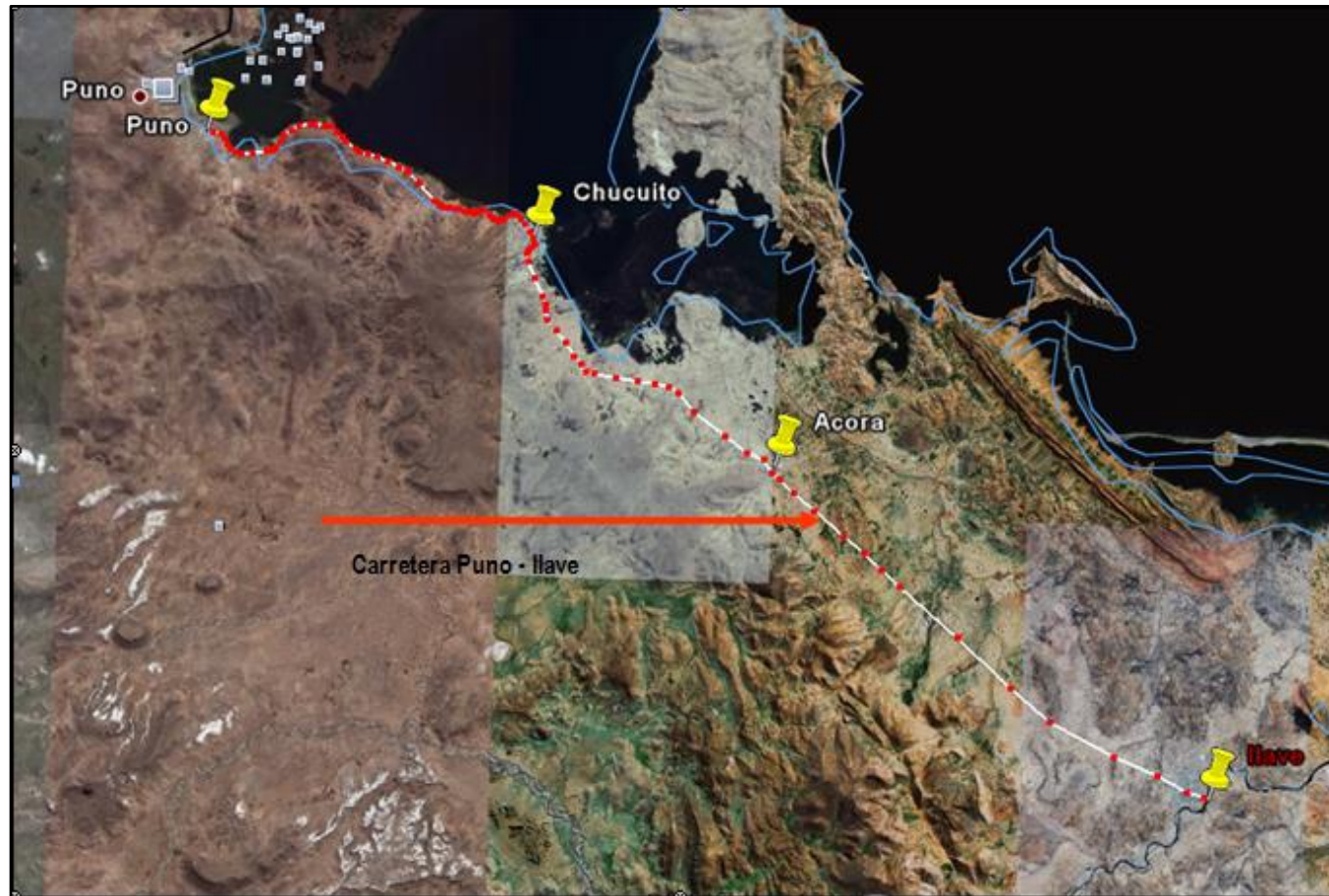


Figura N° 166: Ubicación de la Carretera Puno - Ilave

Fuente: Expediente técnico Puno-Ilave (RD 1041-2009)

Plano clave

