

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PAVIMENTO REHABILITADO
MEDIANTE TÉCNICA DE RECICLADO EN CALIENTE DE LA
CARRETERA CA08W, TRAMO AHUACHAPÁN- FRONTERA
LAS CHINAMAS**

PRESENTADO POR:

ANA SOFIA GUADRÓN ERROA

CARLOS MAURICIO SALAZAR RAMOS

NAARA JAZMIN SANDOVAL SERRANO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

:

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO

:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR

:

(Interino)

MEng. Ing. CARLOS ALBERTO ESCOBAR FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO(A) CIVIL

Título :

**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PAVIMENTO REHABILITADO
MEDIANTE TÉCNICA DE RECICLADO EN CALIENTE DE LA
CARRETERA CA08W, TRAMO AHUACHAPÁN- FRONTERA
LAS CHINAMAS**

Presentado por :

**ANA SOFIA GUADRÓN ERROA
CARLOS MAURICIO SALAZAR RAMOS
NAARA JAZMIN SANDOVAL SERRANO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. Mauricio Ernesto Valencia

San Salvador, Febrero 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M. Valencia', written in a cursive style.

Ing. Mauricio Ernesto Valencia

AGRADECIMIENTOS.

Primero y, ante todo, agradezco a Dios, quien me ha guiado y fortalecido a lo largo de este proceso, dándome sabiduría, paciencia y la oportunidad de alcanzar este logro. Su presencia ha sido mi fuente constante de inspiración y esperanza.

A mi madre, quien con su amor incondicional y apoyo constante me ha enseñado el verdadero significado de la perseverancia. Gracias por tu sacrificio, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, y por ser mi mayor fuente de fortaleza.

A mi padre, por su firmeza, su sabiduría y su ejemplo de trabajo y dedicación. Gracias por tu apoyo inquebrantable, por enseñarme a enfrentar los desafíos con determinación y por siempre creer en mi potencial.

A mi esposo, por estar siempre a mi lado, brindándome su comprensión y aliento. Tu paciencia, cariño y confianza han sido fundamentales para que pudiera continuar. Gracias por ser mi apoyo constante en cada paso de este camino.

Y a mi hija, que con su amor puro y su alegría me ha dado la motivación necesaria para seguir adelante. Gracias por enseñarme todos los días el valor de la vida y por darme una razón más para luchar y crecer. Eres mi más grande logro.

A mi hermano, cuyo apoyo ha sido fundamental en cada etapa de mi vida. También quiero agradecer a mi querido sobrinito, cuya alegría y energía siempre me llenan de motivación para seguir adelante.

Finalmente, a todos mis docentes a lo largo de mi vida estudiantil, quienes han compartido su conocimiento, dedicación y paciencia, ayudándome a crecer tanto personal como académicamente. Sus enseñanzas han sido pilares en mi formación, y les estaré eternamente agradecido.

Ana Sofía Guadrón Erroa

AGRADECIMIENTOS.

Un agradecimiento primeramente a Dios por toda la sabiduría y bendiciones que ha derramado en mi vida y por darme la paciencia y el permitirme mejorar tanto como persona y en mi carácter profesional.

A mi madre, Marta Ramos que siempre me apoyó desde pequeño al poder culminar mis estudios, y que fuese una persona preparada y sobre todo por demostrarme el amor de madre y la paciencia que tuvo a lo largo de estos años y nunca permitió que abandonase mis sueños, por esas desveladas y por esas preocupaciones que ambos vivíamos, este no es un logro solo para mi persona, sino también de ti madre.

Expreso mis agradecimientos a mis hermanas Joselyn Salazar y Stefany Ramos, mis hermanas mayores por dedicarme también parte de su tiempo y en haber puesto su apoyo incondicional hacia mí y por haberme demostrado que si era capaz, y sobre todo valoro cada uno de sus consejos.

También agradecer a mi padrastro Miguel Sigüenza y a mi tío Mario Ramos por haberme ayudado y brindado seguridad en cada viaje que me dedicaban para llegar a tiempo a la Universidad, gracias por haberme brindado ese apoyo y cada consejo que me dieron en esos viajes.

A pesar de que ya no estén con vida, agradecer a dos personas muy especiales en mi vida, a mi padre Carlos Salazar que abandonaste este mundo

el año pasado, te agradezco por el apoyo incondicional y miles de pláticas juntos, a pesar de ya no estar conmigo, sé que estarías orgulloso de tu muchacho, de igual manera, a mi abuelita Karlota Palacios que abandonó este mundo cuando iniciaba la Universidad, te volviste mi mayor reto y mi mayor motivación para culminar la carrera. Eternamente agradecido con mis dos ángeles que me cuidan desde el cielo Q.E.P.D.

Agradecer a cada una de mis amistades, por darnos ese apoyo en cada una de las materias de la facultad, por esas desveladas y sobre todo por darnos ánimos en los últimos años de la carrera.

Reconozco con aprecio a cada docente de la Facultad de Ingeniería Civil por darnos de su conocimiento y demostrarnos el aprecio e importancia de la carrera en el rubro y como este evoluciona en nuestro país.

A mis amigas y compañeras de trabajo de graduación, Naara Sandoval y Sofia Erroa, por demostrarnos que éramos capaces de culminar la carrera.

Al Ing. Mauricio Valencia, nuestro docente director, por brindarnos su apoyo y de sus conocimientos para que podamos finalizar nuestro trabajo de graduación.

Carlos Mauricio Salazar Ramos

AGRADECIMIENTOS.

Al Eterno y Soberano Dios por las innumerables dádivas y bendiciones que a lo largo de mi vida me ha brindado y porque a pesar de tantos obstáculos presentados a lo largo de mi carrera universitaria, me ha concedido culminarla con el presente trabajo de graduación.

A mi hogar, mi bello papá Héctor Sandoval y mi preciosa mamá Leonor Serrano, por demostrarme la importancia de tener unos padres presentes a lo largo de toda mi vida, estando en cada logro, en cada meta y ayudándome en todo lo que se les fue posible, a quienes no me alcanzará la vida para devolver cada acto de amor de su parte recibido. Mis hermanas Lolly, Ely, Kely, Mary, Jona, Karla y Richard, los quiero mucho. Mi esposo Edgardo Rodríguez, agradezco tu apoyo incondicional y la forma en la que has estado durante tantos años a mi lado, creyendo y confiando en que podría hacer cada cosa que me propusiera. Mis cuñados y Mamá Mary por el amor que me han demostrado.

Al D.E Luis Quiñones (Q.D.G), quien me aconsejó y cuidó como un padre Hno, si pudiera darle un enorme abrazo y decirle “Su ingeniero lo logró” con la mayor alegría lo haría.

A mi mejor amiga Carolina, por cada consejo que como a una hermana me has dado desde que te conocí con tanto cariño y amor sincero. Mis amigos y compañeros Valery, Ale, Lili, Mauricio, Leo, Oscar, Hubert, Luis y Adri, quienes me brindaron su apoyo en los momentos que necesité.

Al cada uno de los docentes que con esfuerzo y dedicación me impartieron sus conocimientos en la Universidad. Especialmente al Ing. René Pocasangre (Q.D.G), Ing. lo llevo en mi corazón y si aun viviera, iría a buscarlo para agradecerle por esa plática que tuvo conmigo como a su hija mientras me explicaba unos ejercicios de mate 1.

Al Ing. Valencia, decirle que recuerdo con mucha gratitud cada consejo, cada palabra y el apoyo emocional que me brindó cuando enfermé cursando la materia de ingeniería de carreteras.

A mis compañeros de trabajo, que en más de alguna ocasión me cubrieron cuando tenía algún examen o actividad de la universidad o de mi trabajo de graduación. Especialmente agradezco al Ing. Hernández, decirle que conservo y valoro cada palabra de ánimo que me dio en el último ciclo de mi carrera y durante mi trabajo de graduación.

Al Ing. Carlos Gómez, por ayudarme y darme su orientación en la elección del tema de mi trabajo de graduación y por la paciencia que me tuvo mientras fue mi jefe inmediato, gracias ing.

A los Ingenieros que nos apoyaron para poder hacer posible nuestro trabajo de graduación, el Ing. Mauricio Valencia, El Ing. Marlon Cárcamo, El Ing. José Cárcamo, muchas gracias por su apoyo e instrucciones.

Naara Jazmin Sandoval Serrano

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.	V
ABREVIATURAS	XXII
INTRODUCCIÓN.	XXIII
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.	1
1.1.1 Antecedentes Internacionales.	1
1.1.2 Antecedentes Nacionales.....	6
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.	12
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	14
1.3.1 Problema General.	14
1.3.2 Problemas Específicos.....	14
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	15
1.4.1 Objetivo General.	15
1.4.2 Objetivos Específicos.	15
1.5 ALCANCES.	16
1.6 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.	17
1.7 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	18
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	19

2.1	DEFINICIÓN DE PAVIMENTO.	19
2.2	CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.	19
2.2.1	Pavimento Rígido.	20
2.2.2	Pavimento Mixto.	22
2.2.3	Pavimento Flexible.	24
2.3	TECNOLOGÍA DE RECICLADO DE PAVIMENTO.	47
2.3.1	Conceptos Básicos.	47
2.3.2	Reciclado en Caliente.	51
2.3.3	Diseño de Mezcla de Reciclado en Caliente.	63
2.3.4	Reconstrucción de Pavimento Asfáltico Reciclado.	68
2.4	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO.	87
2.4.1	Formas de Evaluación de un Pavimento.	88
2.4.2	Sistema PAVER (Metodología PCI).	93
CAPÍTULO 3	DESARROLLO.	129
3.1	UBICACIÓN DEL PROYECTO.	129
3.2	DELIMITACIONES DEL PROYECTO.	130
3.3	CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA.	130
3.4	SECCIONAMIENTO DE LA VÍA.	130

3.5	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI (SISTEMA PAVER).....	133
3.5.1	Software UnalPCI.....	138
CAPÍTULO 4	RESULTADOS.....	141
4.1	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.....	143
4.1.1	Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. (km 7+520 – km 8+520)	144
4.1.2	Fallas Existentes	147
4.1.3	Fallas Incidentes.....	148
4.2	ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.....	149
4.2.1	Perfil de PCI por Unidad de Muestra.....	151
4.3	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.....	152
4.4	ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN.....	153
CAPÍTULO 5	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	154
5.1	RECOMENDACIONES.....	154
5.2	CONCLUSIONES.....	156
BIBLIOGRAFÍA.....		158
ANEXOS.....		160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2-1 Estado de la Red Vial de El Salvador. (Fuente: FOVIAL 2018)	12
Tabla 2.2-1 Características de la subrasante	31
Tabla 2.2-2 Tipos de Base. Elaboración propia	33
Tabla 2.2-3 Tipos de Tratamientos Superficiales. Elaboración propia	45
Tabla 2.3-1 Gradaciones sugeridas para el reciclaje en frío.	66
Tabla 2.4-1 Modos y Tipos de Deterioro. Elaboración propia	90
Tabla 2.4-2 Rangos para desintegración de la superficie.	92
Tabla 2.4-3 Longitudes de Unidades de Muestreo Asfálticas	98
Tabla 2.4-4 Número de Unidades para Inspeccionar. ASTM D-6433	99
Tabla 2.4-5 Falla #1: Piel de Cocodrilo. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	105
Tabla 2.4-6 Falla #2: Grieta de borde. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	106
Tabla 2.4-7 Falla #3: Fisuras de reflexión de juntas. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.....	107
Tabla 2.4-8 Falla #4: Fisuras longitudinales y transversales. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	108
Tabla 2.4-9 Falla #5: Grietas Parabólicas. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	109
Tabla 2.4-10 Falla #6: Agrietamiento en bloque. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.....	110

Tabla 2.4-11 Falla #7: Abultamiento y hundimientos. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	111
Tabla 2.4-12 Falla #8: Corrugación. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	112
Tabla 2.4-13 Falla #9: Depresión. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	113
Tabla 2.4-14 Falla #9: Ahuellamiento. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	114
Tabla 2.4-15 Falla #11: Desplazamiento. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	115
Tabla 2.4-16 Falla #12: Hinchamiento. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	116
Tabla 2.4-17 Falla #13: Huecos. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	117
Tabla 2.4-18 Falla #14: Desprendimientos de agregados. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	118
Tabla 2.4-19 Falla #15: Exudación. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	119
Tabla 2.4-20 Falla #16: Pulimento de agregados. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	120
Tabla 2.4-21 Falla #17: Desnivel carril berma. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	121

Tabla 2.4-22 Falla #18: Parche. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	122
Tabla 2.4-23 Falla #19: Cruce de vía férrea. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.	123
Tabla 2.4-24 Rangos de calificación del PCI.	127
Tabla 3.5-1 Cálculo de Valor Deducido Total (VDT) y Valor Deducido Corregido (VDC o también llamado CDV).	136
Tabla 3.5-2 Rangos de calificación del PCI	137
Tabla 4.1-1 Parámetros de evaluación. Fuente: Elaboración propia	143
Tabla 4.1-2 Fallas Existentes (continuación)	147
Tabla 4.1-3 Fallas más incidentes en la totalidad del tramo inspeccionado ...	148
Tabla 4.2-1 Índice de Condición del pavimento – Vía de estudio.	150
Tabla 4.3-1 PCI promedio y estado del pavimento por tramo.....	152
Tabla 4.4-1 Intervención correspondiente a cada falla.	153

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.2-1 Estructura del Pavimento Rígido.	21
Ilustración 2.2-2 Estructura de Pavimento Mixto (definición 1).	24
Ilustración 2.2-3 Estructura del Pavimento Flexible.	25
Ilustración 2.2-4 Estructura del Pavimento Flexible. Elaboración propia	26
Ilustración 2.2-5 Sección transversal del Pavimento Flexible	27
Ilustración 2.2-6 Terreno de Fundación.	28
Ilustración 2.2-7 Terracería.....	29
Ilustración 2.2-8 Subrasante	30
Ilustración 2.2-9 Subbase granular	31
Ilustración 2.2-10 Estabilización con Cemento.	33
Ilustración 2.2-11 Carpeta Asfáltica.	34
Ilustración 2.2-12 Mezcla asfáltica en frío.....	36
Ilustración 2.2-13 Mezcla Asfáltica en Caliente.....	38
Ilustración 2.2-14 Colocación de mezcla asfáltica tibia.....	43
Ilustración 2.2-15 Tratamientos Superficiales.	44
Ilustración 2.2-16 Macadam asfáltico.....	46
Ilustración 2.3-1 Muestra desmenuzada de agregados extraídos de un pavimento a reciclar.	55
Ilustración 2.3-2 Muestra separada del asfalto, es a la que se toma la granulometría.....	55

Ilustración 2.3-3 Extractores Centrífugos, separa los agregados del asfalto con solvente tricloroetileno. Marca: Soiltest, Inc. (izquierda) y Fressia Macross (derecha).	56
Ilustración 2.3-4 Aparato centrífugo, separa los agregados finos del asfalto-solvente. Marca: Fressia Macross.	57
Ilustración 2.3-5 Equipo para extracción del asfalto, es decir separa el asfalto del solvente. Marca: Fressia Macross.	57
Ilustración 2.3-6 Equipo para extracción del asfalto, es decir separa el asfalto del solvente. Marca: Fressia Macross.	58
Ilustración 2.3-7 Equipo para determinar la Penetración del Asfalto.....	59
Ilustración 2.3-8 Clasificación del reciclado de pavimento asfáltico en caliente. Fuente: elaboración propia.	65
Ilustración 2.3-9 Esquema de Pasos para el Diseño de la Mezcla.	68
Ilustración 2.3-10 Precalentamiento inicial, Est 9+000.	73
Ilustración 2.3-11: Colocación inicial de la Recicladora, Est 9+000	74
Ilustración 2.3-12: Colocación de escarificadores.....	75
Ilustración 2.3-13: Emulsión Asfáltica utilizada como agente rejuvenecedor....	77
Ilustración 2.3-14: Sistema de Inyección de Agente Rejuvenecedor, Est 9+000.	78
Ilustración 2.3-15: Abastecimiento de Mezcla Virgen, Est 0+900	81
Ilustración 2.3-16: Esparcimiento Final de la Mezcla, Est 9+000.....	82
Ilustración 2.3-17: Perfilado final a mano, 02 de febrero de 2022.....	83

Ilustración 2.3-18: Compactación con Rodo Vibratorio.....	86
Ilustración 2.3-19: Compactación en bordes y ángulos de reposo.....	86
Ilustración 2.3-20: Sellado con Rodo Neumático.....	87
Ilustración 2.4-1 Tipos de Fallas en Pavimento Flexible. Basado en Norma ASTM D6433. Gráfico, elaboración propia	104
Ilustración 2.4-2 Forma de determinar el Valor de Deducción.....	125
Ilustración 2.4-3 Forma de determinar el Valor de Deducción. Fuente ASTM D 6433.....	126
Ilustración 3.1-1 Ubicación inicial y final de la toma de muestras del tramo de estudio	129
Ilustración 3.4-1 Unidades y coordenadas de muestra del tramo de estudio..	131
Ilustración 3.4-2 Alineamiento de unidades de muestra del tramo de estudio (7+520 a 8+520 km).....	132
Ilustración 3.5-1 Parte superior de la ficha de evaluación- Identificadores	133
Ilustración 3.5-2 Parte media de la ficha de evaluación - Registro de fallas...	134
Ilustración 3.5-3 Parte media de la ficha de evaluación - Densidad.....	134
Ilustración 3.5-4 Curva de valores deducidos.....	135
Ilustración 3.5-5 Parte media de la ficha de evaluación – Valor deducido VD.	136
Ilustración 3.5-6 Curva de valores deducidos corregidos.....	136
Ilustración 3.5-7 Llenado de información.....	139
Ilustración 3.5-8 Iniciando el software.....	140
Ilustración 3.5-1 Toma de Datos en Carretera CA-08W.....	142

Ilustración 4.1-1 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Piel de cocodrilo.....	144
Ilustración 4.1-2 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Grieta de borde.	145
Ilustración 4.1-3 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Grietas longitudinales y transversales.....	145
Ilustración 4.1-4 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Desprendimiento de agregados.	146
Ilustración 4.1-5 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Parcheo.....	146
Ilustración 4.1-6 Fallas más incidentes en la totalidad del tramo inspeccionado.	149
Ilustración 4.2-1 Perfil de PCI en la vía de estudio – (km 7+520 – km 8+520).151	
Ilustración 5.2-1 Carril de Ahuachapán.....	217
Ilustración 5.2-2 Carril hacia frontera Las Chinamas	217
Ilustración 5.2-3 Ubicación de estaciones.....	217
Ilustración 5.2-4 Seccionamiento de muestras.	217
Ilustración 5.2-5 Medición de ancho de vía.....	218
Ilustración 5.2-6 Ubicación de fallas	218
Ilustración 5.2-7 Medición de fallas.....	219
Ilustración 5.2-8 Medición de fallas.....	219
Ilustración 5.2-9 Medición y toma de datos de fallas	219

ABREVIATURAS

- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales Del Transporte).
- ASTM: American Society of Testing and Materials (Asociación Americana de Pruebas y Materiales).
- cm: Centímetro.
- Est: Estacionamiento.
- FOVIAL: Fondo de Conservación Vial.
- FP 96 o FP 03: Especificaciones Normales para la Construcción de Caminos y Puentes en Proyectos de Carreteras Federales.
- km: Kilómetro.
- MOP: Ministerio de Obras Públicas.
- PCI: Pavement Condition Index (Índice de Condición del Pavimento).
- RAM: Agregado Material Recuperado (base granular existente).
- RAP: Pavimento Asfáltico Recuperado (carpeta asfáltica existente).
- SIECA: Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
- VD: Valor Deducido.
- VDC: Valor Deducido Corregido

INTRODUCCIÓN.

En el contexto del mantenimiento de las vías de transporte en nuestro país, surge una preocupación recurrente: el ciclo continuo de construcción y degradación de las carreteras. La falta de conservación adecuada a lo largo de los años ha desencadenado este patrón, poniendo en evidencia la necesidad de implementar estrategias efectivas para prolongar la vida útil de nuestras infraestructuras viales.

Con el avance en la actualidad, se destaca el empleo creciente de diversos métodos para la evaluación de pavimentos, lo que abre la puerta a la ejecución de mantenimientos más precisos y eficientes. Además, tener enfoque en la recuperación de las vías. Estos esfuerzos buscan no solo mejorar la condición operativa de las vías, sino también romper con el ciclo repetitivo de construcción.

Con este propósito, la presente investigación se centra en evaluar técnicamente el pavimento rehabilitado mediante reciclado en caliente in situ en la carretera CA08W, tramo Ahuachapán – Frontera Las Chinamas. Para alcanzar este objetivo, se aplicará el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), una herramienta crucial para determinar el estado del pavimento.

Este estudio adoptará un enfoque observacional, respaldado por análisis estadísticos y descriptivos, con el fin de proporcionar una evaluación cuantitativa precisa. A través de la aplicación del método PCI, se podrá clasificar el estado del pavimento en el tramo mencionado.

En última instancia, se espera que esta investigación genere resultados tangibles, proporcionando un panorama claro del estado del pavimento flexible en el tramo Ahuachapán – Frontera Las Chinamas y sirviendo como base para el desarrollo de un plan de mantenimiento efectivo que garantice la calidad y seguridad de esta importante vía de transporte.

El desarrollo de la investigación se ha estructurado en cinco capítulos:

Capítulo I: Generalidades, se presentarán los antecedentes de la investigación, se describe la situación problemática, la formulación del problema, los objetivos, la justificación y limitaciones del estudio.

Capítulo II. Marco teórico, se presentarán las bases teóricas junto con la definición de términos básicos.

Capítulo III. Desarrollo, se presentará el desarrollo de la investigación, el cual describirá la ubicación del proyecto, sus limitaciones, las características de la muestra, el seccionamiento de la vía y la aplicación del método PCI.

Capítulo IV. Resultados, se presentarán los resultados de la investigación realizada, enfocados en los objetivos. Y se analizan tales resultados.

Capítulo V. Se presenta las recomendaciones y conclusiones con respecto a los resultados obtenidos.

Finalmente, se listarán las conclusiones y las recomendaciones que se desprenden de la problemática de la investigación, además de las fuentes de información y los anexos.

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.

1.1 Antecedentes de la Investigación.

1.1.1 Antecedentes Internacionales.

Un primer precedente del empleo de las técnicas del reciclado se dio después de la Segunda Guerra Mundial, cuando para reparar las carreteras secundarias afectadas por la misma se puso en práctica en el Reino Unido un procedimiento llamado —Retread Process II o proceso de recauchutado.

La técnica de reciclado in situ de materiales asfálticos fue concebida en los Estados Unidos en el año 1956 e introducida en Europa hacia el año 1970. Consiste en la conservación de firmes bituminosos degradados que se reutilizan directamente, con o sin aportación de materiales nuevos, mezclándolos in situ y posteriormente extendiendo y compactando la mezcla para constituir una nueva capa de firme.

Los procesos de reciclado in situ son de aplicación cuando no se trata de corregir problemas de insuficiencia estructural, sino problemas en capas superficiales como son los debidos a envejecimiento del ligante, pulimento de los áridos, pérdida de textura, etc. Aunque algunas de estas técnicas permiten dotar al firme

de una cierta capacidad de refuerzo, el espesor de tratamiento se limita a unos 8 cm como máximo, por lo que su campo de aplicación va más encaminado hacia la renovación de las características superficiales del pavimento.

Actualmente, los países europeos con más tradición en este campo son Alemania, Países Bajos, Dinamarca y Suecia, los cuales tienen un índice de reciclado por encima del 15% sobre el total de mezclas bituminosas y unos altos porcentajes de reutilización del RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) producido.

Se entiende como reciclado de mezcla asfáltica, a la reutilización de los materiales procedentes de la demolición de las capas de firmes que ya han estado en servicio para el tránsito o en la construcción de obras.

El reciclado de pavimentos asfálticos se realiza sobre materiales principalmente deteriorados que han perdido a medida las propiedades iniciales, aunque en casos muy especiales pueden actuarse también sobre los materiales en mejores condiciones para ser utilizados en servicio con el fin de mejorar las características. El reciclado es uno de los casos como una alternativa al fresado y reposición de capas a la construcción y este constituye un mejoramiento de los materiales para la exposición de tránsito.

El proceso de reciclado de los pavimentos asfálticos consiste en la disgregación del material, su mezcla con ligantes y agua, y su posterior extensión y compactación. El tratamiento de los materiales reciclados puede hacerse en la misma capa tras la utilización de maquinaria especializada que se le aplica un tratamiento de disgregación y mejoramiento del pavimento con ligas y materiales nuevos que son unidos con el pavimento existente.

Mientras que los inicios del PCI (Pavement Condition Index) se remonta al Laboratorio de Investigación Ingenieril de Construcción del Cuerpo de Ingenieros de la Fuerza Armada de los EE.UU. (USACERL), este desarrolló un sistema de Evaluación y Administración de Pavimentos llamado PAVER para su uso militar y civil. Desde su implementación en 1980, obtuvo una rápida aceptación en los círculos militares y civiles a través del mundo.

Para la calificación funcional y estructural de los pavimentos, el sistema PAVER utiliza el Índice de Condición del Pavimento (Pavement Condition Index = PCI) desarrollado por el USACERL.

La metodología PCI (Pavim ent condition index) (ASTM D 6433-08), fué desarrollada en 1978 por Shahin y Khon y publicada en el reporte técnico M-268 del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de América.

Con dicho método se pretendía desarrollar un índice que permitiera estandarizar la evaluación de la condición actual de una sección de pavimentos, posibilitando

la toma de decisiones en términos de intervención, mantenimientos y demás reparaciones requeridas en la vía.

De acuerdo con lo descrito en el documento, el grado de deterioro de un pavimento, ya sea rígido o flexible puede ser evaluado a partir de tres factores: el tipo de falla que presenta, la severidad de la falla y la densidad de la misma. Para la cual plantearon 19 tipos de fallas y uso rangos cuantitativos de evaluación para determinar el estado del mismo.

La ASTM adoptó el PCI para aeropuertos en 1993, bajo la denominación D5340 (ASTM International, 2020) y el PCI para carreteras en 1999, bajo la denominación D6433 (ASTM International, 2023). Ambos métodos incluyen pavimentos asfálticos y de concreto de cemento Portland.

Hoy en día, la recopilación y el cálculo de PCI siguen estando estandarizados por dichas normas, ASTM en los documentos: ASTM D6433 y ASTM D5340.

Dentro de la realización del método PCI en la aplicación tiene la finalidad de poder conocer el estado del pavimento en términos de su integración estructural y su nivel a puesta de servicio, obtener el indicador que nos permite comparar con un criterio uniforme la condición y el comportamiento de los pavimentos en distintos tipos de uso, también se tiene como finalidad obtener un criterio racional con el fin de justificar la programación de las obras de mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos y al aplicar este tipo de metodologías nos permite obtener

información con la finalidad de conocer las ventajas y desventajas en propuestas planteadas para la solución a la problemática de los pavimentos afectados mediante el uso del reciclado o en pavimentos en donde no se ha aplicado este tipo de metodología de construcción.

Se ha mencionado que para aplicar el método PCI, este debe de tener un nivel de daño en la carpeta del pavimento y este depende del tipo de deterioro, la severidad y su cantidad. Dada que estas pueden tener una cantidad de combinaciones de fallas posibles, este método, como bien se ha mencionado, resuelve esta dificultad introduciendo el valor deducido, como un factor de ponderación con el fin de indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento. Estos deterioros poseen características que generalmente se presentan en los pavimentos, los cuales han sido tipificados y clasificados según tipo de falla, con la finalidad de obtener una forma precisa para los distintos tipos de pavimentos.

En febrero de 2019, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de América publica el Criterio Unificado de Instalaciones (UFC), en el cual se abordan y unifican las últimas metodologías para el estudio de pavimento tanto flexible, como rígido. El documento actualiza y parametriza la metodología de PCI principalmente para su implementación en los aeródromos de Estados Unidos, con el cual se establece como objetivo de la metodología “determinar el estado

actual del pavimento en términos de aparente integridad estructural y la condición de la superficie operativa”. Lo anterior en aras de brindar un dato cuantificado con el cual es posible comparar la condición y el rendimiento de los pavimentos (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2019).

1.1.2 Antecedentes Nacionales.

Actualmente, en Estados Unidos, México, Guatemala, Inglaterra ya se aplica la técnica del reciclado de pavimentos flexibles, se suma a ellos El Salvador, siendo esta utilizada por el Ministerio de Obras Públicas y FOVIAL, que han tomado de base la información de este proceso empleado en otros países donde se usan estos métodos de rehabilitación de pavimentos desde hace varios años. Mientras que el método del PCI se ha aplicado en diversos estudios de tramos de carreteras que han presentado daños, y no se ha cumplido su vida útil.

Para inicios del año 2022 se realizaron varios trabajos de construcción y reconstrucción de la red vial de El Salvador, una de ellas es la Carretera Ahuachapán-Las Chinamas, la carretera que de Ahuachapán (desde el bypass) lleva hasta la Frontera Las Chinamas y viceversa.

La Frontera Las Chinamas está del lado de El Salvador y se llama así por ubicarse en el cantón Las Chinamas del departamento de Ahuachapán, al

occidente del país. Esta frontera da con la Frontera Valle Nuevo ubicada en Guatemala.

Siendo este uno de los puntos fronterizos entre El Salvador y Guatemala, por ende, la reconstrucción de la Carretera Las Chinamas-Ahuachapán beneficia el transporte tanto de carga, comercial, privado o personal, en la carretera que desde la frontera lleva a la ciudad de Ahuachapán y viceversa.

Además de beneficiar la movilidad de los habitantes de los cantones que se encuentran en los alrededores.

La reconstrucción, según el Ministerio de Obras Públicas de El Salvador se realizó desde el bypass de Ahuachapán hasta la frontera, siendo 26.6 kilómetros de carretera renovada, es decir, la carretera ya estaba, pero se encontraba en malas condiciones. Para noviembre de 2022, según los datos ofrecidos por el mismo Ministerio de Obras Públicas, en esta carretera transitan diariamente 27,110 vehículos en promedio.

La calle que analizaremos fue rehabilitada mediante la técnica de reciclado en caliente. Esto se logra a través del empleo de la máquina del “dragón”, la cual es una recicladora de asfalto, está compuesta por dos máquinas, un precalentador y una recicladora de asfalto.

Lo que vuelve eficiente este proceso es que todo se realiza con la misma máquina, en la zona de trabajo, además, de que es amigable con el ambiente.

El proceso aplicado en la calle rehabilitada se describe a continuación:

La capa asfáltica existente es degradada a través del uso de la Pre calentadora y una máquina Recicladora. Posteriormente los precalentadores hacen que la temperatura de la capa asfáltica se eleve hasta un rango de 160C° a 240C° con el objetivo de ablandarla, evitando así forzar de una manera mayor el escarificado a través de la Recicladora.

Una vez escarificado, se procede a la remoción del pavimento haciendo uso de escarificadores rotativos equipados con dientes de corte hasta lograr la profundidad que se requiere y que ha sido definida en base a los tipos de daños observados en el pavimento.

Cabe mencionar que el escarificador permite un ajuste a varios anchos para regularse exactamente a la profundidad del material que ha sido previamente aflojado, el cual es llevado luego por una banda transportadora al mezclador.

A este material escarificado, se le inyecta un agente rejuvenecedor de una forma homogénea para así llevar esta mezcla a través de una banda transportadora hasta el mezclador.

La mezcla virgen llega desde la parte delantera, la cual es añadida y transportada por la banda hasta el mezclador. Ambas mezclas son descargadas una sobre la otra en la vibro terminadora, la cual las extiende de manera uniforme y simultáneamente. Finalmente se da la compactación, la cual es realizada a través de compactadores comunes utilizados en cualquier pavimento asfáltico nuevo.

Uno de los beneficios de este proceso es la recuperación del material que ya existía y que no se tuvo que botar, tampoco se tuvo que dejar el tramo que se reparó abierto, pues se realizó de manera inmediata con el apoyo de las máquinas, lo que permitió que el proceso de rehabilitación vial se ejecutara con mayor rapidez.

Además, de ser un proceso más rápido, no deja superficies abiertas que puedan obstruir el tráfico vehicular, cuando la máquina termina de trabajar, pasada una hora de enfriamiento de la carpeta, ya queda ese mismo día habilitado el tramo para el flujo vehicular, es un proceso más rápido al convencional de sobre carpeta y es amigable con el medio ambiente.

El propósito de esta máquina y su proceso es brindar una solución a la problemática del tráfico vehicular, pues con estas máquinas los trabajos de recuperación de tramos avanzan con mayor rapidez.

Los pavimentos en la actualidad, necesitan un mantenimiento programado con el fin de brindar un servicio eficaz y duradero, y cumplir con todas las especificaciones necesarias para que sean un apoyo al desarrollo económico a la movilización. Es por ello que es necesario y de gran importancia implementar herramientas de evaluación de los pavimentos con el fin de conocer, su estado e implementar mantenimientos rutinarios y rehabilitaciones completas de acuerdo a la necesidad que se requiera en el pavimento flexible.

Dentro de las herramientas de evaluación de pavimentación se encuentra el método PCI, no siendo objeto de análisis las causas que lo originan ni hacer comparaciones con otros tipos de métodos de evaluación, así como no es el objetivo de la evaluación estructural del pavimento.

Dentro de este tipo de herramienta se debe de realizar un diagnóstico del pavimento, analizar en el cual se realiza un levantamiento del tramo y se obtiene una población de muestreo, se recolecta información de los tramos y se obtienen datos con el fin de validar y obtener una confiabilidad en ellos, se realizan estudio de factibilidad en el cual debemos de condicionar el pavimento y poder determinar las unidades de muestreo para su evaluación respectiva en este tipo de análisis

se realizan cálculos con el cual se determina el PCI de una muestra o muestras y sección, también se debe de realizar una fase en el cual compromete el diseño o intervención del mejoramiento del pavimento que se está analizando ya sea mediante un plan de mejoramiento rutinario o rehabilitación del pavimento dependiendo del nivel de PCI y daños del pavimento observado.

En líneas generales, el proceso consiste en dividir el tramo de estudio en unidades de muestreo, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de capa de rodamiento en la evaluación de un proyecto.

1.2 Descripción de la Situación Problemática.

La infraestructura vial de nuestro país es muy precaria, evidenciándose en el pésimo estado de los diferentes tipos de pavimentos existentes, ya que presentan una variedad de fallas considerable, generalmente al poco tiempo de su vida útil. Las causas no son únicas, sino que se deben a diferentes factores como podría ser un mal diseño, factores, climáticos, deficiente mantenimiento, entre otras.

Según estudios realizados, se conoce que la red vial de El Salvador cuenta con cerca de 12,493 Km de carreteras, de los cuales 7,078 kilómetros se encuentran bajo administración del Ministerio de Obras Públicas y el FOVIAL. Por otra parte, el remanente de la red se concentra en vías terciarias y rurales, a cargo de los entes territoriales.

Se estima que cerca de dos tercios de dicha red se encuentran en un estado regular y malo.

Condición	Pavimentada	No Pavimentada	Total (Km)	Porcentaje
Bueno	1,337.55	572.37	1,909.92	26.98%
Regular	796.28	735.44	1,531.72	21.64%
Malo	2,105.06	1,531.75	3,636.81	51.38%
Total	4,238.89	2,839.56	7,078.45	100.00%

Tabla 1.2-1 Estado de la Red Vial de El Salvador. (Fuente: FOVIAL 2018)

La vía de investigación se encuentra geográficamente localizada en el departamento de Ahuachapán Centro. La fecha de contratación fue el 23 de septiembre de 2021, siendo habilitada y recepcionada en el 2022.

Dicha vía, a pesar de haber sido recepcionada hace aproximadamente dos años, ya presenta diferentes tipos de fallas en su corto tiempo de vida útil, las cuales son debidas a varios factores.

Por tanto, la presente investigación está enfocada en un pavimento del tipo flexible, específicamente en la carretera CA08W, tramo Ahuachapán – Frontera Las Chinamas realizando una evaluación del estado superficial debido a que ha presentado daños en su capa de rodadura después de su rehabilitación.

Se evaluará mediante el método del PCI (según norma ASTM D6433, mayormente conocida como Pavement Condition Index – PCI) con el fin de conocer la condición actual del pavimento después de dos años y medio de uso. Se hará uso del software UnalPCI para el cálculo automatizado del pavement condition index para obtener resultados más exactos.

1.3 Formulación del Problema.

1.3.1 Problema General.

¿Cómo determinar el estado para el pavimento flexible de la carretera CA08W, tramo Ahuachapán – Frontera Las Chinamas?

Esta investigación se basará en definir el estado del pavimento flexible de acuerdo a los parámetros establecidos por el método PCI, como las técnicas de muestreo in situ y las características de los deterioros en relación con su estado de conservación.

1.3.2 Problemas Específicos.

¿Cuáles serán los parámetros de evaluación con la aplicación del método PCI para determinar el estado del tramo en análisis?

¿Cuál será el cálculo del índice de condición del pavimento con la aplicación del método PCI para determinar el estado del pavimento?

¿Cuál será la condición del pavimento con la aplicación del método PCI para determinar el estado y conocer el mantenimiento para el pavimento flexible en el tramo analizado?

1.4 Objetivos de la Investigación.

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar técnicamente el pavimento rehabilitado mediante reciclado en caliente in situ en la carretera CA08W, tramo Ahuachapán – Frontera Las Chinamas.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Conocer los lineamientos o especificaciones técnicas que se aplican a la técnica del reciclado en caliente.
- Realizar un levantamiento de daños, para evaluar el estado funcional que actualmente presenta la carretera CA08W, tramo Ahuachapán – Frontera Las Chinamas.
- Obtener el Índice de Condición del Pavimento (PCI - Pavement Condition Index) como un indicador que permita precisar la condición del pavimento flexible rehabilitado mediante la técnica de reciclado en caliente.
- Proponer alternativas de intervención en función a los daños presentes en el tramo analizado.
- Presentar recomendaciones para el uso futuro de la rehabilitación mediante la técnica de reciclado en caliente in situ.

1.5 Alcances.

- Reiterar al ingeniero los procesos establecidos a través de normas y especificaciones para la aplicación de la técnica del reciclado en caliente in situ, para obtener una optimización de recursos y evitar daños.
- Obtener el índice de integridad del pavimento y la condición operacional de la superficie, para determinar las necesidades de mantenimiento y reparación en función a la condición real del pavimento, a través de la metodología PCI.
- Analizar los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología PCI para proponer distintas alternativas de intervención en función de las fallas presentes en el pavimento.
- Anticipar a los profesionales de ingeniería civil que ejercen en el área de carreteras, acerca de los posibles errores que se pueden llegar a cometer sino se aplica correctamente la técnica del reciclado en caliente en la rehabilitación de una carretera.
- Dar a conocer las ventajas y desventajas que trae consigo la aplicación de la técnica de reciclado en caliente en pavimentos.

1.6 Limitaciones del Estudio.

El analizar únicamente una ruta también es una limitante de nuestro trabajo de investigación, ya que al tomar como muestra un tramo de carretera de la CA08W se obtendrán resultados específicamente para dicho tramo, no así de forma general para los tramos rehabilitados mediante la técnica del reciclado de mezcla asfáltica.

De igual forma, el realizar la evaluación técnica del tramo en análisis únicamente a través de la metodología PCI, ya que existen muchos otros métodos para llevarlo a cabo, sin embargo, el optimizar tiempo llevó a tomar la decisión de realizarlo mediante dicho método.

El alto tráfico vehicular es una de las situaciones más difíciles de regular al momento de realizar un levantamiento de daños, ya que para dicho levantamiento se precisa señalización y seguridad vial adecuada evitando cualquier accidente, para lo que se gestionó la incorporación a un mantenimiento rutinario para poder llevarlo a cabo de la forma más segura.

Una de las principales causas de los accidentes de tránsito es la falta de educación vial, lo que hace que gran parte de los usuarios no respeten ni atiendan a las señales viales o gestores de tránsito, debido a que ellos no tienen un conocimiento respecto a los trabajos que se están realizando, a pesar de que son

para su total bienestar, manifiestan incomodidad o agresividad verbal hacia quienes realizan los trabajos viales.

No obstante, ninguna de las anteriormente mencionadas impidió el llevar a cabo nuestra investigación.

1.7 Justificación de la Investigación.

Debido a la poca disponibilidad de materiales cerca del lugar donde se están ejecutando las obras y la disposición de desechos, existe la necesidad de optimizar el uso de los agregados, aglomerantes, equipo, mano de obra y recursos. Una solución a alguno de los problemas de transportación referidos anteriormente es la reutilización o reciclado de materiales existentes para la construcción, reparación y mantenimiento de carreteras.

La presente investigación centra su importancia en que nos permitirá conocer el estado superficial actual del pavimento flexible que ha sido rehabilitado mediante el reciclado en caliente in situ en la carretera CA08W. Es decir, mediante este análisis, determinaremos su estado real mediante el uso del método del PCI.

Como utilidad adicional, es que los futuros ingenieros y profesionales del área conozcan la aplicación del método PCI, dado que es una de las metodologías más completas, además de ser confiable y económica.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.

2.1 Definición de Pavimento.

Los pavimentos son estructuras conformadas por un conjunto de capas de material previamente seleccionado, las cuales se ubican por encima del terreno natural y cuya finalidad es recibir de forma directa las cargas de tránsito, transmitiéndolas a los estratos inferiores de una forma disipada.

Además, brinda una superficie de rodamiento funcional, segura y eficiente al usuario, para lo cual se requieren condiciones necesarias tales como:

- Ancho
- Trazo vertical
- Trazo horizontal
- Resistencia
- Adherencia

2.2 Clasificación de los Pavimentos.

Existen 3 tipos de pavimentos:

- Pavimentos rígidos
- Pavimentos mixtos
- Pavimentos flexibles.

2.2.1 Pavimento Rígido.

Pavimento cuyo elemento fundamental es una losa de concreto hidráulico, la cual distribuye la carga de los vehículos a las capas inferiores por medio de toda la superficie de losa y de las adyacentes que trabajan en conjunto.

El pavimento rígido posee una gran resistencia a la flexión, es por ello que desde que se empezó a utilizar se pretendía incorporar métodos que permitieran determinar su comportamiento, con los que actualmente ya se cuenta y que, además, facilitan la obtención de un diseño adecuado.

Cabe mencionar que, el pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el costo del pavimento flexible, así como su mantenimiento. Su período de vida útil oscila entre los 20 y 40 años. El mantenimiento de este pavimento generalmente se realiza en las juntas de construcción y es mínimo, por lo que a largo plazo resulta ser más beneficioso.

Para el diseño de pavimentos rígidos es necesario tomar en cuenta factores. Ejemplo de ello es cuando el material del lugar no cumple con las características para tal función tales como problemas de expansión o un bajo valor de soporte, se recurre entonces a la selección de materiales de mejor calidad o tratarlos con productos adecuados.

Para obtener un pavimento rígido óptimo y económico es necesario analizar los siguientes parámetros:

- Condiciones climáticas del lugar
- Resistencia del concreto
- Carga vehicular
- Módulo de reacción de la subrasante

La composición de la estructura de un pavimento rígido y la disposición de sus capas es la siguiente:



Ilustración 2.2-1 Estructura del Pavimento Rígido.

Fuente: Imagen tomada de Tesis: Aplicación Del Método Pci Para Determinar El Estado Y El Adecuado Plan De Mantenimiento Para El Pavimento Flexible Entre El Km 4+500 Al Km 7+500 De La Vía De Acceso Al Centro Poblado Montegrande, Reque, Chiclayo (Año 2020).

La sección transversal de un pavimento rígido está compuesta por:

- Losas de concreto
- Subbase
- Subrasante

2.2.2 Pavimento Mixto.

También conocido como pavimento híbrido por ser una combinación del pavimento flexible con el pavimento rígido.

Para el pavimento mixto se tienen las siguientes definiciones:

1. Es un tipo de pavimento mayormente utilizado en zonas urbanas. Este pavimento tiende a disminuir gradualmente la velocidad de los vehículos debido a los bloques que posee su estructura, ya que estos generan una vibración cuando entran en contacto con las llantas de los vehículos.
2. Es aquel pavimento que posee una capa de asfalto sobre una losa de concreto, teniendo ésta sus respectivas juntas según diseño.
3. Aquel pavimento construido mediante una combinación de diversos materiales que varían según las necesidades y especificaciones del proyecto en ejecución. Estos pavimentos pueden estar compuestos por una mezcla de asfalto, hormigón, agregados pétreos y aditivos utilizados en capas superpuestas con el fin de aprovechar las características de cada uno de ellos.

Estas mezclas pueden ser:

- Mezcla de hormigón y asfalto
- Mezcla de hormigón y piedra natural
- Mezcla de asfalto y piedra natural

Dentro de las ventajas del uso de pavimentos mixtos o compuestos se tienen:

- Son pavimentos duraderos:

Pueden durar décadas a pesar del alto tráfico, soportan cargas pesadas, condiciones climáticas extremas y productos químicos agresivos.

- Son pavimentos versátiles:

Pueden ser utilizados en cualquier proyecto de construcción vial, desde entradas residenciales hasta aparcamientos comerciales. Además, son personalizables, pueden diseñarse dependiendo del tipo de necesidad.

- Son pavimentos rentables:

Son asequibles a las opciones convencionales de pavimentación, requieren poco mantenimiento y sus métodos de reparación son fáciles y rápidos.

La composición de la estructura de un pavimento mixto (definición 1) y la disposición de sus capas es la siguiente:

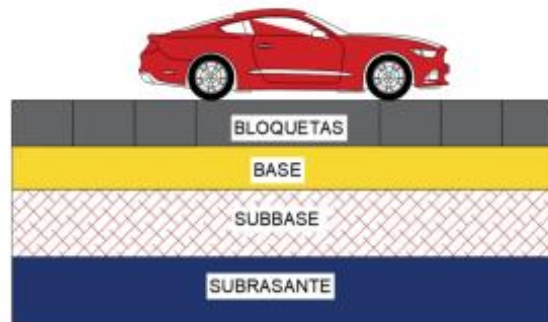


Ilustración 2.2-2 Estructura de Pavimento Mixto (definición 1).

Fuente: Imagen tomada de Tesis: Aplicación Del Método Pci Para Determinar El Estado Y El Adecuado Plan De Mantenimiento Para El Pavimento Flexible Entre El Km 4+500 Al Km 7+500 De La Vía De Acceso Al Centro Poblado Montegrande, Reque, Chiclayo (Perú 2020).

La sección transversal de un pavimento rígido está compuesta por:

- Bloque
- Base
- Subbase
- Subrasante

2.2.3 Pavimento Flexible.

Pavimento elaborado por una capa asfáltica elaborada a base de una mezcla bituminosa en caliente que produce una mínima distribución de cargas, aplicada sobre una base y una subbase.

Dichas cargas son distribuidas por el contacto entre partículas en todo el espesor de la losa como una carga puntual y provocan deformaciones, fisuras,

hundimientos y ondulaciones longitudinales en la superficie como en las capas inferiores.

Cada una de las capas debe cumplir con la resistencia y garantizar un período de vida útil que oscila entre los 10 a 15 años y aunque inicialmente es más económico que un pavimento rígido, este tipo de pavimento requiere un mantenimiento constante que a largo plazo conlleva un costo elevado.

Estas capas tienen como finalidad:

- Resistencia adecuada
- Impermeabilidad necesaria
- Soporte a acciones destructivas
- Resistencia a cambios climáticos
- Funcionalidad y eficiencia al usuario

La composición de un pavimento flexible y la disposición de sus capas es la siguiente:

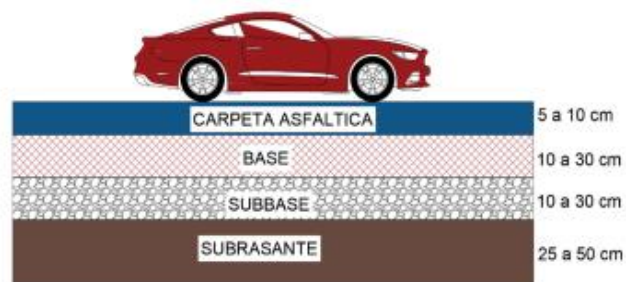


Ilustración 2.2-3 Estructura del Pavimento Flexible.

Fuente: Imagen tomada de Tesis: Aplicación Del Método Pci Para Determinar El Estado Y El Adecuado Plan De Mantenimiento Para El Pavimento Flexible Entre El Km 4+500 Al Km 7+500 De La Vía De Acceso Al Centro Poblado Montegrande, Reque, Chiclayo (Perú, 2020).

La sección transversal de un pavimento flexible está compuesta por:

- Carpeta asfáltica
- Base
- Subbase
- Subrasante

2.2.3.1 Componentes Estructurales del Pavimento Flexible.

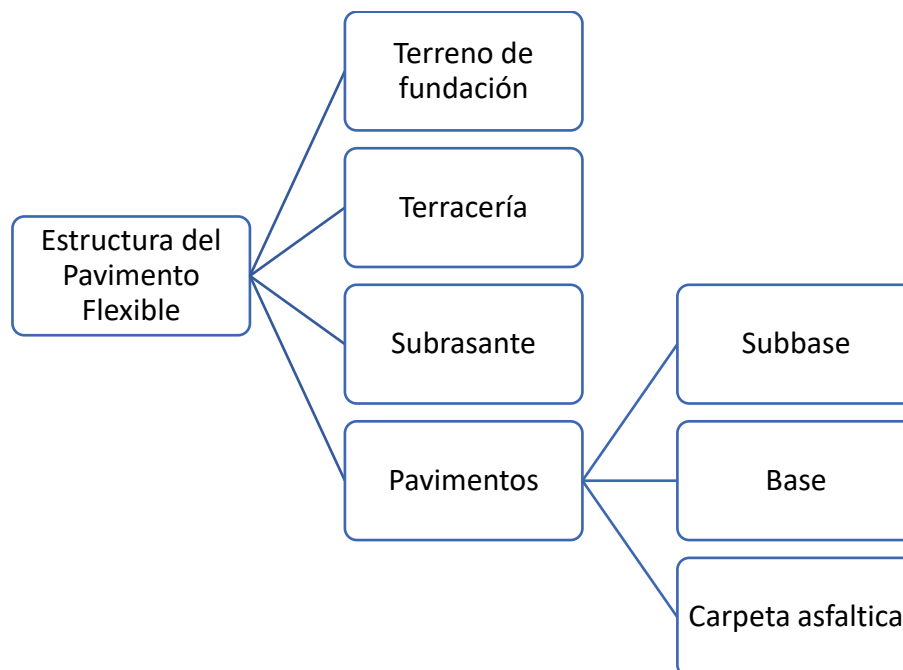


Ilustración 2.2-4 Estructura del Pavimento Flexible. Elaboración propia

Los pavimentos flexibles están formados por capas de distintos materiales donde la capa superior contiene materiales de alta resistencia por ser la capa que

soporta directamente toda la carga, mientras que las inferiores pueden estar construidas por materiales de una menor resistencia.

La composición y espesor de cada capa depende de las solicitudes de la vía y el diseño definido que, según el Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos SIECA 2002, puede llegar a tener hasta 120 cm.

El diseño y las características de transmisión de cargas de cada capa dependen de su composición y de factores ambientales o de tráfico percibidos diariamente.

Sección transversal de un pavimento flexible:

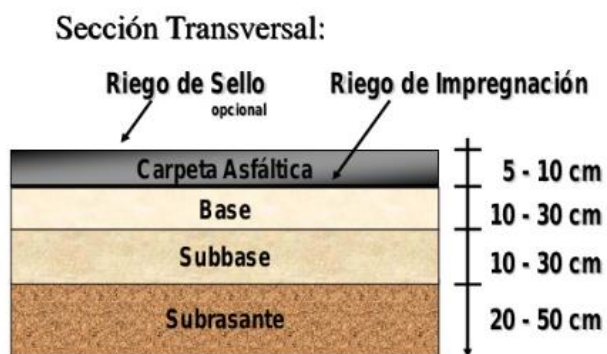


Ilustración 2.2-5 Sección transversal del Pavimento Flexible
Fuente: Imagen tomada de presentación de la Cámara Nacional del Cemento CANACEM. (México)

2.2.3.1.1 Terreno de fundación.

El terreno de fundación es la capa del suelo bajo la estructura del pavimento, la cual es preparada y compactada como fundación. Se trata de la última capa del terreno natural y aunque no forme parte del pavimento, es de suma importancia tener un conocimiento

respecto a las condiciones de estabilidad del mismo, evitando así deslizamientos, asentamientos o desplazamientos.



Ilustración 2.2-6 Terreno de Fundación.

Fuente: Imagen tomada de la página web de empresa Ingeniería Y Construcción CODAP, S.A. De C.V.

Tomar en cuenta que:

- Si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse y sustituirse por otro de mejor calidad.
- Si el terreno de fundación es malo, se debe colocar una subbase de material seleccionado antes de la base.
- Si el terreno de fundación es bueno, se podrá prescindir de la base.
- Si el terreno de fundación es excelente, se podrá prescindir de la subbase y de la base.

2.2.3.1.2 Terracería.



Ilustración 2.2-7 Terracería

Fuente: Imagen tomada de la página web de empresa Ingeniería Y Construcción CODAP, S.A. De C.V.

También llamada subestructura del pavimento es un conjunto de obras de corte y terraplenado, formada por la subrasante y el cuerpo de terraplén que generalmente están conformados por materiales que no han sido seleccionados. Si el TPDA es mayor a 5000 vehículos, se debe construir bajo la subrasante una capa llamada subyacente, con un espesor mínimo de 50 cm.

2.2.3.1.3 Subrasante.

Es el cimiento de un pavimento conformado comúnmente por el mismo material de la terracería y constituyen los últimos 30 cm de corte en un terraplén.

Es necesario que se drene el subsuelo o se eleve la subrasante para que el nivel de aguas freáticas quede cuando menos a 1.50 m debajo de la subrasante.

Para diseñar un pavimento flexible se deben hacer estudios de la subrasante, comprendiendo:

- Topografía
- Geología del ambiente
- Mecánica de suelos



Ilustración 2.2-8 Subrasante

Fuente: Imagen tomada de la página web de empresa Pro-Road Global (Bogotá)

La subrasante soporta las cargas que son transmitidas por el pavimento y las sustenta, es por ello que, entre mejor sea la calidad de esta capa, se reduce el espesor y con ello los costos sin afectar la calidad. Además de esto, la subrasante evita que el terraplén contamine el pavimento y sea absorbido por las terracerías.

Esta capa debe cumplir las siguientes características:

f" máximo	3"
Expansión máxima	5%
Grado de compactación	95%
Espesor mínimo	30 cm para caminos de bajo tránsito y 50 cm para un TPDA mayores a 2000 vehículos,

Tabla 2.2-1 Características de la subrasante

Fuente: información tomada de documento: Funciones de base, subbase, subrasante y material de mejoramiento. Universidad Técnica Particular De Loja, 2018

2.2.3.1.4 Subbase.



Ilustración 2.2-9 Subbase granular

Fuente: Imagen tomada del artículo: Importancia del desempeño de las capas granulares de un pavimento. Ing. Civil Sergio Quispe Espinoza, 2020.

Es la capa que transmite las cargas a la subrasante, cuya principal función es impedir que el agua de las terracerías suba por capilaridad, evitando que el pavimento sea absorbido por la subrasante.

La subbase permite menores costos debido a que transforma cierto espesor de base en un espesor equivalente de material de subbase, por lo que incurre en ahorros de dinero.

2.2.3.1.4.1 Principales Funciones de la Subbase.

Dentro de las funciones de la subbase se tienen:

- Transmitir esfuerzos a la subrasante.
- Construir una transmisión entre la base y la subrasante evitando contaminación de materiales.
- Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento originados por cambios de volumen o rebote elástico del material.
- Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que requiere especificaciones menos rígidas que se pueden satisfacer con materiales de menos costo.

2.2.3.1.5 Base.

Es la capa que soporta las cargas aplicadas y las distribuye a la subbase. Siendo la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos, se necesita no solamente una compactación, sino otro tipo de estabilización o mejoramiento para poder resistir las cargas de tránsito sin que sufra deformaciones y poder transmitir las de forma adecuada a las capas inferiores.



Ilustración 2.2-10 Estabilización con Cemento.

Fuente: Imagen tomada del artículo: ¿Que es Suelo Cemento? Ing. Civil Rubén Coronel Vera, 2021.

2.2.3.1.5.1 Tipos de Base.

Base granular	Constituida por grava triturada y una mezcla natural de agregado y suelo. En este tipo de base, la estabilidad del material depende de la fricción interna y de su cohesión.
Base estabilizada	Constituidas por bases estabilizadas mediante cemento, cal u otros materiales bituminosos.

Tabla 2.2-2 Tipos de Base. Elaboración propia

2.2.3.1.5.2 Principales Funciones de la Base.

- Soportar las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta.
- Transmitir los esfuerzos a la subrasante por medio de la subbase, evitando deformaciones en el pavimento.
- Drenar el agua introducida por medio de grietas en el pavimento o por los hombros, evitando ascensión capilar.

2.2.3.1.6 Carpeta.



Ilustración 2.2-11 Carpeta Asfáltica.

Fuente: Imagen tomada de la página web de empresa Desarrollo Integral de Infraestructura del Golfo S.A de C.V. (DIIGSA)

Es la parte superior del pavimento flexible, la cual proporciona una superficie de rodamiento, constituida por materiales pétreos y productos asfálticos según el tipo de camino a construir. Su principal función es proporcionar una superficie

estable, prácticamente impermeable, uniforme y de textura apropiada que brinde una seguridad al usuario.

El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se diseña de acuerdo con el tránsito de esa vía a intervenir.

La capa asfáltica debe tener características que garanticen su funcionalidad, tales como:

- Textura superficial apropiada con resistencia al deslizamiento.
- Regularidad superficial.
- Impermeabilidad.

2.2.3.2 Clasificación de los Pavimentos Flexibles.

Los pavimentos flexibles se pueden clasificar por el tipo de mezcla bituminosa que lo compone. Esta mezcla bituminosa es una combinación de agregados pétreos de calidad y características específicas y asfaltos líquidos o cementos asfálticos que funcionan como aglutinantes.

Los pavimentos asfálticos se clasifican en:

- Mezclas asfálticas en frío.
- Mezclas asfálticas en caliente.

- Mezclas asfálticas en tibio.
- Tratamientos superficiales.
- Macadam asfáltico.

2.2.3.2.1 Mezcla Asfáltica en Frío.



Ilustración 2.2-12 Mezcla asfáltica en frío.

Fuente: Imagen tomada de la página web de empresa Pavimento de México S.A de C.V. (Construex)

Es una mezcla que resulta de combinar agregados y un ligante bituminoso que permite mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. Producir estas mezclas implica un significativo ahorro de energía y una notable reducción de vapores tóxicos y polvos, además, de ser una mezcla versátil, ya que permite utilizar una gran variedad de agregados y tipos de emulsiones.

Como ventaja se tiene que estas mezclas en su fabricación emplean ligantes bituminosos con menor viscosidad en comparación a las mezclas en caliente, betunes fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas.

Clasificación según el método de mezclado

- In situ
- En plantas mezcladoras fijas

Clasificación según el ligante utilizado

- Mezcla asfáltica en frío con emulsión
- Mezcla con asfalto rebajado

Clasificación según el tipo de curva granulométrica

- Mezcla en frío con agregado de graduación abierta
- Mezcla en frío con agregado de graduación densa

Clasificación según el tipo de mantenimiento

- Mezclas en frío de apilamiento
- Mezclas en frío de apilamiento utilizando RAP
- Mezclas en frío de uso inmediato
- Mezclas en frío para bacheo

2.2.3.2.2 Mezcla Asfáltica en Caliente.



Ilustración 2.2-13 Mezcla Asfáltica en Caliente.

Fuente: Imagen tomada de la página web de empresa Probisa.

Es una mezcla que resulta de mezclar completamente agregados finos, agregados gruesos y un ligante bituminoso, en una planta de mezclado, donde son calentados, proporcionados y mezclados para obtener como resultado una mezcla homogénea. Antes de enviarse y colocarse en el lugar deseado, se calienta en las instalaciones de producción a una temperatura que oscila entre los 300 y 350 grados.

Ventajas de la mezcla asfáltica en caliente:

- **Resiste a la intemperie:** Lo que permite que sea utilizada en todo el país, ya que resiste cualquier tipo de clima.
- **Pronta apertura al tráfico:** la mezcla se enfría rápidamente, lo que permite que el tráfico fluya en pocas horas luego de su colocación.

- **Flexibilidad:** además, de la maleabilidad, permiten al asfalto expandirse y contraerse a diferentes temperaturas sin agrietarse ni dañarse.

2.2.3.2.3 Mezcla Asfáltica en Tibio.

Las mezclas asfálticas en tibio (MAT) e Internacionalmente son conocidas como mezclas WMA (por sus siglas en inglés), son una tecnología empleada en la construcción y rehabilitación de pavimentos que se encuentra entre las mezclas en caliente y en frío.

Estas mezclas se producen y aplican a temperaturas más bajas que las mezclas asfálticas tradicionales en caliente, pero sin llegar a las temperaturas de las mezclas en frío, lo que ofrece varios beneficios económicos, ambientales y de seguridad.

Características de las Mezclas Asfálticas en Tibio.

- **Rango de temperatura de fabricación:**

Generalmente se producen entre 100°C y 140°C, mientras que las mezclas en caliente se fabrican a temperaturas de 150°C a 180°C.

- **Aditivos especiales:**

Para lograr la reducción de temperatura, se utilizan aditivos que mejoran la trabajabilidad del asfalto a temperaturas más bajas. Estos pueden ser químicos, espumas de asfalto o mezclas de cera y aditivos orgánicos.

- **Procesos de fabricación:**

Dependiendo del tipo de aditivo o método utilizado, los procesos de fabricación pueden variar, pero todos buscan reducir la viscosidad del asfalto para permitir una buena compactación y manejo a menores temperaturas.

Ventajas de las Mezclas Asfálticas en Tibio.

- **Reducción de emisiones contaminantes:**

Al trabajar a temperaturas más bajas, se reduce significativamente la emisión de gases de efecto invernadero (como el CO₂) y otros contaminantes, mejorando las condiciones de trabajo para los operarios y el entorno ambiental.

- **Ahorro de energía:**

Dado que se requiere menos energía para calentar los materiales, se disminuye el consumo de combustible, lo que resulta en un menor costo operativo.

- **Mayor durabilidad del asfalto:**

Las menores temperaturas reducen la oxidación del asfalto durante su fabricación, lo que ayuda a conservar sus propiedades mecánicas durante más tiempo.

- **Mejor seguridad para los trabajadores:**

Las temperaturas más bajas hacen que las condiciones de trabajo sean menos peligrosas y más cómodas, ya que se disminuyen los riesgos asociados a las quemaduras y el calor intenso.

- **Posibilidad de trabajar en condiciones climáticas más frías:**

Al requerir temperaturas de compactación más bajas, las mezclas en tibio pueden ser utilizadas en climas fríos o durante estaciones en las que las mezclas en caliente podrían no ser aplicables.

- **Mayor ventana de tiempo para el transporte y colocación:**

La mezcla en tibio mantiene su trabajabilidad durante más tiempo, lo que permite transportar el material a mayores distancias sin perder calidad en la compactación.

Desventajas o desafíos.

- **Costos de los aditivos:**

Aunque el ahorro energético y la menor emisión de contaminantes son beneficios significativos, los aditivos utilizados en las mezclas en tibio pueden ser costosos, lo que incrementa el costo inicial de producción.

- **Control de calidad:**

Las mezclas asfálticas en tibio requieren una adecuada selección y dosificación de aditivos para garantizar la calidad y durabilidad del pavimento, lo que puede implicar una mayor complejidad en el control de calidad.

- **Adaptación de las plantas:**

Algunas plantas de producción de asfalto pueden requerir ajustes o modificaciones para adaptarse a la producción de mezclas en tibio, lo que supone una inversión inicial.

Aplicaciones

Las mezclas asfálticas en tibio se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde la construcción de carreteras nuevas hasta la rehabilitación de pavimentos existentes. Son particularmente útiles en proyectos donde se requiere reducir el impacto ambiental, mejorar la eficiencia energética o trabajar en condiciones climáticas difíciles.

En resumen, las mezclas asfálticas en tibio son una alternativa eficiente y más sostenible frente a las mezclas tradicionales en caliente, con beneficios significativos en cuanto a reducción de emisiones y consumo de energía, aunque con ciertos desafíos técnicos y económicos a considerar.



Ilustración 2.2-14 Colocación de mezcla asfáltica tibia.

Fuente: Imagen tomada del artículo: “Perú: Conservaciones viales y el COVID-19”. Ing. Civil Ariela Toro (Perú 2020)

2.2.3.2.4 Tratamiento Superficial.

A nivel mundial, los tratamientos superficiales han sido utilizados para mejorar el estado de las carreteras, ya que son una alternativa para preservar el buen estado de las mismas mejorando sus características.

Esta solución ha sido conocida y destacada por su buena relación costo/desempeño, facilidad de colocación y el empleo sobre casi cualquier tipo de pavimento.

Los tratamientos superficiales se definen como una aplicación uniforme de un ligante asfáltico, generalmente emulsión asfáltica, la cual es cubierta por una capa uniforme de agregados de igual tamaño.



*Ilustración 2.2-15 Tratamientos Superficiales.
Fuente: Imagen tomada de la página web de empresa BITAFAL.*

Dentro de sus beneficios destacan:

- Aumentar el coeficiente de fricción de la carretera.
- Impermeabilizar la estructura del pavimento existente protegiendo las capas subyacentes.
- Reducir la emisión del polvo cuando son colocadas sobre capas granulares.
- Superficie uniforme.

Componentes de un tratamiento superficial:

- Emulsión asfáltica.
- Agregado.

Tipos de tratamientos superficiales

<p>Tratamiento superficial simple TS-1</p>	<p>Aplicación uniforme de un ligante asfáltico, sobre una estructura de pavimento o base granular, seguido de una capa de agregado de tamaño uniforme.</p> <p>Cuando es aplicada sobre una base granular, reduce la pérdida de material por escorrentía superficial, impermeabiliza la superficie y reduce la cantidad de partículas de polvo dispersas en el aire generadas por el tráfico vehicular.</p>
<p>Tratamiento superficial múltiple</p>	<p>Son una sobreposición de tratamientos superficiales simples, donde cada capa se construye como si fuese un TS-1.</p> <p>Este es utilizado cuando se necesita obtener un acabado más uniforme del que se pueda lograr con un TS-1 o en lugares con una condición climática adversa.</p>

Tabla 2.2-3 Tipos de Tratamientos Superficiales. Elaboración propia

Fuente: Imagen tomada de la página web de empresa Probisa.

2.2.3.2.5 Macadam Asfáltico.



Ilustración 2.2-16 Macadam asfáltico.

Fuente: Imagen tomada de la página web de empresa Probisa.

El macadam asfáltico por penetración es el tipo más antiguo de pavimentos para carreteras. Es una capa de rodadura formada por una sucesión de capas de mezcla asfáltica constituida por materiales pétreos de diferentes granulometrías, las cuales son colocadas, las de mayores granulometrías en la parte de abajo y arriba las de menos granulometría, posteriormente son compactadas con rodos y camiones.

Este es empleado como capa superficial para caminos de tránsito medio a pesados, pero para caminos de tránsito pesado ha sido reemplazado por concreto asfáltico. Para su construcción puede ser empleado cemento asfáltico y asfalto emulsionado o uno de los grados más pesados de los alquitranes para caminos.

2.3 Tecnología de Reciclado de Pavimento

Ya que el tramo de carretera que se está analizando ha sido rehabilitado por medio de la técnica de reciclado en caliente, es importante conocer, al menos la teoría de dicha técnica. Por tal motivo, la sección 2.3 se enfocará en presentar conceptos referentes a dicho tema, así como también especificaciones técnicas, el diseño de mezcla de reciclado en caliente y reconstrucción de pavimento asfáltico reciclado.

2.3.1 Conceptos Básicos

2.3.1.1 ¿Qué es Reciclar?

Según la Real Academia, reciclar es:

- Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar.
- Someter repetidamente una materia a un mismo ciclo, para ampliar o incrementar los efectos de este.

2.3.1.2 ¿Por qué Reciclar?

Reciclar es fundamental por varias razones.

- Ayuda a conservar los recursos naturales o recursos no renovables al reducir la necesidad de extraer, cosechar o fabricar nuevos materiales.
- Reduce la cantidad de desechos que van a parar a vertederos, lo que ayuda a mitigar la contaminación del suelo, el agua y el aire.

- Contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de nuevos materiales.

En resumen, reciclar es una forma eficaz de conservar recursos, proteger el medio ambiente y reducir nuestra huella ecológica.

2.3.1.3 ¿Qué es el Reciclaje de Pavimentos?

Se tienen varios conceptos, a continuación, se mencionan algunos de estos:

- El reciclado es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de las capas del pavimento que ya han estado en servicio y que han perdido propiedades, pero pueden ser reutilizados.
- Método de ingeniería que implica la utilización de una porción o la totalidad de una estructura de pavimento asfáltico para crear una mezcla de asfalto de mayor calidad que la ya existente, o para estabilizar las capas granulares del pavimento.
- El reciclaje de pavimento asfáltico es una tecnología avanzada que posibilita la renovación de pavimentos en mal estado utilizando los mismos materiales de construcción originales. Esta técnica es viable siempre y cuando el pavimento no haya alcanzado un nivel de degradación que impida su rejuvenecimiento eficaz.

- El Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) o Reclaimed Asphalt Pavement corresponde al material recuperado de la carpeta asfáltica de un pavimento removido producto de una reconstrucción o rehabilitación. Tanto el agregado como el ligante asfáltico que conforman el RAP aún poseen la capacidad de aportar ciertas propiedades en una nueva estructura de pavimento.

2.3.1.4 Ventajas del Reciclado de Pavimentos.

El reciclado de asfalto ofrece numerosas ventajas, tanto desde el punto de vista medioambiental como económico. Algunas de las principales ventajas son:

- Reutilización de material que ha finalizado su vida útil.
- Posibilita la mejora estructural del pavimento existente.
- Permite el uso de refinada técnica de control de calidad.
- Permite corregir los diseños y/o elaboración incorrecta de las mezclas asfálticas existentes.
- Disminución del volumen de botaderos.
- Reducción del impacto medioambiental: El reciclado de asfalto permite aprovechar el granulado de fresado, reduciendo la cantidad de residuos y evitando la extracción de nuevos áridos. Además, se reduce la emisión de gases contaminantes durante el proceso de producción.

- Disminución del suministro de material virgen.
- Reducción en los procesos de extracción de materias primas limitadas, en otras palabras, un ahorro de recursos naturales, ya que, al utilizar áridos reciclados en la producción de asfalto, se reduce la necesidad de extraer nuevos recursos naturales, como la piedra y la grava. Esto contribuye a la conservación del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales.
- Mayor eficiencia en el proceso de asfaltado: El uso de asfalto reciclado permite optimizar los procesos de producción y reducir los costos. Además, el asfalto reciclado tiene propiedades similares al asfalto convencional, por lo que su utilización no afecta la calidad de las vías.
- Disminución en los tiempos de intervención.
- Disminución en las importaciones de los productos asociados a la obra.
- Reducción en los porcentajes de ligante asfáltico requerido en la mezcla.

2.3.1.5 Especificaciones Técnicas.

Las especificaciones técnicas utilizadas, para el reciclaje de un pavimento, sea este en frío o en caliente, son directamente aplicadas a los materiales utilizados en el proceso, bajo el concepto de que estos materiales son procedentes de muestras representativas del pavimento a reciclar, las cuales deben estar regidas por las normas utilizadas en nuestro país para este proceso, como lo son las FP'96, FP'03 o las SIECA.

Estos materiales procedentes de la mezcla asfáltica de la carpeta asfáltica y demás agregados de la base y subbase del pavimento existente son sometidos a ensayos y bajo los parámetros especificados, se determina la mezcla reciclada y demás cantidades y calidades de materiales nuevos a agregar a los existentes para conformar lo que será el pavimento reciclado.

2.3.2 Reciclado en Caliente.

El reciclado en caliente es un proceso utilizado en la industria de la construcción de carreteras para reutilizar el asfalto viejo y deteriorado en la fabricación de nuevas capas de pavimento.

Se producen estructuras de alta calidad comparables a los de los pavimentos realizados con materiales de alta calidad nuevas, elaboradas en caliente. Se realiza según dos metodologías distintas, una in-situ y la otra realizada en planta.

2.3.2.1 Evaluación de Materiales para la Mezcla en Caliente.

2.3.2.1.1 Alcances.

La mezcla de reciclado en caliente, es una mezcla de recuperación y de nuevos materiales, formulados para lograr una mezcla adecuada y pavimentar con propiedades físicas especificadas.

El primer paso es la evaluación de materiales, seguido por el diseño de mezcla (por el método de Marshall o Hveem). Todos los materiales deben probarse y deben evaluarse para encontrar la mezcla óptima que reúna los requerimientos

de la mezcla. A ese fin, esta sección discute procedimientos y pruebas para reciclar un pavimento en caliente y a los nuevos materiales cuando sean necesarios.

2.3.2.1.2 Pruebas.

Se han desarrollado varios métodos por obtener muestras representativas de materiales.

- Entre ellos, los métodos para probar asfalto como en el Manual del Instituto del Asfalto, serie No. 18.
- Probando Productos del Asfalto para Complacer las Especificaciones de La Asociación Americana para la Prueba de Materiales (ASTM D 140).
- La Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO T 40).
- Agregados, ASTM D 75 (AASHTO T 2).
- La mezcla de pavimento asfáltico ASTM D 979 (AASHTO T 168).

Sin embargo, sin tener en cuenta el método usado, es requerido juzgarlo en la ingeniería desarrollando un plan de prueba.

La técnica conocida es una prueba al azar y es todavía una de las mejores inventadas. Con esto la localización de la prueba es seleccionada de tal manera que todas las localizaciones posibles dentro de la selección sean igualmente probables para ser escogidos y que sean investigados.

La opción es imparcial porque se hace completamente por casualidad, usando una mesa de números al azar. Una ventaja agregada de usar la prueba al azar es que el procedimiento, es basado en métodos estadísticos, y es que ambos la cantidad de trabajo y el costo probablemente involucrado puede reducirse.

El procedimiento para probar al azar los materiales para pavimentos está detallado en el Manual de Suelos del Instituto del Asfalto MS-10 o ASTM D 3665, puede usarse para seleccionar las localizaciones de prueba. El aplastar o moler el pavimento asfáltico a reciclar pueden alterar la gradación de la porción de agregados.

Por consiguiente, las muestras sometidas a pruebas deben representar la fría alimentación de las pilas de acopio en el sitio de la planta (para reciclaje en planta) y los laboratorios de campo (para reciclaje in-situ). La reserva existente de pruebas puede describirse en el método de AASHTO T-2.

2.3.2.1.3 Pavimento Asfáltico a Reciclar.

El diseñar mezclando el pavimento asfáltico conteniendo pavimento asfáltico reciclado requiere ciertas pruebas de laboratorio, además, de los procesos usuales de Marshall o Hveem.

Primero, la composición del pavimento asfáltico reciclado debe determinarse.

Esto incluirá:

1. Gradación del agregado.
2. Contenido de asfalto.
3. Viscosidad del asfalto a 60 °C (140 °F).

Entonces, la gradación de los agregados del material reciclado, cualquiera que sea, debe determinarse. Esta información es usada para definir la cantidad de cemento asfáltico nuevo que se necesita, y la gradación y cantidad adicional de agregados.

Los agregados y el asfalto en el pavimento asfáltico reciclado tienen propiedades que deben ser evaluados por separado. Por consiguiente, es necesario extraer el asfalto viejo de una muestra representativa del pavimento asfáltico reciclado.

- **Evaluación del Agregado.**

Un análisis por tamices, ASTM C 117 y C 136 (AASHTO T 11 y T 27), se realiza en la porción de agregado de la muestra del pavimento asfáltico reciclado para determinar la gradación (ver ilustración 2.3-1). Cualquier deficiencia puede ser corregida por una mezcla apropiada de fragmentos en el tamiz del nuevo y/o agregado recuperado del pavimento asfáltico reciclado.

Como se observa, primero se extraen muestras de la carpeta asfáltica que va a reciclarse, se desmenuza y se coloca en recipientes debidamente identificadas, para luego proceder a separar los agregados del asfalto (ver ilustración 2.3-2).



Ilustración 2.3-1 Muestra desmenuzada de agregados extraídos de un pavimento a reciclar.

Fuente Imagen tomada de Tesis / Carmen Rodríguez y José Molina. (2004). Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje. Universidad de El Salvador.

▪ **Extracción.**

El método que debe ser usado está en ASTM D 2172 (AASHTO T 164). El propósito de la extracción es la separación cuantitativa del agregado y asfalto. Dicha extracción se realiza utilizando los siguientes aparatos (ver ilustración 2.3-3). Se procede a extraer el asfalto para tener únicamente los agregados.



Ilustración 2.3-2 Muestra separada del asfalto, es a la que se toma la granulometría.

Fuente: Imagen tomada de Tesis / Carmen Rodríguez y José Molina. (2004). Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje. Universidad de El Salvador.



Ilustración 2.3-3 Extractores Centrífugos, separa los agregados del asfalto con solvente tricloroetileno. Marca: Soiltest, Inc. (izquierda) y Freesia Macross (derecha).

Fuente: Imagen tomada de Tesis / Carmen Rodríguez y José Molina. (2004). Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje. Universidad de El Salvador.

Este proceso se realiza con los extractores que se muestran en la ilustración 2.3-3 e ilustración 2.3-4, la velocidad máxima a la que giran estos extractores es a 3600 revoluciones /por min.

El objeto de las pruebas de extracción del asfalto es conocer si necesita material virgen y rejuvenecedor, además de que las cantidades se le van a colocar.

Después se procede a extraer los finos que pudieron quedar en la mezcla asfalto-solvente, para ser adicionados a los agregados antes extraídos y que así pueda tomarse una granulometría correcta de la carpeta asfáltica.

En la ilustración 2.3-5 se muestra el equipo con el cual se separa el asfalto del solvente, ya que se necesita solo el asfalto para sacarle otras pruebas.



Ilustración 2.3-4 Aparato centrífugo, separa los agregados finos del asfalto-solvente. Marca: Fressia Macross.

Fuente: Imagen tomada de Tesis / Carmen Rodríguez y José Molina. (2004). Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje. Universidad de El Salvador.



Ilustración 2.3-5 Equipo para extracción del asfalto, es decir separa el asfalto del solvente. Marca: Fressia Macross.

Fuente: Imagen tomada de Tesis / Carmen Rodríguez y José Molina. (2004). Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje. Universidad de El Salvador.

▪ Evaluación de Asfalto.

El contenido de asfalto en el pavimento asfáltico reciclado es determinado basándose en los pesos relativos del asfalto extraído y del agregado. La extracción del asfalto recuperado es sobre la base de la solución ASTM D 1856 (AASHTO T 170).

Su consistencia es entonces determinada en base a la viscosidad a 60 °C (140 °F), ASTM D 2171 (AASHTO T 202). Esta determinación es necesaria para estimar la cantidad requerida y el grado de asfalto a ser usado en la mezcla designada a reciclar (ver ilustración 2-3.6 y 2.3-7).

Esta prueba puede realizarse usando agua o glicerina, dependiendo de la temperatura a la que falle, la prueba dura más o menos 5 minutos. Está normada por ASTM D 36.

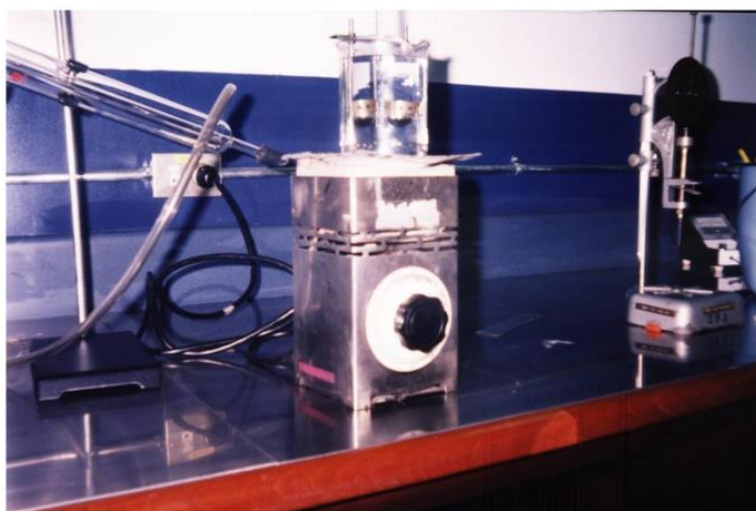


Ilustración 2.3-6 Equipo para extracción del asfalto, es decir separa el asfalto del solvente. Marca: Fressia Macross.

Imagen tomada de Tesis / Carmen Rodríguez y José Molina. (2004). Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje, Universidad de El Salvador.

Esta prueba consiste en penetrar una aguja en una muestra de asfalto que tiene 25°C de temperatura por 5 segundos, y luego, en la escala de arriba, nos indica cuánto fue la penetración. Esta, por lo general, anda en un rango de 60-70 centésimas de milímetros, para un asfalto virgen. Para un asfalto que va a ser reciclado, la penetración se encuentra en un rango mucho menor, por lo que así se sabe si necesita asfalto virgen y en qué cantidad.

Nota: Se sugiere que cuando no se utilice más de un 20 por ciento del pavimento asfáltico recuperado (RAP) en la mezcla; la viscosidad del asfalto extraído no es necesaria. La calidad de asfalto a ser usada en la mezcla reciclada normalmente será de la misma calidad usada para las mezclas convencionales.



*Ilustración 2.3-7 Equipo para determinar la Penetración del Asfalto.
Normada por ASTM D 5 Marca: Soiltest, Inc.*

*Imagen tomada de Tesis / Carmen Rodríguez y José Molina. (2004).
Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje.
Universidad de El Salvador.*

2.3.2.1.4 Asfalto nuevo.

Cemento asfáltico nuevo, adicionado a la mezcla del pavimento asfáltico reciclado y el nuevo agregado, sirve para dos propósitos:

- Para incrementar el contenido de asfalto total para reunir los requisitos de la mezcla.
- Mezclar con el asfalto viejo en la porción reciclada de la mezcla y rendir así un asfalto que se encuentre en las especificaciones deseadas.

Generalmente, se usan cementos asfálticos AC-10, AC-5 o AC-2.5 (AR-4000, AR-2000 o AR-1000; 85-100, 120-150 o 200-300 en penetración.) para este propósito. Estos asfaltos deben encontrarse en las especificaciones normales, ASTM D 3381 o D 946 (AASHTO M 226 o M20).

2.3.2.1.5 Agentes de Reciclaje.

Los agentes de reciclaje son materiales orgánicos con características químicas y físicas seleccionados para restaurar asfaltos viejos y llevarlos a las especificaciones deseadas. Seleccionar al agente de reciclado, las características de viscosidad del asfalto viejo combinado con el agente de reciclaje son los factores a determinar.

Se han usado varios agentes reciclando con éxito en el plan de mezclas recicladas, aunque no hay actualmente ninguna especificación estándar nacional americana para estos materiales.

En 1976, en una Conferencia de la Costa Pacífica de Usuarios y Productores del Asfalto, se estableció un comité de Productores del Asfalto y Agencias del Usuario para desarrollar especificaciones funcionales para agentes de reciclaje, y en 1979 el mismo grupo adoptó un juego de especificaciones provisionales para este propósito.

Estas características técnicas provisionales se sometieron a ASTM para consideración en el desarrollo de normas para estos materiales. Estos propusieron especificaciones del agente de reciclaje y se publicó en los 1980 Procedimientos de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentos de Asfalto (volumen 49), (consulte con el fabricante para la selección de un agente de reciclaje).

2.3.2.1.6 Agregados sin tratar.

Cualquier agregado normalmente usado para concreto asfáltico, material agregado de un reciclaje, o ambos pueden ser adicionados a un pavimento de asfalto reciclado para producir una mezcla con la gradación deseada. Pruebas

preliminares de la combinación de agregados son necesarias para determinar la cantidad correcta de cada uno a ser usado en la mezcla reciclada.

Al seleccionar el nuevo o al agregado recuperado, se debe considerar si la mezcla será usada como una base asfalto-concreto o superficie de curso. La mezcla debe tener la gradación deseada y debe encontrarse el criterio del procedimiento para diseñar y la selección estructural del pavimento. También debe tener bastante trabajabilidad para permitir su colocación apropiada.

2.3.2.1.7 Combinación de agregados.

A la mezcla de reciclado y a los nuevos agregados se les debe encontrar el criterio de la gradación especificada, como es una de las gradaciones de la mezcla descrita en la publicación del Instituto del Asfalto, ejemplares de especificaciones de la construcción para el concreto asfáltico y otros tipos de mezcla en Planta (SS-1). Alternativamente, ASTM especificación D 3515 establece el estado o el criterio local que puede usarse para determinar la gradación y los requisitos de calidad de los agregados combinados.

Además, la mezcla de agregados debe verificarse por resistencia a despojar. Usando una prueba de sensibilidad de agua aceptada y el mismo asfalto escogido para el proyecto, determina si necesita un relleno mineral o un agente.

La prueba de inmersión a compresión, “el efecto del agua en la cohesión de mezclas bituminosas compactadas”, ASTM D 1075 (AASHTO T 165), se recomienda para mezclas compactadas que contienen cemento asfáltico. La fuerza retenida debe exceder el 75 por ciento. También vea “La Causa y Prevención al Desalojar un Pavimento Asfáltico” (ES-10), de El Instituto del Asfalto.

2.3.3 Diseño de Mezcla de Reciclado en Caliente.

2.3.3.1 Alcances.

En esta sección se presenta paso a paso el proceso necesario para proporcionar los materiales reciclados, selección de la calidad y cantidad de cemento asfáltico (más agente de reciclaje, si necesita) y preparar un plan final para la mezcla reciclada.

Este es el método de la mezcla en caliente a reciclar, usando de 10 a un 70 por ciento del pavimento asfáltico reciclado. El lote de plantas que puede manejar un 50 por ciento (sin algún método auxiliar de precalentar el pavimento asfáltico recuperado, RAP), con el rango más práctico siendo de 10 a 35 por ciento; las plantas de mezcla de tambor pueden manejar un 70 por ciento, con 10 a 50 por ciento que es un rango práctico.

2.3.3.2 Pasos de preparación.

Este procedimiento de diseño de mezcla usa el método de Marshall o el de Hveem como sigue:

El agregado para un pavimento asfáltico es mezclado con materiales agregados de reciclado y/o nuevo, los cuales son requeridos para obtener una combinación de agregados, encontrándose así la gradación en las especificaciones requeridas.

Una vez que las proporciones relativas de agregados son determinadas, se calcula una demanda total del asfalto.

Un grado de asfalto nuevo es entonces seleccionado (más agente de reciclaje, si es necesario) para restaurar el asfalto viejo y proporcionar una carpeta final que reúna los requisitos funcionales de las especificaciones del asfalto, y así satisfacer la demanda de la mezcla del asfalto.

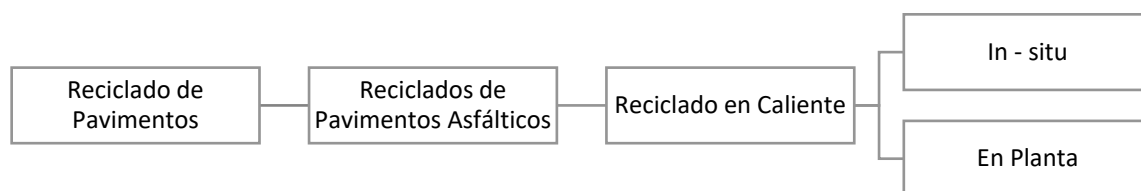
Siguiendo estas determinaciones, la mezcla diseñada por Marshall o el procedimiento de Hveem es realizado y la cantidad exacta de la carpeta total determinada.

2.3.3.3 Diseño de Mezcla.

Con la información obtenida en la evaluación de los materiales, el diseño de la mezcla reciclada en caliente puede ser formulado.

La viscosidad a 60 °C (140 °F), ASTM D 2171 (AASHTO T 202) es la medida de la prueba usada en este procedimiento para identificar asfalto en el pavimento asfáltico reciclado y en la mezcla reciclada.

Al igual que en el reciclaje en frío, el proceso de reciclaje en caliente puede realizarse tanto en planta como in situ y los criterios referentes al diseño de la mezcla reciclada varían un poco uno del otro de acuerdo con lo siguiente:



*Ilustración 2.3-8 Clasificación del reciclado de pavimento asfáltico en caliente.
Fuente: elaboración propia.*

2.3.3.3.1 Reciclado in situ.

Son utilizados cuando no existen problemas de insuficiencia estructural en los pavimentos, sino cuando hay problemas con la función del ligante asfáltico, excesivo pulimento de la superficie, desgaste de los áridos o pérdida de la textura superficial, este reutiliza la totalidad de los materiales extraídos del firme envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra. El firme se calienta mediante unos quemadores y se fresa un grosor determinado. Este material es mezclado normalmente con agentes

químicos rejuvenecedores y con una nueva mezcla. Finalmente, la nueva mezcla se extiende y se compacta mediante los procedimientos convencionales.

Básicamente el diseño de la mezcla reciclada consiste en llevar la granulometría de los materiales de la carpeta asfáltica existente (RAP) dependiendo del espesor a reciclar (5 cm, máximo), a una de las granulometrías especificadas en la tabla 2.3-1, si es que estos no la cumplen, además se estudia lo que son las propiedades actuales del asfalto existente, la corrección de la granulometría se realiza agregando material nuevo, lo mismo para corregir el asfalto (se agrega rejuvenecedor si es necesario), por lo que los ensayos de laboratorio de muestras representativas del pavimento a reciclar desempeñan un papel sumamente importante para definir la gradación del material existente, el tipo y cantidad de asfalto más agente rejuvenecedor a utilizar durante el reciclado in situ.

Tamiz		Porcentaje que pasa						
		Gradación abierta			Gradación densa			
mm	Pg.	A	B	C	D	E	F	G
28.1	1½	100			100			
25.0	1	95-100	100		80-100			
19.0	¾		90-100					
12.5	½	25-60		100		100	100	100
9.5	3/8		20-55	85-100				
4.5	No. 4	0-10	0-10		25-85	75-100	75-100	75-100
2.36	No. 8	0-5	0-5					
1.18	No. 16			0-5				
0.30	No. 50						15-30	
0.15	No. 100							15-65
0.075	No. 200	0-2	0-2	0-2	3-15	0-12	5-12	12-20

*Tabla 2.3-1 Gradaciones sugeridas para el reciclaje en frío.
Fuente: The Asphalt Institute, "Asphalt Cold – mix Recycling", MS-21, March 1983.*

2.3.3.3.2 Reciclado en planta.

El proceso de este reciclado es el siguiente, los materiales son escarificados por medio de una recicladora en frío o un ripper, tanto la carpeta asfáltica como la base granular. Y mediante el transporte del material recuperado del pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo).

Este procedimiento permite reciclar el conjunto o solo una cierta proporción de material envejecido mediante una central asfáltica adaptada. Al ser el porcentaje de material envejecido relativamente bajo, esta metodología permite corregir problemas graves de dosificación o calidad de los materiales.

2.3.3.3.3 Pasos para Diseño de Mezcla.

Uno de los puntos importantes a considerar es que el diseño de mezcla para reciclado en planta, es más complejo, debido a la combinación de agregados, ya que considera la carpeta asfáltica, base granular y agregado nuevo por separado, mientras que en el reciclado in situ se recicla lo que es el espesor máximo de 5 cm, de la carpeta asfáltica sin tomar en cuenta la base y se conforma la nueva carpeta asfáltica agregando mezcla virgen y agente rejuvenecedor (cuando esta lo necesite).

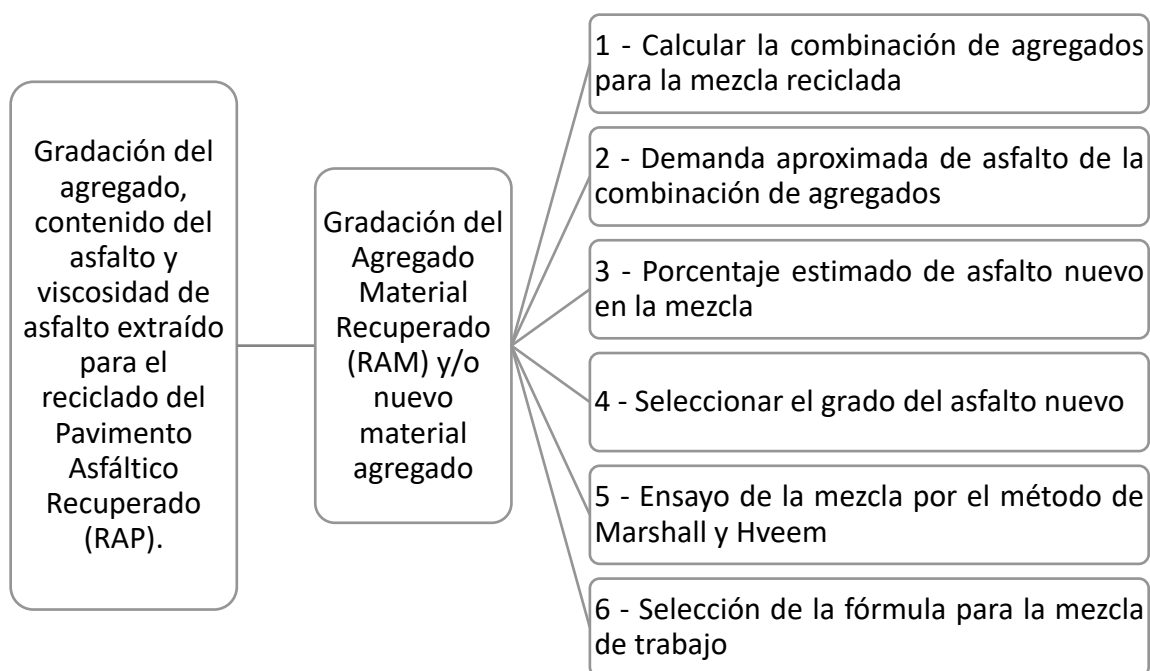


Ilustración 2.3-9 Esquema de Pasos para el Diseño de la Mezcla.

Fuente: Información tomada de Tesis / Carmen Rodríguez y José Molina. (2004). Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje. Universidad de El Salvador. Esquema elaboración propia

2.3.4 Reconstrucción de Pavimento Asfáltico Reciclado.

La reconstrucción de pavimento asfáltico reciclado es un proceso en el que se aprovecha el asfalto existente en una carretera o calle deteriorada para crear una nueva capa de pavimento. Este método de reconstrucción es más sostenible y económico que la construcción de nuevas carreteras desde cero, ya que reduce la cantidad de material nuevo necesario y disminuye los residuos generados.

2.3.4.1 Generalidades.

Desde la perspectiva de la construcción, los procedimientos de diseño proveen una definición clara de los dos requisitos más importantes para el reciclaje:

- Las especificaciones de calidad de los materiales en la totalidad de la capa reciclada.
- El espesor de la capa reciclada.

Evidentemente, el desempeño del pavimento rehabilitado depende del cumplimiento de estos dos requisitos básicos; ellos representan suposiciones fundamentales que se hacen para predecir la vida del pavimento rehabilitado, y cualquier omisión o error en éstas puede dar como resultado una falla prematura.

Debido a la inmediatez de este tipo de trabajos, los proyectos de reciclaje necesitan un manejo apropiado. Las máquinas modernas de reciclaje tienen un gran potencial en cuanto a su rendimiento, por lo que no es extraño que una sola máquina realice un kilómetro completo de vía rehabilitada en un día, aunque para efectos de planeación se utiliza normalmente un estimativo más conservador de 5000 m².

Para obtener el máximo beneficio de este potencial, las operaciones de reciclaje deben manejarse con cuidado para asegurar que lo que se obtiene cumpla con los requerimientos especificados, supervisando que:

- Todos los aspectos del trabajo se analizan en detalle y se planean meticulosamente.

- Los obstáculos al tren de reciclaje se identifiquen y remuevan a tiempo.
- La demanda de materiales (como los agentes estabilizadores) se satisfaga continuamente, y que éstos estén disponibles en el sitio de la obra a tiempo.
- La disponibilidad de la maquinaria estará garantizada mediante programas apropiados de mantenimiento preventivo.
- Los operarios y los supervisores estén entrenados adecuadamente y entiendan con claridad las diferentes facetas de la operación de reciclaje.
- Los asuntos de seguridad industrial reciben la atención que se merecen, particularmente cuando se trabaja en caliente con agentes estabilizadores bituminosos.

2.3.4.2 Procedimiento Constructivo.

El proceso de reconstrucción de pavimento asfáltico reciclado puede iniciarse únicamente al haberse realizado los trabajos preliminares, los cuales son, control del tráfico, preparación de la superficie (considerando los factores de limpieza, pérdidas de agregados en el pavimento existente y remoción de obstáculos).

En un breve resumen, el proceso consta de los siguientes pasos:

- Este sistema consiste en la reconstrucción de la capa asfáltica (profundidad máxima 6.0 – 7.5 cm) degradada mediante el uso de un precalentador y una máquina recicladora.
- Los precalentadores elevan la temperatura de la capa asfáltica hasta un rango entre 140 C ° a 170 C ° ablandándola. El objeto de tener una máquina encargada del precalentamiento de la carpeta asfáltica es forzar lo menos posible la escarificación que debe realizar la recicladora.
- El pavimento se remueve con unos escarificadores rotativos equipados con dientes de corte, hasta la profundidad requerida determinada dependiendo el daño que desee corregirse en el pavimento.
- El escarificador puede ajustarse a varios anchos de trabajo y se regula exactamente la profundidad del material aflojado, que luego se lleva por una banda transportadora al mezclador.
- Al material escarificado (RAP), se le inyecta de forma homogénea un agente rejuvenecedor.
- La mezcladora consiste en dos ejes equipados con unos brazos o palas.

- Por la parte delantera llega el material recuperado a la mezcladora, mientras la mezcla complementaria (si es necesaria) se añade desde la parte trasera de la máquina donde se ubica la tolva para el nuevo material.
- El material escarificado se revuelve con una mezcla adicional de corrección que contiene un agente ligante.
- El material corregido se lleva por una correa transportadora hasta el mezclador.
- Después de conseguir una condición homogénea. La mezcla se descarga a la vibro- terminadora, que la extiende.
- La superficie de colocación se calienta para garantizar una buena adherencia.
- La compactación final se realiza con compactadores, como en cualquier pavimento asfáltico nuevo.

2.3.4.2.1 Comienzo de Operaciones con el Tren de Reciclaje.

El proceso da inicio cuando el banco calentador frontal del precalentador es colocado sobre el carril a ser reciclado, y su posición inicial será la futura junta transversal al pavimento existente. Los quemadores son encendidos y el precalentador lentamente comienza a moverse después de un corto tiempo de espera.

Después del calentamiento preliminar proporcionado por la precalentadora, la recicladora es colocada con el banco calentador central en la posición de inicio.



*Ilustración 2.3-10 Precalentamiento inicial, Est 9+000.
Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.*



*Ilustración 2.3-11: Colocación inicial de la Recicladora, Est 9+000
Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.*

2.3.4.2.2 Escarificación.

Los rotores escarificadores son bajados justo en la posición de inicio donde el molido comienza; la profundidad de trabajo es establecida y ajustada por medio del sistema de control de nivelado.

Los escarificadores rotan en modo de molido descendente. El arreglo helicoidal de las herramientas de corte asegura un excelente mezclado, homogeneidad y temperatura uniforme durante la escarificación.

El equipo inicial de escarificadores se colocó sobre la marca en la estación 9+000 (2 de febrero de 2022).



Ilustración 2.3-12: Colocación de escarificadores.

Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.

2.3.4.2.3 Mezclado.

El proceso de mezclado consiste en 2 partes: la elaboración de mezcla con material reciclado y la adición de la mezcla virgen, y deben considerarse las condiciones técnicas, así como deben observarse el cumplimiento de los requisitos determinados.

El mezclador está equipado con ejes mezcladores contra-rotatorios, para garantizar una mezcla excelente y homogénea, tanto del RAP con el agente rejuvenecedor, como de la adición de la mezcla virgen.

Mezcla de material Reciclado

En vista de la posible heterogeneidad de la graduación de los agregados y calidades del asfalto recuperado del pavimento original, se realizó varias muestras a lo largo del pavimento por reciclar, con el fin de efectuar oportunamente las correcciones necesarias tanto en la graduación, como en las cantidades de emulsión asfáltica a colocar

El agente rejuvenecedor utilizado en el proyecto fue la emulsión asfáltica CRS-2h, la cual es definida de la siguiente manera:

Es una emulsión de corte rápido y de alta viscosidad, obtenida por la dispersión en agua de pequeñas partículas de betún asfáltico duro, en presencia de un agente emulsionante de carácter catiónico. Se indica su uso en la construcción de tratamientos superficiales simples o múltiples, sellos de capas o sellos de arena.

Se anexa el detalle de compra de emulsión asfáltica generada por el proveedor del insumo, en el cual están incluidas las especificaciones del material adquirido.
(Ilustración 2.3-13)

Para el proceso de incorporación del agente rejuvenecedor, mediante tazas giratorias de velocidad y dosificación variable, se distribuyó uniformemente el aditivo rejuvenecedor sobre el pavimento previamente escarificado y calentado, con el fin de revertir el proceso de oxidación y restaurar su flexibilidad,

maleabilidad y cohesión, rociándolo sobre los ejes del escarificador rotativo en las cantidades establecidas por el diseño de mezcla.

El sistema de rociado se configuró en relación con la velocidad de avance de la máquina, y la cantidad a ser adicionada es establecida en litros por minuto. Todo el proceso fue controlado electrónicamente.


 LABORATORIO DE ASFALTA, Rta 283 Carretera a Sonoma, Cantón Tres Cañales, Sonoma, Costa Rica Laboratorio de Ensayos acreditado por OISA con registro No. L.E.A-02-18 para el alcance detallado en www.oisa.gob.cr CERTIFICADO DE CALIDAD PARA EMULSION ASFALTICA CATIONICA AASHTO M 208-16 CERTIFICADO- EMU-22-047					
EMULSION ASFALTICA CATIONICA DE ROMPIMIENTO RAPIDO DE ALTA VISCOSIDAD ASPEMUL					
CODIGO DE IDENTIFICACION DEL PRODUCTO			EM-045-06		
CIJS-2h					
DATOS DE LA MUESTRA					
ID MUESTRA:	EMU-22-047	ORDEN DE PRODUCCION:	11838		
FECHA DE PRODUCCION:	13/02/22	FECHA DE MUESTREO Y RECEPCION:	17/02/22		
FECHA DE LOS ENSAYOS:	17 AL 18/02/22	FECHA DEL CERTIFICADO:	18/02/22		
TANQUE DE ALMACENAMIENTO:	TE-4	ENSAYADO POR:	C. Palacios		
REQUERIMIENTO	NORMA DE ENSAYO	MINIMO	MAXIMO	RESULTADO	
CONSISTENCIA					
Viscosidad Saybolt Furl a 50 °C (s)	ASTM D 1400-11	100	400	214	
COMPOSICION					
Carga de Particulas	ASTM D 740	---	---	Positiva	
Residuo por evaporacion (%) *	ASTM D 694 (R (S16))	65	---	85.5	
ESTABILIDAD					
Prueba del Tamiz, (%) *	ASTM D 693-18	---	0.1	0.0721	
Comutabilidad, En Decyl Sulfosuccinato de sodio al 0.8% *	ASTM D 606-17	40	---	85.14	
Prueba de Estabilidad en Almacenamiento a 24h, (%)	ASTM D 693-18	---	1	0.20	
ANALISIS DEL RESIDUO					
Penetracion, 25°C, 100 g, 5s (Área) *	ASTM D 5-09	40	90	48	
Ductilidad a 25°C, 5.0 cm/min (con. 1)	ASTM D 113-17	40	---	35	
Punto de ablandamiento, (°C)	ASTM D 36-14	---	---	52.3	
Solubilidad en Tetracileno, (%) †	ASTM D 2042-15	97.5	---	96.906	
OTROS ENSAYOS					
Peso unitario de la emulsion (g/L) a 25 °C *	ASTM D 607-16	---	---	1625	
Peso unitario de la emulsion (g/g) a 15.6 °C *	ASTM D 607-16	---	---	3.980	
OBSERVACIONES: La muestra de emulsion asfaltica analizada fue tomada del tanque despues de la produccion. El muestreo de la emulsion se realizo conforme al procedimiento de muestreo de materiales bituminosos AASHTO R 66 * Ensayo en el alcance de la acreditación					
Este certificado es valido unicamente para la informacion suministrada abajo					
 Autorizado y revisado: Ing. Astrid Karen Castillo Gerente de Control de Calidad		Orden de compra No:	Remision N° 655		
		Cantidad despachada:	2,000 gal		
		Fecha de despacho:	03/15/22	Tanque No:	6
		Cliente:	Proyecto de		
		Proyecto:	Las Chinamas		

Ilustración 2.3-13: Emulsión Asfáltica utilizada como agente rejuvenecedor. Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.



*Ilustración 2.3-14: Sistema de Inyección de Agente Rejuvenecedor, Est 9+000.
Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.*

Mezcla Virgen

Se cumplió todos los requerimientos según lo indicado por FOVIAL, Condiciones Técnicas, PARTE IV (2021), tales como:

*El cemento asfáltico deberá ser PG-64 H o superior, clasificado de acuerdo con AASHTO M332.

*El diseño de la mezcla deberá llevarse a cabo siguiendo los procedimientos del MS – 2 Método de Diseño de Mezcla, séptima edición, con base al método de diseño Marshall.

*Los parámetros de diseño Marshall deberán cumplirse en el rango de $\pm 0.3\%$ del contenido óptimo de cemento asfáltico.

Asimismo, FOVIAL, Condiciones Técnicas, PARTE IV (2021), especifica algunos requisitos propios, los cuales se cumplieron y consideraron durante el proceso de desarrollo de las actividades:

- El Contratista presentará el diseño de la mezcla asfáltica en caliente ya aprobada por el supervisor en la inspección preparatoria. El diseño de la mezcla asfáltica a emplear, deberá incluir un análisis racional que indique cual es el efecto de la gradación sobre las propiedades de la mezcla, según la fórmula de trabajo definida, incluyendo aquellas propiedades que resulten de la aplicación de las tolerancias permitidas.
- La mezcla asfáltica virgen deberá ser transportada en equipos de acarreo, los cuales deben tener fondos de metal herméticos, limpios y lisos, que estén ligeramente lubricados con una lechada de cal u otro antiadherente aprobado por supervisión, para evitar que la mezcla se adhiera a dichos fondos. No se deberá emplear combustible diésel como antiadherente.
- Cada camión debe estar provisto de su correspondiente cubierta de lona impermeable, de tamaño tal, que proteja la mezcla contra la intemperie, debiendo cubrir como mínimo 30 cm de rebalse en el perímetro de la caja del camión. Para evitar la segregación, los camiones serán cargados uniformemente.

- El muestreo de la mezcla asfáltica en caliente se deberá realizar tomando la muestra del camión en el lugar de colocación, según los procedimientos descritos en las normas de muestreo ASTM D-979 y ASTM D-3665. La muestra deberá ser cuarteada cuidadosamente sobre una superficie limpia para evitar segregación o contaminaciones durante el muestreo.
- La mezcla asfáltica no deberá ser acopiada, colocada o compactada bajo lluvia.

Una vez aceptada la mezcla, fue colocada en la tolva receptora y de ahí transferida a la tolva interna que genera la proporción adecuada de la mezcla, por medio de una banda transportadora.

La cantidad de mezcla adicionada prefijada es luego medida y llevada al mezclador por medio de un segundo transportador. La velocidad del transportador es controlada electrónicamente por la velocidad de avance.



*Ilustración 2.3-15: Abastecimiento de Mezcla Virgen, Est 0+900
Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.*

La mezcla final fue descargada del mezclador (por medio de una serie de ejes helicoidales) en un cordón, que contiene en la parte más baja el material de RAP rejuvenecido (espesor de 2.5 – 3.0 cm) y en la parte superior la mezcla virgen (espesor de 5.0 cm), siendo finalmente esparcida uniformemente sobre la superficie calentada por medio de un tornillo sin fin.



*Ilustración 2.3-16: Esparcimiento Final de la Mezcla, Est 9+000.
Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.*

2.3.4.2.4 Colocación final de la mezcla.

La nivelación de la plancha “flotante” puede ser manual o automática. La Recicladora cuenta con una plancha vibratoria que se ajusta de forma manual para dejar la superficie de la carpeta asfáltica colocada lista para su compactación.

Pese a que el acabado de la plancha vibratoria es bastante bueno, posterior al paso de la máquina se debe contar con un grupo aproximado de 12 personas, con el fin de colocar varios escantillones y niveletas, procediendo a eliminar y/o ajustar de forma manual, todas aquellas imperfecciones que puedan haber

quedado, a fin de garantizar que la superficie de la vía pavimentada tenga un Índice de Regularidad Internacional (IRI) aceptable.



*Ilustración 2.3-17: Perfilado final a mano, 02 de febrero de 2022.
Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.*

Luego de que la Recicladora y la cuadrilla de acabado final terminaron de colocar la carpeta asfáltica ya reciclada, se procede a la respectiva compactación. Una precompactación óptima asegura el grado y la pendiente correcta del nuevo pavimento, después de la compactación final por un rodillo con llantas de goma, rodillo estático o una combinación de llantas de goma/acero y un rodillo vibratorio estático.

Es importante indicar que la mezcla asfáltica fue compactada de acuerdo a lo establecido por FOVIAL, Condiciones Técnicas, PARTE IV (2021), cumpliendo requerimientos tales como:

- A una temperatura no menor de 100°C, esta operación debe comenzar lo antes posible, siempre y cuando el compactador, a juicio del supervisor, no cause desplazamiento indebido o grietas en la mezcla.
- La compactación debe empezar por los bordes e ir avanzando gradualmente hacia el centro; excepto en las curvas peraltadas, en donde el cilindrado avanzará del borde inferior hacia el superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma fijada por el supervisor y hasta que la superficie total haya sido compactada.
- La compactación deberá finalizar antes que la mezcla asfáltica alcance una temperatura de 90°C. Las paradas del cilindro al final de cada faja compactada deben quedar distantes entre sí por lo menos un metro. Para prevenir desplazamientos ocurridos como consecuencia del cambio en la dirección del cilindro o por causas similares, cualquier deformación se corregirá inmediatamente mediante el uso de rastrillos y la adición de mezcla, asegurándose de no provocar segregación.

- La densidad del concreto asfáltico colocado y compactado, determinada con núcleos, debe ser mayor o igual al 92% y menor o igual a 98% de la Gravedad Teórica Máxima de la mezcla asfáltica colocada (GTM de la correspondiente al día de colocación). En caso de utilizar densímetro nuclear o electromagnético, las lecturas de densidad deberán ser correlacionadas con densidades obtenidas a partir de núcleos extraídos de la carpeta. Las densidades deberán verificarse a más tardar una semana después de haberse colocado la mezcla asfáltica.
- Las densidades tomadas con densímetro nuclear deben cumplir con la sección 12.1.2 de la norma ASTM D-2950 para usarlas en el cálculo del promedio individual; el conjunto de densidades debe cumplir con los criterios estadísticos de la norma ASTM C 670; además, el coeficiente de determinación R^2 debe de ser mayor o igual a 0.49.

La compactación se realizó con un compactador de rodillo vibratorio Ingersoll Rand DD 110 HF, llegando a la densidad requerida por el control de calidad; así mismo, se utilizó un equipo liviano de compactación (como es el HAMM HD 12 W), para los bordes de capas asfálticas no confinadas, que permitió compactar el borde y el ángulo de reposo de la mezcla asfáltica.



*Ilustración 2.3-18: Compactación con Rodo Vibratorio.
Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.*



*Ilustración 2.3-19: Compactación en bordes y ángulos de reposo.
Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.*

Una vez realizada la compactación final y los niveles de la capa de rodadura fueron avalados por el ingeniero residente del proyecto, se procedió al sellado final de la superficie con un rodo neumático.



Ilustración 2.3-20: Sellado con Rodo Neumático.

Fuente: Tesis (2022) Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde Ahuachapán Centro, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, dpto. de Ahuachapán.

2.4 Metodología de Evaluación Funcional del Pavimento.

El conocer la situación de la estructura del pavimento permite establecer medidas correctivas con el objetivo para la cual se diseña.

Dentro de la evaluación del pavimento tiene como objetivo en la determinación de las características superficiales de la capa de rodadura tales como textura, rugosidad, fricción, entre otras. Estas características tienden a evaluar la calidad y funcionalidad del pavimento diseñado y construido incluyendo su capacidad estructural de capa de rodadura.

Otra evaluación presente es la estructural, la cual tiene como objetivo medir diferentes parámetros, así como fallas presentes en el pavimento, deflexión superficial, radio de curvatura del cuenco de deflexiones del pavimento, tipos de materiales que conforman la estructura del pavimento, espesores de las capas, condición de capas, entre otras.

2.4.1 Formas de Evaluación de un Pavimento.

En el método PCI se establece todos los procesos tanto como de cálculo e inspección visual con el fin de determinar los objetivos del pavimento a analizar, estos enfoques deben de tomarse en cuenta en la realización del diseño. Se pueden analizar diferentes tramos con el propósito de tener una muestra mayor y confirmar las razones o causas del deterioro o de la falla del pavimento y de esta manera entender mejor el comportamiento del mismo.

El pavimento puede ser evaluado mediante 3 distintas formas:

- Inspección visual.

- Ensayos no destructivos.
- Ensayos destructivos.

Nuestra evaluación abarcará únicamente el primer punto refiriéndose a la inspección visual.

2.4.1.1 Inspección Visual.

La inspección visual tiene como objetivo determinar a simple vista los daños causados en la capa de rodadura, y forma parte esencial de toda la investigación del tramo o tramos analizar. Este método de inspección se puede desglosar en diferentes fases:

Inspección visual inicial, se realiza una ruta en la capa de rodadura analizar conduciendo a baja velocidad con el objetivo de obtener una toma general del proyecto y poder definir los límites de secciones homogéneas con las cuales se deben de tener tipos y niveles similares de irregularidades o deterioro.

Inspección visual detallada, tiende a inspeccionar la vía ya sea caminando y tomar notas detalladas de fallas que han dañado la sección del pavimento y tomar información detallada de estructuras existentes tales como obras de drenaje, cambios geológicos, pendientes, curvaturas y entre otras. Esta información detallada se debe de realizar acorde a cada sección uniforme que se identifique y que sea de uso importante en la toma de datos del pavimento.

Acorde a la inspección visual se deben de localizar tanto los modos de deterioro y tipos de deterioro o fallas del pavimento, y estas deben de describirse en base a su función de su severidad, frecuencia y localización en la sección del pavimento. Esta información es de mucha importancia debido a que se pueden conocer las causas o indicios de la falla del pavimento.

Modos y tipos de deterioro	
Modo de deterioro	Tipos de deterioro
Deformación	Ahuellamiento, depresiones, abultamientos.
Agrietamiento	Piel de cocodrilo, en bloque, en borde, de reflexión de juntas, longitudinales y transversales.
Desintegración de la superficie	Baches, desmoronamiento, bacheo y zanjas reparadas.
Lisura de la textura superficial	Exudación, pulimento.

Tabla 2.4-1 Modos y Tipos de Deterioro. Elaboración propia

Deformación

- Ahuellamiento: es una depresión que se realiza en la superficie de las huellas de las ruedas, se genera una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente es producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debido al tráfico o carga vehicular.
- Depresiones: se genera por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta de capas subyacentes a la capa del pavimento.

- **Abultamientos:** son pequeños desplazamientos hacia arriba y hacia abajo localizados en la superficie de la vía.

Agrietamiento

- **Piel de cocodrilo:** se generan mediante unas grietas interconectadas con el cual tienen origen a la falla debido a la fatiga bajo la acción repetida de las cargas vehiculares. Este daño, se puede considerar como un daño estructural de suma importancia y se presenta acompañado por ahuellamiento. Estas grietas se generan en la base y se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales y/o paralelas.
- **En bloque:** son originadas usualmente por la contracción de la mezcla asfáltica y los ciclos que se generan por temperatura a diaria, estas varían de tamaño de sección, este tipo de agrietamiento no está vinculado a las cargas del tráfico vehicular.
- **En borde:** son paralelas al eje de la carretera, este daño es ocasionado por las cargas del tráfico vehicular y se pueden generar debido al debilitamiento de las capas subyacentes a la capa de rodadura o por falta de soporte de la construcción de las capas con materiales expansivos.

- De reflexión de juntas: este daño ocurre en pavimentos de mezcla asfálticas construidos sobre una losa de concreto, estas grietas surgen debido al movimiento de la losa de concreto, debido a cambios de temperatura o humedad bajo la superficie del pavimento de mezcla asfáltica.
- Longitudinales y transversales: estas grietas pueden ser causadas debido a juntas de pavimento mal construidas, contracción de la superficie del pavimento asfáltico debido al envejecimiento del asfalto, una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo las capas subyacentes.

Desintegración de la superficie

- Baches: se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a las mezclas pobres en la superficie en puntos débiles de las capas subyacentes del pavimento asfáltico.

Profundidad máxima	Diámetro medio		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.7 a 25.4 mm	Bajo	Bajo	Medio
>25.4 – 50.8 mm	Bajo	Medio	Alto
>50.8 mm	Medio	Medio	Alto

Tabla 2.4-2 Rangos para desintegración de la superficie.

Fuente: Pavement Condition Index (Pci) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras. Ingepav ingenieroa de pavimentos. Ing. Esp. Luis Vásquez Varela.

- Desmoronamiento: este daño se genera debido a la erosión o asentamiento del hombro, o la colocación de sobre carpetas en la calzada sin elevar el nivel del hombro.
- Bacheo y zanjas reparadas: es un área del pavimento en el cual ha sido intervenido con material nuevo para poder reparar el pavimento existente.

Lisura de la textura superficial

- Exudación: es la presencia de una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa, su causa es debido el exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire.
- Pulimento: se genera cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con los neumáticos del vehículo se reduce considerablemente.

2.4.2 Sistema PAVER (Metodología PCI).

Se ha desarrollado un sistema para evaluar y administrar pavimentos denominado PAVER, el cual su destino de uso ha sido implementado para uso

militar y civil. Este sistema ha sido desarrollado por el Laboratorio de Investigación Ingenieril de Construcción del Cuerpo de Ingenieros de la Fuerza Armada de los EE. UU (USACERL) su implementación se desarrolló en 1980.

El desarrollo del sistema PAVER se ha creado con la finalidad de obtener una calificación tanto funcional y estructural en los pavimentos, por lo cual este sistema se basa en el Índice de Condición del Pavimento (Pavement Condition Index, PCI). El uso y objetivo del método PCI tiene la función de obtener la graduación con el fin de identificar las condiciones que se encuentran presentes en los pavimentos que se someten en el análisis.

El método PCI tiene la finalidad de identificar las condiciones actuales del pavimento, determinándolo mediante una condición funcional y operacional midiendo dentro de una escala de 0 a 100. Este índice tiene la función de la densidad en base a las fallas en el área estudiada y del valor de deducción del pavimento por efectos de cada tipo de falla y de cada nivel de severidad. Este método es un instrumento tanto de evaluación y administración de los pavimentos de extremo valor siendo propiamente usado e implementado. La fase más importante del sistema de evaluación de pavimentos y del sistema PAVER, incluye la recopilación de los datos y su continua actualización, ya que en base a este dependerá la exactitud de los resultados a ser obtenidos en su proceso y

estrategias para el mantenimiento de la vía y rehabilitación en un período a corto y largo plazo.

2.4.2.1 Pasos para la aplicación del Sistema PAVER.

El sistema PAVER cumple unos pasos básicos para el uso adecuado, los cuales son:

1. Para una red vial dada, se identifican los tramos y secciones que serán objeto de un inventario de fallas por muestreo.
2. Cada tipo de pavimento tiene un número definido de fallas posibles.
3. Para cada falla se define:
 - a. El tipo de falla (señalando el No. de código de acuerdo al tipo de pavimento)
 - b. La intensidad de la falla, el nivel de severidad (bajo, mediano y alto)
 - c. La cantidad de la falla (medida o contada)
4. Se define el Índice de Condición del Pavimento (PCI) de acuerdo a:

$PCI = 100 - VDC$	Ecuación 2.4-1
-------------------	----------------

Donde:

VDC = el valor de deducción corregido, el cual se obtiene para cada clase de pavimento de acuerdo al tipo, intensidad y densidad de sus fallas.

5. Por medio de un muestreo estadístico de las secciones de pavimento que forman los tramos de la red vial, la encuesta de campo y los conceptos de

los pasos anteriores, se establece el valor de PCI para cada una de las secciones encuestadas. Idealmente un pavimento considerado como nuevo tiene un PCI cercano a 100, mientras que un pavimento deteriorado puede tener un valor entre 20 – 30 para abajo.

2.4.2.2 Guía para Dividir un Tramo en Secciones.

Usualmente la red vial que se someterá en análisis es larga, y raramente estas poseen características similares en su longitud. Por consiguiente, se ha desarrollado un método con el objetivo de utilizar el sistema PAVER y tener la finalidad de subdividir en secciones las características uniformes.

2.4.2.2.1 Características para Dividir un Tramo en Secciones.

Las características a tomar en cuenta para dividir los tramos en diferentes secciones son

- Estructura del pavimento: es uno de los criterios de suma importancia que se debe de considerar para dividir un tramo en secciones. Se debe de tomar en cuenta que no siempre se cuenta con información estructural sobre todos los tramos de la red vial. En estos casos se debe de inspeccionar datos constructivos y observar zonas donde hay parcheo. En estos casos se deben de tomar en cuenta la realización de un programa

de perforaciones con el fin de verificar la composición estructural de una sección de la red.

- Tráfico: es el volumen y la intensidad de tráfico deben ser uniformes en la sección.
- Construcción: las secciones seleccionadas deber haber sido construidas en el mismo tiempo. Los pavimentos construidos en diferentes períodos deben ser divididos en secciones separadas correspondientes a los tiempos de construcción.
- Clasificación cualitativa del pavimento: se pueden usar con el objetivo de dividir un tramo en secciones. Con esta característica se debe de tener en cuenta el cambio de primario a secundario, o de secundario a terciario de existir, estas secciones correspondientes se deben de crear. Tomar en cuenta que si se convierte en una carretera dividida debe definirse una sección para cada dirección de tráfico.
- Drenajes y espaldones: se deben de tomar en cuenta y se recomienda seccionar un mismo tipo y ancho de espaldones y las mismas características de drenaje en toda su longitud.

2.4.2.3 Unidades de Muestreo.

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura.

- Carretera con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 230.0 ± 93.0 m². En la Tabla 2.4-2 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (Máximo)	31.5

Tabla 2.4-3 Longitudes de Unidades de Muestreo Asfálticas

Fuente: Pavement Condition Index (Pci) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras. Ingepav ingenieroa de pavimentos. Ing. Esp. Luis Vásquez Varela.

- Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Pórtland y losas con longitud inferior a 7.60 m. El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.

2.4.2.3.1 Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación.

Las unidades de muestreo para evaluación se pueden realizar de dos formas:

- **Evaluación De Una Red.** Puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

No. de muestras de unidades de inspección en la sección del pavimento (N)	No. de unidades para inspeccionar (n)
De 1 a 5 unidades de muestra	1 unidad de muestra
De 6 a 10 unidades de muestra	2 unidades de muestras
De 11 a 15 unidades de muestra	3 unidades de muestras
De 16 a 40 unidades de muestra	4 unidades de muestras
Mas de 40 unidades de muestras	10% de N

Tabla 2.4-4 Número de Unidades para Inspeccionar. ASTM D-6433

- **Evaluación de un Proyecto.** Se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 2.4-2, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N\sigma^2}{\frac{e^2}{4}(N-1) + \sigma^2} \quad \text{Ecuación 2.4-2}$$

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N = Número total de muestras en la sección del pavimento.

e = Error permisible al estimar el PCI de la sección.

σ = La desviación estándar del PCI entre las muestras de la sección.

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^R (PCI_i - \overline{PCI})^2}{R - 1} \quad \text{Ecuación 2.4-3}$$

Donde:

R = Número de muestras en la sección inspeccionada sobre el que se calcula el valor σ

PCI_i = PCI de la muestra i

PCI = PCI promedio de la sección según la expresión detallada, así:

$$\overline{PCI} = \frac{\sum_{i=1}^R PCI_i}{R} \quad \text{Ecuación 2.4-4}$$

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35).

En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

2.4.2.3.2 Selección de las Muestras.

Las muestras específicas determinadas son importantes, así como el determinar el número mínimo de muestras. Este método se recomienda y consiste en poder seleccionar muestras que estén de igual manera espaciadas entre sí, sin embargo, la primera muestra se debe de seleccionar de manera aleatoria. Este método se conoce un muestreo sistemático y se genera mediante la siguiente forma:

Paso 1: el intervalo de muestreo "i" se determina como:

$$i = N/n$$

donde:

N = Número total de muestras en la sección

n = Número de muestras a inspeccionar

se recomienda que "i" este en el entero inferior, ejemplo $i = 3.7$ usar $i = 3$

Paso 2: La muestra inicial "s" se determina al azar entre 1 y el intervalo de muestreo es decir "i", ejemplo si $i = 3$, la muestra inicial podrá ser 1, 2 o 3.

Paso 3: Las muestras a ser inspeccionadas se identifican como s, s+1, s+2i, etc. Esto quiere decir que si la muestra inicial es determinada al azar. Ejemplo si la muestra inicial ha sido la No.2 e $i = 3$, las muestras a inspeccionar serán el número 2, 5, 8, 11.

Este método se puede usar de manera fácil y brinda la información necesaria con el fin de establecer el perfil del PCI a lo largo de la sección.

2.4.2.3.3 Selección de Muestras Adicionales.

Uno de los mayores retos al obtener un muestreo sistemático es la posibilidad de poder excluir muestras cuando son consideradas “malas” o “excelentes” en los cuales pueden surgir en las secciones de análisis, otro problema significativo en cuanto se selecciona una muestra aleatoria que tenga fallas normales, por ejemplo, cuando existe un cruce de ferrocarril o entre otras.

Para evitar estos inconvenientes, se deben de identificar las muestras inusuales como muestras adicionales.

Una muestra adicional significa que la muestra no haya sido seleccionada al azar y que estas no contengan fallas que sean representativas para la sección.

Entonces al realizar el sistema PAVER esta toma en cuenta las muestras de tal manera que sean especiales y así su influencia en el cómputo del PCI de la sección es mucho menor que el de las muestras que se seleccionen por el método de inspección.

2.4.2.4 Identificación de Fallas.

El Método PCI (Pavement Condition Index) registra un total de 19 tipos de fallas que son las principales causas del proceso de deterioro de los pavimentos, las cuales, se agrupan en 4 diferentes grupos que se detallan en el Ilustración:

Además, cada falla posee una subclasificación, la cual está en base al nivel de su severidad. Otro factor es que cada falla posee una forma de medición.

Seguidamente del esquema donde se han clasificado las 19 fallas, se presenta una tabla con la información más importante de cada falla. El formato ha sido elaboración propia y la información esta en base a norma ASTM 6433. Se ha tratado que toda la información se encuentre en una sola hoja para mas facilidad de los lectores.

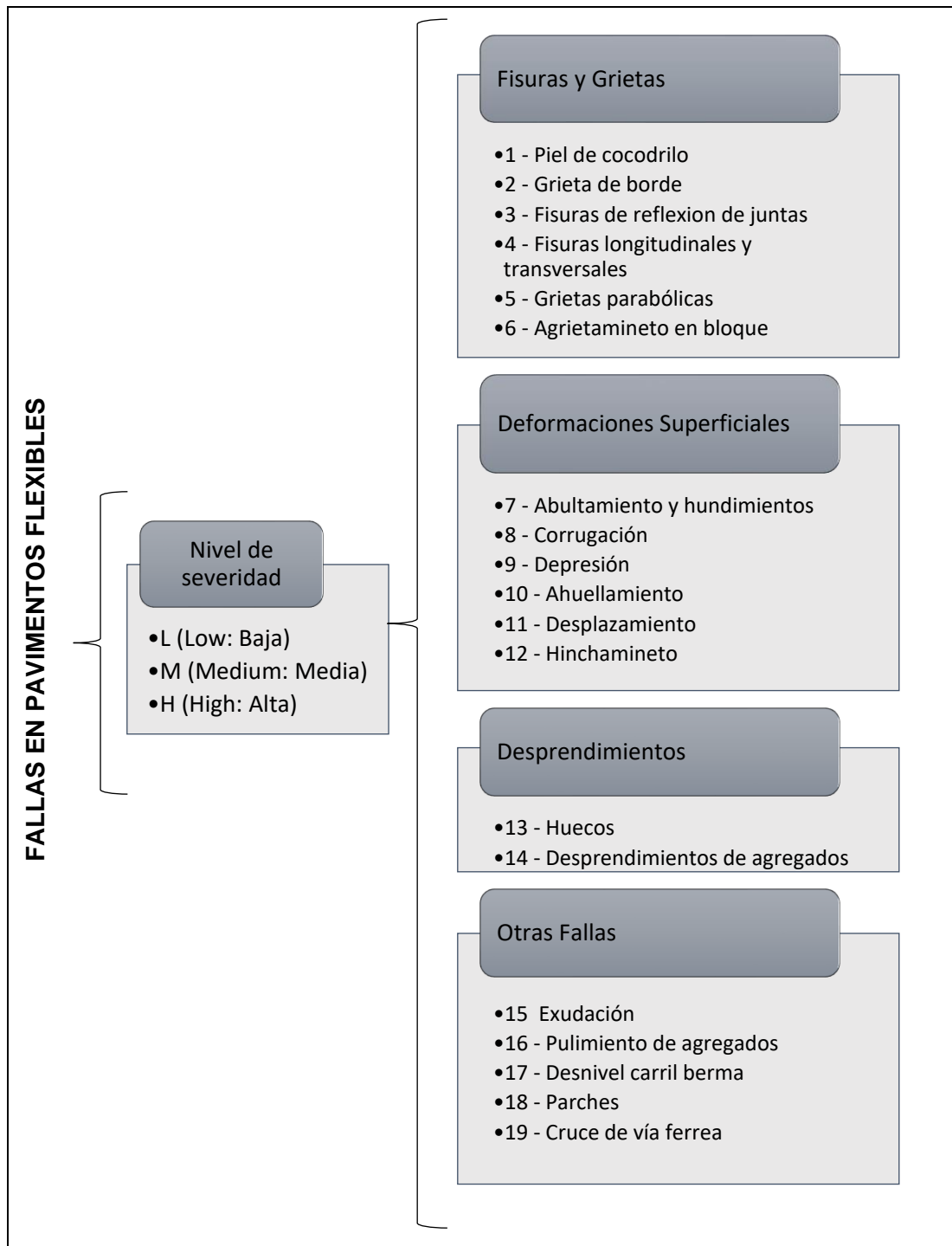


Ilustración 2.4-1 Tipos de Fallas en Pavimento Flexible. Basado en Norma ASTM D6433. Gráfico, elaboración propia

2.4.2.4.1 Tipos de Fallas.

Grupo:		Fisuras y Grietas
Falla #1:		Piel de cocodrilo (Alligator Cracking).
Descripción:		
<p>Es un tipo de falla caracterizado por la unión de las fisuras longitudinales apreciándose grietas con forma de polígonos y básicamente se produce cuando las cargas de tensión transferidas a través de las ruedas de los vehículos son repetitivas las cuales conllevan una serie de deformaciones en la base del pavimento y una consecuente fatiga en la carpeta de rodadura asfáltica. Este tipo de falla tiene una característica recurrente que es el acompañamiento de otro tipo de falla llamada ahuellamiento a su vez producida por el repetido tránsito que generan las llantas de los vehículos en el pavimento.</p>		
Medida:	<p>Se mide el área afectada (ft² o m²). Uno de problemas al cuantificar la medida de estos daños se da cuando existen diferentes niveles de severidad en una sola área de inspección.</p> <p>Si al momento de la evaluación se puede diferenciar los tipos de severidad se registrarán los daños de forma separada. Si en el caso no se pueda diferenciar se tomará como base el registro del daño con mayor severidad.</p>	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Son grietas superficiales que no representan rotura en el pavimento y solo unas cuantas se encuentran conectadas entre sí.
	M Medium = Medio	Son grietas de carácter visual más pronunciado y se conectan formando polígono, además, afectan medianamente a la estructura del pavimento.
	H High = Alto	Son grietas que presentan rotura en la estructura del pavimento básicamente en la carpeta de rodadura de la cual se desprenden pedazos que se mueven con la acción del tránsito vehicular.
 <p>Piel de cocodrilo de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	No se realiza ningún tipo de intervención, aunque también es aceptable que se haga un sellado superficial o una colocación de una sobrecarpeta.
	M	Se interviene mediante un parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). también es aceptable que se haga una colocación de una sobrecarpeta o reconstrucción.
	H	Básicamente se debe realizar un sobrecarpeta, pero más conveniente sería la reconstrucción.

Tabla 2.4-5 Falla #1: Piel de Cocodrilo. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

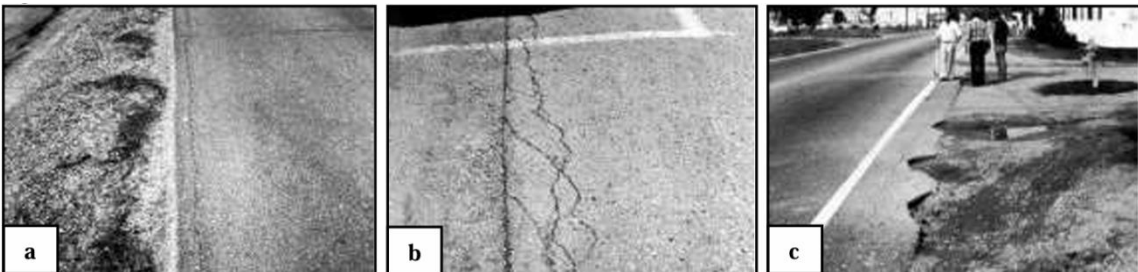
Grupo:	Fisuras y Grietas	
Falla #2:	Grieta de Borde (Edge Cracking)	
Descripción:		
Esta clase de deterioro se da de forma paralela al sentido del tránsito y usualmente se originan por las malas condiciones de la base o subrasante, además, se agravan por el exceso de carga de los vehículos. Se encuentran entre 30 a 60 cm del borde del pavimento.		
Medida:	Su medida es pies lineales o metros lineales y es recomendable usar una cinta métrica de 50 metros, para las grietas de mayor extensión.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Agrietamiento superficial sin afectar a la estructura del pavimento.
	M Medium = Medio	Agrietamiento de mediana incidencia afecta levemente a la estructura del pavimento.
	H High = Alto	Agrietamiento de severa incidencia provoca desprendimiento del pavimento a lo largo del borde.
 <p>Grieta de borde, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	Generalmente no se interviene, sin embargo, en ocasiones se realiza un sellado de grietas con ancho mayor de 0.3 cm.
	M	Se realiza un sellado de las grietas. También se opta por parcheo parcial o profundo.
	H	Se opta básicamente por un parcheo parcial o profundo.

Tabla 2.4-6 Falla #2: Grieta de borde. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

Grupo:		Fisuras y Grietas
Falla #3:		Fisuras de reflexión de juntas (Joint reflection crackig)
Descripción: Para describir correctamente este tipo de falla es necesario saber que solo se presenta en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto, y se da cuando la losa se desplaza debido a diferentes factores, entre ellos la temperatura y humedad por debajo del asfalto, cabe resaltar que esta falla no está originada por las cargas de tránsito, sin embargo, dichas cargas empeoran la superficie que tengan grietas de este tipo.		
Medida:	La forma de medir este daño es pies lineales o metros lineales. Además, si en una sola área de muestro se identifican diferentes tipos de severidad se deberá medir el daño por separado.	
Niveles de severidad	L <i>Low = Bajo</i>	Si se toma la respectiva medida de la grieta, esta tiene un ancho menor que 0.1 cm o es una grieta que se encuentra rellena y es de cualquier ancho.
	M <i>Medium = Medio</i>	Si se toma la respectiva medida y la grieta tiene un ancho entre 10 mm a 76 mm o la grieta se encuentra rellena y posee un ancho de 76 mm también se considera una grieta rellena con diferente ancho y un sutil agrietamiento.
	H <i>High = Alto</i>	Si se toma la respectiva medida y la grieta tiene un ancho sin relleno de más de 76.00 mm. Además, cuando la grieta se encuentra con múltiples fracturas a su alrededor también es considerada de una grave incidencia en el deterioro del pavimento.
 <p>Fisuras de reflexión de juntas, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	Se realiza un sellado cuando se tienen anchos superiores a 3.0 mm
	M	Se opta por sellar las grietas y también se podría realizar un parcheo de profundidad parcial
	H	Inicialmente se realiza un parcheo de profundidad parcial, sin embargo, también se opta por la reconstrucción.

Tabla 2.4-7 Falla #3: Fisuras de reflexión de juntas. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.


Grupo:		Fisuras y Grietas
Falla #4:		Fisuras longitudinales y transversales (Longitudinal and transversal cracking)
<p>Descripción: Este tipo de fallas se dan generalmente de forma paralela al eje del pavimento y son producidas por los siguientes factores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Una de las juntas que pertenecen al carril del pavimento se encuentran construidas de forma precaria sin los requerimientos mínimos constructivos. - La influencia de las de las bajas temperaturas que provocan la contracción de la superficie de la carpeta de rodadura. - Las diferentes deformaciones provocadas en la base de la estructura del pavimento y si tiene como base una losa las deformaciones o desplazamientos de las losas de concreto. <p>Cuando se detalla la grieta transversal se debe tener en cuenta que estas se desplazan en ángulos medianamente rectos al eje del pavimento.</p>		
Medida:	Este tipo de falla se mide en pies lineales o metros lineales y se deberá tener en cuenta que, si un área de muestra determinada se encuentran diferentes tipos de severidad estas deberán ser evaluadas de forma separadas.	
Niveles de severidad	L	<p>Cuando se dan las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La grieta no posee relleno, además, tiene una medida en cuanto a su ancho menor que 1 cm. - La grieta esta rellena y posee cualquier medida en su ancho.
	M	<p>Cuando se dan las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La grieta no posee relleno, además, tiene una medida en cuanto a su ancho entre 1 cm y 7.6 cm - La grieta no posee relleno, además, tiene una medida en relación a su ancho hasta los 7.6 cm y está superficialmente rodeada por grietas diminutas. - La grieta está rellena y posee cualquier medida en su ancho, además, está superficialmente rodeada por grietas diminutas.
	H	<p>Cuando se dan las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La que se encuentra superficialmente rodeada por grietas diminutas de media o alta severidad. - La grieta no posee relleno, además, tiene una medida en cuanto a su ancho de más de 7.6 cm - Una grieta de cualquier ancho rodeada superficialmente por grietas severamente deterioradas.
 <p>Fisuras longitudinales y transversales, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	Generalmente no se interviene, sin embargo, se podría realizar el sellado de las grietas de ancho mayor que 0.3 cm.
	M	Se realiza un sellado de las grietas.
	H	Se opta por un sellado de grietas o un parcheo de carácter parcial.

Tabla 2.4-8 Falla #4: Fisuras longitudinales y transversales. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

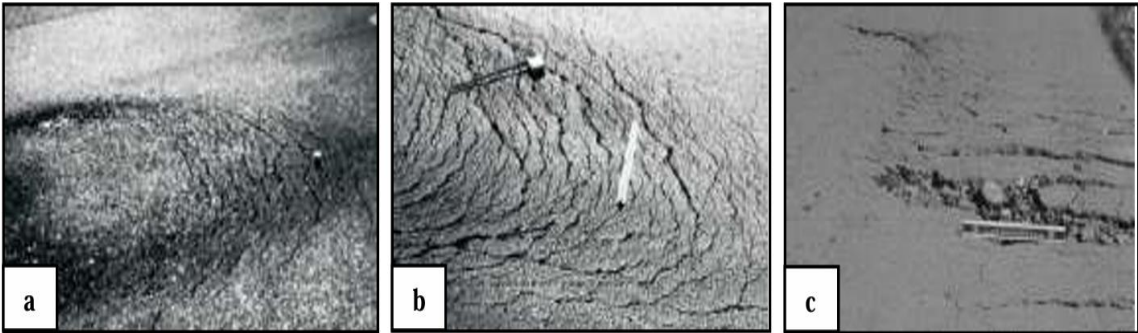
Grupo:	Fisuras y Grietas	
Falla #5:	Grietas parabólicas (Slippage cracking)	
<p>Descripción: Este tipo de falla se caracteriza por la apariencia de media luna de las grietas y son provocadas por las ruedas de los vehículos en el momento de frenar lo cual producen deformaciones a la carpeta de rodadura del pavimento, también se originan por una mezcla pobre de asfalto que no llega a la resistencia adecuada.</p>		
Medida:	El área asociada con la fisura de resbalamiento se mide en pies ² o m ² y es anotada con el máximo nivel de severidad en el área afectada.	
Niveles de severidad	<p>L Low = Bajo</p>	Cuando la medida del ancho de la grieta es menor a los 10.00 mm.
	<p>M Medium = Medio</p>	Se da por las diferentes características: <ul style="list-style-type: none"> - Cuando la medida del ancho de la grieta se encuentra entre 1 cm y 3.8 cm. - La grieta posee a su alrededor un área fractura en diminutos pedazos ajustados.
	<p>H High = Alto</p>	Se da por las diferentes características: <ul style="list-style-type: none"> - Cuando la medida del ancho de la grieta es mayor que 38 mm. - La grieta posee un área fracturada a su alrededor y los diferentes pedazos son muy fáciles de remover.
 <p>Grietas parabólicas, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	Generalmente no se interviene.
	M	Se opta por un parcheo de carácter parcial.
	H	Se opta por un parcheo de carácter parcial.

Tabla 2.4-9 Falla #5: Grietas Parabólicas. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.


Grupo:	Fisuras y Grietas	
Falla #6:	Agrietamiento en bloque (Block cracking)	
Descripción:		
<p>Este tipo de falla visualmente podría confundirse con la de piel de cocodrilo, sin embargo, ambas difieren significativamente en su dimensión ya que en esta falla los bloques tienen un tamaño aproximado desde 0.3 m x 0.3m hasta 3.0 m x 3.0 m y son casi rectangulares a diferencia de la piel de cocodrilo que presenta formas poligonales más pequeñas y diversas. En cuanto a su origen se debe a la contracción del pavimento asfáltico a causa de los variantes ciclos de temperatura presentes en ambiente.</p>		
Medida:	Se mide el área afectada (ft ² o m ²). Si esta presenta varios tipos de severidad en la muestra seleccionada se tendrá que tomar medida y anotarse de manera separada.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Bloques agrietados levemente, su definición guarda relación con las grietas longitudinales y transversales.
	M Medium = Medio	Bloques agrietados de manera más considerable.
	H High = Alto	Bloques agrietados de manera severa que conlleva un deterioro del pavimento
		
Fisuras en bloque, niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)		
Opciones de reparación	L	Si las grietas tienen un ancho mayor a 3.0 mm se realizará un sellado superficial o riego de sello.
	M	Se opta por un sellado de grietas, reciclado superficial o también un escarificado en caliente y sobrecarpeta.
	H	Se opta por un sellado de grietas, reciclado superficial o también un escarificado en caliente y sobrecarpeta.

Tabla 2.4-10 Falla #6: Agrietamiento en bloque. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

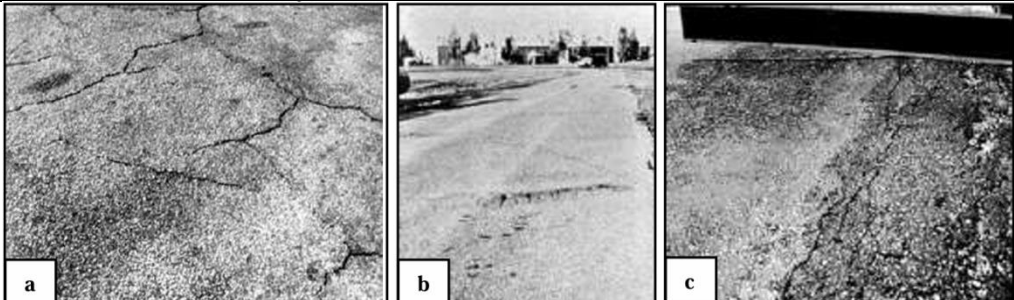
Grupo:	Deformaciones Superficiales	
Falla #7:	Abultamiento y hundimientos (Bumps and sags)	
Descripción:	<p>Se manifiesta visualmente con elevaciones sobre la carpeta de rodadura y difieren de los desplazamientos ya que no son provocados por pavimentos inestables. Dentro de las causas que producen este tipo de deterioro se describen los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuando la carpeta asfáltica se encuentra sobre una losa de concreto y ésta a su vez presenta un levantamiento. - Expansión por congelación. - Cuando el pavimento presenta grietas u otro tipo de fallas que conlleva infiltraciones de materiales bajo la carpeta de asfáltica. <p>Por otro lado, los hundimientos son depresiones que conllevan desplazamientos pequeños sobre la superficie del pavimento. También se pueden presentar distorsiones y desplazamientos que conllevan que se den ondulaciones en el pavimento.</p>	
Medida:	Este deterioro se mide en metros cuadrados o pies cuadrados y se considera corrugación cuando se presentan de manera perpendicular al sentido del tráfico en una distancia entre dos fallas al menos de 3 m, cuando se observe una falla en la misma área de la muestra ésta también se tendrá que registrar.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Influyen en calidad de servicio operacional del pavimento de forma leve.
	M Medium = Medio	Influyen en calidad de servicio operacional del pavimento de forma media.
	H High = Alto	Influyen en calidad de servicio operacional del pavimento de forma alta.
 <p>Abultamientos y hundimientos, niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	No realiza ningún tipo de intervención.
	M	Se opta por un reciclado en frío, también, se podría realizar un parcheo profundo o parcial.
	H	Se opta por un reciclado (fresado) en frío, también, se podría realizar un parcheo profundo o parcial o la colocación de una sobrecarpeta.

Tabla 2.4-11 Falla #7: Abultamiento y hundimientos. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

Grupo:	Deformaciones Superficiales	
Falla #8:	Corrugación (Corrugation)	
Descripción: Este tipo de falla ocurre cuando la base del pavimento es muy inestable y la acción de las diferentes cargas de los vehículos producen elevaciones y hondonadas a una distancia menor de los 3 metros y van perpendicularmente al sentido del tráfico, también es conocida como falla “lavadero”.		
Medida:	Se medirá el área afectada en (ft ² o m ²).	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	El daño que provocan las corrugaciones afecta a la calidad del tráfico de manera superficial, con baja incidencia a la rotura de la estructura del pavimento.
	M Medium = Medio	El daño que provocan las corrugaciones afecta a la calidad del tráfico de mediana severidad y con una mediana incidencia a la rotura de la estructura del pavimento.
	H High = Alto	El daño que provocan las corrugaciones afecta gravemente al tráfico y al estado del pavimento.
		
Corrugación, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)		
Opciones de reparación	L	No se realiza ningún tipo de intervención.
	M	Se tiene como prioridad media elaborar una reconstrucción.
	H	Se tiene como prioridad elaborar una reconstrucción.

Tabla 2.4-12 Falla #8: Corrugación. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

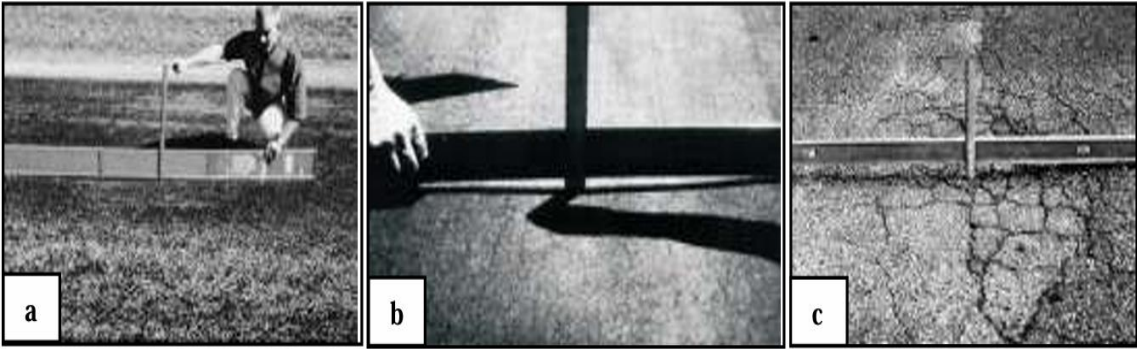
Grupo:	Deformaciones Superficiales	
Falla #9:	Depresión (Depression)	
Descripción:		
<p>Son un tipo de falla que podría confundirse con los hundimientos, sin embargo, ambas se diferencian porque los hundimientos son caídas más bruscas de nivel, sin embargo, las depresiones son desniveles un poco menos pronunciados con respecto a la superficie del pavimento y se identifican cuando se almacena una leve cantidad de agua provocada por las lluvias. Este tipo de fallas se origina debido al asentamiento de la subrasante o una mala construcción en el proceso de ejecución.</p> <p>Su nivel de severidad está dado de acuerdo a su profundidad.</p>		
Medida:	Se medirá el área afectada en (ft ² o m ²).	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Se considera depresión leve cuando la profundidad está entre 1.3 cm a 2.5 cm.
	M Medium = Medio	Se considera depresión moderada cuando la profundidad está entre 2.5 cm a 5.1 cm.
	H High = Alto	Se considera depresión de alta severidad cuando la profundidad es mayor que 5.1 cm
		
Depresión, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)		
Opciones de reparación	L	Generalmente no se realiza ningún tipo de intervención.
	M	Se opta por un parcheo superficial, parcial o profundo.
	H	Se opta por un parcheo superficial, parcial o profundo

Tabla 2.4-13 Falla #9: Depresión. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

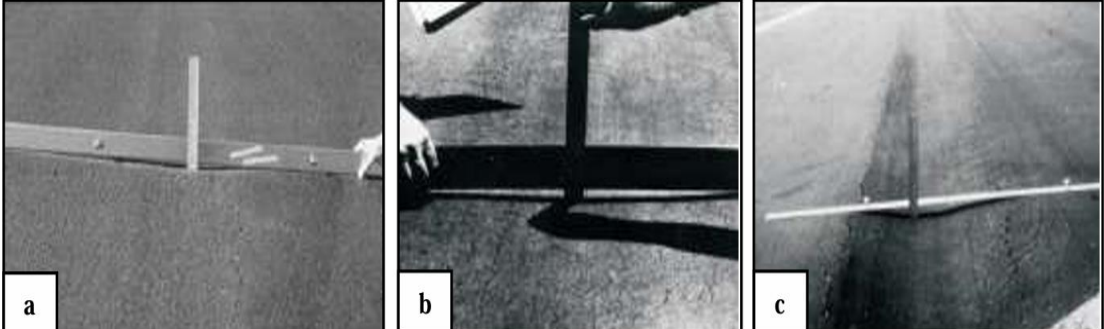
Grupo:	Deformaciones Superficiales	
Falla #10:	Ahuellamiento (Rutting)	
Descripción:		
<p>Este tipo de daño es caracterizado porque es visible cuando hay precipitaciones pluviales y las huellas se llenan de agua. Y se produce básicamente por las diferentes deformaciones que se presentan en la estructura de la base del pavimento debido a las cargas de tránsito. Se tiene que tener una consideración que este tipo de falla, cuando es severa puede ocasionar deterioros estructurales graves en el pavimento.</p> <p>El nivel de severidad está determinado por el nivel de profundidad.</p>		
Medida:	Este daño del pavimento se mide en pies cuadrados o metros cuadrados de área afectada.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Si la profundidad se encuentra de 6.0 - 13.0 mm se considera de carácter leve
	M Medium = Medio	Si la profundidad se encuentra es mayor a 13.0 mm y menor a 25.0 mm se considera de carácter moderado.
	H High = Alto	Si la profundidad es mayor a 25.0 mm se considera de carácter severo
		
Ahuellamiento, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)		
Opciones de reparación	L	Generalmente no se realiza ningún tipo de intervención, aunque es posible realizar un fresado o sobrecarpeta.
	M	Se opta por un parcheo superficial, aunque es posible realizar un fresado o sobrecarpeta.
	H	Se opta por un parcheo superficial, aunque es posible realizar un fresado o sobrecarpeta.

Tabla 2.4-14 Falla #9: Ahuellamiento. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.


Grupo:	Deformaciones Superficiales	
Falla #11:	Desplazamiento (Shoving)	
Descripción: Generalmente este deterioro es producido por los esfuerzos dinámicos producidos por las ruedas de los vehículos sobre un área determinada del pavimento las cuales provocan que el pavimento se desplace generando ondas sobre la carpeta de rodadura, además, también se generan cuando se tienen pavimentos inestables que fueron construidos en base a mezclas con asfalto líquido.		
Medida:	Se medirá en pies o metros cuadrados en torno al área afectada por el daño.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Provoca una leve incidencia en la serviciabilidad del pavimento para el tránsito respectivo.
	M Medium = Medio	Provoca una incidencia de carácter moderada en cuanto a la serviciabilidad del pavimento para el tránsito respectivo.
	H High = Alto	Provoca una incidencia de carácter pésimo en cuanto a la serviciabilidad del pavimento para el tránsito respectivo.
 <p>Desplazamiento, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	Generalmente no se realiza ningún tipo de intervención, aunque es posible realizar un fresado.
	M	Se opta principalmente por un fresado y entre índoles por un parche parcial o profundo.
	H	Básicamente se realiza un parcheo parcial o de carácter profundo.

Tabla 2.4-15 Falla #11: Desplazamiento. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

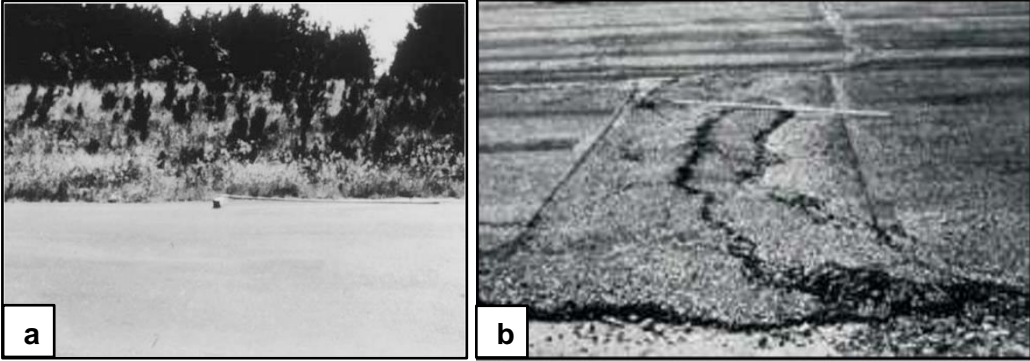
Grupo:	Deformaciones Superficiales	
Falla #12:	Hinchamiento (Swell)	
Descripción: Este es un tipo de falla que ocurre cuando los suelos son de carácter expansivos y se determina visualmente porque se produce una elevación en forma de onda sobre la superficie del pavimento la cual tiene una longitud mayor a los 3.0 m.		
Medida:	La forma de medida de este tipo de falla será en pies cuadrados o en metros cuadrados del área afectada.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Este daño no es fácil de ver, sin embargo, se puede detectar cuando se conduce un vehículo produciendo así una incidencia baja en cuanto al grado de serviciabilidad del tránsito.
	M Medium = Medio	Este daño provoca una incidencia media en cuanto al grado de serviciabilidad del tránsito.
	H High = Alto	Este daño provoca una incidencia alta en cuanto al grado de serviciabilidad del tránsito.
 <p>Hinchamiento, nivel de severidad bajo (a), alto (b). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	No se realizan medidas de intervención.
	M	Generalmente no se realizan medidas de intervención.
	H	Se opta por una reconstrucción.

Tabla 2.4-16 Falla #12: Hinchamiento. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

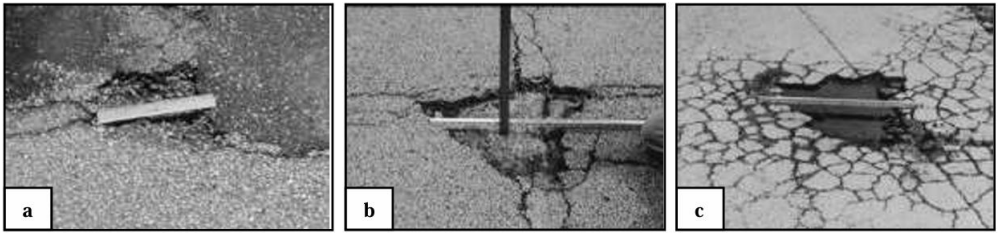
Grupo:	Desprendimientos																					
Falla #13:	Huecos / Baches (Potholes)																					
Descripción:	<p>Estos daños son depresiones de diminuto tamaño que se encuentran en la superficie del pavimento, frecuentemente con medidas menores que 0.90 m y con figura de jarrón. Normalmente tienen bordes agudos y lados verticales que están cerca de la zona superior. La acumulación de agua dentro de estos huecos acelera rápidamente su crecimiento y se ocasionan cuando el tráfico extrae pedazos diminutos en la superficie del pavimento. La separación del pavimento avanza por la precariedad de mezclas dentro de la superficie, puede tener puntos débiles que se encuentran en la base como también en la subrasante, o debido a que se llegó a un estado de piel de cocodrilo de severidad alta. Básicamente estos daños son asociados a como se encuentra la estructura y tampoco deben de relacionarse con desprendimiento o meteorización. Si los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad se deben colocar como los llamados huecos, sería erróneo decirles meteorización.</p>																					
Medida:	Se podrán medir los huecos contando aquellos que sean de daño bajo, medio y alto, y registrándolos de forma individual.																					
Niveles de severidad	<p>La gravedad de esta falla tendrá en cuenta una medida menor que 6.2 cm están tomados en cuenta por la profundidad y el diámetro de los huecos, de acuerdo con la tabla. Cuando la medida del hueco sea mayor que 762 mm, se medirá la sección en pie cuadrado (también en metro cuadrado) y dividirla entre 5 pies² (0.47 m²) para obtener el número real de huecos equivalentes. Cuando las profundidades de los huecos sean menores o igual que 25.0 mm, se considerará como de severidad media y si esta es mayor que 25.0 mm se considerará como severidad alta.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Profundidad máx.</th> <th colspan="3">Diámetro medio (mm)</th> </tr> <tr> <th>102 a 203 mm</th> <th>203 a 457 mm</th> <th>457 a 762 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12.7 a 25.4 mm</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>> 25.4 a 50.8 mm</td> <td>L</td> <td>M</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>> 50.8 mm</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>H</td> </tr> </tbody> </table>			Profundidad máx.	Diámetro medio (mm)			102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm	12.7 a 25.4 mm	L	L	M	> 25.4 a 50.8 mm	L	M	H	> 50.8 mm	M	M	H
Profundidad máx.	Diámetro medio (mm)																					
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm																			
12.7 a 25.4 mm	L	L	M																			
> 25.4 a 50.8 mm	L	M	H																			
> 50.8 mm	M	M	H																			
	 <p>Huecos, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>																					
Opciones de reparación	L	No se realiza ninguna acción. Parcheo de forma parcial o profundo.																				
	M	Se realiza un parcheo de forma parcial o profundo.																				
	H	Se realizará sin excepción un parcheo profundo.																				

Tabla 2.4-17 Falla #13: Huecos. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

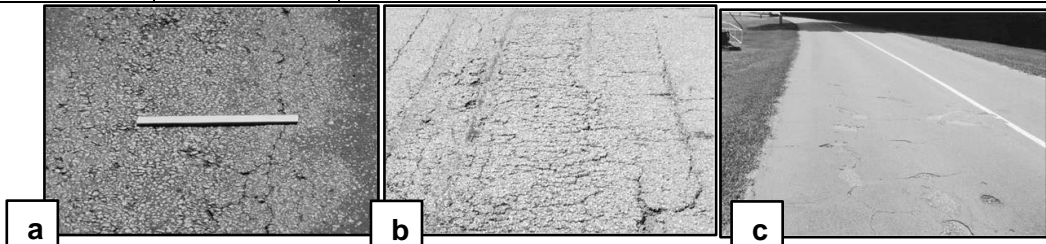
Grupo:	Desprendimientos	
Falla #14:	Desprendimientos de agregados (Weathering)	
Descripción: Este tipo de falla engloba diferentes factores determinantes para el deterioro del pavimento como es el tránsito de vehículos pesados como las orugas, además, se describe como una pérdida del ligante asfáltico provocado por la meteorización. Por otro lado, también se considera el derramamiento de sustancias como el aceite, entre las causas más determinantes para este tipo de falla.		
Medida:	Este tipo de falla se medirá tanto en pies cuadrados como en metros cuadrados.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Escasas áreas de la superficie inician una leve depresión. Se empiezan a perder los agregados o inclusive el ligante. También se observa que el derramamiento de aceite genera manchas en carpeta de rodadura.
	M Medium = Medio	El pavimento adquiere una textura rugosa y con huecos, además, de perder sus agregados y el ligante.
	H High = Alto	El pavimento pierde de forma grave los agregados y el ligante, y la textura se vuelve demasiada rugosa y posee huecos de severa incidencia de diámetros menores a los 0.1 cm y con profundidades menores que 1.3 cm
 <p>Desprendimientos de agregados, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	Generalmente no se interviene, pero también se podría realizar sellado superficial.
	M	Se realiza un sellado superficial, tratamientos superficiales y también una sobrecarpeta.
	H	Se opta generalmente por un tratamiento superficial, sin embargo, también se podría colocar una sobrecarpeta o en última instancia una reconstrucción.

Tabla 2.4-18 Falla #14: Desprendimientos de agregados. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

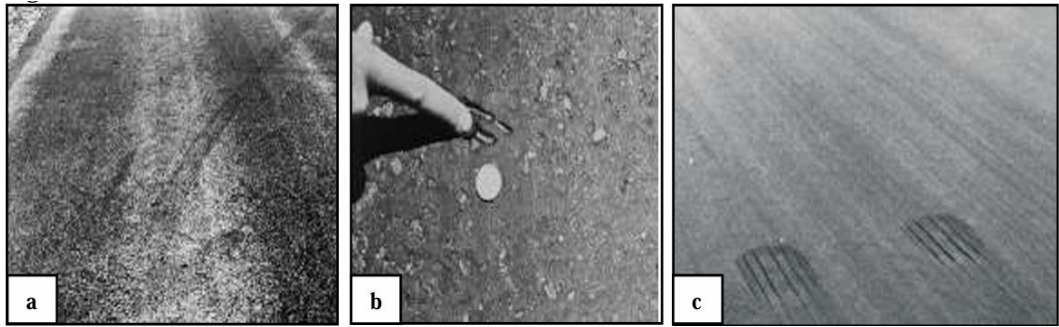
Grupo:	Otras fallas	
Falla #15:	Exudación (Bleeding)	
Descripción:	La falla por exudación se caracteriza por presentar visualmente una carpeta asfáltica brillante de material bituminoso, que se origina principalmente porque hubo un exceso de mezcla asfáltica que relleno los vacíos encontrados cuando este se expandía debido a las altas temperaturas ambientales. El asfalto seguirá acumulado en la superficie durante las épocas de frío por tal motivo no se podrá revertir su efecto mientras se mantenga ese clima.	
Medida:	Se medirá en pies o metros cuadrados, cuando se contabilice exudación ya no se contabilizará el pulimiento de agregados.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Se considera de grado muy ligero cuando el asfalto no se adhiere a los zapatos ni las llantas de los vehículos y se puede detectar durante unos escasos días del año.
	M Medium = Medio	Se considera de carácter moderado cuando el asfalto se llega a pegar en los zapatos y las llantas de los vehículos, generalmente solo se puede apreciar por algunas semanas del año
	H High = Alto	El asfalto queda adherido a los zapatos y las llantas de los vehículos en cantidades de grandes proporciones, además, es recurrente durante casi todo el año.
 <p>Exudación, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	No se realiza ningún tipo de intervención.
	M	Se coloca agregados como arena / agregados y cilindrado.
	H	Se coloca agregados como arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).

Tabla 2.4-19 Falla #15: Exudación. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

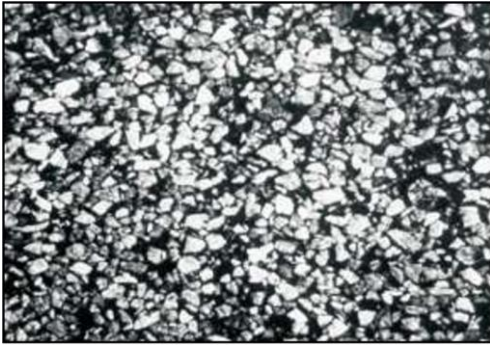
Grupo:	Otras fallas	
Falla #16:	Pulimentos de agregados (Polished aggregate)	
<p>Descripción: Es provocado por lo general por las repetitivas cargas del tráfico. Como también la adherencia con las llantas de auto y la superficie de rodadura se reduce notablemente cuando el agregado en toda la superficie se ablanda al tacto. Si la porción de agregado que se encuentra en la superficie es de un tamaño pequeño, la contextura del pavimento nos aporta de tal manera que pueda ser significativa a disminuir la aceleración del vehículo. Se tiene que tomar en cuenta cuando un estudio muestra que el agregado que está extendido en la superficie es degradable y dentro de la superficie tiene carácter delicado al tacto. En el tipo de anomalía se tiene que señalar cuando dentro del valor en un ensayo de resistencia al deslizamiento está por debajo o ha decaído de forma muy notoria desde el análisis previo.</p>		
Medida:	Se calcula en pie cuadrado (como también en metro cuadrado) de sección afectada. Si se encuentra exudación, no se tomará el pulimento de agregados en cuenta.	
Niveles de severidad	L <i>Low = Bajo</i>	No presenta ningún daño ni severidad, pero el grado de pulimento tendrá que ser representativo antes que sea incorporado en la evaluación de condición y contabilizado como una anomalía.
	M <i>Medium = Medio</i>	
	H <i>High = Alto</i>	
 <p>El agregado pulido no tiene niveles de severidad definidos. (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	No se realiza ninguna operación.
	M	Se realiza una intervención superficial.
	H	En la sobrecarpeta se realiza intervención como también en Fresado y la sobrecarpeta.

Tabla 2.4-20 Falla #16: Pulimento de agregados. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.


Grupo:	Otras fallas	
Falla #17:	Desnivel carril/berma (Lane/Shoulder drop)	
Descripción: Este tipo de daño se caracteriza por presentar una diferencia de niveles entre la berma y el borde del pavimento. Generalmente se presenta cuando se realiza la colocación de una sobrecarpeta en la calzada sin tener en consideración la diferencia de niveles con la berma o también cuando la berma se erosiona y está sujeta a asentamientos.		
Medida:	Este tipo de falla se mide en metros lineales o pies lineales.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	Al realizar la medida de los desniveles entre el borde del pavimento y la berma encontramos una diferencia entre 2.5 cm a 5.1 cm
	M Medium = Medio	Al realizar la medida de los desniveles entre el borde del pavimento y la berma encontramos una diferencia entre 5.1 cm a 10.2 cm
	H High = Alto	Al realizar la medida de los desniveles entre el borde del pavimento y la berma encontramos un desnivel mayor a 10.2 cm .
		
Desnivel carril/berma, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)		
Opciones de reparación	L	Para todos los tipos de severidad siempre se recomendará una renivelación entre las estructuras del pavimento mencionadas.
	M	
	H	

Tabla 2.4-21 Falla #17: Desnivel carril berma. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

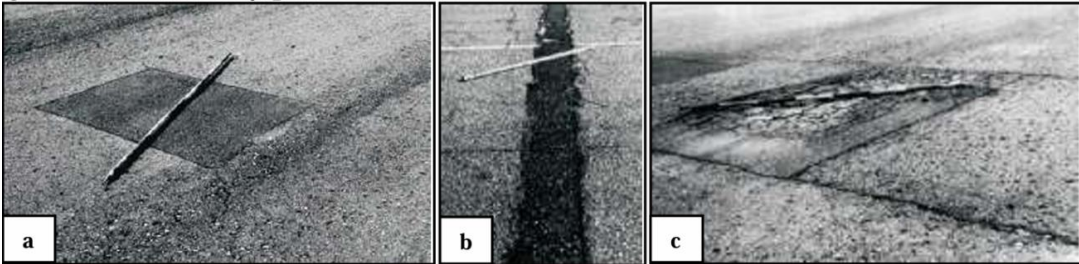
Grupo:	Otras fallas	
Falla #18:	Parche (Patching)	
Descripción: El parche engloba una determinada área de un pavimento en la que se ha sustituido con nuevo material para restaurar el área indicada. El parcheo se denomina como una anomalía sin importar la tan buena función que siga cumpliendo (normalmente, la sección que ha sido reparada mediante el parcheo no actuará igual que la sección inicialmente construida del pavimento).		
Medida:	Las secciones de parcheo se calculan por lo general en pie cuadrado (también se calculan en metro cuadrado) de la sección dañada. Pero, Si en una sección el parcheo tiene diferentes dimensiones de daños, se calcularán y se pasará a su registro de forma individual. Un modelo, una sección de parcheo 3.65 m ² puede contener 1.9 m ² de daño medio y 1.75 m ² de un bajo daño. Las secciones pasaran a un registro individual. Cualquier otra anomalía (se podría mencionar, un desprendimiento como también un agrietamiento) se encuentra enmarcado dentro de la sección de parcheo; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, la sección puede calificarse como un parche. Cuando se sustituye una sección grande de pavimento, se debe enmarcar como un nuevo pavimento (un modelo, el reemplazo de una intersección completa).	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	La sección de parcheo que ha sido parchada se encuentra en buen estado. El nivel del tráfico se cualifica un nivel de poco rigor.
	M Medium = Medio	La sección de parcheo se encuentra con un daño medurado o el nivel de tráfico se cualifica en un nivel de medio rigor.
	H High = Alto	La sección de parcheo se encuentra en una situación de daño el nivel de tráfico se cualifica en un nivel de alto rigor. Se solicita inmediato reemplazo.
 <p>Parche, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	No se ejecuta algún trabajo.
	M	No se ejecuta ningún trabajo como también se cambia el parche.
	H	Reemplazo del parche.

Tabla 2.4-22 Falla #18: Parche. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.


Grupo:	Otras fallas	
Falla #19:	Cruce de vía férrea	
Descripción: Estos daños se pueden denominar como depresiones pueden ser abultamiento que se dan alrededor entre los rieles del cruce de una vía férrea.		
Medida:	Se tendrá en cuenta que si la vía férrea específicamente el cruce no está afectando la distribución del tránsito independientemente no se debe registrar. La sección del cruce se determina en pie cuadrado (como también puede ser metro cuadrado) de sección afectada. Se tomará en cuenta un abultamiento de gran magnitud provocado por los rieles se tiene que tomar en cuenta como parte del cruce.	
Niveles de severidad	L Low = Bajo	En la vía férrea específicamente en el cruce de tránsito de baja severidad.
	M Medium = Medio	En la vía férrea específicamente en el cruce provoca una calidad de tránsito de severidad media.
	H High = Alto	En la vía férrea específicamente en el cruce una calidad de tránsito de severidad alta.
 <p>Cruce de vía férrea, nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c). Fuente: Vásquez (2002)</p>		
Opciones de reparación	L	No se realizará ninguna operación.
	M	Se realizará un parcheo superficial o parcial. Reconstrucción en el cruce.
	H	Se realiza un parcheo superficial o parcial de la aproximación.

Tabla 2.4-23 Falla #19: Cruce de vía férrea. Formato de tabla elaboración propia, información basada en Norma ASTM D6433.

2.4.2.5 Cálculo del PCI

Los resultados obtenidos de la inspección de muestras son usados para calcular el PCI.

Un elemento importante para el cálculo del PCI lo constituye el “valor de deducción” que varía de 0 a 100. Un valor de 0 indica que la falla en cuestión no tiene impacto sobre la condición del pavimento, mientras que un valor de 100 indica que la falla es extremadamente severa.

2.4.2.5.1 Cálculo del PCI de una Muestra.

El cálculo del PCI de una muestra es un procedimiento sencillo que involucra 5 pasos. En los pasos 1 y 2 (vistos en el apartado 2.4.2.2 Pasos para la aplicación del Sistema PAVER) se ha suministrado lo necesario para implementar el método de inspección requerido por el sistema PAVER, o sea identificación y clasificación de la red de acuerdo con lo detallado anteriormente.

Paso 3.- Se inspecciona cada muestra en el campo, se definen las fallas, y su intensidad y las cantidades correspondientes diseñadas para ello.

Paso 4.- Se determinan los valores de Deducción (VD) para cada tipo de falla según su severidad y densidad, como se muestra en la Ilustración 2.4-2.

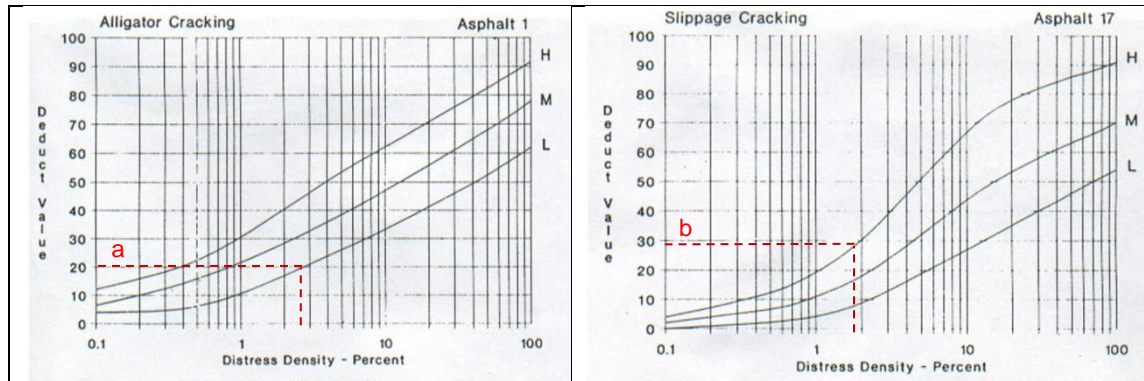


Ilustración 2.4-2 Forma de determinar el Valor de Deducción.

Fuente: Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras (Ingepav, 2002. Ing. Esp. Luis Vásquez)

Paso 5.- Se calcula el Valor de Deducción Total (VDT) sumando los valores de deducción para cada tipo de falla.

Paso 6.- Se determina el Valor de Deducción Corregido (VDC) usando las curvas de correcciones, las cuales toman en cuenta el factor “q” que es la cantidad de fallas que producen un impacto más considerable en el pavimento. Si uno de los valores de deducción individuales es mayor que el total corregido (VDCT), se asigna a VDCT el mayor valor de deducción individual.

Por ejemplo, si se encontraron 2 fallas en un pavimento asfáltico, una con un valor de deducción de 50 y la otra con un valor de deducción de 10, la curva de corrección da un valor corregido de $VDC = 44$, como 44 es menor de 50, se asigna a VDC el valor de 50, tal como se muestra en la Ilustración 2.4-3.

Paso 7.- Se calcula el PCI de la relación: $PCI = 100 - CDV$.

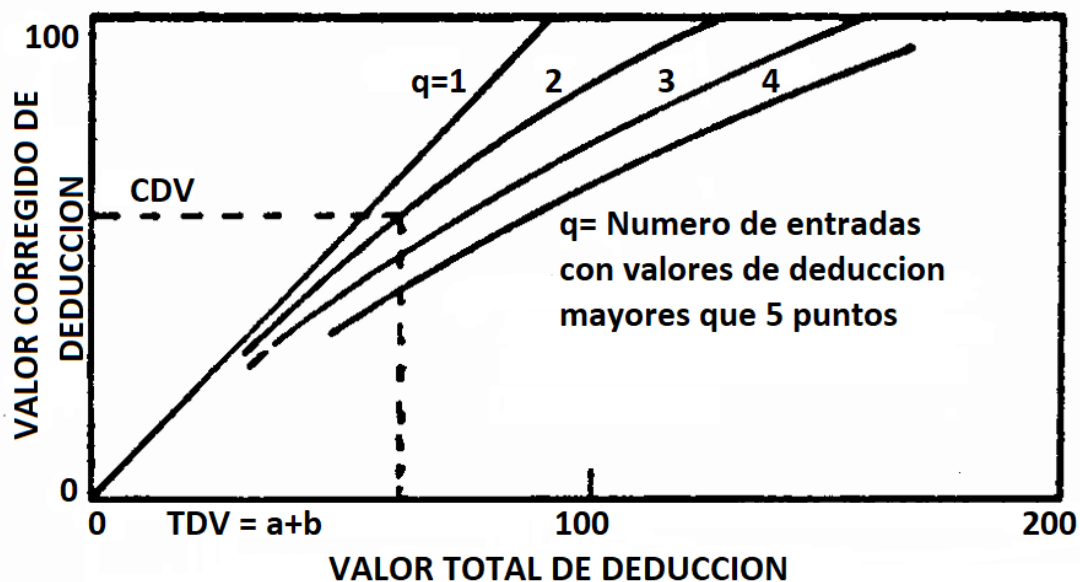


Ilustración 2.4-3 Forma de determinar el Valor de Deducción. Fuente ASTM D 6433

2.4.2.5.2 Cálculo del PCI de una Sección.

El cálculo del PCI de una sección es un proceso que involucra el cálculo de las muestras. Si todas las muestras de una sección son inspeccionadas, el PCI de la sección es simplemente el promedio de los valores de PCI de sus muestras. Del mismo modo si todas las muestras inspeccionadas han sido seleccionadas al azar, utilizando técnicas de muestreo sistemático.

Por último, se gradúa la condición del pavimento de la sección, calificándole entre Excelente y Deteriorada en función de su PCI calculado, mediante la tabla 2.4-21.

PCI CALIFICACIÓN	
100	EXCELENTE
85	MUY BUENA
70	BUENA
55	REGULAR
25	MALA
10	MUY MALA
0	DETERIORIDAD / FALLADO

Tabla 2.4-24 Rangos de calificación del PCI.

Fuente: Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras (Ingepav, 2002. Ing. Esp. Luis Vásquez)

2.4.2.5.3 Cálculo de la Densidad de una Falla.

La densidad de una falla en la muestra es indispensable para el cálculo del PCI de esa muestra.

1. La densidad de fallas medidas en unidades de área (pies² o m²) se calcula:

$$DENSIDAD = \frac{\text{ÁREA DE LA FALLA (pies}^2 \text{ o m}^2\text{)}}{\text{ÁREA DE LA MUESTRA (pies}^2 \text{ o m}^2\text{)}} * 100$$

*Ecuación
2.4-5*

2. La densidad de fallas medidas en unidades de longitud (pies o metros) tales como fisuramientos varios, desnivel carril/espaldón, etc., se calcula:

$$DENSIDAD = \frac{LONGITUD DE LA FALLA (pies o m) * 0.30m(1 pie)}{ÁREA DE LA MUESTRA (pies^2 o m^2)} * 100$$

Ecuación 2.4-6

Ancho de influencia representativo de la falla = 0.30 m = 1 pie

3. La densidad de fallas medidas en unidades (número) tal como baches, se calcula:

$$DENSIDAD = \frac{NÚMEROS DE BACHES}{ÁREA DE LA MUESTRA (pies^2 o m^2)} * 100$$

Ecuación
2.4-7

CAPÍTULO 3 DESARROLLO.

3.1 Ubicación del Proyecto.

El lugar de investigación está ubicado geográficamente en el distrito de Ahuachapán, municipio de Ahuachapán Centro, departamento de Ahuachapán, con el país vecino de Guatemala (frontera Las Chinamas).

La Carretera en análisis es la CA-8, y el tramo inspeccionado tiene una extensión de 16.1 km comprendidos entre el Desvío de Ataco hasta la Frontera Las Chinamas, la siguiente figura se muestra una vista satelital del área indicada.

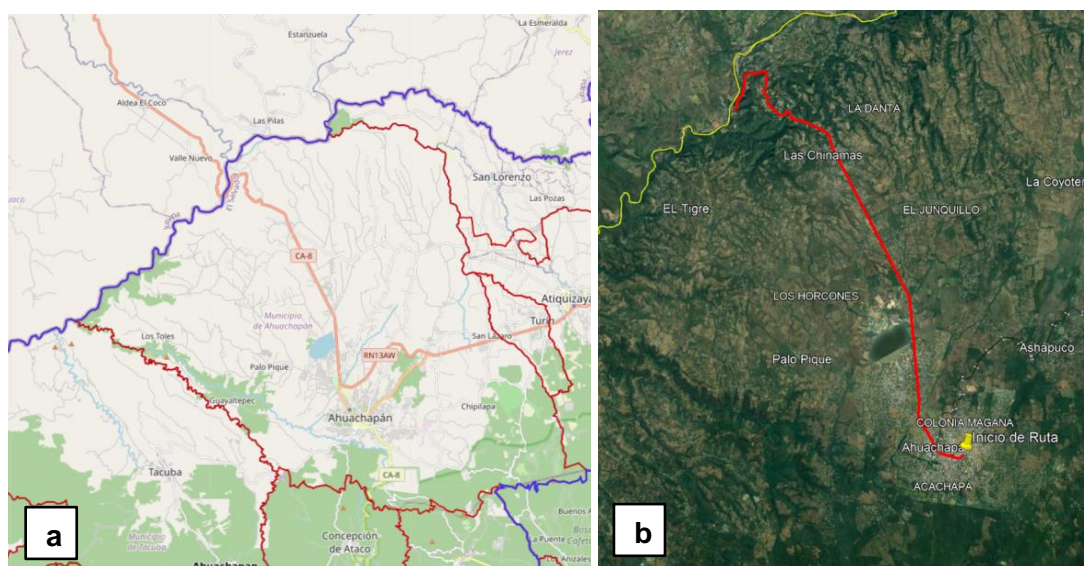


Ilustración 3.1-1 Ubicación inicial y final de la toma de muestras del tramo de estudio

Fuente: (a) CNR Maps, (b) Adaptado de Google Earth.

3.2 Delimitaciones del Proyecto.

- Por el Norte: con el Distrito de San Lorenzo y el país vecino de Guatemala.
- Por el Oeste: con el país vecino de Guatemala.
- Por el Este: con Distrito de Turín y Distrito Atiquizaya
- Por el Sur: con tres Distritos, Apaneca, Concepción de Ataco y Tacuba.

3.3 Características de la Muestra.

- Extensión: 16,000.00 m
- Ancho de la vía: 7.00 m
- Tipo de pavimento: Flexible, rehabilitado por medio de la técnica de reciclado en caliente

3.4 Seccionamiento de la Vía.

El tramo inspeccionado tiene una longitud de 16 km y al tener la limitación del tiempo se realizará una evaluación que mejor se adapte.

Inspección en el nivel de proyecto	Opción 1	Pero antes se debe conocer el número total de muestras.	$N = \frac{16,000 \text{ m}}{32 \text{ m}} = 500 \text{ unidades}$
	Opción 2	Número mínimo de muestras Ecuación 2.4-2.	$n = \frac{500(10)^2}{\frac{(5\%)^2}{4} (500 - 1) + 10^2} \approx 499 \text{ unidades}$

Inspección en el nivel de red	Opción 1	Según Tabla 2.4-3	$n = 500 * 0.10 = 50 \text{ unidades}$
-------------------------------	----------	-------------------	--

Fuente: Formato de tabla, elaboración propia. Información basada en norma ASTM 6433

Se tendrá como unidad de muestro un área entre el rango de $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. El cual está seccionado en 50 muestras, las cuales son de 32 metros lineales y con un área de 224 m^2 cada una.

Pero por recomendación: se tomará 1 km, 30 muestras de 32 m y una muestra de 40 m

En la siguiente ilustración se observan las 31 muestras tomadas.



Ilustración 3.4-1 Unidades y coordenadas de muestra del tramo de estudio

Fuente: Elaboración Propia.



*Ilustración 3.4-2 Alineamiento de unidades de muestra del tramo de estudio
(7+520 a 8+520 km)
Fuente: Elaboración Propia.*

3.5 Aplicación de la Metodología PCI (Sistema PAVER).

Se detalla paso a paso la aplicación del método PCI para el pavimento flexible, tomándose una muestra al azar del total calculado, siendo para este caso la muestra N° 2 que se encuentra entre la progresiva 7+552 – 7+584 de la vía, la cual consta con un área de 236.80 m².

Reconocimiento del cuerpo superior de la ficha de evaluación: básicamente se describe el proyecto, las fallas, los códigos por fallas, los niveles de severidad, etc.

No		TIPO DE FALLA	COD.	UNID				
1		Piel de Cocodrilo	PDC	m ²				
2		Exudación	EXU	m ²				
3		Agrietamiento en bloque	AEB	m ²				
4		Abultamiento y Hundimientos	AHU	m				
5		Corrugación	COG	m ²				
6		Depresión	DPS	m ²				
7		Grieta de Borde	GDB	m				
8		Grieta de Reflexión de Junta	GRJ	m				
9		Desnivel Carril / Berma	DES	m				
10		Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m				
11		Parqueo	PAR	m ²				
12		Pulimiento de Agregados	PUL	m ²				
13		Huecos	HUC	Und				
14		Cruce de Vía Férrea	CFE	m ²				
15		Ahuellamiento	AHT	m ²				
16		Desplazamiento	DPT	m ²				
17		Grietas Parabólicas	GRN	m ²				
18		Hinchamiento	HIN	m ²				
19		Desprendimiento de agregados	DEA	m ²				
NIVEL DE SEVERIDAD		BAJA (LOW)	MEDIA (MEDIUM)	ALTA (HIGH)				
		L	M	H				

*Ilustración 3.5-1 Parte superior de la ficha de evaluación- Identificadores
Fuente: Elaboración propia.*

Nota: La ilustración es del formato de ficha que se utilizó para la recolección de datos en campo.

Pasos:

1. Se llena el formato registrando las fallas encontradas en campo seleccionando su grado de severidad y sumando la extensión total por cada falla. Ver ilustración 3.5-2.
2. Se calcula la densidad de cada falla dividiendo el total de cada falla entre el área de unidad de muestreo y se expresa en porcentaje. Ver ilustración 3.5-3.
Por ejemplo, para el cálculo de la densidad de la falla de piel de cocodrilo se dividió el total de la falla metrada que es, 1.50 entre el área de muestro que es 236.80 m² obteniendo como densidad 0.63 % y así sucesivamente se realizó para las siguientes fallas.

FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD %	VD
GLT	L	0.17	0.66	0.40	1.18	0.21	0.50	0.43	3.55		
GLT	L	0.36	0.97	1.06	0.28	0.47			3.14		
GLT	L	0.30	0.36	2.10	0.60	0.52			3.88		
PDC	L	1.50							1.50		
										TOTAL, VD	

*Ilustración 3.5-2 Parte media de la ficha de evaluación - Registro de fallas.
Fuente: Elaboración propia.*

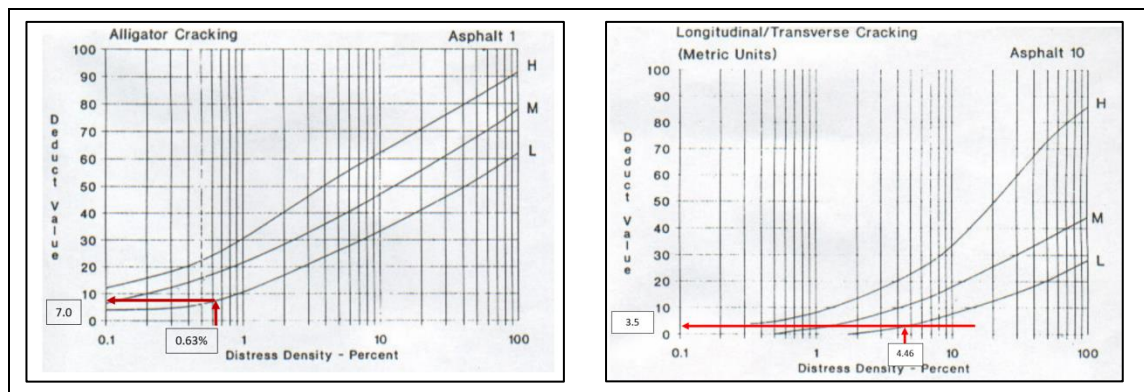
$$\text{GLT} = 10.57 \rightarrow D = (10.57\text{m} \cdot 1\text{m}) / (32\text{m} \cdot 7.40\text{m}) = 4.46\%$$

$$\text{PDC} = 1.50 \rightarrow D = (1.50\text{m}^2) / (32\text{m} \cdot 7.40\text{m}) = 0.63\%$$

FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD %	VD
GLT	L	0.17	0.66	0.40	1.18	0.21	0.50	0.43	3.55	1.50%	
GLT	L	0.36	0.97	1.06	0.28	0.47			3.14	1.33%	
GLT	L	0.30	0.36	2.10	0.60	0.52			3.88	1.63%	
PDC	L	1.50							1.50	0.63%	
										TOTAL, VD	

*Ilustración 3.5-3 Parte media de la ficha de evaluación - Densidad.
Fuente: Elaboración propia.*

3. Se calcula el valor deducido de cada falla usando las curvas de valor deducido propuestas por la ASTM- D6433, para nuestro caso en la falla de piel de cocodrilo obtuvimos 0.63% de densidad, este valor lo interceptamos en la curva teniendo en cuenta la severidad de la falla, que según el registro es L (baja) y se obtiene un valor deducido de 7.0 y así sucesivamente se realiza para todas las fallas. Ver ilustración 3.5-4 y 3.5-5



*Ilustración 3.5-4 Curva de valores deducidos.
Fuente: ASTM D 6433*

4. Se realiza el cálculo del máximo valor deducido corregido para lo cual se determina "q" que son todos los valores deducidos mayores que 2, para nuestro caso q será 2, se ordenan de mayor a menor y suman los 2 valores deducidos y al total de cada suma se intercepta en la curva de valor corregido obteniendo así el valor deducido corregido que será para la primera fila 10.5, luego gradualmente se reducen los valores deducidos de cada fila hasta obtener un q igual a 1. Ver ilustración 3.5-6 y tabla 3.5-1.

FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES						TOTAL	DENSIDAD %	VD	
GLT	L	0.17	0.66	0.40	1.18	0.21	0.50	0.43	10.57	4.46	3.5
GLT	L	0.36	0.97	1.06	0.28	0.47					
GLT	L	0.30	0.36	2.10	0.60	0.52					
PDC	L	1.50							1.50	0.63%	7.0
									TOTAL, VD	10.5	

Ilustración 3.5-5 Parte media de la ficha de evaluación – Valor deducido VD.
Fuente: Elaboración propia.

TRAMO	ÁREA	PIEL DE COCODRILO	GRIETAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES		
		LEVE	LEVE		
	m ²	m ²	m		
007 + 552	236.80	1.5	10.57		
				Σ	
Densidad:		0.63%	4.46%		
DV - 1		7.00	3.50	10.50	VDT
> 2		1	1	2.00	q
				6.80	CDV
DV - 2		7.00	2	9.00	VDT
> 2		1		1.00	q
				9.50	CDV

Tabla 3.5-1 Cálculo de Valor Deducido Total (VDT) y Valor Deducido Corregido (VDC o también llamado CDV).
Elaboración propia

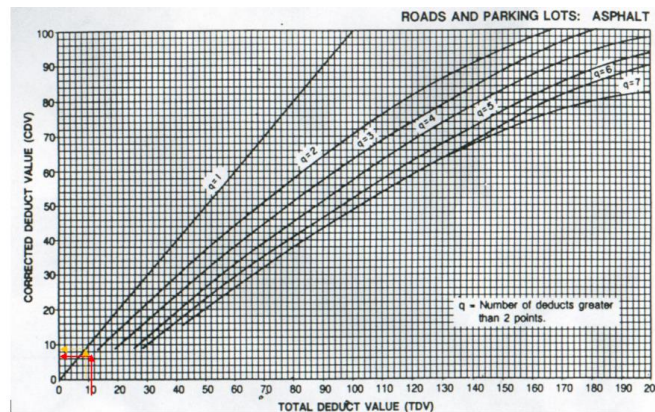


Ilustración 3.5-6 Curva de valores deducidos corregidos.
Fuente: ASTM D 6433

5. Se calcula el PCI restando de 100 el máximo valor deducido corregido de todos los valores deducidos corregidos anteriormente. Para la muestra 2 se obtuvo un máximo valor deducido de 9.5 que se le resto a 100 obteniendo un PCI de 90.50 que según la escala de clasificación la condición del pavimento será EXCELENTE.

$$PCI = 100 - VDC \rightarrow 100 - 9.50 = 90.50$$

Según rango:

RANGOS DE CALIFICACION 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

Tabla 3.5-2 Rangos de calificación del PCI

Fuente: ASTM D 6433

Los pasos que se realizaron se deberían de ejecutar para cada muestra tomada, pero con el apoyo del software UnalPCI el procesamiento de datos se hará más rápido.

3.5.1 Software UnalPCI.

El software UnalPCI fue elaborado por el Ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela en lenguaje Visual Basic 6.0 de Microsoft. La interfase de la aplicación corresponde al estándar de Windows por lo cual no se requiere un entrenamiento especializado para su operación, salvo el conocimiento previo de la metodología PCI y fundamentos de Microsoft Windows y Microsoft Excel.

El objetivo de la creación del algoritmo es reducir las necesidades de tiempo y personal para el procesamiento de la información de campo sobre daños de los pavimentos.

El proceso de instalación del software es el estándar de Windows, en el cual el usuario determina el subdirectorio donde se instalarán los archivos que permiten el funcionamiento del programa y la ubicación de los íconos de acceso directo para su ejecución posterior.

3.5.1.1 Pasos para el Cálculo del PCI con el Software UnalPCI.

- El primer paso a realizar es llenar el documento Excel que ya viene incluido en el archivo de instalación del software, el cual ya posee el formato que este necesita para poder ejecutarlo.

Cada línea en el archivo de Excel representa una unidad inspeccionada.

Se deben diligenciar los siguientes campos:

- COD: Código de la vía.
- DATE: Fecha del inventario.
- ABS I y ABS F: Abscisa inicial y final de la unidad inventariada.
- UNIT: Unidad inventariada.
- ÁREA: Área de la unidad inventariada
- FL1 – FH19: Medida del daño para las 19 patologías de pavimento en los tres niveles de severidad.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI		
1	COD	DATE	ABS I	ABS F	UNIT	AREA	FL1	FM1	FH1	FL2	FM2	FH2	FL3	FM3	FH3	FL4	FM4	FH4	FL5	FM5	FH5	FL6	FM6	FH6	FL7	FM7	FH7	FL8	FM8	FH8	FL9	FM9	FH9	FL10	FM10	FH10	
2	1	8/12/2002	10150	10200	1	320	0	1	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	1	8/12/2002	10200	10250	2	320	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	9/12/2002	10250	10300	3	320	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	9/12/2002	10300	10350	4	310	2.5	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ilustración 3.5-7 Llenado de información.

Fuente: Ilustración tomada del software UnalPCI

- Cuando ya se ha llenado la tabla con la información de cada falla se debe guardar en formato CSV (delimitado por comas).
- Seguidamente ya se puede iniciar el software UnalPCI para pavimento flexible (Ilustración 3.5-3)
- Se selecciona “Abrir y Procesar Archivo” y seleccionamos el documento a ejecutar.

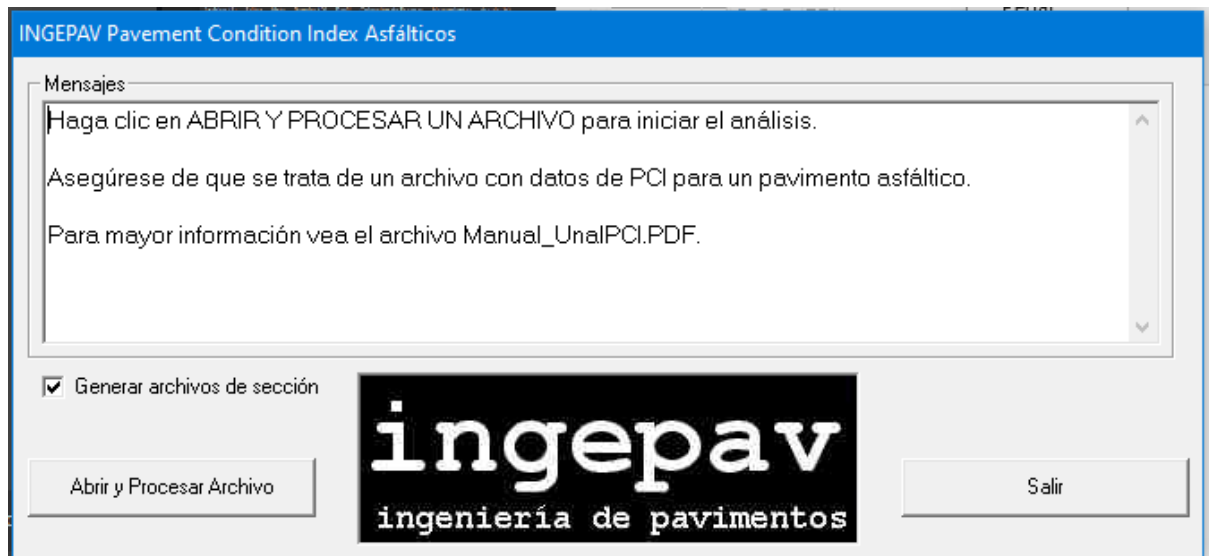


Ilustración 3.5-8 Iniciando el software

Fuente: Ilustración tomada del software UnalPCI

- Y automáticamente el UnalPCI nos brinda los resultados en formato .txt y un documento de Excel.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

En este capítulo se realiza la presentación de los resultados obtenidos de acuerdo a los objetivos de la presente investigación.

La aplicación del método PCI muestra las alternativas de intervención para el tramo del km 7+520 al km 8+520 de la carretera CA08 del tramo de Ahuachapán – Frontera las Chinamas.

Los resultados obtenidos se muestran siguiendo una secuencia ordenada acorde con los objetivos planteados.

- En primer lugar, se realiza la descripción de los parámetros de evaluación y la identificación de todas las fallas existentes, luego mediante el uso de gráficos y tablas, se analizan las fallas con mayor incidencia en función a su severidad y ubicación respectiva.
- En segundo lugar, se detalla el índice de condición del pavimento de todas las muestras, con los que se realizan una serie de gráficos estadísticos, además, se determina el estado del pavimento de todo el tramo inspeccionado.


- En tercer lugar, se define el índice de condición del pavimento de todo el tramo inspeccionado.



Ilustración 3.5-1 Toma de Datos en Carretera CA-08W.

Fuente: Elaboración propia

4.1 Parámetros de Evaluación.

	EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE		
	MÉTODO PCI		
	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN		
PROYECTO:	Aplicación del método del PCI para determinar el estado del pavimento flexible entre el km 7+520 al 8+520 de la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas.		
PROGRESIVA INICIAL (KM):	7 + 520.00	EVALUADORES:	Guadrón Erroa, Ana Sofía
PROGRESIVA FINAL (KM):	8 + 520.00		Salazar Ramos, Carlos Mauricio
SECCIONAMIENTO DE LA VÍA:	31 muestras (30 de 32.00 m y 1 de 40.00 m)		Sandoval Serrano, Naara Jazmin
		LONG DEL TRAMO:	1,000 metros

UNIDADES DE MUESTRAS	PROG INICIAL	PROG FINAL	PIEL DE COCODRILO (m ²)			GRIETA DE BORDE (m)			GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES (m)			DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS (m ²)			PARCHEO (m ²)		
			L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
UM - 01	7+520	7+552							2.96								
UM - 02	7+552	7+584	1.50						10.57								
UM - 03	7+584	7+616							3.60								
UM - 04	7+616	7+648							0.45								
UM - 05	7+648	7+680							1.73								
UM - 06	7+680	7+712				6.32			0.71								
UM - 07	7+712	7+744				0.20			3.18								
UM - 08	7+744	7+776							1.30								
UM - 09	7+776	7+808							0.92								
UM - 10	7+808	7+840				1.37											
UM - 11	7+840	7+872							0.13								
UM - 12	7+872	7+904							0.94								
UM - 13	7+904	7+936							1.71								
UM - 14	7+936	7+968							0.67								
UM - 15	7+968	8+000															
UM - 16	8+000	8+032				0.29											
UM - 17	8+032	8+064							0.30								
UM - 18	8+064	8+096															
UM - 19	8+096	8+128							1.60								
UM - 20	8+128	8+160										2.83					
UM - 21	8+160	8+192															
UM - 22	8+192	8+224															
UM - 23	8+224	8+256															
UM - 24	8+256	8+288															
UM - 25	8+288	8+320															
UM - 26	8+320	8+352													2.60		
UM - 27	8+352	8+384							2.22								
UM - 28	8+384	8+416															
UM - 29	8+416	8+448															
UM - 30	8+448	8+480															
UM - 31	8+480	8+520															
SUB TOTAL			1.50	0.00	0.00	8.18	0.00	0.00	32.99	0.00	0.00	2.83	0.00	0.00	2.60	0.00	0.00

Tabla 4.1-1 Parámetros de evaluación. Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. (km 7+520 – km 8+520)

- **Piel de cocodrilo:** Esta falla se encuentra en la muestra 2 la cual está ubicada en la progresiva 7+552.00 – 7+584.00, sin embargo, se observa que la severidad de esta falla en dicha progresiva es leve.

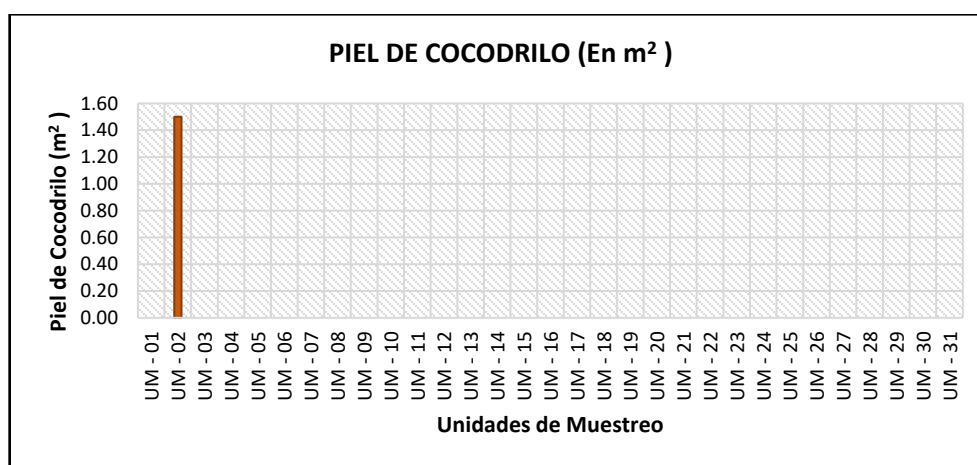
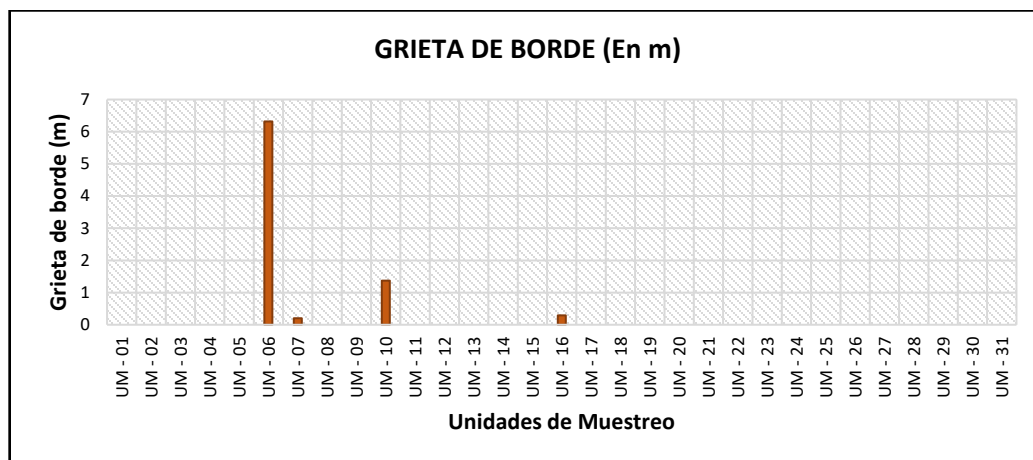


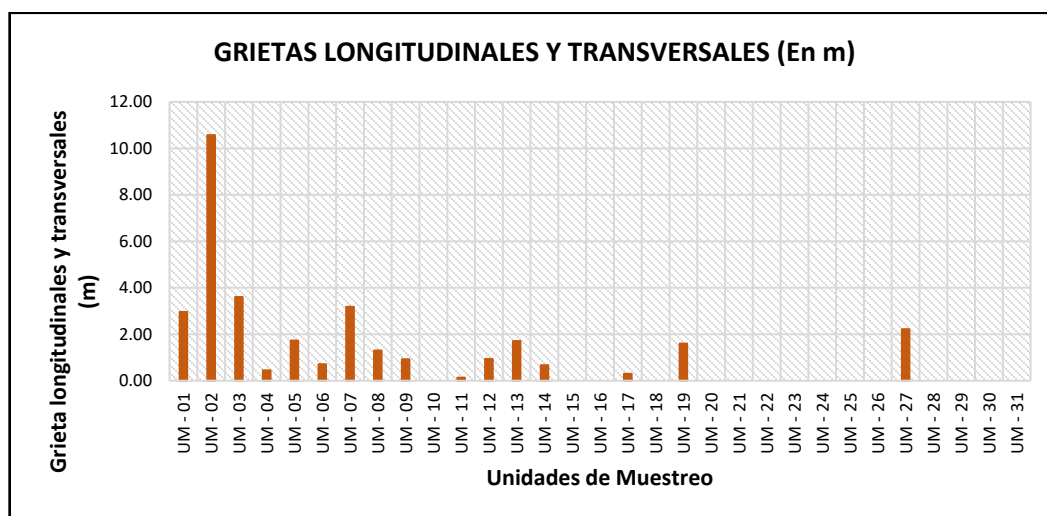
Ilustración 4.1-1 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Piel de cocodrilo.

Fuente: Elaboración propia

- **Grieta de borde:** La característica principal de esta falla radica en su severidad ya que presenta un grado bajo, sin embargo, se encuentra en pocas unidades de muestras al largo de todo el tramo.
- **Grietas longitudinales y transversales:** La característica principal de esta falla radica en su incidencia a lo largo de todo el tramo inspeccionado presentando un nivel de severidad leve.



*Ilustración 4.1-2 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Grieta de borde.
Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 4.1-3 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Grietas longitudinales y transversales.
Fuente: Elaboración propia*

- Desprendimiento de agregados:** La característica principal de esta falla radica en su severidad ya que presenta un grado bajo, sin embargo, se encuentra en una unidad de muestra a lo largo de todo el tramo.

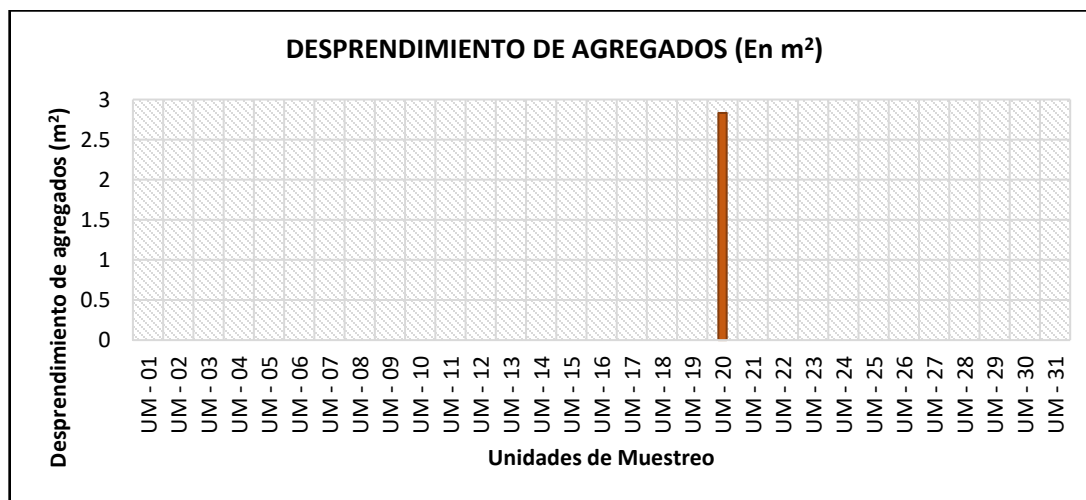


Ilustración 4.1-4 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Desprendimiento de agregados.

Fuente: Elaboración propia

- **Parcheo:** La característica principal de esta falla radica en su severidad ya que presenta un grado bajo, sin embargo, se encuentra en una unidad de muestra, a lo largo de todo el tramo.

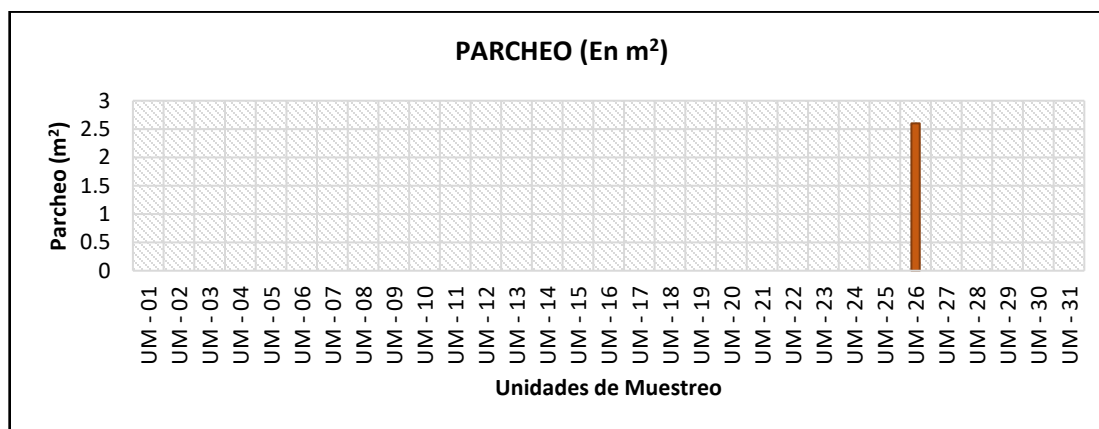


Ilustración 4.1-5 Distribución de fallas en la carretera CA08W tramo Ahuachapán – Frontera las Chinamas. Falla: Parcheo.

Fuente: Elaboración propia

- Demas fallas: No se encontraron

4.1.2 Fallas Existentes

En la siguiente tabla se presenta el resumen detallado de las fallas existentes a lo largo de las 31 muestras inspeccionadas en 1 kilómetro de recorrido.

No	TIPO DE FALLA	UNIDAD	SEVERIDAD	METRADO
1	Piel de Cocodrilo	m ²	L	1.50
2	Exudación	m ²	L	0.00
3	Agrietamiento en bloque	m ²	L	0.00
4	Abultamiento y Hundimientos	m ²	L	0.00
5	Corrugación	m	L	0.00
6	Depresión	m ²	L	0.00
7	Grieta de Borde	m	L	8.18
8	Grieta de Reflexión de Junta	m	L	0.00
9	Desnivel Carril / Berma	m	L	0.00
10	Grietas Longitudinales y Transversales	m	L	32.99
11	Parcheo y Acometidas de Servicios	m ²	L	2.60
12	Pulimiento de Agregados	m ²	L	0.00
13	Huecos	und	L	0.00
14	Cruce de Vía Férrea	m ²	L	0.00
15	Ahuellamiento	m ²	L	0.00
16	Desplazamiento	m ²	L	0.00
17	Grietas Parabólicas o por desplazamiento	m ²	L	0.00
18	Hinchamiento	m ²	L	0.00
19	Meteorización/ Desprendimiento de agregados	m ²	L	2.83

*Tabla 4.1-2 Fallas Existentes (continuación)
Fuente: Elaboración propia*

De las fallas registradas podemos observar que una de las que presenta mayor incidencia y extensión es la número 10, grietas longitudinales y transversales,

además, de otra que se encontró a lo largo de la longitud del pavimento flexible de la vía evaluado.

4.1.3 Fallas Incidentes.

Al realizar la inspección se determinaron 5 tipos de fallas existentes, sin embargo, 3 de estas fallas son relativamente menores, por tal motivo para este ítem solo se tuvo en cuenta las fallas con mayor incidencia en todo el tramo del pavimento las cuales son 2 y se representan según su porcentaje en el gráfico para un mayor análisis y comprensión.

FALLAS INCIDENTES	TOTAL	%
PIEL DE COCODRILO (m ²)	1.50	3.12%
GRIETA DE BORDE (m)	8.18	17.01%
GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES (m)	32.99	68.58%
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS (m ²)	2.83	5.89%
PARCHEO (m ²)	2.60	5.41%
		100.0%

*Tabla 4.1-3 Fallas más incidentes en la totalidad del tramo inspeccionado
Fuente: Elaboración propia*

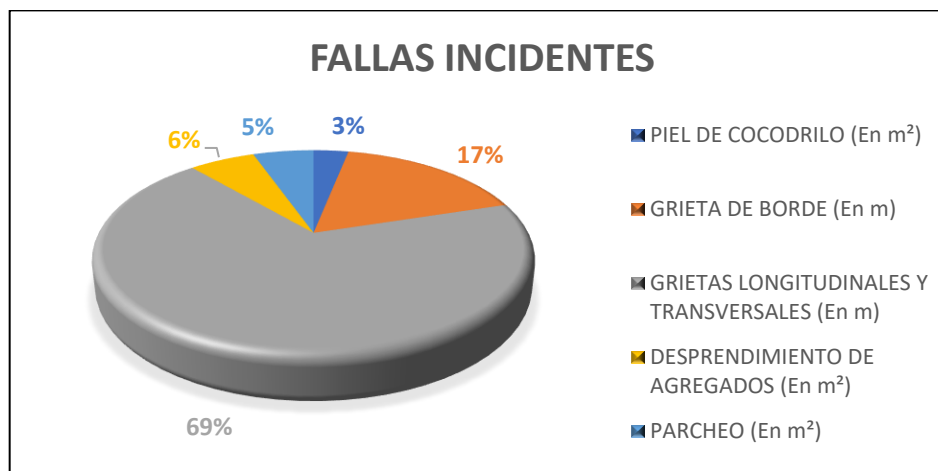


Ilustración 4.1-6 Fallas más incidentes en la totalidad del tramo inspeccionado.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Índice de Condición del Pavimento.

Luego de haber realizado la inspección y registro de las 31 muestras entre el km 7+520 al km 8+520 del pavimento flexible de la vía de estudio, se procesaron los datos y se obtuvieron los índices de condición del pavimento, los cuales establecen el estado del pavimento por cada muestra y el estado del pavimento de todo el tramo evaluado.

UNIDADES DE MUESTRAS	EST. INICIAL	EST. FINAL	PCI	ESTADO
UM - 01	7+520	7+552	100	Excelente
UM - 02	7+552	7+584	91	Excelente
UM - 03	7+584	7+616	100	Excelente
UM - 04	7+616	7+648	100	Excelente
UM - 05	7+648	7+680	100	Excelente

UNIDADES DE MUESTRAS	EST. INICIAL	EST. FINAL	PCI	ESTADO
UM - 06	7+680	7+712	97	Excelente
UM - 07	7+712	7+744	100	Excelente
UM - 08	7+744	7+776	100	Excelente
UM - 09	7+776	7+808	100	Excelente
UM - 10	7+808	7+840	99	Excelente
UM - 11	7+840	7+872	100	Excelente
UM - 12	7+872	7+904	100	Excelente
UM - 13	7+904	7+936	100	Excelente
UM - 14	7+936	7+968	100	Excelente
UM - 15	7+968	8+000	100	Excelente
UM - 16	8+000	8+032	100	Excelente
UM - 17	8+032	8+064	100	Excelente
UM - 18	8+064	8+096	100	Excelente
UM - 19	8+096	8+128	100	Excelente
UM - 20	8+128	8+160	98	Excelente
UM - 21	8+160	8+192	100	Excelente
UM - 22	8+192	8+224	100	Excelente
UM - 23	8+224	8+256	100	Excelente
UM - 24	8+256	8+288	100	Excelente
UM - 25	8+288	8+320	100	Excelente
UM - 26	8+320	8+352	98	Excelente
UM - 27	8+352	8+384	100	Excelente
UM - 28	8+384	8+416	100	Excelente
UM - 29	8+416	8+448	100	Excelente
UM - 30	8+448	8+480	100	Excelente
UM - 31	8+480	8+520	100	Excelente

Tabla 4.2-1 Índice de Condición del pavimento – Vía de estudio.

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Perfil de PCI por Unidad de Muestra.

A continuación, se presenta el perfil de todos los PCI a lo largo de todo el tramo evaluado y seccionado en 31 muestras respectivamente el cual se obtuvo mediante la tabla 4.2-1.

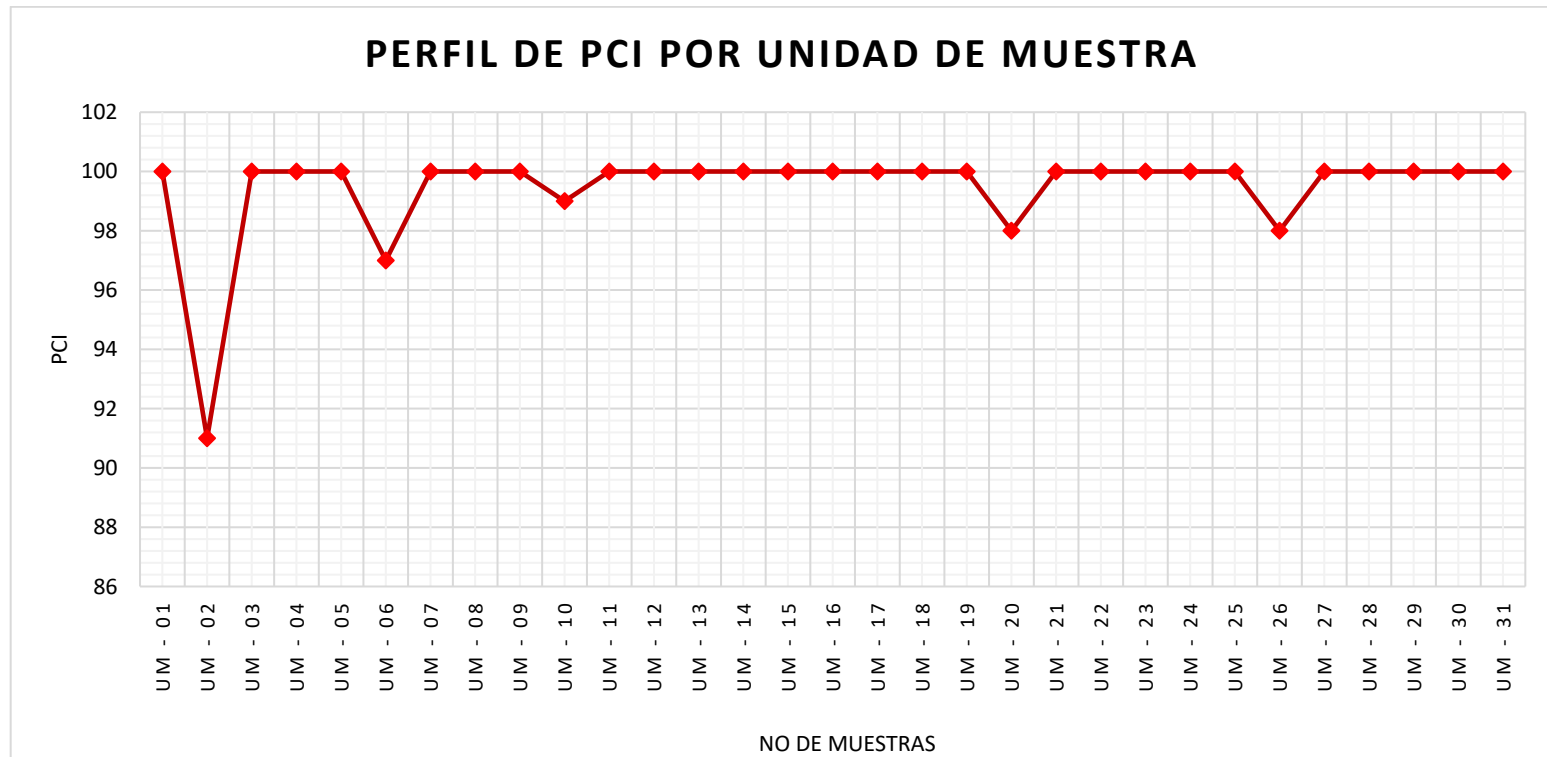


Ilustración 4.2-1 Perfil de PCI en la vía de estudio – (km 7+520 – km 8+520).

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Condición del Pavimento.

Una vez obtenidos los PCI de todas las muestras inspeccionadas se divide la vía en dos tramos, sin embargo, al realizar la inspección se tomaron 30 muestras de 32 metros lineales cada una y una de 40 metros, teniendo la siguiente distribución, en el primer tramo 480 metros de longitud y 15 muestras, en el segundo de 520 metros totales con 15 muestras de 32 metros cada una más 1 muestra de 40 metros lineales.

No	INICIO	FIN	PCI	ESTADO
1	7+520	8+000	99.13	EXCELENTE
2	8+000	8+520	99.75	EXCELENTE

*Tabla 4.3-1 PCI promedio y estado del pavimento por tramo
Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 4.3-1 podemos observar el PCI promedio por cada tramo seleccionado de todos los 1000 metros totales evaluados a lo largo de la vía de estudio.

En el progresivo número uno que representa el primer tramo (7+520 – 8+000) se tiene un PCI 99.13, por lo tanto, presenta un estado del pavimento flexible en una condición Excelente.

En la progresiva número dos que representa el segundo tramo (8+000 – 8+520) se tiene un PCI 99.75, por lo tanto, presenta un estado del pavimento flexible en una condición Excelente.

Por lo tanto, se obtiene un PCI general de 99.45 que representa un estado de pavimento flexible de una condición EXCELENTE.

4.4 Alternativas de Intervención.

A continuación, se propone una alternativa de intervención para cada tipo de falla presente en el pavimento.

No	TIPO DE FALLA	UND.	SEVERIDAD	METRADO	ALTERNATIVA DE INTERVENCIÓN
1	Piel de cocodrilo	m ²	L	1.50	Sellado superficial
2	Grieta de borde	m	L	8.18	Sellado superficial
3	Grietas longitudinales y transversales	m	L	32.99	Sellado de grietas ancho > 3mm
4	Parqueo	m ²	L	2.60	Sin mantenimiento
5	Desprendimientos de agregados	m ²	L	2.83	Sellado superficial

Tabla 4.4-1 Intervención correspondiente a cada falla.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

5.1 Recomendaciones.

- Realizar una inspección completa en todo el tramo de carretera intervenido, ya que en nuestro trabajo de investigación solamente se analizó 1 km de 16.1 km. Esto con el fin de obtener un valor de índice que represente la condición de pavimento de todo el tramo rehabilitado mediante la técnica del reciclado en caliente.

- Realizar otras evaluaciones de carácter estructural, las cuales deberán ser planteadas mediante técnicas destructivas, como el estudio de mecánica de suelos y un nuevo estudio de tráfico.

- Monitorear el estado del pavimento en sus diferentes períodos durante su vida útil. Para ello se recomienda emplear el uso del software HDM – 4

- Proyectar un plan de conservación vial para el tramo analizado, que describa acciones a llevar a cabo en el momento oportuno en el pavimento, evitando que las fallas que se han observado con severidad leve pasen a severidad media y posteriormente a un alta, esto con el

objetivo de incitar a los profesionales en el área a conservar lo que se tiene en lugar de cambiarlo por algo nuevo.

- Las empresas dedicadas a desarrollar los procesos de reciclaje de pavimento asfáltico in situ en caliente, deben contar con personal altamente capacitado en el manejo y operación de los equipos y maquinarias, asegurando un adecuado proceso constructivo y evitar fallas prematuras en el pavimento.

- Es conveniente que previo a la implementación de la técnica del reciclado en caliente, se garantice que todo el personal involucrado conozca las especificaciones técnicas del proyecto. Esto con el fin de cumplir cada lineamiento que permita emplear un buen control de calidad tanto en materiales como en procesos constructivos, evitando cualquier tipo de implementación de técnicas empíricas o inapropiadas durante dicho proceso.

5.2 Conclusiones.

De conformidad con los hallazgos de nuestra investigación, se puede afirmar que al implementar la metodología del Índice de Condición del Pavimento mejor conocida como PCI en el análisis del pavimento flexible rehabilitado mediante la técnica del reciclado en caliente entre el km 7+520 al 8+520 de la carretera CA08 W tramo Ahuachapán – Frontera Las Chinamas:

- Se determinaron los tipos de fallas existentes a través de una inspección visual, así como también la de mayor incidencia, la cual corresponde a grietas longitudinales y transversales con un 68.58%.
- Dentro de las 31 muestras analizadas se obtuvo la presencia de fallas como piel de cocodrilo, grietas de borde, grietas longitudinales y transversales, desprendimiento de agregados y parcheo, todas de severidad baja.
- Al implementar la metodología del PCI y procesar la data recolectada en campo con el uso del software UnalPCI, se obtuvieron valores que se encuentran en un rango que va de 91 a 100, siendo el valor de 91 el más bajo, pero siempre encontrándose en la categoría de Excelente.

- Al analizar la información tomada en campo se observa que a partir del km 8+160 al 8+520 de la carretera, presenta un estado Excelente con un índice de condición del pavimento de 100, esto debido a que no se encontraron fallas en el pavimento.

- El valor del índice de condición de pavimento promedio final que correspondiente al tramo de carretera analizado es de 99.45, resultando una condición del pavimento Excelente.

- El tramo de carretera en análisis ha tenido un buen desempeño durante el tiempo de funcionamiento, por lo que se concluye que la técnica de reciclado en caliente que se implementó para su rehabilitación fue empleada de forma correcta. Así mismo, se llevó un adecuado control de calidad de materiales y procesos constructivos.

BIBLIOGRAFÍA.

- Pavement Condition Index (PCI) para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras. Manizales, febrero 2002. INGEPAV Ingeniería de Pavimentos. Ing. Esp. Luis Ricardo Vázquez V.
- Instructivo para el manejo del software UnalPCI para el cálculo automatizado del Pavement Condition Index. Manizales, febrero 2002. INGEPAV Ingeniería de Pavimentos. Ing. Esp. Luis Ricardo Vázquez V.
- Método de Evaluación de Pavimentos PCI (Pavement Condition Index). Caracas1987. Versión en español por Ing. Augusto Jugo B.
- Práctica Estándar para Encuestas de Índices de Condición del Pavimento en Carreteras y Estacionamientos. ASTM Internacional, norma D 6433.
- Mauricio Valencia. 2021. Material de Clases de la Asignatura de Gestión de Pavimentos. Universidad de El Salvador.
- Plan Maestro de Infraestructura de El Salvador 2019 – 2030. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Enero 2020.

- Aplicación del Método PCI para Determinar el Estado y el Adecuado Plan de Mantenimiento para el Pavimento Flexible entre el km 4+500 al km 7+500 de la Vía de Acceso al Centro Poblado Montegrande. Universidad de San Martín de Porres, USMP. Lima – Perú 2020.

- Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método de reciclaje (2004). Carmen Rodríguez y José Molina. Universidad de El Salvador.

- Manual del proceso constructivo para la colocación de carpeta asfáltica, utilizando la técnica de reciclado en caliente in situ, para mejorar el desempeño del pavimento existente en la carretera CA08W, en el tramo desde el distrito de Ahuachapán, a partir del desvío de Ataco hasta la frontera Las Chinamas, Departamento de Ahuachapán (2022). José Canales, Javier Guzmán, Raquel Olivares. Universidad Politécnica de El Salvador.

- Cárcamo, J. R. 2021. Guion de Clases de la Asignatura Proyecto De Ingeniería. Universidad de El Salvador.

ANEXOS.

1.	Primera carta a FOVIAL.....	161
2.	Segunda carta a FOVIAL.....	162
3.	Curvas de valor deducido para las fallas de pavimento flexible.....	163
4.	Curvas de valores deducidos corregidos para pavimento flexible.	167
5.	Fichas de evaluación.	168
6.	Fichas de Resultados Proporcionadas por el Software.....	200
7.	Panel Fotográfico.....	217

1. Primera carta a FOVIAL.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Ciudad Universitaria, 13 de junio de 2024

Ref.EIC-FIA/152-2024

Ingeniero
Alexander Beltrán.
Director Ejecutivo del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)
Presente

Estimado Ingeniero Beltrán:

Reciba un cordial saludo en representación de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, deseándole muchas bendiciones y éxitos en el desempeño de sus funciones.

Considerando la notoriedad de la Institución que usted representa, hago referencia al estudio que se realizará como parte de la investigación requerida en el Trabajo de Graduación denominado: EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PAVIMENTO REHABILITADO MEDIANTE TÉCNICA DE RECICLADO EN CALIENTE DE LA CARRETERA CA08W. TRAMO AHUACHAPÁN- FRONTERA LAS CHINAMAS, el cual está siendo desarrollado por los Bachilleres: Ana Sofía Guadrón Erroa, Carnet GE16004, Carlos Mauricio Salazar Ramos, Carnet SR17040, Naara Jazmín Sandoval Serrano, Carnet SS15008, alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil.

Dentro de este contexto le informo que, como parte de las actividades a realizar para el desarrollo del trabajo, se pretende hacer una actividad de campo que consiste en el relevamiento de los daños superficiales del pavimento en un Kilómetro de la mencionada vía, por lo que se le solicita atentamente se nos brinde su valioso apoyo de la manera siguiente.

1. Conceder Autorización para que los alumnos puedan realizar el levantamiento de los daños superficiales del pavimento
2. Brindar servicio de Cuadrilla para que nos apoye en el manejo del tráfico para no entorpecer el paso vehicular y tampoco poner en peligro la vida de conductores, peatones, ni la de nuestros alumnos, durante 3 días.


La fecha de realización del levantamiento de daños estará sujeta a las fechas que el FOVIAL decida y nos adaptaremos a las mismas, el periodo de duración del relevamiento de daños se ha estimado en 3 días, en jornada de 8 horas de trabajo, para cualquier ampliación o información adicional quedan a su disposición los siguientes correos electrónicos: mauricio.valencia@ues.edu.sv y carlos.escobar@ues.edu.sv.

Agradeciendo la atención a la presente y en espera de una respuesta favorable a nuestra petición, me suscribo de usted,

Atentamente,

"Hacia la Libertad por la Cultura"


Ing. Mauricio Ernesto Valencia
Docente Asesor del Trabajo de Graduación


Vo.Bo. Ing. Carlos Alberto Escobar Flores
Director Interino
Escuela de Ingeniería Civil



Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de Julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Apartado Postal No. 740 - Teléfono: 2225-7564.

2. Segunda carta a FOVIAL.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Ciudad Universitaria, 16 de julio de 2024

Ref.EIC-FIA/152-2024

Ingeniero
Luis Gerardo Moreno Gutiérrez
Gerente Técnico de FOVIAL
Presente

Estimado Ingeniero Moreno:

Reciba un cordial saludo en representación de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, deseándole muchas bendiciones y éxitos en el desempeño de sus funciones.

Considerando la notoriedad de la Institución que usted representa, hago referencia al estudio que se realizará como parte de la investigación requerida en el Trabajo de Graduación denominado: EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PAVIMENTO REHABILITADO MEDIANTE TÉCNICA DE RECICLADO EN CALIENTE DE LA CARRETERA CA08W. TRAMO AHUACHAPÁN- FRONTERA LAS CHINAMAS, el cual está siendo desarrollado por los Bachilleres: Ana Sofía Guadrón Erroa, Carnet GE16004, Carlos Mauricio Salazar Ramos, Carnet SR17040, Naara Jazmín Sandoval Serrano, Carnet SS15008, alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil.

Dentro de este contexto le informo que, como parte de las actividades a realizar para el desarrollo del trabajo, se pretende hacer una actividad de campo que consiste en el relevamiento de los daños superficiales del pavimento en un Kilómetro de la mencionada vía, por lo que se le solicita atentamente se nos brinde su valioso apoyo de la manera siguiente.

1. Conceder Autorización para que los alumnos puedan realizar el levantamiento de los daños superficiales del pavimento
2. Brindar servicio de Cuadrilla para que nos apoye en el manejo del tráfico para no entorpecer el paso vehicular y tampoco poner en peligro la vida de conductores, peatones, ni la de nuestros alumnos, durante 3 días.

La fecha de realización del levantamiento de daños estará sujeta a las fechas que el FOVIAL decida y nos adaptaremos a las mismas, el periodo de duración del relevamiento de daños se ha estimado en 3 días, en jornada de 8 horas de trabajo, para cualquier ampliación o información adicional quedan a su disposición los siguientes correos electrónicos: mauricio.valencia@ues.edu.sv y carlos_escobar@ues.edu.sv.

Agradeciendo la atención a la presente y en espera de una respuesta favorable a nuestra petición, me suscribo de usted,

Atentamente,

"Hacia la Libertad por la Cultura"


Ing. Mauricio Ernesto Valencia
Docente Asesor del Trabajo de Graduación


Vo.Bo. Ing. Carlos Alberto Escobar Flores
Director Interino
Escuela de Ingeniería Civil

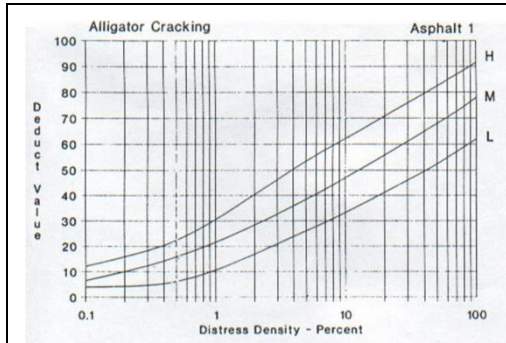


C.c. Ing. Marlon Cárcamo

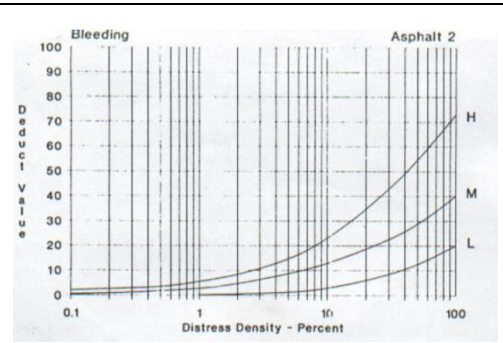
Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de Julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Apartado Postal No. 740 - Teléfono: 2225-7564.

3. Curvas de valor deducido para las fallas de pavimento flexible.

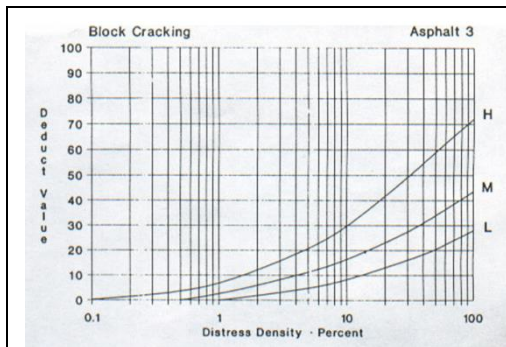
No	Falla		Pag.
1	Alligator Cracking	Piel de Cocodrilo	164
2	Bleeding	Exudación	164
3	Block Cracking	Agrietamiento en bloque	164
4	Bumps and Sags	Abultamiento y Hundimientos	164
5	Corrugation	Corrugación	164
6	Depression	Depresión	164
7	Edge Cracking	Grieta de Borde	165
8	Joint Reflection Cracking	Grieta de Reflexión de Junta	165
9	Lane / Shoulder Drop Off	Desnivel Carril / Berma	165
10	Longitudinal & Transversal Cracking	Grietas Longitudinales y Transversales	165
11	Patching & Utility Patching	Parcheo y Acometidas de Servicios	165
12	Polished Aggregates	Pulimiento de Agregados	165
13	Potholes	Huecos	166
14	Railroad Crossing	Cruce de Vía Férrea	166
15	Rutting	Ahuellamiento	166
16	Shoving	Desplazamiento	166
17	Slippage Cracking	Grietas Parabólicas o por desplazamiento	166
18	Swell	Hinchamiento	166
19	Weathering / Raveling	Meteorización/ Desprendimiento de agregados	167



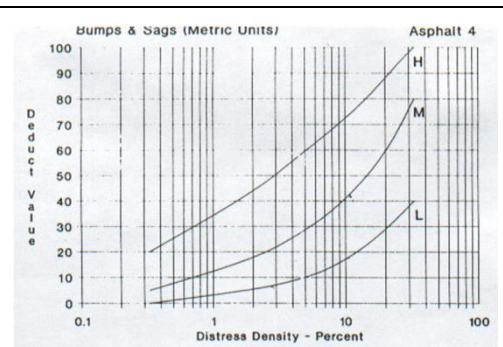
2.1 – Piel de Cocodrilo
Fuente: ASTM D 6433-07



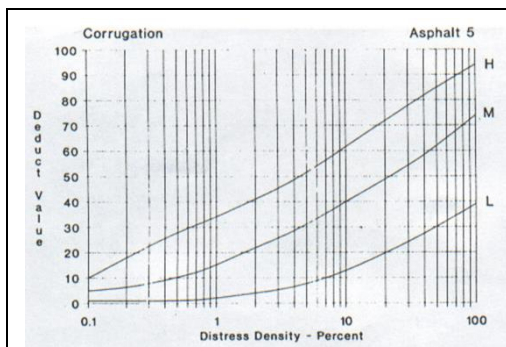
2.2 – Exudación.
Fuente: ASTM D 6433-07



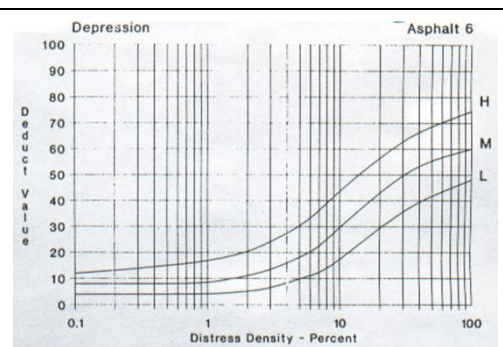
2.3 – Agrietamiento en bloque.
Fuente: ASTM D 6433-07



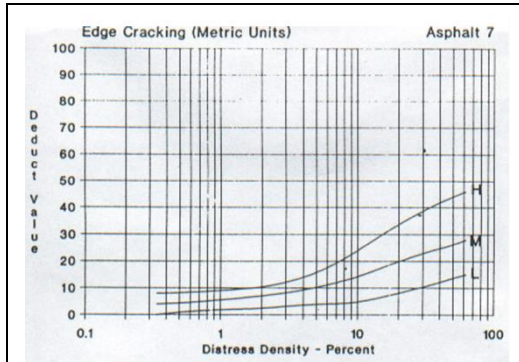
2.4 – Abultamiento y Hundimientos
Fuente: ASTM D 6433-07



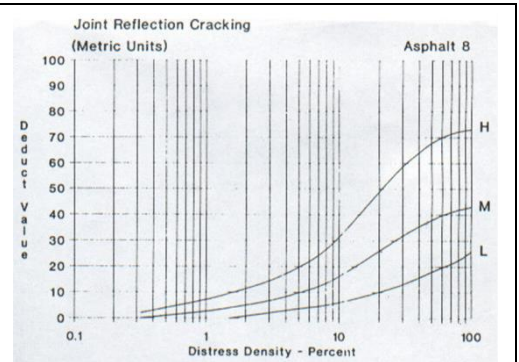
2.5 – Corrugación.
Fuente: ASTM D 6433-07



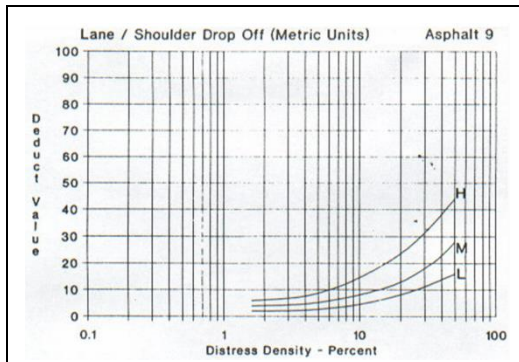
2.6 – Depresión.
Fuente: ASTM D 6433-07



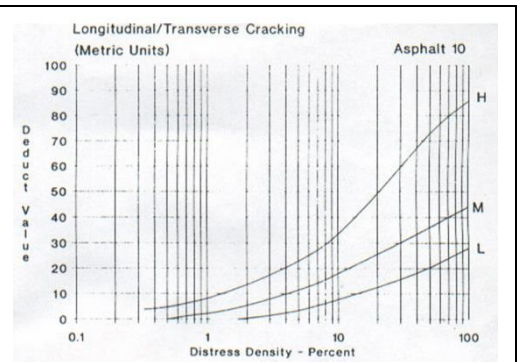
2.7 – Grieta de borde
Fuente: ASTM D 6433-07



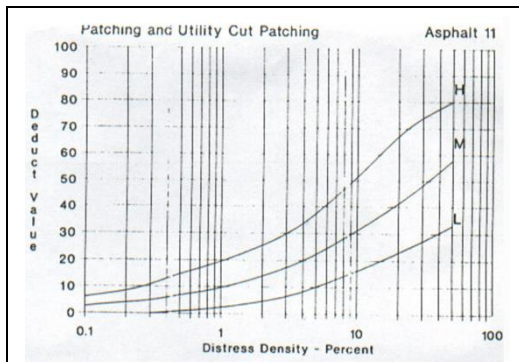
2.8 – Grieta de reflexión de junta
Fuente: ASTM D 6433-07



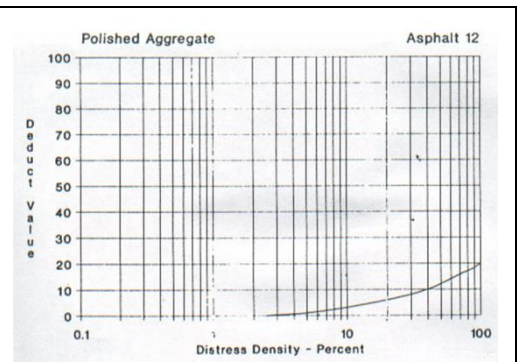
2.9 – Desnivel carril / berma
Fuente: ASTM D 6433-07



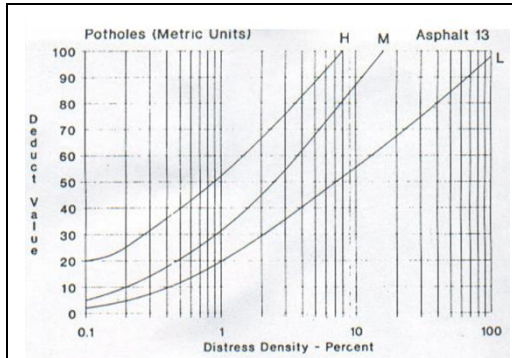
2.10 – Grietas longitudinales y transversales
Fuente: ASTM D 6433-07



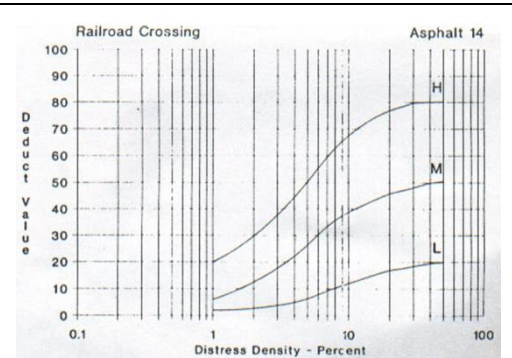
2.11 – Parche
Fuente: ASTM D 6433-07



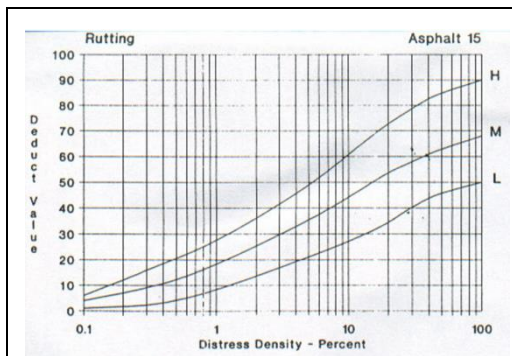
2.12 – Pulimiento de agregados
Fuente: ASTM D 6433-07



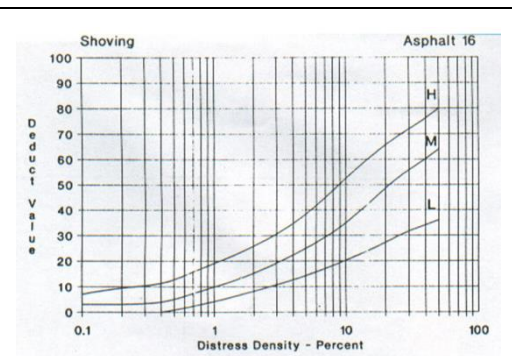
2.13 – Huecos
Fuente: ASTM D 6433-07



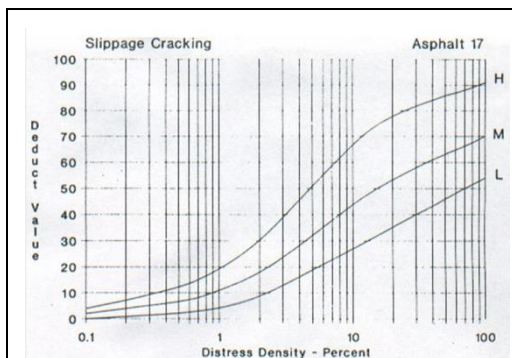
2.14 – Cruce de vía férrea.
Fuente: ASTM D 6433-07



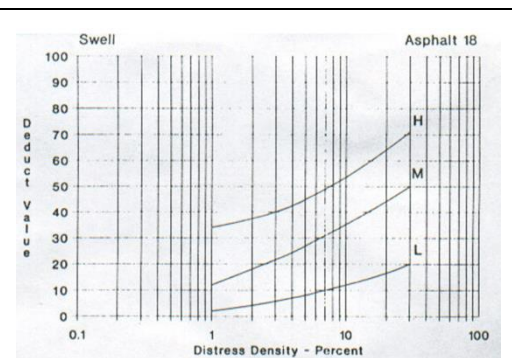
2.15 – Ahuellamiento.
Fuente: ASTM D 6433-07



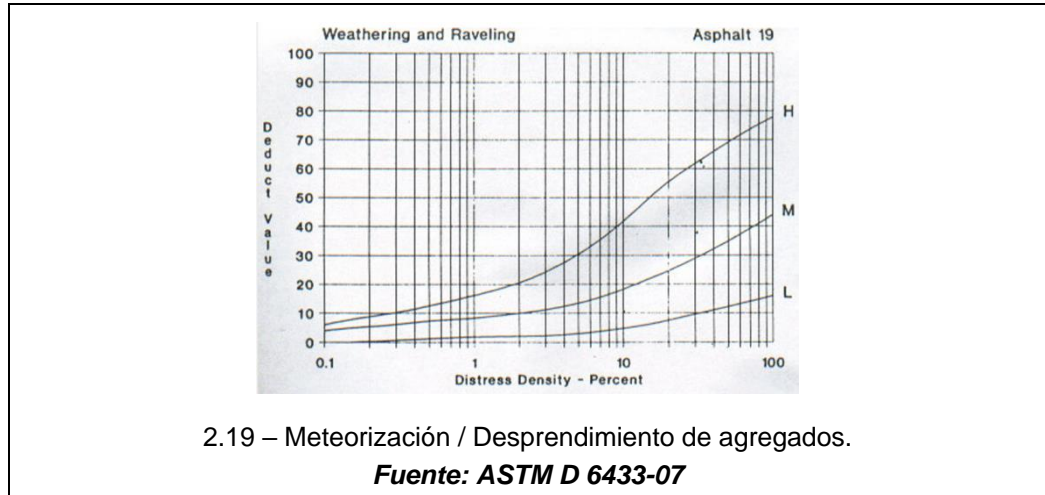
2.16 – Desplazamiento.
Fuente: ASTM D 6433-07



2.17 – Grietas parabólicas o por deslizamiento.
Fuente: ASTM D 6433-07



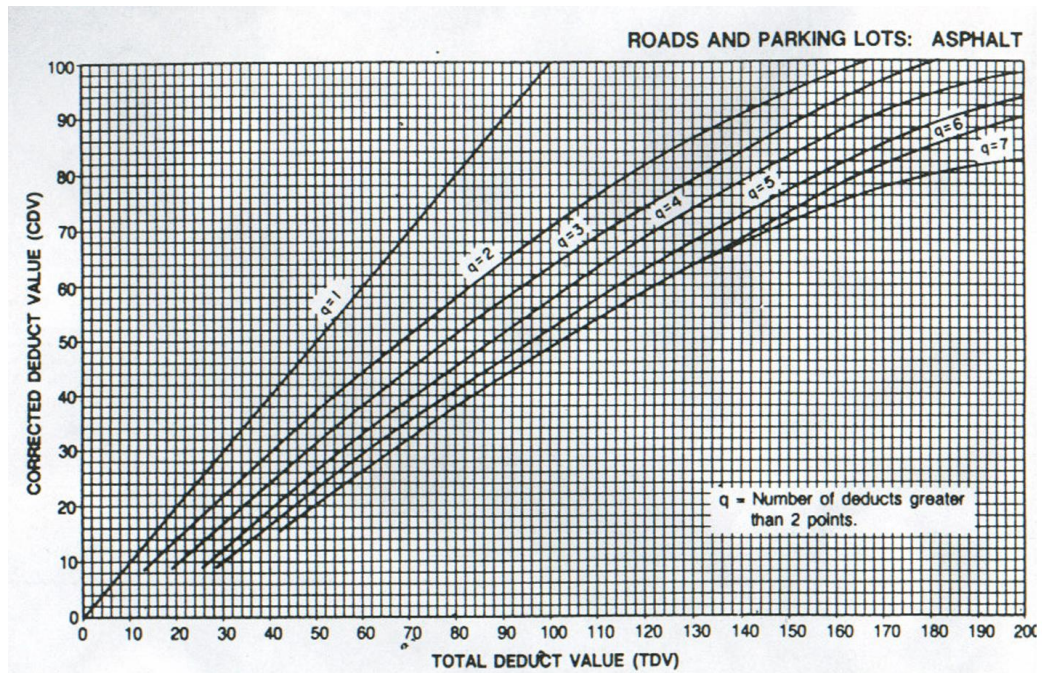
2.18 – Hinchamiento.
Fuente: ASTM D 6433-07



2.19 – Meteorización / Desprendimiento de agregados.

Fuente: ASTM D 6433-07

4. Curvas de valores deducidos corregidos para pavimento flexible.



Fuente: ASTM D 6433

No		TIPO DE FALLA	COD.	UNID	No	TIPO DE FALLA	COD.	UNID
1		Piel de Cocodrilo	PDC	m ²	11	Parcheo	PAR	m ²
2		Exudación	EXU	m ²	12	Pulimiento de Agregados	PUL	m ²
3		Agrietamiento en bloque	AEB	m ²	13	Huecos	HUC	Und
4		Abultamiento y Hundimientos	AHU	m	14	Cruce de Vía Férrea	CFE	m ²
5		Corrugación	COG	m ²	15	Ahuellamiento	AHT	m ²
6		Depresión	DPS	m ²	16	Desplazamiento	DPT	m ²
7		Grieta de Borde	GDB	m	17	Grietas Parabólicas	GRN	m ²
8		Grieta de Reflexión de Junta	GRJ	m	18	Hinchamiento	HIN	m ²
9		Desnivel Carril / Berma	DES	m	19	Desprendimiento de agregados	DEA	m ²
10		Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m				

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA			
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)			
	L	M	H			
FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD %	VD
PAR	L	2.00 (1.30)				
TOTAL, VD						

5.27 – Unidad de muestra #26.
Fuente: elaboración propia

6. Fichas de Resultados Proporcionadas por el Software.

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.
Código vía   :      ï»¿CA08
Fecha inspección :      25/8/2024
Abscisa inicial :      K007+520.00
Abscisa final  :      K007+552.00
Unidad       :      001
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 1.25%
=====
Número de deducidos: 0
=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.1 – PCI muestra #1.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25/8/2024
Abscisa inicial :      K007+552.00
Abscisa final  :      K007+584.00
Unidad       :      002
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (L) - m²:      001.50      000.63      0007.1
10.Griet lon. y tran.(L) - m :      010.57      004.46      0003.8
=====
Número de deducidos: 2
=====
Daño      Valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (L)      007.1
10.Griet lon. y tran.(L)      003.8
=====
Valor deducido más alto      : 007.1
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 09.53
=====
PCI Sección      : 091 Excelente
    
```

6.2 – PCI muestra #2.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25/8/2024
Abscisa inicial :      K007+584.00
Abscisa final  :      K007+616.00
Unidad       :      003
Área unidad -m² :      238.40
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 1.51%

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.3 – PCI muestra #3.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25/8/2024
Abscisa inicial :      K007+616.00
Abscisa final  :      K007+648.00
Unidad       :      004
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.19%

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.4 – PCI muestra #4.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25/8/2024
Abscisa inicial :      K007+648.00
Abscisa final  :      K007+680.00
Unidad       :      005
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.73%
=====
Número de deducidos: 0
=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.5 – PCI muestra #5.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25/8/2024
Abscisa inicial :      K007+680.00
Abscisa final  :      K007+712.00
Unidad       :      006
Área unidad -m² :      238.40
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
07.Grieta de borde (L) - m :      006.32      002.65      0003.3
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.30%
=====
Número de deducidos: 1
=====
Daño      Valor deducido
=====
07.Grieta de borde (L)      003.3
Valor deducido más alto      : 003.3
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      003.31
=====
PCI Sección      : 097 Excelente
    
```

6.6 – PCI muestra #6.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25/8/2024
Abscisa inicial :      K007+712.00
Abscisa final  :      K007+744.00
Unidad       :      007
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
07.Grieta de borde (L) - m : ERROR! Densidad fuera de (0.4%-60%) 0.08%
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 1.34%

Número de deducidos: 0

=====
Daño                Valor deducido
=====

Valor deducido más alto                : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:          000.00
=====

PCI Sección                : 100 Excelente
    
```

6.7 – PCI muestra #7.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.c
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25/8/2024
Abscisa inicial :      K007+744.00
Abscisa final  :      K007+776.00
Unidad       :      008
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.55%

Número de deducidos: 0

=====
Daño                Valor deducido
=====

Valor deducido más alto                : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:          000.00
=====

PCI Sección                : 100 Excelente
    
```

6.8 – PCI muestra #8.
 Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
 Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
 Pavimentos asfálticos

```

=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :    25/8/2024
Abscisa inicial :    K007+776.00
Abscisa final  :    K007+808.00
Unidad       :      009
Área unidad -m² :    236.80
=====
    
```

Daño (severidad) - unidad	Cantidad	Densidad(%)	Valor deducido
10.Griet lon. y tran.(L) - m	ERROR!	Densidad fuera de (2%-100%)	0.39%

Número de deducidos: 0

Daño	Valor deducido

Valor deducido más alto : 000.0
 Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
 Valor deducido corregido CDV: 000.00

PCI Sección : 100 Excelente

6.9 – PCI muestra #9.
 Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
 Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
 Pavimentos asfálticos

```

=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :    25/8/2024
Abscisa inicial :    K007+808.00
Abscisa final  :    K007+840.00
Unidad       :      010
Área unidad -m² :    236.80
=====
    
```

Daño (severidad) - unidad	Cantidad	Densidad(%)	Valor deducido
07.Grieta de borde (L) - m	001.37	000.58	0001.3

Número de deducidos: 1

Daño	Valor deducido
07.Grieta de borde (L)	001.3

Valor deducido más alto : 001.3
 Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
 Valor deducido corregido CDV: 001.31

PCI Sección : 099 Excelente

6.10 – PCI muestra #10.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\U
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K7+840.00
Abscisa final  :      K7+872.00
Unidad       :      011
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.05%

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.11 – PCI muestra #11.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\L
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K7+872.00
Abscisa final  :      K7+904.00
Unidad       :      012
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.40%

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.12 – PCI muestra #12.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\U
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K7+904.00
Abscisa final  :      K7+936.00
Unidad       :      013
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.72%

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.13 – PCI muestra #13.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\U
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K7+936.00
Abscisa final  :      K7+968.00
Unidad       :      014
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.28%

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.14 – PCI muestra #14.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\UI
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K7+968.00
Abscisa final  :      K8+000.00
Unidad       :      015
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
Número de deducidos: 0
=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.15 – PCI muestra #15.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\UI
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K8+000.00
Abscisa final  :      K8+032.00
Unidad       :      016
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
07.Grieta de borde (L) - m : ERROR! Densidad fuera de (0.4%-60%) 0.12%
=====
Número de deducidos: 0
=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.16 – PCI muestra #16.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\U
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K8+032.00
Abscisa final  :      K8+064.00
Unidad       :      017
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.13%

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.17 – PCI muestra #17.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\L
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K8+064.00
Abscisa final  :      K8+096.00
Unidad       :      018
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.18 – PCI muestra #18.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\U
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K8+096.00
Abscisa final  :      K8+128.00
Unidad       :      019
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.68%

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.19 – PCI muestra #19.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\U
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      8/25/2024
Abscisa inicial :      K8+128.00
Abscisa final  :      K8+160.00
Unidad       :      020
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
19.Desprendimiento (L) - m²:      002.83      001.20      0002.1

Número de deducidos: 1

=====
Daño      Valor deducido
=====
19.Desprendimiento (L)      002.1

Valor deducido más alto      : 002.1
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      002.07
=====
PCI Sección      : 098 Excelente
    
```

6.20 – PCI muestra #20.
 Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
 Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
 Pavimentos asfálticos

```

=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.c
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25-08-24
Abscisa inicial :      K8+160.00
Abscisa final  :      K8+192.00
Unidad       :      021
Área unidad -m² :      236.80
    
```

```

=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
    
```

Número de deducidos: 0

```

=====
Daño      Valor deducido
=====
    
```

```

Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
    
```

PCI Sección : 100 Excelente

6.21 – PCI muestra #21.
 Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
 Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
 Pavimentos asfálticos

```

=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.c
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25-08-24
Abscisa inicial :      K8+192.00
Abscisa final  :      K8+224.00
Unidad       :      022
Área unidad -m² :      236.80
    
```

```

=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
    
```

Número de deducidos: 0

```

=====
Daño      Valor deducido
=====
    
```

```

Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
    
```

PCI Sección : 100 Excelente

6.22 – PCI muestra #22
 Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
 Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
 Pavimentos asfálticos

=====

Archivo : C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.cs
 Código vía : CA08
 Fecha inspección : 25-08-24
 Abscisa inicial : K8+224.00
 Abscisa final : K8+256.00
 Unidad : 023
 Área unidad -m² : 236.80

=====

Daño (severidad) - unidad	Cantidad	Densidad(%)	Valor deducido
=====			
Número de deducidos: 0			
=====			
Daño	Valor deducido		
=====			
Valor deducido más alto	: 000.0		
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.			
Valor deducido corregido CDV:	000.00		
=====			
PCI Sección	: 100 Excelente		

6.23 – PCI muestra #23.
 Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
 Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
 Pavimentos asfálticos

=====

Archivo : C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.cs
 Código vía : CA08
 Fecha inspección : 25-08-24
 Abscisa inicial : K8+256.00
 Abscisa final : K8+288.00
 Unidad : 024
 Área unidad -m² : 236.80

=====

Daño (severidad) - unidad	Cantidad	Densidad(%)	Valor deducido
=====			
Número de deducidos: 0			
=====			
Daño	Valor deducido		
=====			
Valor deducido más alto	: 000.0		
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.			
Valor deducido corregido CDV:	000.00		
=====			
PCI Sección	: 100 Excelente		

6.24 – PCI muestra #24.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.c
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25-08-24
Abscisa inicial :      K8+288.00
Abscisa final  :      K8+320.00
Unidad       :      025
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
11.Parqueo-acometida (L) - m²:      002.60      001.10      0002.5

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====

Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====

PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.25 – PCI muestra #25.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.cs
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25-08-24
Abscisa inicial :      K8+320.00
Abscisa final  :      K8+352.00
Unidad       :      026
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
11.Parqueo-acometida (L) - m²:      002.60      001.10      0002.5

Número de deducidos: 1

=====
Daño      Valor deducido
=====

11.Parqueo-acometida (L)      002.5

Valor deducido más alto      : 002.5
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      002.50
=====

PCI Sección      : 098 Excelente
    
```

6.26 – PCI muestra #26.
Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.cs
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25-08-24
Abscisa inicial :      K8+352.00
Abscisa final  :      K8+384.00
Unidad       :      027
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
10.Griet lon. y tran.(L) - m : ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 0.94%

Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.27 – PCI muestra #27.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.cs
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25-08-24
Abscisa inicial :      K8+384.00
Abscisa final  :      K8+416.00
Unidad       :      028
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
Número de deducidos: 0

=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.28 – PCI muestra #28.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.c
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25-08-24
Abscisa inicial :      K8+416.00
Abscisa final  :      K8+448.00
Unidad       :      029
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
Número de deducidos: 0
=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.29 – PCI muestra #29.
 Fuente: software UnalPCI

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.c
Código vía   :      CA08
Fecha inspección :      25-08-24
Abscisa inicial :      K8+448.00
Abscisa final  :      K8+480.00
Unidad       :      030
Área unidad -m² :      236.80
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
Número de deducidos: 0
=====
Daño      Valor deducido
=====
Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====
PCI Sección      : 100 Excelente
    
```

6.30 – PCI muestra #30.
 Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela

Pavimentos asfálticos

```

=====
Archivo      :      C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.csv
Código vía   :      CA09
Fecha inspección :      26-08-24
Abscisa inicial :      K8+480.00
Abscisa final  :      K8+520.00
Unidad       :      031
Área unidad -m² :      236.80
=====

```

```

=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====

```

Número de deducidos: 0

```

=====
Daño      Valor deducido
=====

```

```

Valor deducido más alto      : 000.0
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
Valor deducido corregido CDV:      000.00
=====

```

PCI Sección : 100 Excelente

6.31 – PCI muestra #31.

Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX								
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela								
Pavimentos asfálticos								
=====								
Archivo	C:\Users\DGA\Desktop\Muestras 1-10\PRUEBA\FORMATO ESPECI.csv							
=====								
No.	Inicio	Final	PCI	Piel de cocodr	Parqueo (m²)	Huecos (un)	Reconstrucción	Observaciones
=====								
1	700520	700552	100	0	0	0		10-(L) 1.25(2-100)
2	700552	700584	91	1.5	0	0		
3	700584	700616	100	0	0	0		10-(L) 1.51(2-100)
4	700616	700648	100	0	0	0		10-(L) 0.19(2-100)
5	700648	700680	100	0	0	0		10-(L) 0.73(2-100)
6	700680	700712	97	0	0	0		10-(L) 0.30(2-100)
7	700712	700744	100	0	0	0		07-(L) 0.08(0.4-10-(L) 1.34(2-100)
8	700744	700776	100	0	0	0		10-(L) 0.55(2-100)
9	700776	700808	100	0	0	0		10-(L) 0.39(2-100)
10	700808	700840	99	0	0	0		

6.32 – PCI resumen muestras de 1 - 10

Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX							
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela							
Pavimentos asfálticos							
=====							
Archivo	C:\Users\INSERIN-LPT89\Desktop\S.S\DOCUMENTOS PARA TESIS\UNAL PCIA DOCUMENTOS\DATOS MUESTRA NAARA.csv						
=====							
No.	Inicio	Final	PCI	Piel de cocodi	Parqueo (m ²)	Huecos (un)	Reconstrucción Observaciones
=====							
0	0	0	100	0	0	0	
11	7840	7872	100	0	0	0	10-(L) 0.05(2-100)
12	7872	7904	100	0	0	0	10-(L) 0.40(2-100)
13	7904	7936	100	0	0	0	10-(L) 0.72(2-100)
14	7936	7968	100	0	0	0	10-(L) 0.28(2-100)
15	7968	8000	100	0	0	0	
16	8000	8032	100	0	0	0	07-(L) 0.12(0.4-60)
17	8032	8064	100	0	0	0	10-(L) 0.13(2-100)
18	8064	8096	100	0	0	0	
19	8096	8128	100	0	0	0	10-(L) 0.68(2-100)
20	8128	8160	98	0	0	0	

6.33 – PCI resumen muestras de 11 - 20

Fuente: software UnalPCI

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX							
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela							
Pavimentos asfálticos							
=====							
Archivo	C:\Users\DGA\Desktop\tesis\Muestras 1-10\21-31\Datos.csv						
=====							
No.	Inicio	Final	PCI	Piel de cocodi	Parqueo (m ²)	Huecos (un)	Reconstrucción Observaciones
=====							
21	8160	8192	100	0	0	0	
22	8192	8224	100	0	0	0	
23	8224	8256	100	0	0	0	
24	8256	8288	100	0	0	0	
25	8288	8320	100	0	0	0	
26	8320	8352	98	0	2.6	0	
27	8352	8384	100	0	0	0	10-(L) 0.94(2-100)
28	8384	8416	100	0	0	0	
29	8416	8448	100	0	0	0	
30	8448	8480	100	0	0	0	
31	8480	8520	100	0	0	0	

6.34 – PCI resumen muestras de 21 - 31

Fuente: software UnalPCI

7. Panel Fotográfico.



Ilustración 5.2-1 Carril de Ahuachapán



Ilustración 5.2-2 Carril hacia frontera Las Chinamas



Ilustración 5.2-3 Ubicación de estaciones.



Ilustración 5.2-4 Seccionamiento de muestras.



Ilustración 5.2-5 Medición de ancho de vía.



Ilustración 5.2-6 Ubicación de fallas

