



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE REHABILITACIÓN VIAL EN LA ABSCISA 0+000 HASTA
2+000 KM EN LA VÍA EL ARENAL – PUENTE DE LOURDES, PARROQUIA
RICAURTE, CANTÓN CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTORES: DAVID SANTIAGO BUSTAMANTE TOLEDO
MAYLE ANAI ORTIZ RAMONES

TUTOR: ING. CRISTIAN DANILO BUSTOS CABRERA, MSc.

Cuenca - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, David Santiago Bustamante Toledo con documento de identificación N° 0106644776 y Mayle Anai Ortiz Ramones con documento de identificación N° 0107237554; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 30 de julio del 2025

Atentamente,

David Santiago Bustamante Toledo

0106644776

Mayle Anai Ortiz Ramones

0107237554

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, David Santiago Bustamante Toledo con documento de identificación N° 0106644776 y Mayle Anai Ortiz Ramones con documento de identificación N° 0107237554, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Propuesta de rehabilitación vial en la abscisa 0+000 hasta 2+000 km en la vía el Arenal – puente de Lourdes, parroquia Ricaurte, cantón Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 30 de julio del 2025

Atentamente,



David Santiago Bustamante Toledo
0106644776



Mayle Anai Ortiz Ramones
0107237554

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Danilo Bustos Cabrera con documento de identificación N° 0301288262, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE REHABILITACIÓN VIAL EN LA ABSCISA 0+000 HASTA 2+000 KM EN LA VÍA EL ARENAL – PUENTE DE LOURDES, PARROQUIA RICAURTE, CANTÓN CUENCA, realizado por David Santiago Bustamante Toledo con documento de identificación N° 0106644776 y por Mayle Anai Ortiz Ramones con documento de identificación N° 0107237554, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 30 de julio del 2025

Atentamente,



Ing. Cristian Danilo Bustos Cabrera
0301288262

Dedicatoria

Dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud a las personas que han sido mi mayor fortaleza en la vida.

A mis padres, Marisol Ramones y Liver Ortiz, quienes me enseñaron con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad, la perseverancia, la honestidad y su apoyo constante, me han guiado con sabiduría en cada paso de mi vida. Gracias por sus consejos, su apoyo incondicional y por brindarme siempre su mano en los momentos más difíciles. Esta tesis es el reflejo de su dedicación, su sacrificio y el ejemplo de superación que siempre me han brindado. Este logro es una pequeña muestra de todo lo que su amor y sacrificio han significado para mí, logro que no es solo mío, sino de ustedes, porque en cada paso que he dado han estado presentes.

A mis hermanas, hermanos y sobrinos, Jenifer Yanza, María José Yanza, Luis Yanza, Robert Ortiz, Doraliz Ortiz, Maykel Ortiz y Aitana Mora, porque cada uno de ustedes ha formado parte de mi crecimiento y de mi motivación diaria. Ustedes son mi razón para luchar y superarme siempre.

Les dedico cada hora de estudio, porque sé que cada sacrificio mío también ha sido un sacrificio de ustedes. Cada palabra de aliento que me dieron fue fundamental para llegar hasta aquí, y no tengo duda de que sin su respaldo no hubiera sido posible alcanzar esta meta. Les prometo que en adelante seguiré esforzándome y dando lo mejor de mí, porque no quiero, ni voy a defraudarlos. Ustedes son y siempre serán mi mayor inspiración.

A Alexis, quien ha sido un apoyo fundamental en este camino académico. Gracias por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba, por ser mi calma en los momentos de incertidumbre y por impulsarme siempre a seguir adelante. Tus palabras y tu apoyo constante me impulsaron a crecer, a ser más fuerte y a luchar con determinación por cada uno de mis sueños. Este sueño también es tuyo, porque lo comparto contigo, así como comparto cada meta alcanzada y cada paso que doy.

Les dedico mi trabajo de titulación, mi dedicación y mi esfuerzo, pues es el mejor regalo que puedo ofrecerles para demostrarles cuánto los amo y para que se sientan orgullosos de mí, así como yo me siento inmensamente orgullosa de tenerlos en mi vida.

Mayle Anai Ortiz Ramones.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios, por darme la vida y la fortaleza para seguir adelante, por llenarme de sabiduría y bendiciones cada día.

A mis padres, Marisol Ramones y Liver Ortiz, gracias por ser el pilar de mi vida, por su amor inmenso y por brindarme siempre su apoyo sin condiciones. Sus sacrificios y enseñanzas han formado la persona que soy hoy, y este logro es reflejo de todo lo que han sembrado en mí.

A mis hermanos Jenifer, María José, Luis, Robert, Doraliz y mi primo Diego, gracias por estar siempre presentes, por su cariño, su compañía y sus palabras de ánimo en los momentos en que más las necesité. Cada uno de ustedes es una parte importante en mi camino.

Este fragmento es dedicado especialmente a quienes me acompañaron en mi proceso y brindaron su apoyo sin pedir nada cambio, mis amigos Mabel, Mateo y Joan, gracias por acompañarme en este camino con su amistad sincera, por sus palabras de aliento en los días difíciles, por las risas compartidas que aligeraban mis preocupaciones y por motivarme a seguir adelante cuando creía que no podía más. Su apoyo ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Ing. Daniel Bustos, tutor de mi tesis, por su invaluable guía, sus consejos acertados y su paciencia durante todo este proceso. Su compromiso y dedicación hicieron posible la culminación de este proyecto, motivándome siempre a dar lo mejor de mí.

De igual manera, agradezco a la Ing. Rocío Vásquez, quien no solo fue parte fundamental en mi formación académica, sino que también aportó significativamente en el desarrollo de esta tesis, brindándome su ayuda y apoyo en temas importantes con disposición y entrega. Sus enseñanzas quedarán siempre en mi vida profesional.

A cada uno de ustedes, gracias por ser parte de este logro que marca un paso más en mi vida y en mi futuro profesional.

Mayle Anai Ortiz Ramones.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a quienes han sido el pilar fundamental de mi vida: mi familia. Su amor incondicional y su fortaleza constante me han acompañado en cada paso de este camino.

A mis padres, Acebes y Germania, porque todo lo que soy tiene sus raíces en su ejemplo, entrega y sacrificio. Papá, gracias por enseñarme que la perseverancia, más que el talento, es la clave de los verdaderos logros. Tu vida, marcada por el trabajo silencioso y la responsabilidad, ha sido una guía constante. Mamá, gracias por tu ternura inagotable, por tus palabras oportunas, por tu fe inquebrantable y por cada oración que me sostuvo en los momentos más difíciles. Sin ustedes, alcanzar esta meta no habría sido posible.

A mis hermanos, Juan, Estefanía y Nicolás, por estar siempre presentes con su cariño, apoyo y compañía. En los momentos de cansancio o incertidumbre, su amor fraterno fue un refugio sereno, una fuerza silenciosa que me recordó que nunca he estado solo.

A mi sobrino, Juan Sebastián, porque tu sonrisa, tu alegría y tu mirada transparente me devolvieron, una y otra vez, las ganas de seguir adelante. Pensar en ti fue, en muchos momentos, el impulso que necesitaba para continuar con determinación.

No hay mayor dicha que tener el placer de contar con ustedes todos los días. Su presencia en mi vida ha sido el motor que me impulsó a no rendirme y el refugio que me sostuvo en los momentos más difíciles. A ustedes, mi amor y gratitud eternos.

David Santiago Bustamante Toledo.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, fuente de vida, sabiduría y fortaleza. Su presencia ha sido guía constante en cada etapa de este proceso, brindándome esperanza en los momentos de dificultad y serenidad en los momentos de duda. Sin su luz, este camino habría sido mucho más difícil de recorrer.

Expreso también mi más sincero agradecimiento al Ing. Danilo Bustos, tutor de este trabajo de titulación, por su acompañamiento, orientación técnica y disposición constante. Su experiencia, paciencia y criterio profesional fueron fundamentales para culminar con éxito esta etapa académica.

A mis amigos Daniel, Cristóbal y Luis, gracias por estar presentes con su apoyo incondicional, por las palabras de ánimo, los consejos sinceros y la compañía en los momentos más exigentes. Su amistad ha sido un pilar emocional que me sostuvo a lo largo del proceso.

Extiendo también mi gratitud a todos mis docentes, quienes a lo largo de la carrera compartieron sus conocimientos, experiencias y valores. Cada uno ha contribuido de manera significativa a mi formación académica y personal, dejándome enseñanzas que perdurarán más allá del aula.

A todos quienes, de una u otra forma, formaron parte de este recorrido, mi reconocimiento sincero. Gracias por aportar con su presencia, su palabra o su silencio, a la construcción de este logro.

David Santiago Bustamante Toledo.

Resumen

El presente proyecto de titulación aborda de manera integral la propuesta de rehabilitación vial en la vía El Arenal – Puente de Lourdes, ubicada en la parroquia Ricaurte, cantón Cuenca, en el tramo comprendido entre las abscisas 0+000 y 2+000 km. Esta vía es fundamental para la conectividad y el desarrollo de la zona, siendo este el acceso entre sectores urbanos y rurales, así como a la escombrera San Pedro de Llacao, este siendo importante para el transporte de bienes y servicios.

El objetivo principal del proyecto es desarrollar los estudios necesarios para la restauración de la vía gravemente deteriorada, afectada por el tránsito de vehículos pesados, condiciones climáticas adversas y la falta de mantenimiento preventivo, en una carretera rehabilitada que cumpla con las normativas vigentes de seguridad, eficiencia y sostenibilidad vial. Para ello, se realizará un diagnóstico exhaustivo de la situación actual de la vía, identificando problemas críticos como el deterioro avanzado de la calzada, presencia de fisuras, hundimientos, pérdida de la capa de rodadura, y deficiencias en el sistema de drenaje.

El análisis permitirá diseñar una propuesta de rehabilitación integral, que aborda estos desafíos de manera técnica y sostenible. La propuesta incluye varias fases clave: levantamiento topográfico, evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), análisis de tránsito actual y proyectado, diseño geométrico y diseño estructural del pavimento, selección de materiales adecuados y diseño de un sistema de drenaje eficiente. Se priorizó la reutilización de capas existentes y la aplicación de materiales estabilizados, siguiendo los lineamientos de la normativa vigente y criterios ambientales.

La implementación de una nueva carpeta asfáltica resistente al tránsito pesado, y la reposición de señalización vial, permitirá restablecer la funcionalidad de la vía, mejorar la

seguridad de los usuarios y reducir los costos de operación vehicular. Además, se fortalecerá la conectividad y se promoverá el desarrollo socioeconómico de la región.

Este proyecto no solo resuelve los problemas actuales de la vía, sino que también sienta las bases para futuras intervenciones viales en el cantón Cuenca. La metodología empleada y los resultados obtenidos pueden servir como referencia para proyectos similares en otras áreas, contribuyendo a elevar los estándares de calidad y eficiencia en la infraestructura vial local y regional.

- **Palabras claves:** *Levantamiento topográfico, TPDA, Índice de Condición del Pavimento, Diseño geométrico, Diseño estructural, evaluación vial, Pavimento, Rehabilitación carpeta asfáltica.*

Abstrac

This degree project comprehensively addresses the roadway rehabilitation proposal for the El Arenal – Puente de Lourdes route, located in the Ricaurte parish, Cuenca canton, specifically along the segment between stations 0+000 and 2+000 km. This road is a critical component of the regional transportation network, facilitating connectivity between urban and rural sectors and providing access to the San Pedro de Llacao construction waste disposal site, which plays a key role in the logistics of goods and services.

The main objective of the project is to conduct the necessary engineering studies for the rehabilitation of a roadway that has undergone significant structural and functional deterioration. The damage is attributable to the continuous passage of heavy vehicles, adverse climatic conditions, and the absence of periodic preventive maintenance. The ultimate aim is to restore the roadway to a condition that complies with current standards for road safety, operational efficiency, and environmental sustainability.

To achieve this, a comprehensive assessment of the existing pavement condition will be undertaken. This includes identifying critical pathologies such as severe surface cracking, rutting, settlement, loss of the wearing course, and deficiencies in the surface and subsurface drainage systems.

The results of the evaluation will inform the development of an integral rehabilitation design, addressing structural and functional deficiencies through a technically sound and sustainable engineering solution. The proposed methodology comprises several key phases: topographic survey, evaluation of the Pavement Condition Index (PCI), analysis of current and projected traffic volumes (AADT), geometric design based on design speed and terrain classification, structural pavement design using mechanistic-empirical methods, selection of

suitable construction materials, and design of a comprehensive drainage system to ensure long-term performance.

Special consideration is given to the reuse and stabilization of existing pavement layers, in accordance with applicable technical standards and environmental best practices. The rehabilitation strategy also includes the application of a high-performance asphalt wearing course capable of withstanding heavy axle loads, and the installation of road safety elements such as horizontal and vertical signage.

The implementation of this rehabilitation project will restore the road's serviceability, enhance safety conditions for all users, and reduce vehicle operating and maintenance costs. Additionally, it will improve regional connectivity and foster socioeconomic development in the area.

This project not only addresses immediate infrastructure deficiencies but also establishes a technical framework for future road rehabilitation initiatives within Cuenca canton. The methodology, analytical processes, and design criteria applied herein may serve as a technical reference for similar infrastructure projects, contributing to the enhancement of engineering practices and quality standards in regional road development.

- **Keywords:** *Topographic survey, TPDA, Pavement Condition Index, Geometric design, Structural design, road evaluation, Pavement, Asphalt layer rehabilitation.*

CONTENIDO

Resumen.....	9
Abstrac	11
1. Introducción:.....	21
2. Planteamiento del problema:	21
2.1. Antecedentes.....	22
2.2. Justificación.....	24
2.3. Datos Generales del Proyecto	25
2.3.1. Localización y Límites del Proyecto.....	25
2.3.2. Descripción de la vía.....	26
2.3.3. Ubicación del Proyecto	26
3. Objetivos.....	27
3.1. Objetivo General	27
3.2. Objetivos Específicos	27
4. Marco teórico.....	28
4.1. Tráfico	28
4.1.1. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	28
4.1.2. Determinación del TPDA	29
4.1.2.1. Tipos de conteo:.....	29
4.1.2.2. Período de observación:.....	29
4.1.2.3. Cálculo de variaciones (factores):	29
4.1.3. Tráfico futuro.	30
4.1.3.1. Crecimiento del tráfico actual.....	30
4.1.3.2. Determinación del tráfico futuro	31
4.1.3.3. Tasa de crecimiento poblacional	31
4.1.3.4. Tráfico generado.....	32
4.1.3.5. Clasificación de Carreteras de acuerdo con el Tráfico.	32
4.1.4. Clasificación de carreteras.	33
4.1.4.1. Según su función	33
4.1.4.2. Caminos Vecinales	34
4.1.4.3. Características del tránsito.....	34
4.1.4.4. Según su terreno	34
4.2. Diseño Geométrico.....	36
4.2.1. Velocidad de diseño	36
4.2.2. Velocidad de circulación	37

4.3.	Sobreechancho en las curvas	40
4.4.	Distancias de visibilidad.....	41
4.4.1.	Distancia de visibilidad para la parada de un vehículo.....	42
4.4.2.	Distancia de Visibilidad para Rebasamiento.....	44
4.5.	Radio mínimo de la calzada	45
4.6.	Ancho de la calzada.....	46
4.7.	Índice de Condición de Pavimento.....	47
4.7.1.	Definiciones de Pavimentos.....	47
4.7.2.	Clasificación de Pavimentos	47
4.7.2.1.	Pavimento Flexible	47
4.7.2.1.1.	Elementos de los Pavimentos Flexibles	48
4.7.2.2.	Pavimento Semi-Rígido.....	48
4.7.2.2.1.	Elementos de los Pavimentos Semi-Rígidos.....	49
4.7.3.	Método del Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	49
4.7.4.	Análisis del Índice de Condición de Pavimentos Flexibles	49
4.7.5.	Cálculo del PCI para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica	52
4.7.6.	Tipos de Patologías en los Pavimentos Flexibles	60
4.8.	Diseño de la estructura de pavimento	82
4.8.1.	Ejes Equivalentes y Comportamiento del Pavimento ante Cargas Repetidas ...	82
4.8.2.	Tránsito como Variable Determinante en el Diseño Estructural del Pavimento	83
4.8.3.	Tipologías de Ejes y Clasificación Vehicular.....	83
4.8.4.	Conceptos Técnicos Asociados al Tránsito.....	84
4.8.4.1.	Volumen de tránsito.....	84
4.8.4.2.	Tránsito existente.....	84
4.8.4.3.	Nivel de Servicio	84
4.8.5.	Cargas de Tránsito y Diseño por Ejes Equivalentes	85
4.8.6.	Proyección del Tránsito Vehicular a lo Largo del Período de Diseño	86
4.8.7.	Evaluación del Tránsito para Diseño	87
4.8.8.	Métodos de Evaluación del Tránsito en Función del Tipo de Vía	88
4.9.	Composición Estructural del Pavimento	88
4.9.1.	Reconocimiento del Perfil Estratigráfico del Suelo.....	88
4.9.2.	Calicatas y Métodos de Estratigrafía	89
4.9.3.	Capas Granulares: Bases.....	89
4.9.4.	Capas Granulares: Subbases	90
4.9.5.	Capa de Rodadura	91

4.9.5.1.	Tratamientos Bituminosos	91
4.9.5.2.	Mezcla Asfáltica en Caliente	91
4.9.5.3.	Pavimento de Hormigón de Cemento Portland	91
4.10.	Tránsito como variable determinante del diseño	92
4.11.	Estructura estratificada del pavimento	92
4.12.	Enfoque probabilístico del método AASHTO	92
4.13.	Aplicabilidad y vigencia del método AASHTO	93
4.14.	Drenaje y Factor de Modificación (m_i).....	93
4.15.	Índice CBR (California Bearing Ratio)	94
4.16.	Módulo Resiliente (MR).....	95
4.17.	Propiedades Mecánicas de los materiales.....	97
4.18.	Ensayos de Laboratorio para Diseño de Pavimentos.....	100
4.19.	Diseño de Pavimentos Flexibles según AASHTO	101
4.19.1.	Principales Variables Consideradas.....	101
4.19.2.	Determinación del Número Estructural y Selección de Espesores	103
4.20.	Rehabilitación.....	104
4.20.1.	Vida Remanente (RL).....	105
4.20.2.	Factor de Condición (CF).....	106
4.20.3.	Número Estructural Efectivo (S _{Neff})	107
4.20.4.	Número Estructural Remanente (S _{Nol})	107
4.21.	Consideraciones Finales	108
5.	Marco Metodológico	108
5.1.	Tipo y Diseño de Investigación.....	109
5.2.	Enfoque Metodológico.....	110
5.3.	Ámbito del Estudio.....	111
5.4.	Métodos de Recolección de Datos	113
5.5.	Instrumentos y Herramientas	115
5.6.	Procedimiento.....	119
5.7.	Limitaciones	121
5.8.	Materiales Estudio PCI.....	122
5.8.1.	Cinta métrica.....	122
5.8.2.	Flexómetro	122
5.8.3.	Libreta de campo.....	123
5.8.4.	Ábacos.....	123
5.8.4.1.	Curvas para Pavimentos Asfálticos	123

5.9.	Estudio de trafico	127
5.9.1.	Monitoreo.....	128
5.10.	Diseño de pavimento flexible	129
5.10.1.	Determinación de las propiedades mecánicas de los materiales	137
5.10.2.	Drenaje	139
5.10.3.	Determinación de espesores finales	140
5.10.4.	Rehabilitación.....	141
6.	Resultados.....	143
6.1.	Estudio Vehicular	143
6.1.1.	Conteo Vehicular.....	143
6.1.2.	Factor Horario	144
6.1.3.	Factor Diario	144
6.1.4.	Factor semanal	144
6.1.5.	Factor Mensual.....	144
6.1.6.	Calculo TPDA de diseño.....	145
6.2.	Índice de Condición de Pavimento Flexible de la Vía Arenal-Puente de Lourdes .	147
6.2.1.	Muestreo	147
6.2.2.	Cálculo del PCI manual	148
6.2.2.1.	Tramo 1.....	148
6.2.2.2.	Tramo 2.....	153
6.2.2.3.	Tramo 3.....	155
6.2.2.4.	Tramo 4.....	157
6.2.2.5.	Tramo 5.....	159
6.2.2.6.	Tramo 6.....	161
6.2.2.7.	Tramo 7.....	163
6.2.2.8.	Tramo 8.....	165
6.2.2.9.	Tramo 9.....	167
6.2.2.10.	Tramo 10.....	169
6.2.3.	Resumen tramos.....	170
6.3.	Diseño Estructural del Pavimento	171
6.3.1.	Diseño para un periodo de diseño de 10 años.....	171
6.3.2.	Diseño para un periodo de diseño de 20 años.....	172
6.3.3.	Diseño para un periodo de diseño de 10 años – Alternativa Base cemento	174
6.3.4.	Diseño para un periodo de diseño de 20 años – Alternativa Base cemento	176
7.	Conclusiones.....	178

8. Recomendaciones	180
9. Bibliografía.....	181
ANEXOS	183
Anexo 1: Resultados ensayo CBR, Abscisa 0+000, Profundidad 0.6 – 1.2 m.....	183
Anexo 2: Resultados ensayo CBR, Abscisa 1+000, Profundidad 0.5 – 1.3 m.....	185
Anexo 3: Resultados ensayo CBR, Abscisa 2+000, Profundidad 0.3 – 1.00 m.....	187
Anexo 4: Trazado vial empleando el software Civil3D.	189
Anexo 5: Secciones críticas presentes en la vía.	189
Anexo 6: Simulación del recorrido de la vía empleando Civil3D.	190
Anexo 7: Conteo Vehicular del jueves	191
Anexo 8: Conteo Vehicular del viernes.....	192
Anexo 9: Conteo Vehicular del sábado	193
Anexo 10: Conteo Vehicular del domingo	194
Anexo 11: Conteo Vehicular del lunes	195
Anexo 12: Conteo Vehicular del martes.....	196
Anexo 13: Conteo Vehicular del miércoles.....	197
Anexo 14: Inventario de fallas	198
Anexo 15: Fotos Análisis PCI.....	201

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Ubicación de la vía El Arenal – Puente de Lourdes.....	27
Ilustración 2 Tipos de terreno en carreteras	36
Ilustración 3 Relaciones entre las velocidades del diseño y circulación.....	39
Ilustración 4 Esquema para determinar el sobreancho de un carril de tránsito en una curva	41
Ilustración 5 Coeficiente de fricción lateral para proyecto a diferentes velocidades.....	46
Ilustración 6 Hoja de registro de fallas.....	53
Ilustración 7 Severidades baja, media, alta Piel de cocodrilo	61
Ilustración 8 Severidades baja, media, alta Exudación	63
Ilustración 9 Severidades baja, media, alta Agrietamiento en bloque.....	64
Ilustración 10 Severidades baja, media, alta Abultamientos y Hundimientos	65
Ilustración 11 Severidades baja, media, alta Corrugación	66
Ilustración 12 Severidades baja, media, alta Depresión.....	67
Ilustración 13 Severidades baja, media, alta Grieta de borde	68
Ilustración 14 Severidades baja, media, alta Grieta de Reflexión De Junta.....	70
Ilustración 15 Severidades baja, media, alta Desnivel Carril / Berma.....	71
Ilustración 16 Severidades baja, media, alta Grietas Longitudinales y Transversales.....	72
Ilustración 17 Severidades baja, media, alta Parcheo y acometidas de servicios	73
Ilustración 18 Severidades baja, media y alta Pulimento de Agregados.....	74
Ilustración 19 Severidades baja, media, alta Huecos/Baches.....	76

Ilustración 20 Severidades baja, media, alta Cruce de Vía Férrea	77
Ilustración 21 Severidades baja, media, alta Ahuellamiento.....	78
Ilustración 22 Severidades baja, media, alta Desplazamiento.....	79
Ilustración 23 Severidades baja, media, alta Grietas Parabólicas o por deslizamiento.....	80
Ilustración 24 Severidad baja, media y alta Hinchamiento	81
Ilustración 25 Severidades baja, media, alta Meteorización / Desprendimiento de Agregados	82
Ilustración 26 Cuadro demostrativo de peso bruto vehicular y longitudes máximas permisibles	85
Ilustración 27 Coeficiente estructural a1 para mezcla de concreto asfáltico	98
Ilustración 28 Coeficiente estructural a2 para base granular no tratada.....	98
Ilustración 29 Coeficiente estructural a3 para subbase granular no tratada.	99
Ilustración 30 Diseño de Espesores de Pavimentos	104
Ilustración 31 Factor de condición, CF	106
Ilustración 32 Curvas Piel de Cocodrilo.....	123
Ilustración 33 Curvas Exudación	123
Ilustración 34 Curvas Agrietamiento en Bloque	124
Ilustración 35 Curvas Abultamientos y Hundimientos	124
Ilustración 36 Curvas Corrugación.....	124
Ilustración 37 Curvas Depresión	124
Ilustración 38 Curvas Grieta de Borde	124
Ilustración 39 Curvas Grieta de Reflexión De Junta.....	124
Ilustración 40 Curvas Desnivel Carril / Berma	125
Ilustración 41 Curvas Grietas Longitudinales y Transversales	125
Ilustración 42 Curvas Parcheo y acometidas de servicios.....	125
Ilustración 43 Curvas Pulimento de Agregados	125
Ilustración 44 Curvas Huecos.....	125
Ilustración 45 Curvas Cruce de Vía Férrea	125
Ilustración 46 Curvas Ahuellamiento.....	126
Ilustración 47 Curvas Desplazamiento.....	126
Ilustración 48 Curvas Grietas Parabólicas o por deslizamiento	126
Ilustración 49 Curvas Hinchamiento	126
Ilustración 50 Curvas Meteorización / Desprendimiento de Agregados.....	126
Ilustración 51 Valor Deducido Total.....	127
Ilustración 52 Formato conteo vehicular.....	128
Ilustración 53 Vista de cámara del conteo vehicular.....	129
Ilustración 54 Coeficiente estructural a1 para mezcla de concreto asfáltico	137
Ilustración 55 Coeficiente estructural a2 para base granular no tratada.....	138
Ilustración 56 Coeficiente estructural a3 para subbase granular no tratada	138
Ilustración 57 Identificación de fallas Tramo 1.....	149
Ilustración 58 Valores deducidos con relación a la densidad Tramo 1	149
Ilustración 59 Matriz de Valores Deducidos Tramo 1	151
Ilustración 60 Curva de Valor Deducido Corregido Tramo 1	151
Ilustración 61 PCI Tramo 2	153
Ilustración 62 PCI Tramo 3	155
Ilustración 63 PCI Tramo 4	157

Ilustración 64 PCI Tramo 5	159
Ilustración 65 PCI Tramo 6	161
Ilustración 66 PCI Tramo 7	163
Ilustración 67 PCI Tramo 8	165
Ilustración 68 PCI Tramo 9	167
Ilustración 69 PCI Tramo 10	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de la vía.....	26
Tabla 2 Coordenadas UTM de la vía existente	26
Tabla 3 Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado	33
Tabla 4 Tipos de terreno	35
Tabla 5 Velocidades de Diseño Km/h.....	37
Tabla 6 Relaciones entre velocidades de circulación y de diseño	39
Tabla 7 Valores de diseño de las distancias de visibilidad mínimas para parada de un vehículo (metros)	44
Tabla 8 Anchos de la Calzada.....	47
Tabla 9 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas	50
Tabla 10 Rangos de calificación del PCI.....	59
Tabla 11 Niveles de severidad para huecos	75
Tabla 12 Calidad de drenaje.....	94
Tabla 13 Valores de m_i recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares.....	94
Tabla 14 Coeficientes propuestos por AASTHO.....	100
Tabla 15 Espesores mínimos de capas	104
Tabla 16 Características de la vía	130
Tabla 17 Tasa de crecimiento Azuay, Cuenca	130
Tabla 18 Obtención factor de proyección	131
Tabla 19 Proyección y composición vehicular	131
Tabla 20 Parámetros iniciales de diseño	132
Tabla 21 Cálculo de ejes equivalentes	132
Tabla 22 Cálculo de ejes equivalentes	133
Tabla 23 Cálculo de ejes equivalentes	133
Tabla 24 Calculo de ejes equivalentes	134
Tabla 25 Cálculo de ejes equivalentes	134
Tabla 26 Límites para selección de Resistencia.....	135
Tabla 27 Resultados ensayos CBR realizado en laboratorio	135
Tabla 28 CBR Característico	136
Tabla 29 Obtención del valor CBR Característico.....	136
Tabla 30 Obtención Módulos resilientes de los materiales.....	137
Tabla 31 Calidad de drenaje.....	139
Tabla 32 Valores de m_i recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares.....	140
Tabla 33 Conteo vehicular total	143
Tabla 34 Conteo Manual Total	143

Tabla 35 Volumen Observado Clasificado	143
Tabla 36 Anuario de consumo de combustible de PETROECUADOR 2023	145
Tabla 37 Factores determinados	146
Tabla 38 Clasificación Total y TPDA diseño	146
Tabla 39 Clasificación de la Vía de análisis	147
Tabla 40 Clasificación de pavimento asfáltico	152
Tabla 41 Resumen de PCI de cada Tramo	170
Tabla 42 Caracterización de Capas Estructurales	171
Tabla 43 Números Estructurales Calculados	171
Tabla 44 Determinación de Espesores y Números Estructurales Adaptados	171
Tabla 45 Espesores mínimos recomendados	172
Tabla 46 Diseño de Pavimentos para 10 años.....	172
Tabla 47 Caracterización de Capas Estructurales	172
Tabla 48 Números Estructurales Calculados	173
Tabla 49 Determinación de Espesores y Números Estructurales Adaptados	173
Tabla 50 Espesores mínimos recomendados	173
Tabla 51 Diseño de Pavimentos para 20 años.....	173
Tabla 52 Caracterización de Capas Estructurales	174
Tabla 53 Números Estructurales Calculados	175
Tabla 54 Determinación de Espesores y Números Estructurales Adaptados	175
Tabla 55 Espesores mínimos recomendados	175
Tabla 56 Diseño de Pavimentos para 10 años.....	175
Tabla 57 Caracterización de Capas Estructurales	176
Tabla 58 Números Estructurales Calculados	176
Tabla 59 Determinación de Espesores y Números Estructurales Adaptados	176
Tabla 60 Espesores mínimos recomendados	177
Tabla 61 Diseño de Pavimentos para 20 años.....	177

1. Introducción:

La infraestructura vial juega un papel fundamental en el desarrollo local y regional, facilitando la conexión entre comunidades y promoviendo el intercambio comercial, lo que impulsa el crecimiento económico y social. En este contexto, el estado óptimo de las vías es esencial para garantizar una movilidad segura, eficiente y sostenible, contribuyendo al bienestar y progreso de las poblaciones.

La vía El Arenal – Puente de Lourdes, ubicada en la parroquia Ricaurte del cantón Cuenca, es una arteria estratégica que conecta sectores urbanos y rurales, además de servir como acceso principal a la escombrera San Pedro de Llacao. Sin embargo, esta vía presenta un deterioro significativo debido al tránsito constante de vehículos pesados, las condiciones climáticas adversas y la falta de mantenimiento preventivo.

Este proyecto se enfoca en la rehabilitación integral de la vía, abordando tanto el diseño geométrico actual como estructural para mejorar su capacidad y durabilidad. Para ello, se han considerado varias fases fundamentales: el levantamiento topográfico para obtener datos precisos del terreno; el diagnóstico del estado actual de la vía mediante el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI), que permite identificar las áreas críticas de deterioro; el análisis del tránsito vehicular para determinar la demanda actual y futura; el estudio de suelos para evaluar las características geotécnicas del terreno; y finalmente, el análisis del diseño geométrico y diseño estructural del pavimento, incluyendo la selección de materiales eficientes.

2. Planteamiento del problema:

La vía El Arenal – Puente de Lourdes, ubicada en la parroquia Ricaurte del cantón Cuenca, generando serias dificultades para el transporte y la conectividad en la región. Esta vía, fundamental para el acceso a la escombrera San Pedro de Llacao y la comunicación entre

zonas urbanas y rurales, ha sido sometida a un tránsito intenso, especialmente de vehículos pesados, que supera la capacidad estructural para la que fue diseñada originalmente.

A pesar de las intervenciones parciales y el mantenimiento realizado, estas acciones no han logrado revertir el deterioro progresivo del pavimento, manifestado en fisuras, hundimientos, pérdida de la capa de rodadura y deficiencias en el sistema de drenaje. Estas condiciones no solo comprometen la seguridad de los usuarios, sino que también aumentan los costos operativos del transporte y limitan el desarrollo socioeconómico de la comunidad.

La ausencia de un enfoque integral que contemple el diagnóstico detallado del estado actual de la vía, el análisis del tránsito vehicular, el estudio geotécnico del suelo, el diseño geométrico y estructural adecuado del pavimento, impide la implementación de soluciones efectivas y duraderas. Por ello, se hace necesario realizar un estudio exhaustivo que permita identificar las causas subyacentes del deterioro y plantear una propuesta técnica que garantice la rehabilitación sostenible de la vía.

2.1. Antecedentes

Las parroquias rurales de Cuenca han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo territorial del cantón, gracias a su potencial productivo y a su creciente integración con la zona urbana. En este contexto, la parroquia Llacao se destaca por su vocación agrícola y su proyección hacia un crecimiento ordenado, evidenciado en proyectos de infraestructura como el sistema de alcantarillado sanitario inaugurado en marzo de 2025, beneficiando a más de 350 habitantes de los sectores Santa María, Negas El Cruzado y Mirador (GAD Municipal de Cuenca, 2025a). Además, se han ejecutado obras de asfaltado vial en 700 metros de la vía Santa María – Negas, con una inversión de USD 181.559,94, mejorando significativamente la conectividad y calidad de vida de los residentes (GAD Municipal de Cuenca, 2025b).

Por otro lado, Ricaurte, con un perfil más urbano e industrial, actúa como un nodo estratégico de conexión y distribución de bienes, facilitando el comercio y el tránsito regional. La inversión pública en estas parroquias ha permitido consolidar redes viales que favorecen la movilidad, la competitividad y la inclusión territorial. Así, la infraestructura vial se convierte en un eje articulador del desarrollo económico, social y ambiental de estas comunidades (GAD Municipal de Cuenca, 2025a).

La escombrera San Pedro de Llacao, administrada por EMAC EP, cumple una función estratégica en la disposición final de residuos de construcción y demolición, evitando la contaminación de áreas no autorizadas y promoviendo prácticas sostenibles. En 2023, se dispusieron 237.902 metros cúbicos de escombros en esta instalación (EMAC EP, 2023). Sin embargo, el crecimiento de las actividades constructivas en Cuenca ha incrementado significativamente el número de viajes hacia esta instalación, generando una alta carga sobre la infraestructura vial existente. La vía El Arenal de Ricaurte hasta el Puente de Lourdes, principal acceso a la escombrera ha experimentado un notable deterioro debido al tránsito frecuente de vehículos pesados. El pavimento, originalmente diseñado para un volumen menor de circulación, muestra signos de fatiga estructural agravados por el crecimiento demográfico y el aumento del parque automotor (EMAC EP, 2023).

La vía El Arenal – Puente de Lourdes presenta actualmente un nivel de deterioro avanzado, con presencia de fisuras, hundimientos y pérdida progresiva de la capa de rodadura. A pesar de que se han realizado labores de reparación en tramos críticos, estas intervenciones han sido reactivas y de corto alcance, sin abordar las causas estructurales del daño. Se evidencia además una carencia de mantenimiento rutinario, como la limpieza de cunetas, el desbroce de vegetación, el retiro de sedimentos en pasos de agua y la reposición de señalización horizontal

y vertical. La falta de mantenimiento ha contribuido a la reducción de la vida útil del pavimento, cuya capacidad estructural ha sido superada por la demanda vehicular actual (El Mercurio, 2024). Ante esta realidad, las autoridades enfrentan el desafío de aplicar soluciones técnicas sostenibles que permitan una rehabilitación económica y efectiva, capaz de restablecer la funcionalidad de la vía y mejorar la seguridad vial.

La propuesta de rehabilitación para la vía El Arenal – Puente de Lourdes plantea una intervención integral que permita recuperar la capacidad estructural de la calzada, adaptándola a las condiciones actuales y futuras del tránsito. Esta iniciativa contempla la mejora de la subrasante, la implementación de capas de refuerzo con materiales estabilizados y la colocación de una nueva carpeta asfáltica con mayor resistencia al tránsito pesado. Asimismo, se proyecta la reposición de señalización y la readecuación de cunetas para mejorar el drenaje superficial. Estas acciones se encuentran orientadas a reducir los costos de operación vehicular, garantizar la seguridad de los usuarios y prolongar la vida útil de la infraestructura (GAD Municipal de Cuenca, 2025b).

2.2. Justificación

La rehabilitación vial es esencial para garantizar la movilidad segura y continua entre zonas urbanas y rurales. El deterioro progresivo de la calzada limita la eficiencia del transporte y aumenta el riesgo de accidentes. Este daño responde a factores como el tránsito constante, la falta de mantenimiento y las condiciones climáticas adversas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTO], 2020). Por ello, se requiere una intervención técnica que prolongue la vida útil de la vía y mejore sus condiciones estructurales.

Una infraestructura vial en mal estado compromete la competitividad territorial. Afecta directamente el acceso a servicios, el traslado de mercancías y la economía local (Cepal, 2018).

Rehabilitar la vía permite reducir los costos operativos y optimizar el tiempo de desplazamiento. También fortalece el desarrollo social y productivo de la zona.

El presente proyecto de titulación se apoya en criterios de ingeniería vial y mecánica de suelos. Considera el análisis de deterioro, capacidad estructural y alternativas viables de intervención (Moncada & Vega, 2019). A través de metodologías específicas se busca evaluar la vía y proponer soluciones ajustadas a sus condiciones actuales. Todo esto bajo una visión sostenible y técnica.

Las técnicas seleccionadas permitirán corregir fallas estructurales y mejorar el confort de los usuarios. Además, se incorporan criterios ambientales para reducir los impactos del proyecto (Sánchez et al., 2021). Esto garantizará un diseño responsable y una ejecución más eficiente. La seguridad vial y la durabilidad serán ejes centrales del enfoque adoptado.

Se aplican métodos de diagnóstico con base en ensayos de laboratorio y modelos estructurales. Estas herramientas permiten conocer el comportamiento de los materiales y proyectar soluciones efectivas (AASHTO, 2015). La investigación se convierte así en un aporte técnico para futuras intervenciones similares. Con ello se fortalece la planificación vial a mediano y largo plazo.

2.3. Datos Generales del Proyecto

2.3.1. Localización y Límites del Proyecto

La vía de estudio se encuentra ubicada en la parroquia Ricaurte, perteneciente al cantón Cuenca, provincia del Azuay. Esta vía conecta a la parroquia con la zona de Llacao, facilitando la movilidad de los habitantes y el acceso a servicios y actividades cotidianas. Todas las

actividades de levantamiento de datos de tráfico, PCI, evaluación de pavimento y monitoreo vehicular se realizaron a lo largo de este corredor vial, cubriendo los tramos necesarios para obtener información representativa sobre las condiciones y el comportamiento de la vía.

Límites geográficos de la parroquia Ricaurte:

- Norte: Con la parroquia Sidcay.
- Sur: Con la ciudad de Cuenca.
- Este: Con la parroquia Llacao.
- Oeste: Con la parroquia Chiquitad.

2.3.2. Descripción de la vía

Tabla 1
Descripción de la vía

DESCRIPCIÓN	DETALLES
Longitud vial	2+000 km
Tipo de Terreno	Montañoso
Sección transversal Calzada actual	6.00 m
Tipo de rodadura actual	Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Ubicación del Proyecto

Este proyecto inicia en la abscisa 0+000 y sigue su recorrido por un terreno de lastre la vía Ricaurte-Llacao hasta el puente de Lourdes en la abscisa 2+000, véase la **Ilustración 1**.

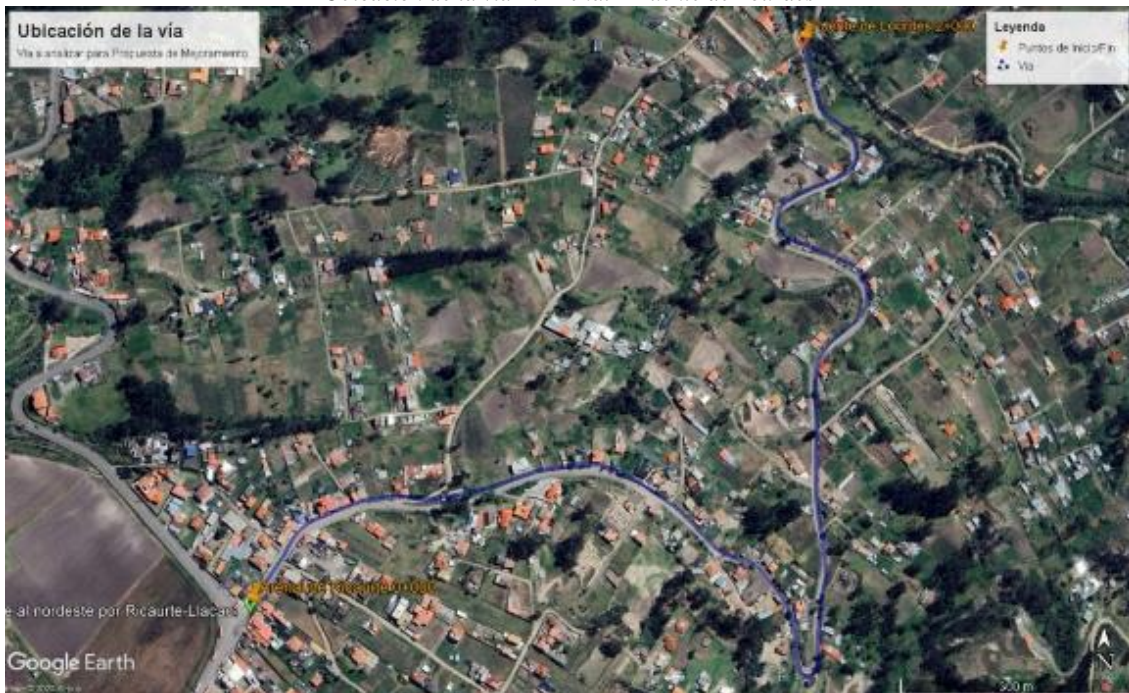
En la **Tabla 2** se visualiza las coordenadas UTM de la vía.

Tabla 2
Coordenadas UTM de la vía existente

	ESTE	SUR
Inicio	726458.00 m	9684065.00 m
Fin	727171.00 m	9684785.00 m

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 1
Ubicación de la vía El Arenal – Puente de Lourdes



Fuente: Imagen tomada de Google Earth

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Elaborar una propuesta de rehabilitación vial que contemple el mejoramiento del trazado geométrico cumpliendo con la normativa vigente, además de una propuesta de rehabilitación de pavimento en base al diagnóstico técnico detallado que considere la demanda vehicular actual de la zona, así optimizando la funcionalidad y seguridad de la infraestructura existente y proyectándola para maximizar su vida útil.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento topográfico del tramo comprendido entre las abscisas 0+000 y 2+000 km para obtener información precisa del terreno y condiciones actuales.
- Evaluar el estado actual del pavimento mediante el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI), identificando las áreas críticas de deterioro.

- Analizar el tránsito vehicular actual y proyectado para dimensionar adecuadamente la estructura del pavimento.
- Ejecutar el estudio de suelos para determinar las características geotécnicas de la subrasante y su capacidad portante.
- Elaborar el diseño estructural del pavimento flexible, seleccionando materiales adecuados y espesores óptimos para soportar la carga vehicular proyectada.

4. Marco teórico

4.1. Tráfico

El diseño geométrico de carreteras debe basarse en un análisis detallado del tráfico, ya que este influye directamente en la capacidad y funcionalidad de la vía. La información sobre el volumen, composición y características del tránsito es fundamental para tomar decisiones que garanticen seguridad, eficiencia y durabilidad en la carretera (MTO, 2003, pág. 11).

4.1.1. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) es la medida que indica el número promedio de vehículos que circulan diariamente por una carretera durante todo un año. En vías de un solo sentido, se cuenta el tráfico en esa dirección; en vías de doble sentido, se suma el tráfico de ambos sentidos. En autopistas, se calcula por separado para cada sentido debido a diferencias en el flujo vehicular. Para obtener un TPDA preciso, se utilizan datos de conteos vehiculares, preferiblemente de estaciones permanentes que registren variaciones diarias, semanales y estacionales. Si no hay estaciones permanentes, se hacen conteos temporales representativos y se ajustan con factores que reflejan las variaciones del tráfico a lo largo del año (MTO, 2003, págs. 11-12)

4.1.2. Determinación del TPDA

Calcular el TPDA a partir de observaciones puntuales del tráfico y la aplicación de factores de variación. Se deben realizar conteos vehiculares para conocer el nivel real de tráfico.

4.1.2.1. Tipos de conteo:

- **Manuales:** Indispensables para obtener información sobre la composición del tráfico y movimientos en intersecciones, fundamentales para el diseño geométrico (MTO, 2003, pág. 13).
- **Automáticos:** Registran el volumen total del tráfico, pero siempre deben complementarse con conteos manuales para conocer la composición. Además, requieren calibración cuidadosa para evitar errores (por ejemplo, contar pares de ejes como vehículos) (MTO, 2003, pág. 13).

4.1.2.2. Período de observación:

Se recomienda un conteo manual continuo durante 7 días en una semana sin eventos especiales, acompañado de un conteo automático de al menos un mes para validar y correlacionar los datos.

4.1.2.3. Cálculo de variaciones (factores):

Según la (MTO, 2003), para convertir el tráfico observado (T_o) en TPDA se aplican cuatro factores:

- **Factor horario (FH):** Ajusta el tráfico de horas específicas a volumen diario promedio.
- **Factor diario (FD):** Convierte volumen diario promedio en volumen semanal promedio.
- **Factor semanal (FS):** Transforma volumen semanal promedio en volumen mensual promedio.
- **Factor mensual (FM):** Ajusta volumen mensual promedio para obtener el TPDA.

La ecuación por aplicar:

$$TPDA = T_0 \times FH \times FD \times FS \times FM \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

T0 = tráfico observado.

4.1.3. Tráfico futuro.

El pronóstico del tráfico futuro se basa en el análisis del tráfico actual y considera un horizonte de 15 a 20 años para planificar el diseño vial. Este pronóstico incluye el crecimiento normal del tráfico, el tráfico generado por mejoras en la vía y el incremento debido a desarrollos en la zona. Las proyecciones son fundamentales para clasificar las carreteras y definir parámetros geométricos como la velocidad de diseño. Además, permiten identificar cuándo es necesario mejorar la superficie o aumentar la capacidad de la carretera, comparando el flujo máximo soportable con el volumen horario más alto esperado, conocido como la trigésima hora más alta del año. En Ecuador, aunque no se cuenta con estudios específicos para esta trigésima hora, se estima que el volumen máximo horario representa entre un 5% y 10% del TPDA (MTOPI, 2003, pág. 16).

4.1.3.1. Crecimiento del tráfico actual

El **tráfico actual** es el número de vehículos que circulan por una carretera antes de ser mejorada, o el volumen que circularía en una carretera nueva si ya estuviera en servicio. Para una vía a mejorar, el tráfico actual incluye:

- **Tráfico existente:** Vehículos que ya usan la carretera, determinado mediante estudios de tráfico.
- **Tráfico desviado:** Vehículos que, tras la mejora, se desvían desde otras rutas o medios de transporte, motivados por ahorros de tiempo, distancia o costo.

En carreteras nuevas, el tráfico actual se compone del tráfico desviado y del tráfico inicial generado por el desarrollo del área de influencia de la vía. En Ecuador, la tendencia histórica del crecimiento del tránsito se estima principalmente a partir del consumo de combustibles y la formación del parque automotor, ya que los datos sobre vehículos-kilómetro son limitados. Por ello, las tasas de crecimiento de tráfico se basan en estos indicadores, junto con la elasticidad de la demanda de transporte, el crecimiento del PIB y la población (MTOPE, 2003, pág. 17).

4.1.3.2. Determinación del tráfico futuro

Para proyectar el tráfico futuro, se recomienda relacionar el tráfico vehicular con factores como la población y la producción. Esto permite obtener estimaciones más realistas y ajustadas a las condiciones socioeconómicas de la zona de estudio (MTOPE, 2003, pág. 18).

4.1.3.3. Tasa de crecimiento poblacional

Si no se dispone de información estadística suficiente, las proyecciones se realizan usando la tasa de crecimiento poblacional o el consumo de combustible (MTOPE, 2003, pág. 19).

La fórmula por usar:

$$Tf = Ta \times (1 + i)^n \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

- Tf = Tráfico futuro o proyectado
- Ta = Tráfico actual
- i = Tasa de crecimiento del tráfico
- n = Número de años proyectados

4.1.3.4. Tráfico generado

El **tráfico generado** corresponde a los viajes que solo se realizarían si se ejecutan las mejoras propuestas, incluyendo:

- Viajes nuevos que antes no se efectuaban.
- Viajes que antes se hacían en transporte público.
- Viajes que antes tenían otros destinos y ahora se desvían a la nueva carretera.

Este tráfico suele aparecer en los dos años posteriores a la mejora o construcción. Se estima que el volumen de tráfico generado equivale a la mitad del porcentaje de ahorro en costos para los usuarios. Por ejemplo, si los costos bajan un 20%, el tráfico generado sería el 10% del tráfico normal proyectado para el primer año. El incremento máximo recomendado por tráfico generado es del 20% del tráfico normal del primer año, y en los años siguientes crecerá a la misma tasa que el tráfico normal (MTOPI, 2003, pág. 20).

4.1.3.5. Clasificación de Carreteras de acuerdo con el Tráfico.

Para el diseño de carreteras en el país, según la MTOPI (2003) , sugiere realizar la clasificación basada en el pronóstico del tráfico proyectado para un horizonte de 15 a 20 años, tal como se presenta en la **Tabla 3**:

Tabla 3
Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado

Clase de carretera	Trafico Proyectado TPDA
R-I o R-II	Mas de 8.000
I	De 3.000 a 8.000
II	De 1.000 a 3.000
III	De 300 a 1.000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

El TPDA es el volumen de tráfico promedio anual proyectado a 15 o 20 años, cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7.000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera, cuando se efectúa el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes.

Fuente: MTOP, Normas de Diseño Geometrico de Carreteras, 2003.

4.1.4. Clasificación de carreteras.

En Ecuador, las carreteras se clasifican tomando en cuenta su función dentro de la red vial, el tipo de tránsito que soportan y las características del terreno por donde pasan. Esta clasificación ayuda a definir cómo se deben diseñar y mantener las vías para que respondan a las necesidades de movilidad y desarrollo del país (Cárdenas, 2002, pág. 3).

4.1.4.1. Según su función

Las vías se agrupan según el papel que cumplen en la conectividad nacional:

- **Carreteras primarias o de primer orden:** Su función principal es integrar las zonas más importantes de producción y consumo del país, así como conectar las capitales de los departamentos y facilitar el enlace con otros países. Estas vías suelen ser pavimentadas y pueden tener calzadas divididas según las necesidades del proyecto (Cárdenas, 2002, pág. 3).
- **Carreteras secundarias o de segundo orden:** Estas vías tienen la función de unir cabeceras municipales entre sí o conectar una cabecera municipal con una carretera

primaria. Pueden ser pavimentadas o afirmadas, dependiendo de las condiciones y requerimientos (Cárdenas, 2002, pág. 3).

- **Carreteras terciarias o de tercer orden:** Su función es brindar acceso desde las cabeceras municipales hacia las veredas o entre veredas mismas, facilitando la movilidad en zonas rurales. Generalmente funcionan en afirmado, pero si se pavimentan deben cumplir las condiciones geométricas de las carreteras secundarias (Cárdenas, 2002, pág. 3).

4.1.4.2. Caminos Vecinales

Los caminos vecinales forman la base de la red vial rural. Generalmente, son de menor ancho, con superficies menos desarrolladas y diseñados para bajos volúmenes de tránsito. Su función principal es conectar zonas rurales, fincas o pequeños poblados con vías de mayor jerarquía, facilitando el acceso a servicios y mercados.

4.1.4.3. Características del tránsito

El tránsito en las carreteras ecuatorianas varía según el tipo de vía. En los corredores arteriales predominan los vehículos livianos y pesados, con altos volúmenes diarios. En las vías colectoras, el tránsito es más variado y de menor intensidad, mientras que en los caminos vecinales el flujo es bajo y, en su mayoría, compuesto por vehículos ligeros y ocasionalmente maquinaria agrícola o de carga pequeña.

4.1.4.4. Según su terreno

El terreno por donde se construye una carretera influye directamente en su diseño geométrico y en los costos de construcción y mantenimiento. En Ecuador, se reconocen tres tipos principales de terreno:

Tabla 4
Tipos de terreno

Tipo de Terreno	Pendiente máxima media de las líneas de máxima pendiente del terreno (%)	Inclinación transversal al eje de la vía, del terreno (°)
Plano (P)	0-5	0-6
Ondulado (O)	5-25	6-13
Montañoso (M)	25-75	13-40
Escarpado (E)	>75	>40

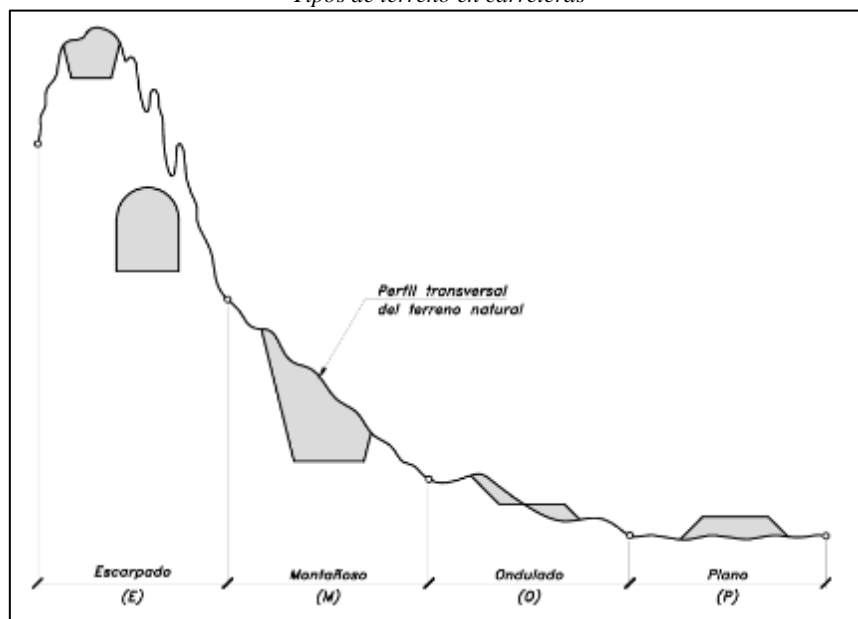
Fuente: extraído de Diseño Geométrico de Carreteras, Cárdenas (2002)

- **Carreteras en terreno plano:** Se caracterizan por combinar alineamientos horizontales y verticales que permiten a los vehículos pesados mantener velocidades similares a las de los vehículos livianos. Además, requieren un mínimo movimiento de tierras durante la construcción, lo que facilita el trazado y la explanación. Las pendientes longitudinales normalmente son menores al 3%.
- **Carreteras en terreno ondulado:** En este caso, la combinación de alineamientos obliga a los vehículos pesados a reducir significativamente su velocidad en comparación con los vehículos livianos, aunque sin mantener velocidades sostenidas en pendientes prolongadas. Durante la construcción, los movimientos de tierra son moderados, permitiendo alineamientos relativamente rectos y sin grandes dificultades en el trazado. Las pendientes longitudinales se encuentran entre el 3% y el 6%.
- **Carreteras en terreno montañoso:** Se caracterizan por combinar alineamientos horizontales y verticales que obligan a los vehículos pesados a mantener velocidades sostenidas en pendientes largas o frecuentes. Debido a la topografía, requieren grandes movimientos de tierra durante la construcción, lo que genera dificultades en el trazado y explanación. Las pendientes longitudinales predominantes suelen estar entre el 6% y el 8% (Cárdenas, 2002, págs. 4-5).
- **Carreteras en terreno escarpado:** Presentan una combinación de alineamientos que obliga a los vehículos pesados a operar a velocidades menores que en terreno montañoso, también en pendientes prolongadas o frecuentes. Estas vías

exigen el máximo movimiento de tierras, con dificultades mayores para el trazado porque los alineamientos suelen estar definidos por divisorias de aguas. Además, sus pendientes longitudinales generalmente superan el 8% (Cárdenas, 2002, págs. 4-5).

Ilustración 2 muestra esquemáticamente un perfil transversal del terreno natural que ilustra los tipos comunes de secciones transversales: terraplenes en terrenos planos, combinaciones de corte y terraplén en terrenos ondulados, cortes en terrenos montañosos y cortes con túneles en divisorias de aguas para terrenos escarpados (Cárdenas, 2002, págs. 4-5).

Ilustración 2
Tipos de terreno en carreteras



Fuente: Cárdenas, 2002.

4.2. Diseño Geométrico

4.2.1. Velocidad de diseño

La velocidad de diseño es la máxima velocidad segura que se establece para que los vehículos puedan circular cómodamente cuando las condiciones del camino y del tráfico son óptimas.

Esta velocidad se determina considerando factores como la topografía, la importancia de la vía, el volumen de tránsito y el uso del suelo, buscando siempre un equilibrio entre seguridad, eficiencia y movilidad. Además, es fundamental que la velocidad se mantenga

constante en cada tramo, y cuando sea necesario cambiarla por variaciones en el terreno, este cambio debe hacerse de forma gradual para que el conductor pueda adaptarse sin riesgos, con una diferencia máxima de 20 km/h entre tramos contiguos y señalización adecuada (MTO, 2003, pág. 26).

Por otro lado, la velocidad de diseño se selecciona pensando en las condiciones más desfavorables del tramo, manteniéndose durante varios kilómetros para garantizar un proyecto equilibrado. Finalmente, se deben tener en cuenta tres aspectos clave: el terreno (más plano permite mayor velocidad), el comportamiento de los conductores (que tienden a elegir velocidades instintivas) y el factor económico (que evalúa costos de operación y construcción). Así, la velocidad de diseño asegura que todas las características geométricas del camino se adapten para ofrecer seguridad y eficiencia a largo plazo (MTO, 2003, pág. 27)

Tabla 5
Velocidades de Diseño Km/h

CATEGORIA DE LA VIA	TPDA ESPERADO	VELOCIDAD DE DISEÑO KM/h												
		BÁSICA				PERMISIBLE EN TRAMOS DIFÍCILES								
		(RELIEVE LLANO)				(RELIEVES ONDULADO)				(RELIEVE MONTAÑOSO)				
		Para el calculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utizada para el calculo de los elementos de la seccion transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el calculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utizada para el calculo de los elementos de la seccion transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el calculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utizada para el calculo de los elementos de la seccion transversal y otros dependientes de la velocidad		
		Recom	Absolu	Recom	Absolu	Recom	Absolu	Recom	Absolu	Recom	Absolu	Recom	Absolu	
R-I o R-II (Tipo)	>8000	120	110	100	95	110	90	95	85	90	80	90	80	
I	Todos	3000-8000	110	100	100	90	100	80	90	80	80	60	80	80
II	Todos	1000-8000	100	90	90	85	90	80	85	80	70	50	70	50
III	Todos	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60	40
IV	Tipo (5,5E,6 Y 7)	100-300	80	60	80	60	60	35	60	35	50	25	50	25
V	4 y 4E	<100	60	50	50	50	50	35	50	35	40	25	40	25

Fuente: MTO, Normas de Diseño Geometrico de Carreteras, 2003.

4.2.2. Velocidad de circulación

Velocidad de circulación es la velocidad real a la que un vehículo se desplaza a lo largo de una sección específica de carretera. Matemáticamente, se define como la distancia recorrida dividida por el tiempo de circulación del vehículo. Cuando se analiza un grupo de vehículos,

se suma la distancia recorrida por todos ellos y se divide para la suma de los tiempos de recorrido correspondientes. (MTOP, 2003, pág. 30)

➤ **Relación con la velocidad de diseño**

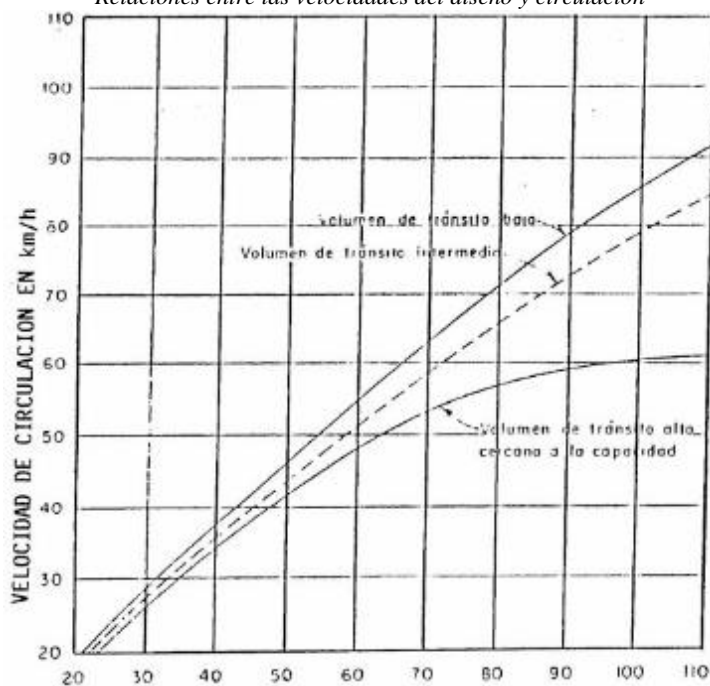
La **velocidad de diseño (Vd)** es la velocidad máxima segura y cómoda para la que se proyecta una carretera, determinando las características geométricas del trazado. Aunque se busca mantener una velocidad constante, las condiciones topográficas pueden requerir variaciones en tramos específicos, sin superar diferencias de 20 km/h entre tramos contiguos (MTOP, 2003, págs. 30-32).

Existe una relación inversa entre la velocidad de circulación y el volumen de tráfico:

- **Bajos volúmenes de tránsito:** La velocidad de circulación es alta, ya que hay poca interferencia entre vehículos. Estos valores son cruciales para definir elementos de diseño como el peralte, curvas en intersecciones y carriles de cambio de velocidad, y se utilizan para calcular la distancia de visibilidad de parada (MTOP, 2003, págs. 30-32).
- **Volúmenes de tránsito intermedios:** La velocidad de circulación disminuye ligeramente debido a la creciente interacción entre vehículos. Estos valores se emplean para calcular la distancia de visibilidad de adelantamiento (MTOP, 2003, págs. 30-32).
- **Altos volúmenes de tránsito (cercaos a la capacidad):** La velocidad de circulación se reduce significativamente, estando más influenciada por el grado de saturación del tráfico que por la velocidad de diseño. El diseño vial busca evitar que las carreteras operen bajo estas condiciones de alta saturación (MTOP, 2003, págs. 30-32).

Ilustración 3

Relaciones entre las velocidades del diseño y circulación



Fuente: MTOP, Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003.

La velocidad de circulación también fluctúa a lo largo del día, principalmente por el volumen de tráfico. Para fines de diseño y operación, se considera la velocidad durante la hora de máxima demanda, mientras que para análisis económicos se usa el promedio de las velocidades diarias.

Tabla 6

Relaciones entre velocidades de circulación y de diseño

Velocidad de diseño en km/h	Velocidades de circulación en km/h		
	Volumen de tránsito bajo	Volumen de tránsito intermedio	Volumen de tránsito alto
25	24	23	22
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	44	42
60	55	51	48
70	63	59	53
80	71	66	57
90	79	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

Fuente: MTOP, Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003.

La discrepancia entre la velocidad de operación (cómo los conductores utilizan la vía) y la velocidad de diseño puede generar problemas de seguridad, ya que los conductores pueden superar las capacidades de diseño de la carretera, concentrando accidentes en esos puntos. Es fundamental diseñar carreteras de manera consistente con las velocidades de operación esperadas (MTOPI, 2003, págs. 30-32).

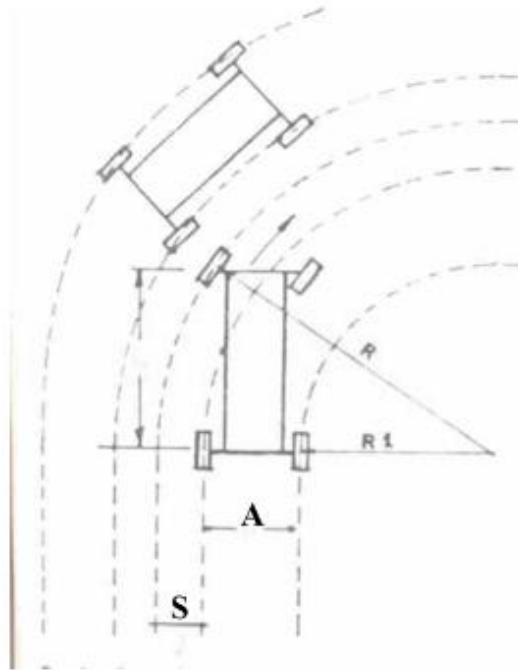
4.3. Sobreancho en las curvas

El sobreancho en curvas horizontales se introduce para garantizar que los vehículos transiten con seguridad y comodidad. Esto se debe a dos razones principales:

- a) Al girar, las ruedas traseras siguen una trayectoria más interior que las delanteras, por lo que el vehículo ocupa más ancho.
- b) Los conductores tienen dificultad para mantener el vehículo centrado en su carril dentro de la curva, especialmente a mayor velocidad y en curvas de radio pequeño.

Aunque en condiciones ideales y a baja velocidad el sobreancho podría calcularse geoméricamente, en la práctica se elige un vehículo representativo para determinar su magnitud, ya que la trayectoria varía con la velocidad y características del vehículo. Así, el sobreancho asegura una circulación más segura y evita invasiones de carril contrario (MTOPI, 2003, págs. 47-48).

Ilustración 4
Esquema para determinar el sobreebanco de un carril de tránsito en una curva



Fuente: MTOP, Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003.

Para el cálculo se utilizará la *Ecuación 3*:

$$S = R - \sqrt{R^2 - L^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

S= sobreebanco, m

R= Radio de la curva, m

L = Longitud entre la parte frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros.

(MTOP, 2003, pág. 69)

4.4. Distancias de visibilidad

La visibilidad es crucial para garantizar la seguridad y eficiencia al conducir en una carretera. Por eso, se utiliza el término "distancia de visibilidad" para referirse a la longitud de la carretera que un conductor puede ver constantemente frente a él.

La distancia de visibilidad se analiza desde dos perspectivas principales según la MTOP,2003:

- La distancia requerida para la parada de un vehículo sea por restricciones en la línea horizontal de visibilidad o en la línea vertical.
- La distancia necesaria para el rebasamiento de un vehículo.

(MTOP, 2003, pág. 180).

La distancia de visibilidad se define como la longitud continua de carretera que un conductor puede ver hacia adelante mientras conduce. Esta distancia debe ser lo suficientemente larga para permitir a los conductores mantener la velocidad de diseño y controlar su velocidad al realizar maniobras específicas. Esto incluye detenerse ante obstáculos fijos en su carril (distancia de visibilidad de parada), adelantar a vehículos más lentos en carreteras de dos carriles (distancia de visibilidad de adelantamiento), y evitar colisiones frontales al encontrarse con vehículos que circulan en sentido opuesto en carreteras estrechas (distancia de visibilidad de encuentro) (Cárdenas, 2002, pág. 396).

4.4.1. Distancia de visibilidad para la parada de un vehículo

La distancia de visibilidad para la parada de un vehículo es la mínima distancia que debe tener un conductor para ver un obstáculo y detenerse a tiempo, circulando cerca de la velocidad de diseño.

Esta distancia (d) es la suma de la distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción (d_1) y la distancia de frenado (d_2):

$$d = d_1 + d_2 \quad \text{Ecuación 4}$$

El tiempo total de percepción y reacción se considera 2.5 segundos para cubrir al 90% de los conductores. La distancia d_1 se calcula multiplicando la velocidad (en km/h) por 0.7.

$$d_1 = \frac{V_c t}{3,6} \Rightarrow V_c * \frac{2,5 \text{ seg}}{3,6 \text{ seg}} = 0,6944 * V_c$$

Por lo tanto:

$$d_1 = 0,7 V_c \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

d_1 = distancia recorrida durante el tiempo de percepción más reacción, expresada en metros.

VC = velocidad de circulación del vehículo, expresada en Km/h.

t = tiempo de percepción más reacción en seg.

La distancia de frenado d_2 depende del coeficiente de fricción entre llantas y pavimento, que varía con la velocidad, condiciones del pavimento y tipo de neumáticos. En pavimentos mojados, el coeficiente de fricción disminuye con la velocidad, dándonos la siguiente ecuación:

$$d_2 = \frac{V_c^2}{254 f} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

f = coeficiente de fricción longitudinal.

Finalmente, se establecen valores mínimos recomendados para diferentes tipos de carreteras y terrenos, asegurando que la visibilidad sea suficiente para detener el vehículo con seguridad. (MTO, 2003, págs. 180-183)

Tabla 7
Valores de diseño de las distancias de visibilidad mínimas para parada de un vehículo (metros)

Criterios de diseño: Pavimentos Mojados					Valor Recomendable Absoluto			Valor			
Clase de Carretera					L	O	M	L	O	M	
R-I	O	R-II	>	8.000	TPDA	220	180	135	180	135	110
I	3.000	a		8.000		180	160	110	160	110	70
II	1.000	a		3.000		160	135	90	135	110	55
III	300	a		1.000		135	110	70	110	70	40
IV	100	A		300		110	70	55	70	35	25
V	Menos	de		100		70	55	40	55	35	25

Fuente: MTOP, Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003.

4.4.2. Distancia de Visibilidad para Rebasamiento

La distancia de visibilidad para rebasamiento es la longitud mínima necesaria para que un vehículo pueda adelantar a otro en condiciones seguras, considerando que generalmente se analiza el caso de un solo rebasamiento. Para carreteras de dos carriles, se asume que el vehículo adelantado mantiene velocidad constante, el conductor del vehículo rebasante tarda un corto tiempo en percibir la zona y reaccionar, acelera durante la maniobra y su velocidad promedio en el carril contrario es 16 km/h mayor que la del vehículo adelantado, y que al regresar al carril derecho existe suficiente espacio con el vehículo que viene en sentido opuesto (MTOP, 2003, pág. 192).

Esta distancia total d_r se compone de cuatro partes según la MTOP, 2003:

- d_1 : distancia recorrida durante el tiempo de percepción, reacción y aceleración inicial para ocupar el carril izquierdo.
- d_2 : distancia durante la ocupación del carril izquierdo.
- d_3 : espacio de seguridad entre el vehículo rebasante y el que viene en sentido contrario (30 a 90 m).

- d_4 : distancia que recorre el vehículo que viene en sentido opuesto durante dos tercios del tiempo que dura la ocupación del carril izquierdo.

La fórmula general es:

$$d_r = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad \text{Ecuación 7}$$

Además, el valor de d_4 varía entre 30 y 91 metros según la velocidad, y la distancia total aumenta con la velocidad promedio del vehículo rebasante. Esta relación puede expresarse aproximadamente como:

$$d_r = 9,54 V - 218 \quad \text{Ecuación 8}$$

(30 < V < 100)

donde V es la velocidad promedio en km/h.

4.5. Radio mínimo de la calzada

El radio mínimo de curvatura horizontal es el valor más pequeño que permite la seguridad del tránsito a una velocidad de diseño específica, considerando el máximo peralte (e) y el coeficiente de fricción lateral (f). Usar radios menores implica peraltes que exceden límites prácticos para los vehículos, por lo que este radio es fundamental en el diseño del alineamiento vial (MTOP, 2003, págs. 36-37).

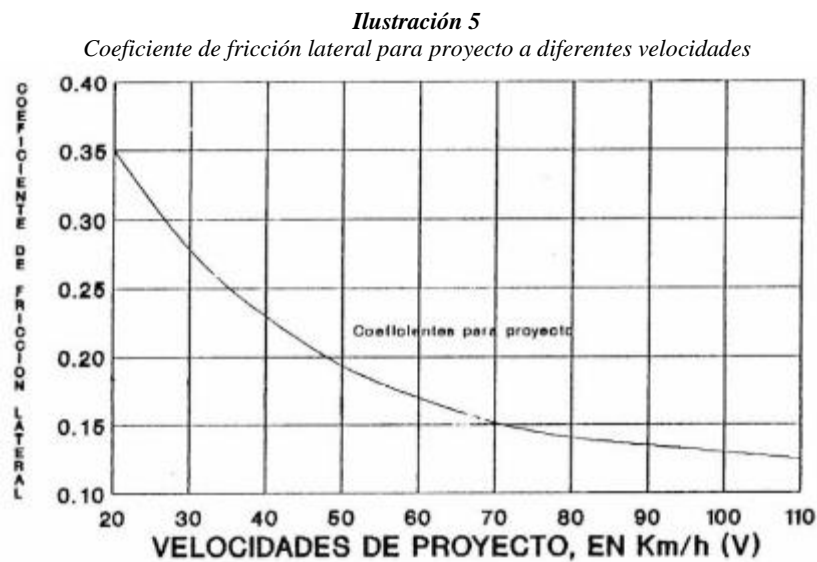
Se calcula con la fórmula:

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)} \quad \text{Ecuación 9}$$

donde:

- R = Radio mínimo en metros.
- V = Velocidad de diseño en km/h.
- e = Peralte máximo (m/m).
- f = Coeficiente de fricción lateral.

Este criterio es especialmente importante en terrenos montañosos escarpados y en zonas cercanas a accidentes geográficos o intersecciones, donde la seguridad exige radios adecuados para evitar maniobras peligrosas (MTO, 2003, págs. 36-37).



Fuente: MTO, Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003.

4.6. Ancho de la calzada

El ancho típico de la sección transversal de una carretera incluye el pavimento, los espaldones, taludes interiores y cunetas, extendiéndose hasta los taludes exteriores. Para terrenos montañosos, se recomienda ubicar la cuneta a 30 cm por debajo de la rasante y revestirla para proteger el pavimento, lo que reduce el volumen de movimiento de tierras y costos (MTO, 2003, págs. 226-227).

El ancho del pavimento depende del volumen y tipo de tráfico, así como de las características del terreno. Para altos volúmenes o velocidades de diseño elevadas, se debe

proporcionar el máximo ancho económicamente viable; para volúmenes o velocidades bajos, el ancho será mínimo. En casos intermedios, el ancho debe evitar el deterioro superficial por cargas repetidas (MTOP, 2003, págs. 226-227).

Tabla 8
Anchos de la Calzada

ANCHOS DE LA CALZADA		
Clase de Carretera	Ancho de la calzada (m)	
	Recomendable	Absoluto
R-I o R-II > 8000 TPDA	7,30	7,30
I 3000 a 8000 TPDA	7,30	7,30
II 1000 a 3000 TPDA	7,30	6,50
III 300 a 1000 TPDA	6,70	6,00
IV 100 a 300 TPDA	6,00	6,00
V Menos de 100 TPDA	4,00	4,00

Fuente: MTOP, Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003.

4.7. Índice de Condición de Pavimento

4.7.1. Definiciones de Pavimentos

Un pavimento es la estructura construida sobre el suelo natural, diseñada para soportar el tránsito de vehículos y distribuir las cargas hacia la subrasante. Su función principal es proporcionar una superficie cómoda, segura y duradera para el paso de personas y mercancías, minimizando el desgaste y los daños causados por el tráfico y las condiciones climáticas.

4.7.2. Clasificación de Pavimentos

Los pavimentos se pueden clasificar según su estructura y los materiales que los componen. En general, existen tres grandes grupos: pavimentos flexibles, semirrígidos-semiflexibles y rígidos.

4.7.2.1. Pavimento Flexible

El pavimento flexible es el más común en nuestras carreteras. Está formado principalmente por una o varias capas de materiales granulares y una capa superior de asfalto.

- Distribuyen la carga sobre un área pequeña, generando mayor presión en la subrasante.

- Son sistemas multicapa, donde las capas superiores son de mejor calidad (concreto asfáltico) y las inferiores de menor calidad (base y subbase).
- La carga se va distribuyendo progresivamente hasta alcanzar niveles aceptables para la subrasante (AASHTO-93, 2006, pág. 1).

4.7.2.1.1. Elementos de los Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles están compuestos por varias capas, cada una con una función específica:

- **Capa de rodadura:** Es la capa superior, generalmente de mezcla asfáltica, que está en contacto directo con el tráfico y protege las capas inferiores.
- **Base:** Se encuentra debajo de la rodadura y proporciona soporte estructural, ayudando a distribuir las cargas.
- **Sub-base:** Es opcional y sirve para mejorar la capacidad de soporte, especialmente cuando el suelo natural no es muy resistente.
- **Subrasante:** Es el suelo natural compactado sobre el que se apoya toda la estructura del pavimento

4.7.2.2. Pavimento Semi-Rígido

Un pavimento semirrígido combina características de pavimentos rígidos y flexibles, generalmente con una base rígida de concreto o material estabilizado con cemento y una capa superior flexible de concreto asfáltico. Esta combinación aprovecha la alta capacidad portante de la base rígida y la adaptabilidad de la capa asfáltica para soportar cargas pesadas, como camiones o aeronaves, evitando daños en la superficie. Su construcción consiste en compactar el terreno, colocar placas de cemento Portland como base y luego aplicar una capa asfáltica

superior, formando un sistema que mejora la resistencia y durabilidad del pavimento (FRAPIAL, 2022).

4.7.2.2.1. Elementos de los Pavimentos Semi-Rígidos

En un pavimento semi-rígido, los elementos principales son:

- **Capa de rodadura:** Usualmente de mezcla asfáltica, proporciona una superficie de tránsito cómoda y segura.
- **Base estabilizada:** Es una capa tratada con cemento o cal, que le otorga rigidez y capacidad de soporte adicional.
- **Sub-base (opcional):** Puede estar presente para mejorar la distribución de cargas.
- **Subrasante:** Es el suelo natural compactado que sirve de apoyo a toda la estructura.

4.7.3. Método del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) es un indicador numérico que evalúa objetivamente el estado de un pavimento, ya sea flexible o rígido. El PCI se determina a partir de un inventario visual de las patologías presentes en la superficie, considerando la clase, severidad y cantidad de cada daño. El resultado es un valor entre 0 (pavimento fallado) y 100 (pavimento en perfecto estado), permitiendo clasificar la condición del pavimento en categorías como excelente, bueno, regular, malo o fallado (Vázquez, 2002, pág. 2).

4.7.4. Análisis del Índice de Condición de Pavimentos Flexibles

4.7.4.1. Selección y Delimitación de los Tramos de Estudio

El primer paso consiste en dividir la vía en tramos homogéneos, considerando características como tipo de pavimento, tráfico y condiciones estructurales. Cada tramo debe ser lo suficientemente uniforme para que los resultados del PCI sean representativos.

4.7.4.2. Evaluación de Unidades de Muestreo para el PCI

Dentro de cada tramo, se definen unidades de muestreo, que son áreas específicas donde se realizará la inspección visual. Para pavimentos asfálticos, el área recomendada de una unidad de muestreo es de $230 \pm 93 \text{ m}^2$, ajustándose según el ancho de la calzada (Vázquez, 2002). La cantidad de unidades a evaluar depende del tamaño del tramo y del nivel de precisión deseado (Vázquez, 2002, págs. 2-3).

Tabla 9
Longitudes de unidades de muestreo asfálticas

Longitudes de unidades de muestreo asfálticas	
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

Fuente: Vázquez, 2002.

Durante la evaluación de un proyecto, es necesario inspeccionar la totalidad de las unidades, pero si esto no es viable, se determinará la cantidad mínima de unidades de muestreo a evaluar utilizando la *Ecuación 10*, la cual permite estimar el PCI con un margen de ± 5 respecto al promedio real y con un nivel de confianza del 95% (Vázquez, 2002, pág. 5).

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección ($e = 5\%$)

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), todas las unidades deberán evaluarse (Vázquez, 2002, pág. 5) .

4.7.4.3. Cálculo del Espaciamiento de Evaluación por Tramos

El intervalo de muestreo se calcula dividiendo el número total de unidades de muestreo entre el número mínimo de unidades a inspeccionar. La selección de unidades se realiza de manera sistemática, eligiendo la primera al azar y las siguientes a intervalos regulares, para asegurar una cobertura representativa del tramo (Vázquez, 2002, pág. 5).

$$i = \frac{N}{n}$$

Ecuación 11

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior

El proceso inicia con la selección aleatoria de la primera unidad de muestreo dentro del rango comprendido entre 1 y el intervalo de muestreo (i). Las unidades posteriores se determinan sumando progresivamente el intervalo i a la unidad inicial seleccionada.

Cuando el muestreo sistemático omite unidades que presentan características críticas (como daños estructurales significativos), estas pueden incorporarse como muestras adicionales. Este ajuste introduce modificaciones mínimas en el cálculo del Índice de

Condición del Pavimento (PCI), asegurando que el resultado final de la sección sea coherente con las evaluaciones individuales de cada unidad (ASTM, 2016).

4.7.5. Cálculo del PCI para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica

El cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para carreteras con capa asfáltica o pavimentos flexibles inicia con la elaboración de un formato específico para el registro sistemático de los datos recopilados durante la inspección del pavimento, como se demuestra en la **Ilustración 6**.

En esta primera etapa según (Vázquez, 2002), se realiza un inventario detallado de los daños presentes en la unidad de muestreo. Para cada tipo de daño identificado (por ejemplo, fisuras, baches, depresiones), se debe determinar el nivel de severidad, que puede clasificarse como bajo, medio o alto, según las definiciones establecidas en el manual PCI. La cantidad de daño puede medirse de diferentes maneras, dependiendo de la naturaleza de este:

- **Área:** Para daños que afectan superficies extensas, como el agrietamiento en bloque, se mide el área total afectada (en metros cuadrados).
- **Longitud:** Para daños lineales, como grietas longitudinales o de borde, se mide la longitud total (en metros).
- **Número:** Para daños puntuales, como baches, se cuenta el número total de ocurrencias.

Toda esta información se registra en el formato PCI-01, en la columna correspondiente al total de cada tipo y severidad de daño. Este registro sistemático permite una visión clara y ordenada de la condición de la unidad de muestreo y es esencial para los cálculos posterior.

1.b. Cálculo de la densidad del daño

Una vez cuantificado el daño, se calcula la densidad de cada daño dentro de la unidad de muestreo. La densidad muestra el porcentaje del área de la unidad afectada por un daño específico y su nivel de severidad. Se realiza dividiendo el total acumulado entre el área total de la unidad de muestreo y multiplicando el resultado por 100. Este cálculo estandariza la severidad del daño según el tamaño de la unidad de muestreo, facilitando la comparación entre diferentes unidades y secciones de carretera (Vázquez, 2002, pág. 6).

1.c. Determinación del valor deducido

Se calculará la densidad y la gravedad de cada daño, lo que resultará en un impacto cuantitativo en la condición del pavimento. Para hacer esto, se utilizan las curvas de "Valor de Daño Deducido", que son parte integral de la metodología PCI. Estas curvas relacionan la

densidad y gravedad de cada tipo de daño con un valor deducido, que representa la reducción en el Índice de Condición del Pavimento (PCI) debido a ese daño específico (Vázquez, 2002, pág. 6).

El procedimiento es el siguiente:

- Con la densidad calculada y el nivel de severidad identificado, se localiza el punto correspondiente en la curva de deducción para ese tipo de daño.
- El valor deducido se lee directamente de la curva y representa la penalización que ese daño, en esa cantidad y severidad, le impone al PCI de la unidad de muestreo.
- Este proceso se repite para cada tipo y nivel de severidad de daño presente en la unidad.

La suma de los valores deducidos de todos los daños servirá como base para el cálculo final del PCI, aplicando posteriormente los factores de corrección y procedimientos adicionales que establece la metodología.

4.7.5.2. Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)

2.a. Uso del Valor Deducido Total o del Mayor Valor Deducido Corregido (CDV)

En esta etapa inicial, se evalúan los valores de daño en una muestra. Si ninguno o solo uno de estos valores supera 2, el daño se considera insignificante, y se usa la suma de todos los valores, llamada Valor Total Deducido, para calcular el PCI. Esto simplifica el proceso y refleja la condición del pavimento cuando el daño es menor. Si más de un valor supera 2, hay múltiples daños significativos que pueden afectar la condición del pavimento de manera compleja. En este caso, se requiere un cálculo más detallado, incluyendo la corrección de estos valores para obtener un valor deducido corregido (CDV) que refleje mejor el impacto del daño (Vázquez, 2002, pág. 6).

2.b. Ordenamiento de los Valores Deducidos Individuales

Una vez que se determinan múltiples valores inferidos significativos, se organizan en orden descendente, de mayor a menor. Este orden es importante para calcular el número máximo de valores inferidos (m) y corregir el valor total inferido. Esta lista ayuda a priorizar los daños más severos y extensos y facilita el ajuste de valores inferidos que superan ciertos límites, asegurando que el cálculo del PCI sea representativo y no sobrestime el deterioro por la simple suma de todos los daños (Vázquez, 2002, pág. 7).

2.c. Determinación del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)

El número máximo admisible de valores deducidos, denominado m , es un parámetro que limita la cantidad de valores deducidos individuales que se consideran en el cálculo corregido del PCI para la unidad de muestreo (Vázquez, 2002, pág. 7).

Para calcular m , se utiliza la siguiente ecuación:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

m_i : es el número máximo admisible de valores deducidos (incluyendo la parte fraccionaria) para la unidad de muestreo i .

HDV_i : es el mayor valor deducido individual registrado para la unidad de muestreo i .

La fórmula muestra que, si el daño más grave es alto, se considerarán menos valores deducidos, enfocándose en los daños críticos. En cambio, si el daño más grave es bajo, se pueden considerar más valores, lo que indica un deterioro más distribuido (Vázquez, 2002, pág. 7).

2.d. Reducción del Número de Valores Deducidos a m

Una vez calculado el valor de m , se ajusta la lista de valores deducidos individuales para que su número no exceda este límite. Esto significa que:

- Si el total de valores deducidos individuales es mayor que m , se seleccionan solo los m valores deducidos más altos (incluyendo la parte fraccionaria). Los valores deducidos restantes se excluyen para evitar sobreestimación.
- Si el total de valores deducidos es menor o igual que m , se utilizan todos los valores disponibles.

Este procedimiento garantiza que el cálculo del PCI sea equilibrado y refleje adecuadamente la condición del pavimento, ponderando correctamente la influencia de los daños más significativos sin exagerar el efecto de daños menores o numerosos (Vázquez, 2002, pág. 7).

4.7.5.3. Cálculo del Máximo Valor Deducible Corregido, CDV

3.a. Determinar el número de valores deducidos mayores que 2.0

Se cuenta cuántos valores deducidos individuales en la unidad de muestreo superan el umbral de 2.0. Este número se denomina q y representa la cantidad de daños significativos que afectan la condición del pavimento (Vázquez, 2002, pág. 7).

3.b. Calcular el Valor Deducido Total

Se suman todos los valores deducidos individuales, sin importar su tamaño, para obtener el Valor Deducido Total (VDT). Este valor refleja la cantidad total de deterioro presente en la unidad de muestreo (Vázquez, 2002, pág. 7).

3.c. Determinar el CDV usando la curva de corrección

Con los valores de q y VDT, se consulta la curva de corrección correspondiente al tipo de pavimento (flexible o rígido). Esta curva ajusta el Valor Deducido Total para evitar sobreestimaciones cuando existen múltiples daños, y así se obtiene el Valor Deducido Corregido (CDV) (Vázquez, 2002, pág. 7).

3.d. Reducir a 2.0 el menor valor deducido mayor que 2.0 y repetir

Si hay más de un valor deducido mayor que 2.0, se reduce el menor de estos valores a 2.0 y se repiten los pasos 3.a a 3.c. Este proceso iterativo continúa hasta que quede solo un valor deducido mayor que 2.0 (es decir, hasta que $q = 1$) (Vázquez, 2002, pág. 7).

3.e. Seleccionar el máximo CDV obtenido

De todos los CDV calculados durante las iteraciones, se escoge el mayor como el máximo Valor Deducido Corregido, que será utilizado para calcular el PCI final de la unidad de muestreo.

Este procedimiento garantiza que el impacto combinado de múltiples daños se refleje de manera realista en el índice PCI, evitando que la suma simple de valores deducidos sobrestime el deterioro (Vázquez, 2002, pág. 7).

4.7.5.4. Cálculo del PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV

Se procederá con el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) consiste en obtener el valor final del PCI para cada unidad de muestreo, utilizando el máximo Valor Deducido Corregido (CDV) obtenido en la etapa anterior (Vázquez, 2002, pág. 7).

El procedimiento es sencillo: se resta el máximo CDV calculado en la Etapa 3 de 100, es decir:

$$PCI = 100 - CDV_{max}$$

Ecuación 13

El resultado indicara la condición del pavimento en la unidad evaluada, donde los valores cercanos a 100 indicara un pavimento en excelente estado, mientras que los valores bajos reflejan un deterioro en el pavimento. Clasificándolo en base al resultado de la siguiente manera:

Tabla 10
Rangos de calificación del PCI

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

Fuente: PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI), 2002, pág. 2.

4.7.5.5. Cálculo del PCI de una Sección de Pavimento

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es una medida que permite evaluar el estado superficial de una sección de pavimento, basada en la inspección de unidades de muestreo dentro de esa sección. El procedimiento para calcular el PCI de una sección depende de cómo se realizó la inspección:

- **Todas las Unidades de Muestreo Inventariadas**

Si se inspeccionan todas las unidades de muestreo de la sección, el PCI de la sección es simplemente el promedio aritmético de los PCI individuales de cada unidad de muestreo (Vázquez, 2002, pág. 7).

- **Técnica de Muestreo Aleatorio o Representativo**

Si la selección de unidades de muestreo se realizó de manera aleatoria sistemática o por representatividad, el PCI de la sección es el promedio aritmético de los PCI de las unidades inspeccionadas (Vázquez, 2002, pág. 7).

- **Uso de Unidades de Muestreo Adicionales (Promedio Ponderado)**

Si se inspeccionaron unidades de muestreo adicionales, se utiliza un promedio ponderado según la siguiente ecuación según (Vázquez, 2002):

$$PCI_S = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

PCI_S : PCI de la sección del pavimento.

PCI_R : PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI_A : PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N : Número total de unidades de muestreo en la sección.

A : Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

4.7.6. Tipos de Patologías en los Pavimentos Flexibles

Las patologías más comunes en pavimentos flexibles incluyen agrietamiento tipo piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento en bloque, abultamientos, hundimientos, corrugación, depresiones, grietas de borde, ahuellamiento, desprendimiento de agregados y baches, entre otras. Cada tipo de daño tiene una definición precisa y se clasifica en niveles de severidad (bajo, medio, alto), lo que permite una evaluación objetiva y sistemática del estado del pavimento (Vázquez, 2002).

4.7.6.1. Piel de Cocodrilo

Descripción:

Son grietas interconectadas que se originan por la fatiga de la capa asfáltica debido a cargas repetidas. Forman un patrón de polígonos pequeños (menos de 0.60 m de lado) en zonas de tránsito intenso, especialmente en las huellas de las llantas. Es un daño estructural grave, frecuentemente acompañado de hundimientos (Vázquez, 2002, pág. 10).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Grietas finas, paralelas, pocas o sin conexiones, sin rotura del material.
- **Medio (M):** Red de grietas conectadas, con bordes ligeramente rotos o descascarados.
- **Alto (H):** Grietas bien definidas con bordes rotos, piezas sueltas que pueden moverse bajo el tránsito.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados. Si coexisten varios niveles de severidad, se miden por separado; si no es posible, se registra el nivel más alto presente.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** Sellado superficial o aplicación de sobrecarpeta.
- **Medio (M):** Parcheo parcial o total (Full Depth), sobrecarpeta o reconstrucción.
- **Alto (H):** Parcheo parcial o total, sobrecarpeta o reconstrucción completa.

Ilustración 7

Severidades baja, media, alta Piel de cocodrilo



4.7.6.2. Exudación

Descripción:

La exudación es la aparición de una película bituminosa brillante y pegajosa en la superficie del pavimento, causada por exceso de asfalto, demasiada aplicación de sellante o bajo contenido de vacíos en la mezcla. Suele ocurrir en climas cálidos y no se revierte con el frío, acumulándose el asfalto en la superficie (Vázquez, 2002, pág. 12).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Exudación ligera, visible solo unos días al año, no se pega a zapatos o vehículos.
- **Medio (M):** El asfalto se adhiere a zapatos y vehículos durante algunas semanas al año.
- **Alto (H):** Gran cantidad de asfalto pegajoso en la superficie durante varias semanas al año.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados. No se debe contabilizar junto con el pulimento de agregados.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No se requiere intervención.
- **Medio (M):** Aplicar arena o agregados y compactar.
- **Alto (H):** Aplicar arena o agregados y compactar, precalentando si es necesario.

Ilustración 8
Severidades baja, media, alta Exudación



4.7.6.3. Agrietamiento en Bloque

Descripción:

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en piezas rectangulares (de 0.30 m a 3.0 m por lado). Se deben principalmente a la contracción del asfalto y los cambios de temperatura, no a la carga del tránsito. Indican endurecimiento del asfalto y suelen aparecer en grandes áreas, especialmente en zonas con poco tránsito (Vázquez, 2002, pág. 14).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Grietas poco profundas y finas, de baja severidad.
- **Medio (M):** Grietas de severidad media que delimitan los bloques.
- **Alto (H):** Grietas profundas y anchas, de alta severidad.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados. Si hay diferentes niveles de severidad, se registran por separado.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** Sellado de grietas (>3 mm) y riego de sello.

- **Medio (M):** Sellado de grietas, reciclado superficial, escarificado en caliente y sobrecarpeta.
- **Alto (H):** Igual que severidad media: sellado, reciclado superficial, escarificado en caliente y sobrecarpeta.

Ilustración 9

Severidades baja, media, alta Agrietamiento en bloque



4.7.6.4. Abultamientos y Hundimientos

Descripción:

Los abultamientos son elevaciones pequeñas y localizadas en la superficie del pavimento, causadas por factores como la expansión por hielo, levantamiento de losas o infiltración de materiales. Los hundimientos son desplazamientos pequeños y abruptos hacia abajo. Ambos afectan la calidad del tránsito y no deben confundirse con ondulaciones extensas (Vázquez, 2002, pág. 16).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Afectan levemente la calidad del tránsito.
- **Medio (M):** Generan molestias moderadas al tránsito.
- **Alto (H):** Dificultan notablemente la circulación vehicular.

Medición

Se mide la longitud afectada en metros lineales. Si los abultamientos están muy juntos (menos de 3 m), se consideran corrugación.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No se requiere intervención.
- **Medio (M):** Reciclado en frío o parcheo profundo/parcial.
- **Alto (H):** Reciclado (fresado) en frío, parcheo profundo/parcial o sobrecarpeta.

Ilustración 10

Severidades baja, media, alta Abultamientos y Hundimientos



4.7.6.5. Corrugación

Descripción:

La corrugación es una serie de ondulaciones o bultos y depresiones muy cercanos entre sí, generalmente separados por menos de 3 metros, con las crestas perpendiculares al sentido del tránsito. Este daño suele originarse por la acción del tráfico sobre una carpeta o base inestable (Vázquez, 2002, pág. 18).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Afecta levemente la calidad del tránsito.
- **Medio (M):** Genera molestias moderadas al tránsito.
- **Alto (H):** Dificulta significativamente la circulación vehicular.

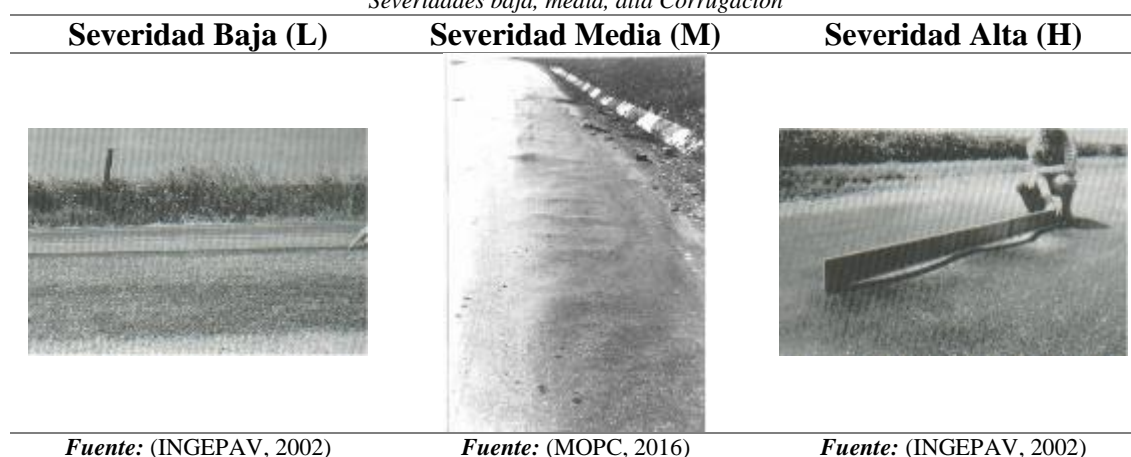
Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No requiere intervención.
- **Medio (M):** Reconstrucción del tramo afectado.
- **Alto (H):** Reconstrucción completa.

Ilustración 11
Severidades baja, media, alta Corrugación



4.7.6.6. Depresión

Descripción:

Son áreas hundidas en la superficie del pavimento, con niveles ligeramente más bajos que el entorno. A menudo visibles después de la lluvia, cuando forman charcos ("baños de pájaros"). Se originan por asentamiento del terreno o mala construcción y pueden causar rugosidad o hidroplaneo si son profundas o llenas de agua (Vázquez, 2002, pág. 20).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Profundidad entre 13 y 25 mm.
- **Medio (M):** Profundidad entre 25 y 51 mm.

- **Alto (H):** Profundidad mayor a 51 mm.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No requiere intervención.
- **Medio (M):** Parcheo superficial, parcial o profundo.
- **Alto (H):** Parcheo superficial, parcial o profundo.

Ilustración 12
Severidades baja, media, alta Depresión



4.7.6.7. Grieta de Borde

Descripción:

Son grietas paralelas ubicadas entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Se aceleran por cargas de tránsito y pueden originarse por debilitamiento de la base o subrasante cerca del borde. En casos severos, pueden causar desprendimiento de material (Vázquez, 2002, pág. 22).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Grietas leves o moderadas sin fragmentación ni desprendimiento.
- **Medio (M):** Grietas con fragmentación y desprendimiento parcial.

- **Alto (H):** Fragmentación y desprendimiento considerable a lo largo del borde.

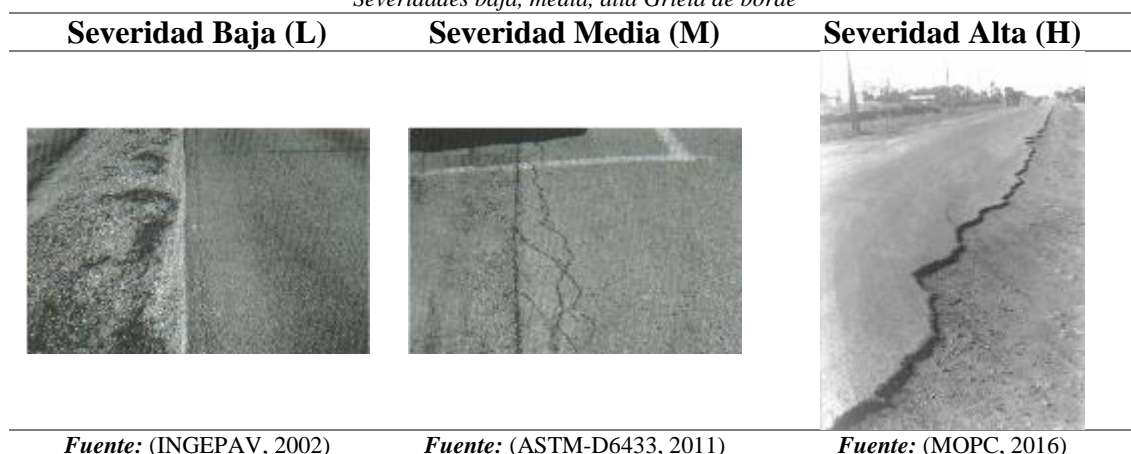
Medición

Se mide la longitud afectada en metros lineales.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No se interviene o se sella grietas mayores a 3 mm.
- **Medio (M):** Sellado de grietas y parcheo parcial o profundo.
- **Alto (H):** Parcheo parcial o profundo.

Ilustración 13
Severidades baja, media, alta Grieta de borde



4.7.6.8. Grieta de Reflexión De Junta

Descripción:

Ocurren en pavimentos asfálticos sobre losas de concreto Portland, causadas por movimientos térmicos o de humedad de la losa subyacente. No están directamente relacionadas con cargas, pero el tránsito puede agravar el daño. Pueden presentar fragmentación (“descascarado”) alrededor de la grieta (Vázquez, 2002, pág. 24).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):**
 - Grieta sin relleno menor a 10 mm de ancho, o
 - Grieta rellena con material en buen estado.

- **Medio (M):**
 - Grieta sin relleno entre 10 y 76 mm de ancho, o
 - Grieta rellena con agrietamiento leve alrededor.

- **Alto (H):**
 - Grietas (rellenas o no) con agrietamiento moderado o severo alrededor,
 - Grietas sin relleno mayores a 76 mm,
 - Grietas con fractura severa del pavimento adyacente.

Medición

Se mide la longitud en metros lineales, registrando por separado la extensión de cada nivel de severidad. Si hay abultamientos asociados, también se deben registrar.

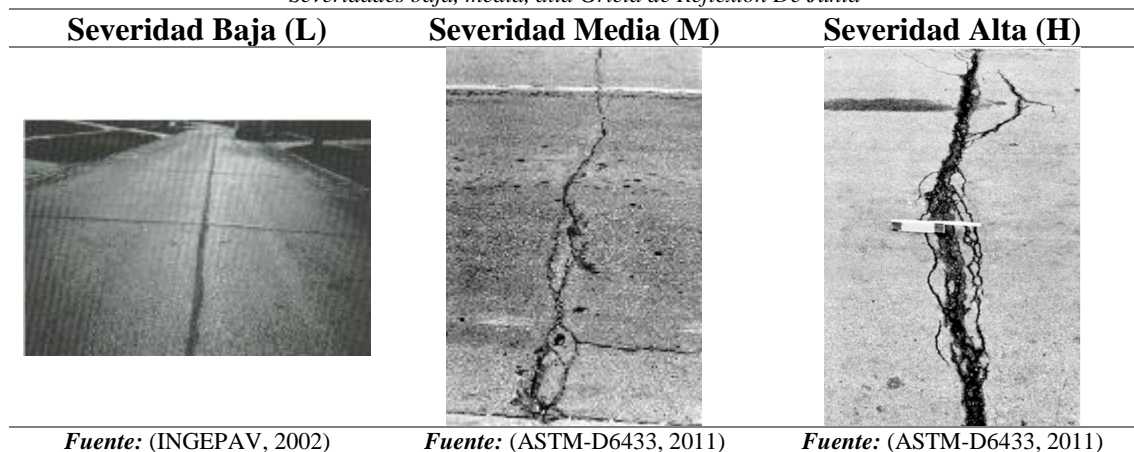
Opciones de reparación

- **Bajo (L):** Sellado de grietas mayores a 3 mm.

- **Medio (M):** Sellado y parcheo de profundidad parcial.

- **Alto (H):** Parcheo de profundidad parcial o reconstrucción de la junta.

Ilustración 14
Severidades baja, media, alta Grieta de Reflexión De Junta



4.7.6.9. Desnivel Carril / Berma

Descripción:

Es la diferencia de altura entre el borde del pavimento y la berma, causada por erosión, asentamiento o colocación de sobrecarpetas sin nivelar la berma (Vázquez, 2002, pág. 26).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Diferencia entre 25 y 51 mm.
- **Medio (M):** Diferencia entre 51 y 102 mm.
- **Alto (H):** Diferencia mayor a 102 mm.

Medición

Se mide la longitud afectada en metros lineales.

Opciones de reparación

- **Todos los niveles:** Renivelación de la berma para igualar el nivel del carril.

Ilustración 15
Severidades baja, media, alta Desnivel Carril / Berma



4.7.6.10. Grietas Longitudinales y Transversales

Descripción:

- **Grietas longitudinales:** Paralelas al eje del pavimento, causadas por juntas mal construidas, contracción térmica o grietas de reflexión sobre la base (Vázquez, 2002, pág. 28).
- **Grietas transversales:** Perpendiculares al eje del pavimento, generalmente no relacionadas con cargas (Vázquez, 2002, pág. 28).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):**
 - Grietas sin relleno menores a 10 mm, o
 - Grietas rellenas con material en buen estado.
- **Medio (M):**
 - Grietas sin relleno entre 10 y 76 mm, o
 - Grietas rellenas con grietas pequeñas alrededor.
- **Alto (H):**
 - Grietas (rellenas o no) con grietas pequeñas de severidad media o alta alrededor,

- Grietas sin relleno mayores a 76 mm,
- Grietas con fractura severa del pavimento adyacente.

Medición

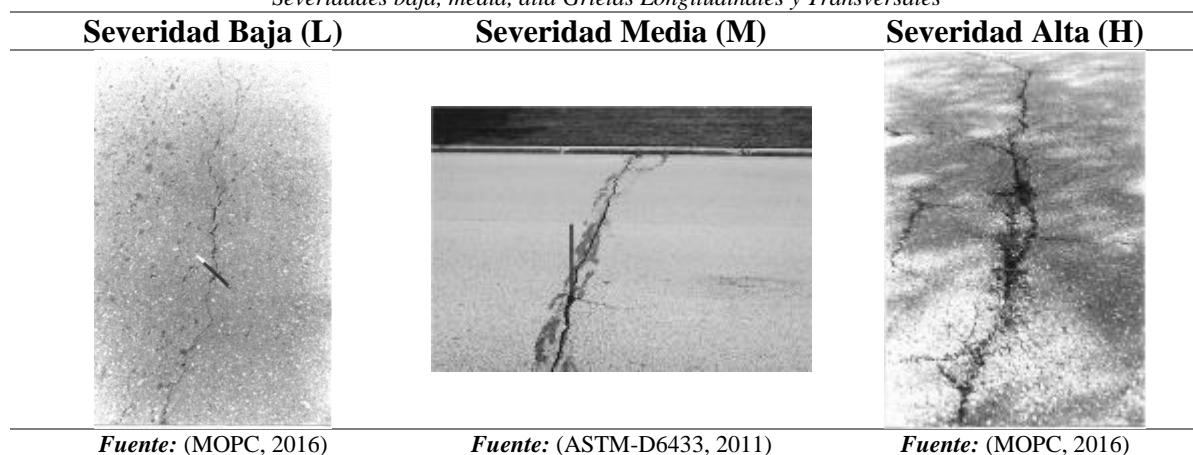
Se mide la longitud en metros lineales, registrando cada tramo según su severidad. Si hay abultamientos o hundimientos asociados, también se registran.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No intervención o sellado de grietas mayores a 3 mm.
- **Medio (M):** Sellado de grietas.
- **Alto (H):** Sellado y parcheo parcial.

Ilustración 16

Severidades baja, media, alta Grietas Longitudinales y Transversales



4.7.6.11. Parcheo y acometidas de servicios

Descripción:

Área del pavimento reemplazada con material nuevo para reparar daños. Aunque funcione bien, se considera un defecto porque generalmente no tiene el mismo comportamiento que el pavimento original. Suele presentar rugosidad (Vázquez, 2002, pág. 30).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Parche en buen estado, con baja afectación a la calidad del tránsito.
- **Medio (M):** Parche moderadamente deteriorado, con impacto medio en la calidad del tránsito.
- **Alto (H):** Parche muy deteriorado que requiere pronta sustitución.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados. Si un parche presenta diferentes niveles de severidad, cada área debe registrarse por separado. No se registran otros daños dentro del parche; si se reemplaza una gran área, se considera nuevo pavimento.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No se interviene.
- **Medio (M):** Se puede dejar o sustituir el parche.
- **Alto (H):** Se debe sustituir el parche.

Ilustración 17

Severidades baja, media, alta Parcheo y acometidas de servicios



4.7.6.12. Pulimento de Agregados

Descripción:

Daño causado por cargas repetidas que suavizan la superficie del agregado, reduciendo la adherencia de las llantas y la textura del pavimento. Se detecta cuando el agregado está desgastado y la superficie es lisa al tacto, o mediante pruebas de resistencia al deslizamiento bajas (Vázquez, 2002, pág. 32).

Niveles de severidad

No se definen niveles específicos; el pulimento debe ser significativo para considerarse un defecto.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados. No se contabiliza junto con la exudación.

Opciones de reparación

- No intervención, tratamiento superficial, sobrecarpeta, o fresado y sobrecarpeta según el caso.

Ilustración 18
Severidades baja, media y alta Pulimento de Agregados



4.7.6.13. Huecos/Baches

Descripción:

Son pequeñas depresiones en forma de tazón con bordes agudos, causadas por la pérdida de material debido al tráfico y debilidad estructural. Su crecimiento se acelera con la

acumulación de agua. No deben confundirse con desprendimientos o meteorización (Vázquez, 2002, pág. 33).

Niveles de severidad

Se clasifican según diámetro y profundidad:

Tabla 11
Niveles de severidad para huecos

Profundidad máxima del hueco	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

Fuente: PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI), 2002.

- Huecos mayores a 762 mm se miden por área y se convierten a número equivalente.
- Profundidad ≤ 25 mm: severidad media; > 25 mm: severidad alta.

Medición

Se cuentan y registran los huecos por nivel de severidad (baja, media, alta).

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No intervención o parcheo parcial/profundo.
- **Medio (M):** Parcheo parcial o profundo.
- **Alto (H):** Parcheo profundo.

Ilustración 19
Severidades baja, media, alta Huecos/Baches



4.7.6.14. Cruce de Vía Férrea

Descripción:

Son depresiones o abultamientos localizados alrededor o entre los rieles del cruce ferroviario, que afectan la calidad del tránsito (Vázquez, 2002, pág. 35).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Impacto leve en la calidad del tránsito.
- **Medio (M):** Impacto moderado en la calidad del tránsito.
- **Alto (H):** Impacto severo en la calidad del tránsito.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados. No se registra si no afecta la calidad del tránsito. Abultamientos significativos causados por los rieles se incluyen.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No se requiere intervención.
- **Medio (M):** Parcheo superficial o parcial en la aproximación y reconstrucción del cruce.
- **Alto (H):** Parcheo superficial o parcial en la aproximación y reconstrucción del cruce.

Ilustración 20
Severidades baja, media, alta Cruce de Vía Férrea



4.7.6.15. Ahuellamiento

Descripción:

Son depresiones o abultamientos localizados alrededor o entre los rieles del cruce ferroviario, que afectan la calidad del tránsito (Vázquez, 2002, pág. 37).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Impacto leve en la calidad del tránsito.
- **Medio (M):** Impacto moderado en la calidad del tránsito.
- **Alto (H):** Impacto severo en la calidad del tránsito.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados. No se registra si no afecta la calidad del tránsito. Abultamientos significativos causados por los rieles se incluyen.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No se requiere intervención.
- **Medio (M):** Parcheo superficial o parcial en la aproximación y reconstrucción del cruce.
- **Alto (H):** Parcheo superficial o parcial en la aproximación y reconstrucción del cruce.

Ilustración 21
Severidades baja, media, alta Ahuellamiento



4.7.6.16. Desplazamiento

Descripción:

Es un corrimiento longitudinal permanente en la superficie del pavimento causado por cargas de tránsito, que genera una onda abrupta. Ocurre principalmente en pavimentos con mezclas asfálticas inestables o en pavimentos asfálticos sobre losas de concreto Portland (Vázquez, 2002, pág. 39).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Impacto leve en la calidad del tránsito.
- **Medio (M):** Impacto moderado en la calidad del tránsito.
- **Alto (H):** Impacto severo en la calidad del tránsito.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados. Desplazamientos en parches se registran como parches, no como daño separado.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No intervención o fresado.
- **Medio (M):** Fresado y parcheo parcial o profundo.

- **Alto (H):** Fresado y parcheo parcial o profundo.

Ilustración 22
Severidades baja, media, alta Desplazamiento



4.7.6.17. Grietas Parabólicas o por deslizamiento

Descripción:

Grietas en forma de medialuna causadas por el deslizamiento o deformación de la superficie debido a frenadas o giros de las ruedas. Ocurren en mezclas asfálticas de baja resistencia o con mala unión entre capas. No están relacionadas con problemas geotécnicos (Vázquez, 2002, pág. 41).

Niveles de severidad

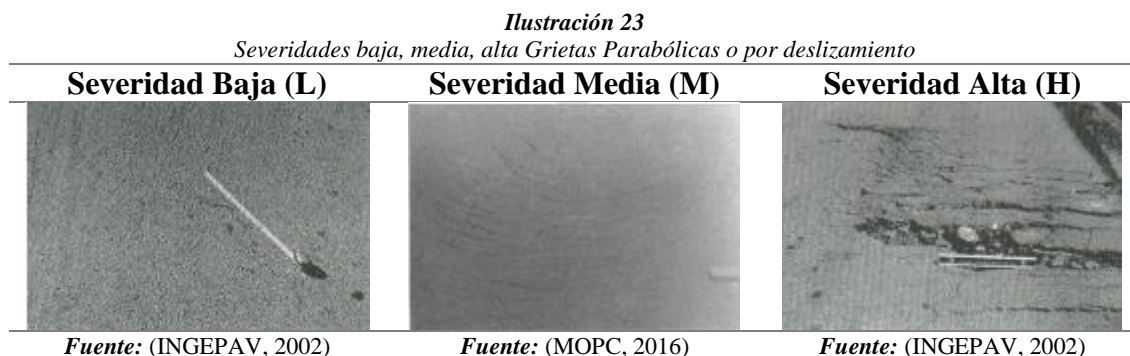
- **Bajo (L):** Ancho promedio menor a 10 mm.
- **Medio (M):**
 - Ancho entre 10 y 38 mm, o
 - Área alrededor fracturada en pequeños pedazos ajustados.
- **Alto (H):**
 - Ancho mayor a 38 mm, o
 - Área alrededor fracturada en pedazos fácilmente removibles.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados, asignando la severidad más alta presente.

Opciones de reparación

- **Todos los niveles:** Parcheo parcial o no intervención en severidad baja.



4.7.6.18. Hinchamiento

Descripción:

Es un levantamiento gradual y prolongado de la superficie del pavimento (onda mayor a 3 m), causado por congelamiento en la subrasante o suelos expansivos. Puede ir acompañado de grietas superficiales (Vázquez, 2002, pág. 43).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Impacto leve, a veces difícil de detectar, pero perceptible al conducir.
- **Medio (M):** Impacto moderado en la calidad del tránsito.
- **Alto (H):** Impacto severo en la calidad del tránsito.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No se requiere intervención.

- **Medio (M):** No intervención o reconstrucción.
- **Alto (H):** Reconstrucción completa.

Ilustración 24
Severidad baja, media y alta Hinchamiento



4.7.6.19. Meteorización / Desprendimiento de Agregados

Descripción:

Pérdida de ligante asfáltico y partículas de agregado en la superficie, causada por endurecimiento del ligante, mezcla de mala calidad o tránsito severo (como vehículos de orugas). También incluye daños por derrames de aceite que ablandan la superficie (Vázquez, 2002, pág. 44).

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Inicio de pérdida de agregados o ligante, superficie dura, manchas de aceite visibles, pero sin penetración.
- **Medio (M):** Pérdida moderada de agregados o ligante, textura rugosa y ahuecada, superficie blanda con penetración en caso de aceite.
- **Alto (H):** Pérdida considerable, textura muy rugosa y severamente ahuecada, agregados sueltos, ligante sin efecto.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados.

Opciones de reparación

- **Bajo (L):** No intervención, sellado o tratamiento superficial.
- **Medio (M):** Sellado, tratamiento superficial o sobrecarpeta; parcheo si es localizado.
- **Alto (H):** Tratamiento superficial, sobrecarpeta, reciclaje o reconstrucción; parcheo para daños localizados.

Ilustración 25

Severidades baja, media, alta Meteorización / Desprendimiento de Agregados



4.8. Diseño de la estructura de pavimento

4.8.1. Ejes Equivalentes y Comportamiento del Pavimento ante Cargas

Repetidas

Uno de los principios fundamentales en el diseño de estructuras de pavimento es garantizar que las capas que lo componen sean capaces de resistir de manera adecuada los esfuerzos inducidos por las cargas repetidas del tránsito a lo largo del período de diseño previsto. Estas capas tienen como función esencial soportar las cargas impuestas por los vehículos, distribuir las tensiones hacia las capas inferiores, y resistir la degradación progresiva asociada a la acción cíclica del tráfico, particularmente debido a los fenómenos de fatiga.

4.8.2. Tránsito como Variable Determinante en el Diseño Estructural del Pavimento

El tránsito constituye la variable más relevante en el diseño estructural de una vía, ya que influye directamente en las solicitaciones que deberá resistir el pavimento durante su vida útil. Si bien el volumen total y las dimensiones de los vehículos determinan parte del diseño geométrico, el número de ejes y, sobre todo, el peso que estos transmiten, son los factores que inciden con mayor intensidad en el cálculo estructural de la carpeta vial. A diferencia de otros parámetros de diseño, el tránsito tiene una influencia directa y cuantificable sobre la vida útil del pavimento, condicionando la selección de materiales, espesores y niveles de refuerzo requeridos.

4.8.3. Tipologías de Ejes y Clasificación Vehicular

Desde el punto de vista estructural, los ejes vehiculares se clasifican en tres categorías básicas. El eje sencillo está compuesto por un eje con una o dos ruedas sencillas en sus extremos; el eje tándem está formado por dos ejes sencillos con ruedas dobles en cada extremo; mientras que el eje trídem consta de tres ejes con ruedas dobles, distribuidos a lo largo del vehículo. Esta configuración determina el nivel de carga transmitido por cada eje y, por tanto, su contribución al deterioro estructural del pavimento.

En cuanto a la clasificación por tipo de vehículo, los vehículos livianos son aquellos cuya capacidad de carga es inferior a cinco toneladas, como es el caso de automóviles, camionetas y similares. Por otro lado, los vehículos comerciales comprenden todos aquellos con capacidad superior a cinco toneladas, incluyendo camiones, buses y remolques. Esta distinción es fundamental, ya que son principalmente los vehículos pesados los que condicionan el diseño estructural del pavimento.

4.8.4. Conceptos Técnicos Asociados al Tránsito

4.8.4.1. Volumen de tránsito:

El volumen de tránsito se define como el número total de vehículos que circulan en ambas direcciones por una sección de vía durante un periodo determinado, ya sea horario, diario, semanal o anual. Una medida derivada de este es el tránsito promedio diario (TPD), obtenido dividiendo el volumen total observado durante un periodo específico entre el número de días de este. En función del periodo de observación, el TPD puede especificarse como anual (TPDA), mensual (TPDM) o semanal (TPDS).

4.8.4.2. Tránsito existente

Se define como tránsito existente aquel volumen vehicular que presenta la vía antes de su intervención o pavimentación. Por otra parte, el tránsito atraído corresponde al volumen que, sin alterar su origen ni destino, podría utilizar la nueva vía como ruta alternativa. El tránsito generado hace referencia a aquel incremento que resulta como consecuencia del desarrollo económico y social de la zona influenciada por la nueva infraestructura. La suma del tránsito atraído y generado se conoce como tránsito inducido.

4.8.4.3. Nivel de Servicio

Medida de la calidad del flujo vehicular en una vía, evaluada a través de parámetros como la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, la seguridad, el confort de manejo y los costos operacionales. Finalmente, se entiende por capacidad vial al número máximo de vehículos que pueden circular por un tramo de vía o carril en un periodo determinado sin que se generen demoras significativas ni restricciones de circulación.

4.8.5. Cargas de Tránsito y Diseño por Ejes Equivalentes

Para efectos del diseño estructural, es necesario cuantificar el daño producido por las diversas configuraciones de carga. Debido a la complejidad de esta estimación, y siguiendo la metodología establecida en el estudio "AASHO Road Test", se adopta como carga patrón un eje sencillo con un peso de 18,000 libras (equivalente a 8.2 toneladas). Esta unidad es conocida como eje simple equivalente, o ESAL (Equivalent Single Axle Load), y se emplea como referencia para determinar el número de repeticiones equivalentes que una estructura de pavimento puede soportar durante su vida útil.

Ilustración 26

Cuadro demostrativo de peso bruto vehicular y longitudes máximas permisibles

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO [Ton.]
2 D		CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7
20A		CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10
20B		CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18
3A		CAMIÓN DE 3 EJES	27
4 C		CAMIÓN DE 4 EJES	31
4 D		CAMIÓN CON TAMBOR DIRECCIONAL Y TAMBOR POSTERIOR	32
V2DB		VOLQUETA DE DOS EJES 8 m ³	18
V3A		VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m ³	27
V2B		VOLQUETA DE TRES EJES 16 m ³	27
T2		TRACTO-CAMIÓN DE 2 EJES	18
T3		TRACTO-CAMIÓN DE 3 EJES	27
S3		SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	24
S2		SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	20
S1		SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	11
R2		REMOLQUE DE 2 EJES	22
R3		REMOLQUE DE 3 EJES	31
B1		REMOLQUE BALANZADO DE 1 EJE	11
B2		REMOLQUE BALANZADO DE 2 EJES	20
B3		REMOLQUE BALANZADO DE 3 EJES	24

Fuente: MTOP, Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

4.8.6. Proyección del Tránsito Vehicular a lo Largo del Período de Diseño

Un pavimento debe ser proyectado para resistir no solamente el tránsito inicial, sino también aquel que se espera que circule durante toda su vida de servicio. La dificultad radica en prever con exactitud el volumen de tránsito futuro, dado que este depende de múltiples factores inciertos como el crecimiento económico, los cambios demográficos, el uso del suelo y el desarrollo regional.

No obstante, mediante la recopilación de datos históricos del tránsito existente y el análisis estadístico de su evolución temporal, es posible estimar el tránsito futuro con razonable precisión. Este procedimiento requiere la determinación de una tasa anual de crecimiento, que permitirá realizar proyecciones a mediano y largo plazo. Para ello, se utilizan modelos de regresión, siendo los más utilizados el modelo lineal y el modelo exponencial, este último representado por la fórmula:

$$T_n = T_i \times (1 + r)^n \quad \text{Ecuación 15}$$

En esta expresión, T_n representa el tránsito en el año n , T_i el tránsito en el año base o inicial, y r la tasa anual de crecimiento del tránsito.

A partir de esta expresión, y mediante integración, se obtiene el tránsito acumulado durante todo el periodo de diseño:

$$T_{acumulado} = \frac{[T_i \times (1 + r)^{(n-1)}]}{\ln(1 + r)} \quad \text{Ecuación 16}$$

Este valor acumulado es esencial para determinar la magnitud total de carga que deberá soportar el pavimento.

4.8.7. Evaluación del Tránsito para Diseño

Una vez obtenido el tránsito acumulado durante el periodo de diseño, este debe ser ajustado para considerar su efecto sobre el carril de diseño más solicitado, mediante factores de distribución direccional y por carril. El factor de distribución direccional (F_d) representa el porcentaje del tránsito total que se concentra en una dirección, mientras que el factor de distribución por carril (F_L) indica la fracción de vehículos pesados que circulan por el carril crítico. Estos factores se establecen en función del número total de carriles y la proporción de tránsito pesado.

El número total de ejes equivalentes que transitarán sobre el pavimento durante su vida útil se estima mediante la conversión del tránsito promedio diario (TPD) inicial en términos de ejes equivalentes, utilizando el denominado factor camión global. Para ello, es necesario disponer de los siguientes datos:

- Tránsito promedio diario inicial (TPD)
- Porcentaje estimado de vehículos comerciales (A)
- Factor de distribución direccional (FD)
- Factor de distribución por carril (FL)
- Tasa anual de crecimiento del tránsito (r)
- Periodo de diseño (n)
- Factor camión global de la vía (FEg)

Todos estos elementos permiten determinar el número acumulado de ejes equivalentes que deberán ser considerados en el diseño estructural.

4.8.8. Métodos de Evaluación del Tránsito en Función del Tipo de Vía

El enfoque metodológico para el diseño del pavimento varía dependiendo del volumen de tránsito esperado. Para vías de bajo volumen, se analiza únicamente el número de vehículos pesados esperados, considerando la distribución por carril. En métodos empíricos, como el empleado por el Instituto del Asfalto (AI), se calcula el número de ejes simples equivalentes (ESAL) acumulados durante el período de diseño, enfocados específicamente en el carril de mayor solicitud. Este mismo enfoque es utilizado en el método AASHTO, donde el número total de ejes equivalentes acumulados se designa como W18.

En el caso del método PCA (Portland Cement Association), se considera el tránsito promedio diario de diseño (TPD), junto con factores de corrección específicos según la presencia o ausencia de pesajes. Además, se contemplan las repeticiones de carga esperadas para dimensionar el pavimento de concreto.

4.9. Composición Estructural del Pavimento

El pavimento se compone de un conjunto de capas superpuestas, cada una de las cuales cumple funciones estructurales específicas. Estas capas se apoyan sobre la subrasante natural obtenida mediante movimiento de tierras. Las capas principales de un pavimento son la subbase, la base y la capa de rodadura o superficie. La selección de materiales, sus propiedades y espesores son definidos con base en criterios de capacidad estructural, trabajabilidad y comportamiento ante cargas cíclicas.

4.9.1. Reconocimiento del Perfil Estratigráfico del Suelo

El análisis del perfil estratigráfico del terreno es un paso esencial en el diseño de infraestructura vial. Este proceso tiene tres objetivos fundamentales: identificar las distintas unidades de suelo o roca presentes en el sitio de fundación; establecer la profundidad y extensión de cada estrato; y determinar de forma aproximada las propiedades geotécnicas de

dichos materiales. La programación de la exploración geotécnica debe realizarse tras completar los estudios preliminares y el reconocimiento detallado de la zona de estudio.

Entre los criterios para la ubicación de puntos de exploración destacan: la distribución equidistante de sondeos para lograr una cobertura homogénea; la priorización de zonas con cortes significativos o donde se prevean cambios de rasante; la inspección de sectores que serán sometidos a rellenos o se ubiquen cerca del terreno natural; y la exploración puntual en las zonas previstas para obras de arte o estructuras especiales.

Entre los métodos comúnmente utilizados para la caracterización del perfil estratigráfico se encuentran: excavación de calicatas, ensayos con cono dinámico, penetración dinámica con cono portátil y métodos sísmicos como perfiles de refracción.

4.9.2. Calicatas y Métodos de Estratigrafía

Las calicatas constituyen una de las técnicas más confiables y directas para la exploración del subsuelo. Mediante la excavación manual o mecánica de zanjas o pozos, se puede observar directamente la disposición, color, textura, humedad y resistencia de los suelos. Este procedimiento permite realizar descripciones visuales, toma de muestras inalteradas y mediciones in situ, facilitando la elaboración de perfiles estratigráficos precisos.

4.9.3. Capas Granulares: Bases

Las bases granulares están constituidas por mezclas de agregados gruesos y finos, generalmente provenientes de trituración total o parcial. Pueden estar estabilizadas con agregado fino o mezcladas con suelos seleccionados de buena calidad. Los agregados utilizados deben cumplir con exigencias técnicas estrictas, tales como un límite líquido inferior a 25%, un índice de plasticidad menor a 6%, y una resistencia al desgaste inferior al 40%, conforme al ensayo de abrasión de Los Ángeles. Además, se exige que el valor de soporte CBR sea igual o superior al 80%.

Existen varias clases de bases, diferenciadas principalmente por el porcentaje de material triturado que contienen y su granulometría. La Clase 1 está compuesta por agregados 100% triturados, clasificados en los tipos A y B. La Clase 2 incluye agregados con al menos un 50% de material triturado en peso. La Clase 3 requiere un mínimo del 25% de trituración, y la Clase 4 permite el uso de agregados cribados sin exigencia de trituración específica.

Los controles de calidad incluyen ensayos de granulometría según normas INEN y AASHTO, control de densidad in situ mediante equipos nucleares, y verificación del espesor cada 100 metros de vía. La densidad final de compactación debe alcanzar el 100% de la densidad máxima obtenida en laboratorio por el método Proctor modificado.

4.9.4. Capas Granulares: Subbases

Las subbases, al igual que las bases, se construyen con agregados naturales o procesados. Estos pueden provenir de trituración, cribado o de gravas seleccionadas. El coeficiente de desgaste de los agregados no debe superar el 50%, el índice de plasticidad debe ser inferior a 6, y el límite líquido máximo permitido es de 25. La resistencia mínima requerida, medida como CBR, debe ser igual o superior al 30%.

Las subbases también se clasifican en función del tipo de agregado utilizado. La Clase 1 incluye materiales obtenidos por trituración de roca o grava, con al menos 30% del agregado preparado por trituración. La Clase 2 admite agregados provenientes de gravas naturales o piedra fragmentada, siempre que al menos el 30% del material provenga de trituración. La Clase 3 permite el uso de agregados naturales sin requerimiento específico de procesamiento.

La densidad de compactación en las subbases también debe alcanzar el 100% de la densidad máxima del laboratorio, y su espesor no debe variar más de 2 centímetros respecto al proyecto. Las mediciones se realizan cada 100 metros en puntos alternos a lo largo del eje vial.

4.9.5. Capa de Rodadura

4.9.5.1. Tratamientos Bituminosos

Los tratamientos bituminosos superficiales consisten en la aplicación de una o más capas de agregados embebidos en materiales bituminosos, sobre una superficie previamente imprimada o existente. Los ligantes empleados pueden ser cementos asfálticos, asfaltos diluidos o emulsiones asfálticas. Los agregados utilizados deben ser limpios, secos, duros y resistentes, con un coeficiente de desgaste inferior al 40% y una adhesividad superior al 95%.

La elección del tipo de tratamiento y las cantidades aplicadas depende de las condiciones climáticas, del tránsito y del estado de la superficie. Las cantidades de ligante y agregado por metro cuadrado son especificadas en los manuales técnicos según el tipo de emulsión o ligante utilizado.

4.9.5.2. Mezcla Asfáltica en Caliente

La mezcla asfáltica en caliente está compuesta por una combinación de agregados de distintas granulometrías, arena, polvo mineral y cemento asfáltico, todos mezclados a alta temperatura. Las cotas finales de la superficie deben ajustarse a un margen máximo de desviación de 1.2 centímetros con respecto al diseño. La superficie terminada debe ser uniforme, sin ondulaciones ni rugosidades, y con pendiente transversal constante.

Los controles de calidad incluyen mediciones de densidad, espesor y composición a intervalos regulares, generalmente cada 500 a 800 metros, en ubicaciones aleatorias. La densidad final no debe ser inferior al 97% de la densidad máxima determinada en laboratorio. Las muestras de la mezcla se ensayan conforme al método Marshall, utilizando las temperaturas de compactación comprendidas entre 85 y 163 °C, siendo preferible iniciar la compactación en la temperatura más alta posible que no genere desplazamiento lateral de la mezcla.

4.9.5.3. Pavimento de Hormigón de Cemento Portland

El pavimento rígido se compone de losas de hormigón fabricadas con cemento Portland tipo I o II, con o sin refuerzo, y con o sin dispositivos de transferencia de carga. La consistencia del hormigón

fresco se determina mediante el ensayo de asentamiento según AASHTO T-119, mientras que la resistencia a compresión y flexión se evalúa siguiendo los métodos AASHTO T-22, T-23, T-97 y T-126.

Se deben realizar al menos tres muestras de dos vigas o cilindros por cada 120 metros cúbicos de concreto colocado, para ser ensayadas en diferentes edades conforme a las especificaciones del proyecto. Los espesores reales no podrán diferir más de 5 milímetros respecto al espesor de diseño

4.10. Tránsito como variable determinante del diseño

El número y tipo de vehículos que circularán por la vía, expresados en ejes equivalentes (ESALs o W18), constituye la base del dimensionamiento. La transformación del tránsito real en carga estructural se efectúa mediante factores de equivalencia, que simplifican el daño acumulado causado por diferentes configuraciones de eje. La proyección del tránsito futuro utilizando modelos de crecimiento exponencial es esencial para garantizar un diseño sostenible.

4.11. Estructura estratificada del pavimento

Los pavimentos están compuestos por capas superpuestas como rodadura, base, subbase, que en conjunto constituyen el sistema de distribución de cargas. Cada una de estas capas presenta especificaciones normativas rigurosas (NEVI 12, MOP 001) en cuanto a granulometría, plasticidad, resistencia y comportamiento frente a la humedad, lo que garantiza su desempeño estructural y funcional.

4.12. Enfoque probabilístico del método AASHTO

A diferencia de enfoques puramente empíricos, el método AASHTO incorpora la incertidumbre inherente a las predicciones de tráfico y comportamiento del pavimento mediante factores de confiabilidad (R), desviación estándar (S_0) y niveles de serviciabilidad. Esta perspectiva estadística permite adaptar el diseño a diferentes clases viales y niveles de criticidad, incrementando la eficiencia en el uso de recursos.

El error combinado S_0 es un parámetro estadístico esencial para incorporar la incertidumbre global presente en los datos que sustentan el diseño del pavimento. El uso de S_0 no solo fortalece el diseño frente a fallas prematuras, sino que lo hace más realista ante condiciones variables, otorgando mayor confiabilidad al comportamiento a largo plazo del pavimento.

El factor de confiabilidad (R) representa la probabilidad de que el pavimento funcione satisfactoriamente durante su vida útil, sin incurrir en fallas estructurales que comprometan su desempeño. Se expresa mediante su equivalente estadístico Z_r , que corresponde al valor z en una distribución normal estándar.

El valor del factor de confiabilidad depende de la clasificación funcional de la vía, la intensidad del tránsito, la importancia estratégica del proyecto y el grado de exposición a condiciones adversas.

4.13. Aplicabilidad y vigencia del método AASHTO

Aunque derivado de un ensayo empírico de los años 60, el método AASHTO ha sido refinado y adaptado para distintos contextos mediante calibraciones regionales, manteniéndose como uno de los más aceptados a nivel mundial. Su compatibilidad con sistemas modernos de gestión vial y su versatilidad para distintos volúmenes de tránsito lo hacen especialmente útil en proyectos de infraestructura en países en desarrollo.

4.14. Drenaje y Factor de Modificación (m_i)

El comportamiento estructural del pavimento depende en gran medida de su capacidad para evacuar o resistir la presencia de humedad. El método AASHTO contempla el coeficiente de drenaje (m_i) como un factor de corrección que modifica el aporte estructural de las capas granulares en función de:

- Calidad del drenaje (excelente, buena, deficiente).
- Tiempo estimado en que el material permanece saturado durante el año.

Valores bajos de m_i reducen la capacidad estructural efectiva del material, por lo que se recomienda implementar sistemas de drenaje subterráneo, cunetas revestidas y bordillos para controlar la infiltración.

Los coeficientes de drenaje (m_i) dependen del material, el sistema de drenaje y el tiempo con alta humedad. En pavimentos flexibles, m_2 se aplica a la base granular y m_3 a la subbase. Para estructuras semirrígidas, m_2 corresponde a la base estabilizada con cemento. El valor m_1 de la capa asfáltica se fija en 1.0, y el m_2 de bases estabilizadas puede ser ≥ 1.0 por su impermeabilidad

Tabla 12
Calidad de drenaje

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	El agua no evacúa

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Tabla 13

Valores de m_i recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares

Características del Drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesto a grados de humedad próxima a la saturación.			
	Menor del 1%	1-5%	5-25%	Más del 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Muy malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

4.15. Índice CBR (California Bearing Ratio)

El CBR (California Bearing Ratio) es un parámetro empírico ampliamente utilizado para evaluar la capacidad de soporte de suelos en proyectos viales. Se define como el cociente, expresado en porcentaje, entre la presión necesaria para que un pistón cilíndrico penetre una muestra de suelo hasta

una profundidad específica, y la presión requerida para alcanzar la misma penetración en una muestra patrón de grava triturada.

El ensayo se ejecuta para dos profundidades de penetración: 2.54 mm (0.1 pulgadas) y 5.08 mm (0.2 pulgadas), siendo el valor más alto entre ambos el que se considera como índice CBR del suelo. La fórmula general es:

$$CBR (\%) = \frac{\text{carga unitaria en la muestra}}{\text{carga unitaria en la muestra patrón}} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 17}$$

Este ensayo se normaliza bajo los procedimientos AASHTO T-193 y ASTM D1883. Su valor se utiliza directamente como criterio de aceptación de materiales y como insumo indirecto para estimar el módulo resiliente (Mr), especialmente en suelos granulares donde el ensayo triaxial puede resultar impracticable.

4.16. Módulo Resiliente (MR)

El módulo resiliente (Mr) es una propiedad mecánica que mide la rigidez elástica de un material bajo cargas dinámicas, representando la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación recuperable. Este parámetro constituye una estimación del módulo de elasticidad bajo condiciones de carga repetida, propias del tráfico vehicular sobre los pavimentos.

A diferencia del módulo de elasticidad tradicional, que se mide bajo cargas estáticas, el módulo resiliente se determina mediante el ensayo triaxial repetido, en el cual se aplica una carga cíclica al espécimen, simulando las condiciones reales del tránsito.

Dada la dificultad técnica y económica de ejecutar este ensayo en campo o laboratorio, muchas agencias de transporte utilizan correlaciones empíricas con el índice CBR. Algunas de las relaciones más aceptadas, según el tipo de suelo y el rango de CBR, son:

- **Para CBR < 10%:**

$$M_r(\text{psi}) = 1500 \times \text{CBR}$$

Ecuación 18

- **Para $10\% \leq \text{CBR} \leq 20\%$:**

$$M_r(\text{psi}) = 3000 \times \text{CBR}^{0.65}$$

Ecuación 19

- **Para suelos granulares:**

$$M_r(\text{psi}) = 4326 \times \ln(\text{CBR}) + 241$$

Ecuación 20

Para obtener el módulo resiliente de la capa subrasante, se dispone de varias técnicas como el retro cálculo empleando deflexiones de deflectómetro de impacto, por ensayos de módulo resiliente, o el uso de las correlaciones presentadas en las siguientes ecuaciones según AASHTO (1993):

- **En (kg/cm^2):**

$$M_r = 100 \cdot \text{CBR}$$

Ecuación 21

- **En (MPa):**

$$M_r = 10 \cdot \text{CBR}$$

Ecuación 22

- **En (lb/pulg^2):**

$$M_r = 1500 \cdot \text{CBR}$$

Ecuación 23

- **En (N/m^2):**

$$M_r = 10^7 \cdot CBR$$

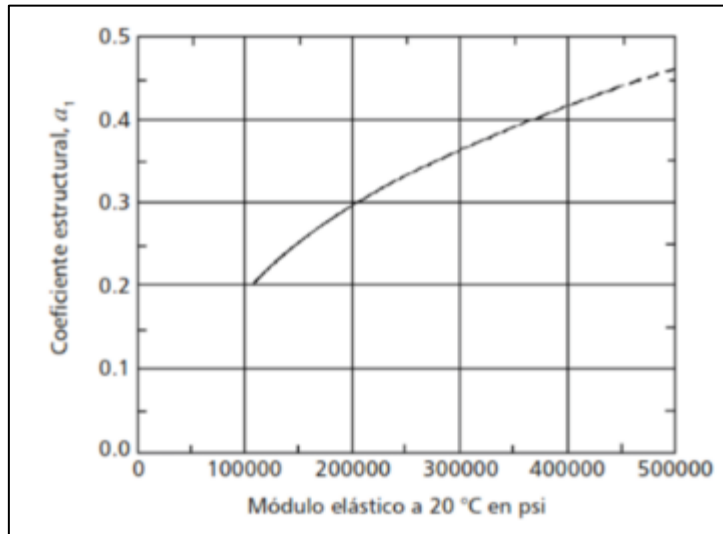
Ecuación 24

Estas ecuaciones permiten estimar el M_r de manera razonable en proyectos donde no se dispone de equipos triaxiales.

4.17. Propiedades Mecánicas de los materiales

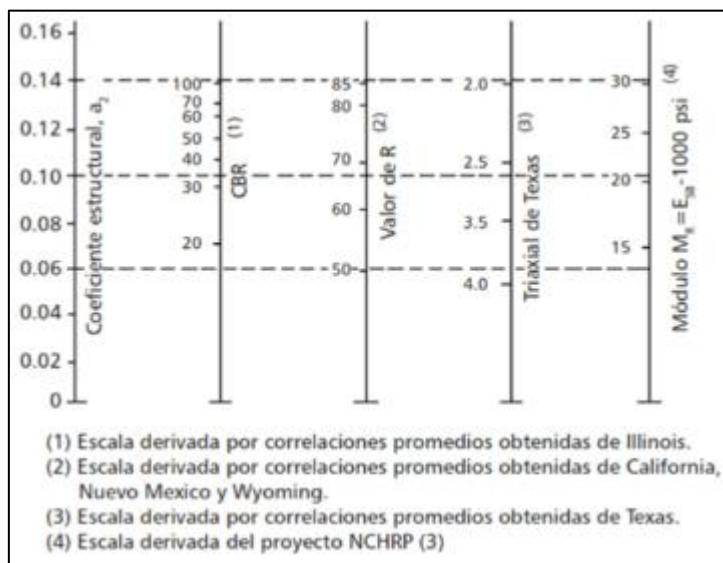
El módulo resiliente (en psi) es el principal parámetro mecánico para caracterizar los materiales. Sin embargo, para el diseño del espesor de las capas del pavimento, estos se transforman en coeficientes estructurales de capa (a_i). Su determinación se realiza mediante los ábacos correspondientes. Estos coeficientes reflejan la contribución estructural por unidad de espesor de cada capa. Específicamente, $i=1$ denota la capa de concreto asfáltico; $i=2$ se utiliza para la capa granular no tratada de base en estructuras flexibles o para una base estabilizada hidráulicamente en estructuras semirrígidas; y $i=3$ corresponde a la capa granular no tratada de subbase.

Ilustración 27
 Coeficiente estructural a_1 para mezcla de concreto asfáltico



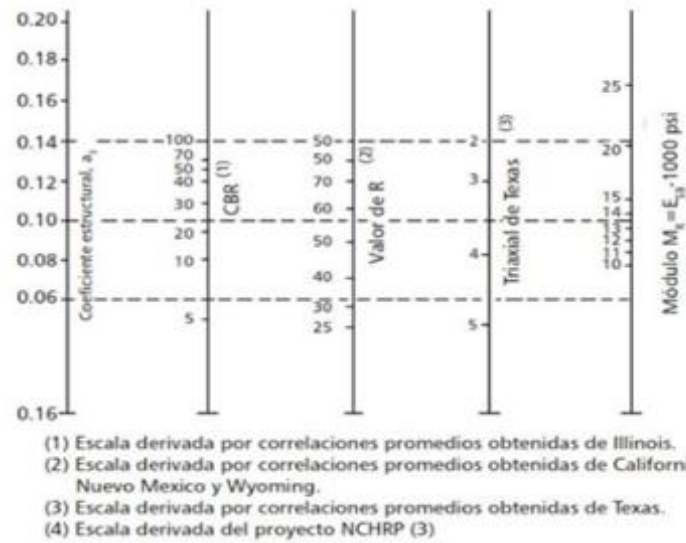
Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Ilustración 28
 Coeficiente estructural a_2 para base granular no tratada.



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Ilustración 29
 Coeficiente estructural a_3 para subbase granular no tratada.



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

La AASHTO (1993) propone un conjunto de coeficientes para el modelo a_2 destinados a bases estabilizadas con cemento hidráulico. Estos valores, que incluyen 0.14, 0.15, 0.16, 0.17 y 0.18, se correlacionan directamente con las resistencias a la compresión (f'_c) obtenidas a los siete días: 300, 400, 450, 500 y 550 PSI (equivalentes a 2.1, 2.8, 3.2, 3.5 y 3.9 MPa, respectivamente). Para todos estos valores correspondientes al valor coeficie

Tabla 14
Coefficientes propuestos por AASTHO

Coefficiente a_2	Resistencia a la compresión (f'c) (PSI)	Resistencia a la compresión (f'c) (PSI)	Módulo Elástico (PSI)
0.14	300	2.1	5.7×10^5
0.15	400	2.8	6.0×10^5
0.16	450	3.2	6.2×10^5
0.17	500	3.5	6.5×10^5
0.18	550	3.9	6.8×10^5

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

$$a_1 = 0.184 \times \ln(E_1) - 1.9547$$

Ecuación 25

$$a_2 = 0.249 \times \ln(E_2) - 0.977$$

Ecuación 26

$$a_3 = 0.227 \times \ln(E_3) - 0.839$$

Ecuación 27

Considerando que E_1 , E_2 y E_3 son los módulos resilientes en psi de la mezcla de concreto asfáltico que conformarán la capa asfáltica, base granular y subbase granular sin tratar, respectivamente

4.18. Ensayos de Laboratorio para Diseño de Pavimentos

El diseño de pavimentos requiere un conjunto específico de ensayos de laboratorio sobre las muestras extraídas durante la fase de prospección. Los principales ensayos aplicables en el ámbito de la pavimentación vial son los siguientes:

- Determinación del contenido de humedad: fundamental para la caracterización y compactación del suelo.
- Análisis granulométrico: permite establecer la distribución del tamaño de partículas y definir la clasificación del suelo.
- Determinación de los límites de consistencia (límites líquido y plástico): esenciales para conocer el comportamiento del suelo frente a variaciones de humedad.

- Peso específico de los suelos: necesario para calcular la densidad seca y otros parámetros volumétricos.
- Ensayos de compactación (Proctor estándar y modificado): determinan la densidad máxima y contenido de humedad óptimo, clave para asegurar la estabilidad de las capas.
- Determinación de la densidad in situ: realizada mediante cono de arena o densímetro nuclear, valida la compactación lograda en campo.
- Ensayos de resistencia: incluyen el CBR de laboratorio y de campo, carga sobre placa, penetración dinámica con cono, módulo resiliente (M_r) para pavimentos flexibles y módulo de reacción (k) para pavimentos rígidos.

En el caso de mezclas asfálticas, se agregan pruebas de tipo gravimétrico y volumétrico como:

- Gravedad específica aparente bulk (G_{mb})
- Contenido de vacíos
- Relaciones aire-asfalto-árido
- Ensayo Marshall, que evalúa la resistencia a la carga, fluencia y estabilidad de la mezcla bajo temperatura controlada.

4.19. Diseño de Pavimentos Flexibles según AASHTO

El método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles surge como resultado del "AASHTO Road Test", que estableció correlaciones entre las características del tránsito, las propiedades de los materiales y el desempeño observado de los pavimentos.

4.19.1.Principales Variables Consideradas

- Tránsito (W_{18}): número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (18,000 libras) para el carril de diseño durante el periodo de análisis

- Confiabilidad (R): probabilidad de que el pavimento cumpla su función estructural dentro de las condiciones previstas. El valor ZR se utiliza como factor de normalización.
- Desviación estándar combinada (So): refleja la variabilidad en las predicciones de tránsito y comportamiento del pavimento. Para pavimentos flexibles, se adoptan valores entre 0.40 y 0.50.
- Índice de serviciabilidad (PSI): expresa la idoneidad funcional del pavimento. El valor inicial (Po) se considera 4.2, y el final (Pt), generalmente 2.0 o 2.5, según la clasificación vial.
- Módulo resiliente (Mr) de la subrasante: representa la rigidez del terreno natural, siendo corregido estacionalmente para reflejar condiciones climáticas.
- Coeficientes de capa (a₁, a₂, a₃): valoran la capacidad estructural relativa de la capa de rodadura, base y subbase, respectivamente.
- Factores de drenaje (m₁, m₂, m₃): ajustan los coeficientes estructurales en función de la calidad y eficiencia del drenaje.

La ecuación básica del método es:

Ecuación 28

$$\log_{10} W_{18} = Z_r \cdot S_o + 9.36 \cdot \log_{10}(SN_i + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}} \right)} \right] + 2.32 \times \log_{10}(M_r) - 8.07$$

Y el número estructural (SN) requerido se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

Ecuación 29

Donde D_1 , D_2 y D_3 representan los espesores en pulgadas de las capas de rodadura, base y subbase respectivamente.

4.19.2. Determinación del Número Estructural y Selección de Espesores

Una vez conocido el valor del SN requerido, se procede a la selección de los espesores de cada capa de pavimento, de modo que la combinación total satisfaga el número estructural exigido. Este proceso admite múltiples combinaciones válidas desde el punto de vista técnico. Sin embargo, la selección final debe considerar aspectos como disponibilidad de materiales, costos de construcción y requerimientos de mantenimiento.

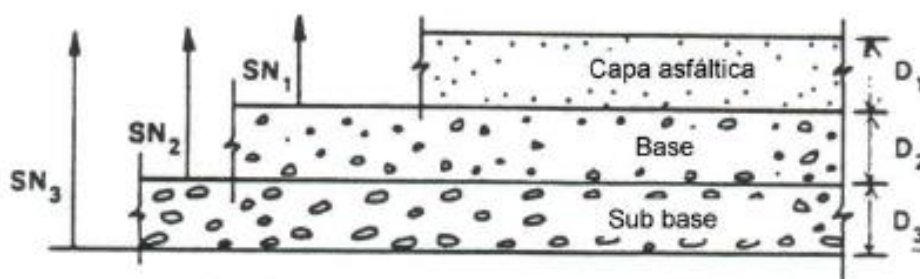
Para el diseño de estructuras de pavimentos flexibles, es imperativo determinar los espesores individuales de las capas empleando las siguientes ecuaciones brindadas por la (AASHTO, 1993).

$$D_1 = \frac{SN}{a_1} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \cdot m_2} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$D_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 \cdot m_3} \quad \text{Ecuación 32}$$

Ilustración 30
Diseño de Espesores de Pavimentos



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Con los espesores calculados previamente se debe considerar los mínimos dimensionales exigidos para cada estrato constituyente del pavimento, cuya referencia se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 15
Espesores mínimos de capas

W_{18} (10^6)	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
<0.05	TSD	4.00
0.05-0.15	2.00	4.00
0.15-0.50	2.50	4.00
0.50-2.00	3.00	6.0
2.00-7.00	3.50	6.0
>7.00	4.00	6.0

Fuente: AASHTO, 1993

4.20. Rehabilitación

En el ámbito del diseño de rehabilitación de pavimentos flexibles, la caracterización estructural del tramo existente resulta fundamental para establecer el tipo y magnitud de intervención requerida. Para ello, se emplean varios parámetros derivados del método AASHTO 1993, entre los cuales destacan la vida remanente (RL), el factor de condición (CF), el número estructural efectivo (S_{Neff}) y el número estructural remanente (S_{Nol}). A continuación, se detalla el fundamento técnico de cada uno.

4.20.1. Vida Remanente (RL)

La vida remanente de un pavimento se refiere al porcentaje de su capacidad estructural proyectada que aún se conserva al momento de la evaluación. Este concepto surge del reconocimiento de que la capacidad de soporte de un pavimento disminuye progresivamente con el paso del tiempo y el tránsito acumulado.

La estimación de RL se basa en la comparación entre la cantidad de tránsito en ejes equivalentes acumulada hasta la fecha y la cantidad total de tránsito que el pavimento fue diseñado para soportar. Para facilitar el análisis, se considera un factor de incremento del tránsito esperado en el futuro, comúnmente multiplicando por 1.5 el valor de diseño original. La relación se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$RL = 100 \cdot \left(1 - \frac{N_p}{N_{1.5}}\right) \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

- N_p : tráfico acumulado (en ejes equivalentes de 80 kN) hasta el momento de la evaluación,
- $N_{1.5}$: tráfico total estimado para el período de diseño extendido, generalmente 1.5 veces el tránsito proyectado inicialmente.

Valores de RL cercanos al 100% indican estructuras aún en buen estado, mientras que valores bajos (<50%) reflejan una pérdida significativa de la capacidad estructural y, por tanto, la necesidad de reforzar o rehabilitar.

4.20.2. Factor de Condición (CF)

El factor de condición es un coeficiente utilizado para ajustar la contribución estructural del pavimento existente en función de su estado real de deterioro. Este parámetro responde a la lógica de que un pavimento con mayor daño no puede considerarse estructuralmente equivalente a uno nuevo, aunque aún presente cierta capacidad de soporte.

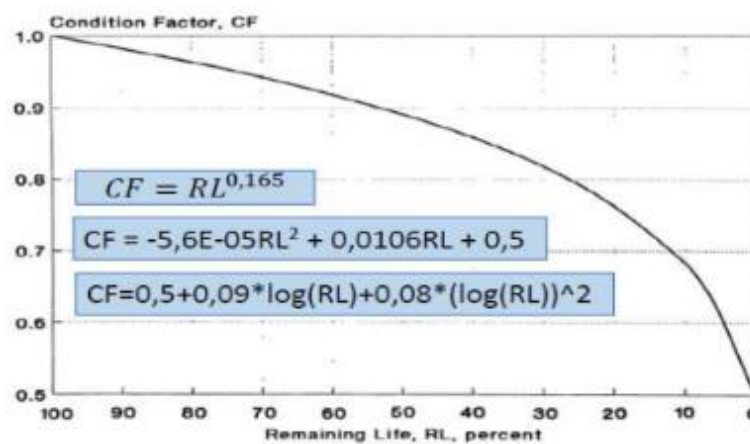
El CF se estima a partir del valor de RL empleando diferentes fórmulas empíricas:

$$CF = RL^{0.165} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$CF = -5.6e^{-5} \cdot RL^2 + 0.0106 \cdot RL + 0.5 \quad \text{Ecuación 35}$$

$$CF = 0.5 + 0.09 \log_{10}(RL) + 0.08(\log_{10}(RL))^2 \quad \text{Ecuación 36}$$

Ilustración 31
Factor de condición, CF



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Generalmente, CF adopta valores entre 0.7 y 1.0. Cuando RL es alto, el CF se aproxima a 1, lo cual implica que la estructura actual conserva una buena parte de su capacidad.

4.20.3. Número Estructural Efectivo (SN_{eff})

El número estructural efectivo representa el aporte estructural real del pavimento existente al momento de ser evaluado. Este valor resulta esencial para determinar cuánto de la estructura actual puede aprovecharse y cuánto debe ser reemplazado o reforzado.

$$SN_{eff} = CF \cdot SN_{original} \quad \text{Ecuación 37}$$

Sin embargo, al disponer de información más detallada sobre las capas existentes (espesor, tipo de material, condiciones de drenaje), puede utilizarse la siguiente relación directa:

$$SN_{eff} = \sum (a_i \cdot m_i \cdot d_i) \quad \text{Ecuación 38}$$

En esta expresión:

- a_i : coeficiente estructural del material de la capa i ,
- m_i : factor de drenaje correspondiente a la capa i ,
- d_i : espesor de la capa i en pulgadas.

4.20.4. Número Estructural Remanente (SN_{ol})

Empleado para calcular el espesor adicional de refuerzo necesario, sobre todo cuando se agregan capas nuevas como mezclas asfálticas.

La fórmula empleada es la siguiente:

$$D_{refuerzo} = \frac{SN_f - SN_{eff}}{a_{nuevo}}$$

Ecuación 39

Donde:

- SN_f : número estructural requerido para el nuevo período de diseño,
- SN_{eff} : número estructural efectivo del pavimento existente,
- a_{nuevo} : coeficiente estructural del material que se va a colocar como refuerzo

Este valor, calculado inicialmente en pulgadas, suele ajustarse posteriormente a espesores normalizados y factibles de colocar en obra

4.21. Consideraciones Finales

El diseño de pavimentos no debe entenderse como una simple asignación de espesores, sino como un proceso integral que combina conocimiento geotécnico, tránsito proyectado, materiales, condiciones climáticas y criterios probabilísticos. La correcta interpretación de estos factores, acompañada de un control riguroso durante la etapa de construcción, garantiza no solo la durabilidad del pavimento, sino también una experiencia de tránsito segura, eficiente y económica para los usuarios.

De esta forma, la estructura del pavimento se convierte en un reflejo del equilibrio entre ciencia, ingeniería y gestión pública, orientado hacia el desarrollo sostenible de la infraestructura vial.

5. Marco Metodológico

La presente sección detalla de manera minuciosa el proceso de investigación y las fases ejecutadas para alcanzar los objetivos planteados en este estudio, que culmina con una propuesta técnica de rehabilitación de pavimento flexible. Se describen los métodos, técnicas, instrumentos y procedimientos adoptados, asegurando la replicabilidad y la validez de los resultados obtenidos.

5.1. Tipo y Diseño de Investigación

El enfoque metodológico de esta investigación se sustenta en una aproximación que combina elementos de la investigación aplicada con un diseño no experimental de tipo descriptivo-propositivo, abordando el problema desde una perspectiva ingenieril rigurosa.

5.1.1. Tipo de Investigación

- **Aplicada:** La naturaleza intrínseca de este estudio es la de investigación aplicada, dado que busca la resolución de un problema concreto y tangible: el deterioro funcional y estructural de diversos tramos de pavimento flexible en la vía El Arenal – Puente de Lourdes. El propósito fundamental es generar conocimiento y soluciones prácticas que puedan ser directamente implementadas para mejorar la infraestructura vial. Se parte de un diagnóstico exhaustivo de una situación real para culminar en una propuesta de intervención ingenieril que responde a una necesidad identificada.
- **Descriptiva-Propositiva:** El presente estudio adopta una tipología descriptiva en su fase inicial, donde se caracteriza, cuantifica y clasifica el estado actual del pavimento, incluyendo sus fallas superficiales, capacidad estructural remanente y propiedades de los materiales existentes. No se busca manipular variables, sino observar y documentar las condiciones prevalecientes. Posteriormente, el estudio transita hacia una fase propositiva, en la cual, fundamentado en el diagnóstico obtenido y en los principios de la ingeniería de pavimentos, se formula y diseña una propuesta técnica detallada para la rehabilitación del tramo vial. Esta propuesta no es una simple sugerencia, sino un diseño ingenieril basado en cálculos y normativas específicas.

5.1.2. Diseño de Investigación

- **No Experimental - Transversal:** La investigación se clasifica como no experimental al no implicar la manipulación intencional de variables o la creación de grupos de

control. En su lugar, se observan y analizan las características existentes del pavimento en su entorno natural. Es un diseño transversal debido a que la recolección de los datos de campo y la evaluación del estado actual del pavimento se llevaron a cabo en un único punto en el tiempo (el periodo definido entre el mes de marzo y abril del presente año). No se realiza seguimiento a lo largo del tiempo para observar la evolución del deterioro, sino que se diagnostica una condición ya presente.

5.2. Enfoque Metodológico

El enfoque metodológico predominante en este estudio es de naturaleza cuantitativa, complementado por elementos cualitativos en la interpretación y contextualización.

5.2.1. Enfoque Cuantitativo

Implica la recolección, procesamiento y análisis de datos numéricos y medibles. La información obtenida a través de inspecciones detalladas, ensayos de laboratorio y mediciones instrumentales se transforma en datos cuantificables que permiten una evaluación objetiva y reproducible del estado del pavimento. Este enfoque es indispensable en ingeniería civil para:

- **Cuantificación de Fallas:** Medición precisa de la extensión, densidad y severidad de las fallas del pavimento (área de baches en m², longitud de grietas en metros lineales, profundidad de ahuellamientos en mm).
- **Evaluación Estructural:** Obtención de módulos elásticos de las capas (en MPa o psi) y valores CBR (en porcentaje) a partir de ensayos de laboratorio.
- **Parámetros de Diseño:** Utilización de variables numéricas para el diseño de las capas de rehabilitación (espesores en cm, volumen de tráfico en ejes equivalentes).
- **Análisis Comparativos:** Por medio de estadísticas descriptivas (promedios, desviaciones estándar) para caracterizar los datos y compararlos con umbrales

normativos o criterios de diseño. La objetividad y la posibilidad de generalizar los hallazgos a condiciones similares de pavimento son características clave de este enfoque.

5.2.2. Justificación del Enfoque

La elección de un enfoque predominantemente cuantitativo es inherente a la disciplina de la ingeniería de pavimentos. La evaluación del estado de una vía, la identificación de sus deficiencias estructurales y funcionales, y el diseño de soluciones de rehabilitación requieren de mediciones precisas, datos verificables y cálculos ingenieriles basados en modelos matemáticos y empíricos. Esto permite fundamentar la propuesta de manera técnica y económica, garantizando la optimización de los recursos y la durabilidad de la solución. Sin datos cuantitativos sólidos, cualquier propuesta de rehabilitación carecería de sustento técnico y sería meramente subjetiva.

5.3. Ámbito del Estudio

La delimitación espacial y temporal del estudio es crucial para establecer el alcance y la aplicabilidad de los resultados.

5.3.1. Temporalidad del Estudio:

La fase de recolección de datos primarios, específicamente el levantamiento de campo se ha llevado a cabo el sábado 5 de abril de 2025. Esta fecha se seleccionó estratégicamente por coincidir con condiciones climáticas óptimas en Cuenca, Azuay. El inicio de la temporada seca en abril garantiza una mayor estabilidad en el tiempo, lo cual fue fundamental para asegurar la precisión de las mediciones realizadas exclusivamente con el equipo RTK a lo largo del tramo desde El Arenal de Ricaurte hasta el puente de Lourdes, específicamente en la entrada a la Escombrera San Pedro.

En cuanto a los datos secundarios, la información sobre el flujo vehicular se empezó a recopilar a finales de marzo de 2025 mediante la instalación de una cámara de vigilancia en la zona. Esta cámara registra continuamente el tráfico en el horario de 7:00 a.m. a 7:00 p.m., proporcionando datos esenciales para el análisis de la vida útil del pavimento.

5.3.2. Características Generales del Tramo Vial:

- **Clasificación Vial:** La vía analizada se clasifica como una vía colectora debido a que cumple la función de recoger el tránsito proveniente de sectores rurales y residenciales, como Llacao y Ricaurte, y conducirlo hacia vías de mayor jerarquía que conectan con el centro urbano de Cuenca. Este tipo de vía permite ordenar y canalizar el flujo vehicular, facilitando el acceso a servicios, zonas industriales y áreas de disposición final como la escombrera San Pedro. Su trazado, que va desde el Arenal de Ricaurte hasta el puente de Lourdes, responde a una necesidad de conexión eficiente entre comunidades locales y ejes principales del sistema vial cantonal.
- **Dimensiones:** tramo vial de 2 kilómetros, conformado por dos carriles, un carril por cada sentido. Ancho de la calzada variable en diferentes tramos de la vía.
- **Condiciones Climáticas:** La parroquia Ricaurte, ubicada en el cantón Cuenca, presenta un clima templado-húmedo típico de los Andes ecuatorianos, influenciado por su altitud promedio cercana a los 2.550 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con los registros de la estación meteorológica Ricaurte (código M0426), administrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), la temperatura media anual en la zona se mantiene alrededor de los 16,3 °C, con variaciones moderadas a lo largo del año. Los meses más cálidos presentan temperaturas medias que alcanzan hasta los 17,1 °C, mientras que los más fríos, como julio, descienden a promedios de 14,9 °C, sin que se presenten fenómenos de heladas o deshielos. En cuanto a la precipitación,

Ricaurte registra una media anual aproximada de 900 milímetros, distribuida principalmente entre los meses de octubre y abril, que conforman la temporada lluviosa. Los meses más secos corresponden al período de mayo a septiembre. En total, se contabilizan entre 110 y 115 días con precipitaciones significativas al año, según el umbral de 0,1 mm utilizado por el INAMHI para definir un día lluvioso.

5.4. Métodos de Recolección de Datos

La calidad de la propuesta de rehabilitación depende directamente de la rigurosidad en la recolección de datos. Se emplearán métodos primarios y secundarios para obtener una visión integral del estado del pavimento.

5.4.1. Recopilación de Información Secundaria:

5.4.1.1. Revisión Documental y Bibliográfica

Se ha realizado una revisión meticulosa de diversas fuentes académicas y técnicas, incluyendo bases de datos especializadas, publicaciones científicas, tesis previas, libros y manuales técnicos. Esta consulta se ha centrado en disciplinas como la ingeniería de pavimentos, rehabilitación vial, propiedades de los materiales de construcción y la normativa vigente aplicable. El propósito de esta revisión ha sido doble: sentar las bases teóricas necesarias para el diagnóstico y proporcionar el marco normativo que guiará el diseño de la rehabilitación.

Las fuentes consultadas abarcan un espectro que garantiza la pertinencia y solidez académica:

- Normativa Ecuatoriana: Se recurre a las disposiciones establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), particularmente en sus apartados relacionados

con infraestructura vial y diseño de pavimentos. De manera complementaria, se consultaron las Normas Ecuatorianas Viales (NEVI-12), emitidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), así como las guías metodológicas correspondientes. Estos instrumentos normativos son fundamentales para garantizar que las soluciones de diseño propuestas cumplan con los estándares técnicos exigidos y se enmarquen en el marco legal vigente en el territorio ecuatoriano.

- **Manuales del MTO:** Se ha empleado específicamente el Manual de Carreteras del MTO, Volumen 3: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (EG-2001). Este documento constituye una herramienta clave para la correcta interpretación de las especificaciones técnicas de materiales y procedimientos constructivos que rigen tanto la ejecución de nuevas obras como la intervención y el mantenimiento de la infraestructura vial existente.
- **Estándares Internacionales:** Con el fin de complementar el enfoque metodológico y armonizarlo con las mejores prácticas internacionales en ingeniería vial, se recurrió a las directrices establecidas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). En particular, se empleó como referencia el AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993), reconocido mundialmente por su rigor técnico y por proporcionar metodologías avanzadas para el diseño estructural de pavimentos flexibles y rígidos, así como herramientas para la evaluación de su comportamiento a largo plazo.
- **Obras Fundamentales en Ingeniería de Pavimentos:** La profundización en los principios fundamentales del diseño y el comportamiento de los pavimentos se logró mediante la consulta de textos seminales y de referencia en la disciplina. Autores como Huang y Yoder & Witczak son pilares en este campo, proporcionando los conocimientos

teóricos esenciales sobre la mecánica de pavimentos, los factores que inducen su deterioro y las metodologías consolidadas para el análisis y diseño de soluciones efectivas.

5.4.1.2. Información de Proyecto y Mantenimiento Existente:

Se emprendió una búsqueda activa y estratégica de la información histórica y técnica específica relacionada con el tramo vial en estudio. Este componente es crítico para la reconstrucción de la trayectoria constructiva y operativa de la vía, lo cual, a su vez, facilita la identificación de los factores preexistentes que han contribuido al deterioro observable del pavimento.

Datos de Conteo Vehicular o Estudios de Tráfico Históricos: Se intentó acceder a estudios de tráfico precedentes, llevados a cabo por el GAD Municipal de Cuenca o el MTOP en zonas adyacentes o directamente sobre el tramo de estudio. Si bien los datos de tráfico más recientes se recopilan mediante la implementación de una cámara de vigilancia específica para esta investigación, la información histórica sobre el volumen y la tipología vehicular es crucial para la estimación de las cargas de diseño a las que la vía ha estado expuesta desde su construcción.

5.5. Instrumentos y Herramientas

Se han empleado diversidad de instrumentos y herramientas, tanto de campo como de laboratorio y software, para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos recolectados y analizados.

5.5.1. Para el Trabajo de Campo:

- **Cinta métrica:** Este instrumento de medición directa resulta fundamental para cuantificar con exactitud las dimensiones de fenómenos visibles sobre la superficie del

pavimento. A través de su uso se determina la longitud, ancho o área de afectaciones tales como fisuras, desprendimientos o grietas, permitiendo registrar estos datos con el nivel de detalle requerido para los análisis posteriores.

- **Regla de 3 metros y cuña calibrada:** Herramientas empleadas para evaluar la regularidad superficial del pavimento. La regla, al ser colocada longitudinal o transversalmente sobre la calzada, ayuda a detectar variaciones en la superficie como ondulaciones o huellas de rodadura. Por su parte, la cuña calibrada permite medir con precisión la profundidad de dichas irregularidades, lo cual proporciona indicios sobre posibles fallas estructurales o asentamientos diferenciales.
- **GPS de mano:** Aunque su precisión es menor comparada con la del sistema RTK, el GPS portátil resulta útil para tareas complementarias como la localización general de puntos de muestreo, inspecciones rápidas o navegación en campo. Su uso es conveniente cuando no se requiere un nivel de precisión tan elevado, proporcionando datos métricos adecuados para el trabajo exploratorio preliminar.
- **Picos y palas:** Herramientas manuales simples pero esenciales, empleadas para excavar calicatas, retirar el material superficial o acceder a las capas estructurales del pavimento (carpeta, base, subbase) y al suelo de subrasante. Además, permiten recolectar muestras representativas para su posterior análisis en laboratorio, facilitando una inspección visual inicial de las condiciones del terreno.
- **Bolsas de plástico de alta resistencia y etiquetas de campo:** Estos insumos permiten un manejo técnico y ordenado de las muestras recolectadas. Las bolsas, al ser resistentes y estancas, garantizan la conservación del material hasta su análisis. Las etiquetas, por su parte, se utilizan para identificar de manera clara cada muestra, registrando datos

relevantes como su ubicación geográfica, profundidad de extracción y características preliminares, lo cual asegura la trazabilidad y el correcto procesamiento en laboratorio.

- **Equipo RTK (Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real mediante GNSS):** Este instrumento constituye una herramienta clave dentro del levantamiento topográfico de precisión, ya que permite obtener coordenadas geográficas con márgenes de error mínimos. A diferencia de los receptores GPS convencionales, el sistema RTK opera con datos de corrección provenientes de una estación base o de redes activas como la Red Geodésica EPN del Instituto Geográfico Militar del Ecuador. Estas correcciones reducen los errores generados por la atmósfera o la geometría satelital, permitiendo registrar ubicaciones con exactitud centimétrica. Su aplicación es esencial para delimitar con precisión elementos de interés como calicatas, tramos de prueba o fallas detectadas en la vía, así como para definir con exactitud los perfiles longitudinales y transversales y asegurar la correcta georreferenciación de las muestras extraídas.

5.5.2. Para Ensayos de Laboratorio:

Para el desarrollo de los ensayos de caracterización de suelos realizados en el laboratorio, se emplearon equipos certificados y procedimientos normados, conforme a los métodos establecidos por la ASTM. En primer lugar, para el análisis granulométrico se utilizaron tamices normalizados con aberturas que van desde 75 mm hasta 0.075 mm (tamiz No. 200), organizados de acuerdo con la serie especificada en la norma ASTM E11. Este ensayo forma parte del proceso de clasificación de suelos según el sistema unificado (USCS), tal como lo indica la norma ASTM D2487, siendo indispensable para establecer la distribución de tamaños de partícula. Los tamices fueron montados en un agitador mecánico que garantiza un movimiento uniforme y continuo durante el tamizado. Previamente, las muestras fueron

secadas en horno a una temperatura controlada entre 105 y 110 °C y luego pesadas en una balanza electrónica de precisión mínima de 0.01 g. El uso de charolas metálicas permitió el manejo adecuado del material durante su preparación y procesamiento.

En el caso de los Límites de Atterberg, definidos por la norma ASTM D4318, se utilizaron métodos estandarizados para la determinación del límite líquido y el límite plástico. Para el límite líquido se empleó el dispositivo de Casagrande, consistente en un cuenco metálico montado sobre una plataforma móvil, el cual permite aplicar una serie de caídas de 10 mm de altura, controladas mediante un contador mecánico. La muestra se preparó en una superficie rígida y se abrió una ranura con espátula metálica, evaluando la cantidad de golpes necesarios para el cierre de la ranura. Para el límite plástico, el suelo se moldeó manualmente sobre una superficie lisa hasta formar rollos de aproximadamente 3 mm de diámetro, observando la aparición de fisuras como criterio de evaluación. En ambos casos, las muestras se almacenaron en cápsulas metálicas para su posterior secado en horno y determinación de contenido de humedad con balanza de precisión. Estos límites son fundamentales para establecer la plasticidad del suelo, un parámetro clave en la clasificación y en la estimación de su comportamiento mecánico.

El ensayo de compactación Proctor Modificado se ejecutó conforme a la norma ASTM D1557, específicamente bajo el Método B, el cual contempla el uso de un molde de 152 mm (6 pulgadas) de diámetro y una altura de 127 mm, con un volumen aproximado de 2.7 litros. El suelo se compactó en tres capas, aplicando 56 golpes por capa mediante un martillo estándar de 4.54 kg, que cae desde una altura de 457 mm. Este método permite evaluar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo del suelo, condiciones fundamentales para el diseño estructural del pavimento. La muestra fue extraída del molde utilizando un extractor mecánico y se niveló con regla metálica. Posteriormente, parte del material fue colocado en cápsulas para determinar su humedad por secado en horno, siguiendo el procedimiento estándar. La elección

del Método B se justifica por el tipo de suelo y la cantidad de muestra disponible, así como por la necesidad de trabajar con volúmenes mayores que permitan una mejor representación del material.

En cuanto al ensayo CBR (California Bearing Ratio), realizado según la norma ASTM D1883, se utilizó un molde cilíndrico de 6 pulgadas de diámetro, equipado con collar de extensión y base perforada. El suelo se compactó siguiendo los parámetros del Proctor Modificado y, posteriormente, fue sometido a una etapa de remojo en agua durante 96 horas para evaluar el comportamiento del suelo en condición saturada, replicando condiciones de campo adversas. Una vez transcurrido el tiempo de inmersión, se procedió a realizar la prueba de penetración utilizando una prensa de carga que aplicó el esfuerzo mediante un pistón metálico de 1.954 pulgadas de diámetro, a una velocidad constante de 1.27 mm/min. La resistencia ofrecida por el suelo fue medida mediante un reloj comparador de precisión montado sobre un soporte rígido. Este ensayo proporciona un valor empírico que refleja la capacidad de soporte del suelo, siendo de especial importancia en el diseño de capas de subrasante y subbase.

5.5.3. Software y Herramientas Informáticas:

- **Hoja de Cálculo:** empleada para la organización, tabulación, procesamiento preliminar de datos y realización de cálculos estadísticos básicos.
- **Software de Dibujo Asistido por Computadora (Civil 3D):** empleado para verificar el diseño actual de la vía e identificar zonas susceptibles de mejora

5.6. Procedimiento

El proceso investigativo se estructuró en fases secuenciales y lógicas, que permitieron avanzar desde la comprensión del problema hasta la formulación de una solución técnica.

- **Fase 1: Evaluación del Estado Actual del Pavimento y Tránsito Vehicular (Meses 1 y 2)**

Durante las primeras semanas, se estableció el Índice de Condición del Pavimento (PCI), con el propósito de identificar las áreas más deterioradas del tramo mediante inspecciones visuales detalladas. El procedimiento incluyó la división de la vía en secciones de observación y el registro de cada tipo de falla superficial, considerando su extensión, severidad y frecuencia. Esta información fue sistematizada en fichas de campo y acompañada de evidencia fotográfica y georreferenciada.

Paralelamente, se realizó la evaluación del tránsito vehicular, a través de conteos y análisis de tipo, volumen y comportamiento del flujo. Esta caracterización sirvió como base para proyectar el tránsito futuro en términos de Ejes Equivalentes de Carga (ESALs), en concordancia con las metodologías del MTOP y la norma AASHTO 1993.

- **Fase 2: Análisis Técnico y Diseño de Intervención (Meses 2 y 3)**

Con los datos de campo ya sistematizados, se procedió al análisis estructural y funcional del pavimento, considerando también los resultados de laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, Proctor Modificado – método B, y CBR). Esta etapa permitió interpretar las propiedades del suelo y su capacidad portante, así como inferir las causas principales del deterioro presente en la vía.

Sobre la base de este diagnóstico, se diseñó una propuesta técnica de intervención que prioriza la reutilización de las capas existentes, el respeto al trazado original y el cumplimiento de la normativa vigente. Para ello, se aplicaron criterios de diseño estructural de pavimentos flexibles, tomando en cuenta el volumen de tránsito proyectado, el nivel de servicio esperado y los parámetros mecánicos de los materiales disponibles.

- **Fase 3: Revisión Técnica y Validación del Informe (Mes 3)**

Durante esta etapa, se efectuó una revisión detallada del informe técnico, con énfasis en la coherencia de los resultados, la justificación de las soluciones propuestas y la alineación con los objetivos generales del estudio. Se introdujeron las correcciones necesarias para asegurar la calidad del documento final.

- **Fase 4: Difusión y Entrega de Resultados (Mes 4)**

En la última fase, se adaptó el contenido de la investigación al formato de artículo científico, con miras a su futura publicación en una revista especializada o presentación en eventos académicos. Finalmente, se elaboró y entregó el informe final del proyecto, con todos los anexos, cálculos, planos y resultados que respaldan las conclusiones obtenidas.

5.7. Limitaciones

Toda investigación, por rigurosa que sea, posee inherentes limitaciones que deben ser claramente expuestas para contextualizar los resultados y la propuesta.

- **Acceso a Información Histórica:** La falta de disponibilidad completa de planos de diseño original, registros históricos de tráfico detallados (ESALs reales) o informes de mantenimiento previos de la vía en las entidades pertinentes pudo haber requerido la utilización de datos estimados o extrapolaciones basadas en la información disponible y asunciones ingenieriles justificadas.
 - **Alcance Geográfico del Estudio:** Los hallazgos y la propuesta de rehabilitación son directamente aplicables a este tramo y no son necesariamente generalizables a otras secciones de la misma vía o a otras vías en la ciudad de Cuenca o el país, a menos que compartan características de deterioro, condiciones estructurales y ambientales muy similares.

- **Variabilidad de Materiales y Suelo:** A pesar de la realización de los ensayos de laboratorio correspondientes, la variabilidad inherente de las propiedades de los suelos y los materiales de las capas del pavimento a lo largo de un tramo continuo puede no haber sido capturada en su totalidad por el número limitado de puntos de muestreo o ensayo. Se asumió una homogeneidad razonable dentro de cada sección analizada.
- **Condiciones Climáticas durante la Recolección:** Las condiciones climáticas imperantes durante la fase de campo pudieron influir marginalmente en la apreciación visual de ciertas fallas o en la humedad natural de las muestras, aunque se tomaron las precauciones necesarias para minimizar su impacto.
- **Estimación de Tráfico Futuro:** La proyección del tráfico futuro en términos de ESALs siempre conlleva un grado de incertidumbre. Aunque se utilizaron metodologías reconocidas y datos disponibles, eventos no previstos (desarrollo urbano acelerado en la zona, cambios en rutas de transporte, nuevas políticas de movilidad) podrían alterar las proyecciones iniciales y, consecuentemente, la vida útil esperada del diseño.

5.8. Materiales Estudio PCI

5.8.1. Cinta métrica

La cinta métrica fue indispensable para medir manualmente las abscisas a lo largo del pavimento. Gracias a su flexibilidad y precisión, permitió ubicar con exactitud los puntos de inicio y fin de cada tramo evaluado, facilitando así la organización y registro de los datos recolectados.

5.8.2. Flexómetro

El flexómetro se utilizó para medir ranuras, longitudes y áreas durante la evaluación del Índice de Condición de Pavimento (PCI). Su diseño retráctil y su facilidad de manejo

permitieron obtener medidas detalladas y precisas de las dimensiones de las patologías, lo que resultó fundamental para la correcta clasificación y cuantificación de los daños.

5.8.3. Libreta de campo

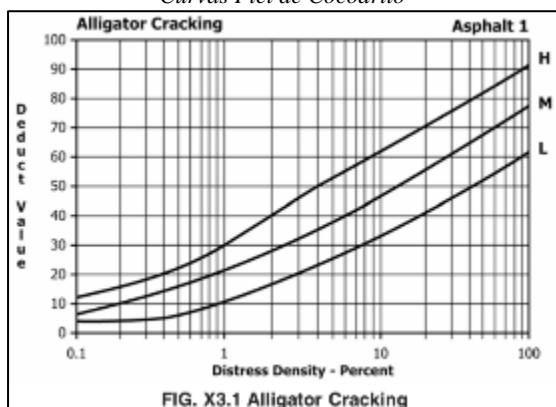
La libreta de campo fue el soporte donde se anotaron todas las observaciones relevantes: desde la identificación de patologías hasta las medidas, severidades y abscisas correspondientes. Este registro manual permitió llevar un control ordenado y detallado de la información recolectada en sitio, asegurando que ningún dato importante quedara fuera del análisis.

5.8.4. Ábacos

5.8.4.1. Curvas para Pavimentos Asfálticos

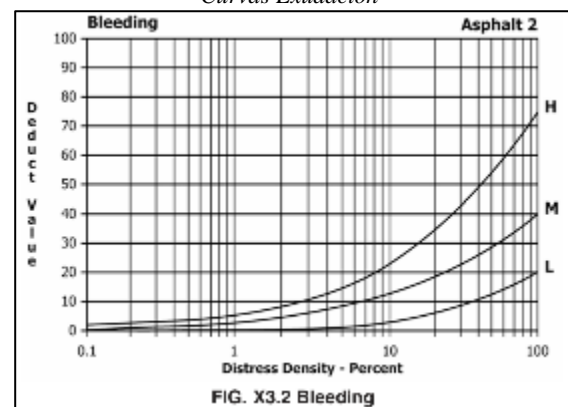
Para la interpretación de los resultados y la deducción de valores en la evaluación del PCI, se utilizaron ábacos específicos. En particular, se emplearon las curvas de pavimento asfáltico en el sistema métrico, extraídas de la norma correspondiente. Estas curvas facilitaron la conversión de los datos de campo a valores representativos de la condición del pavimento, asegurando que los resultados estuvieran alineados con los estándares técnicos y adaptados al sistema de unidades en que vamos a trabajar.

Ilustración 32
Curvas Piel de Cocodrilo



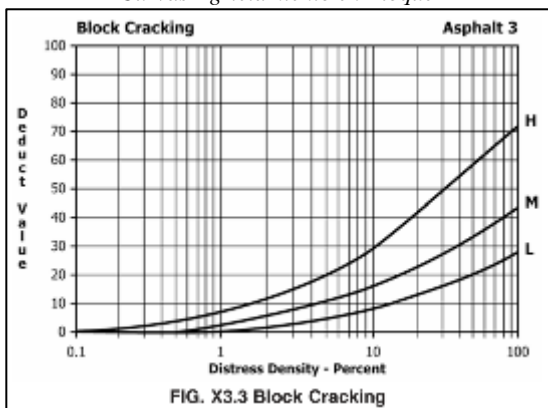
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 33
Curvas Exudación



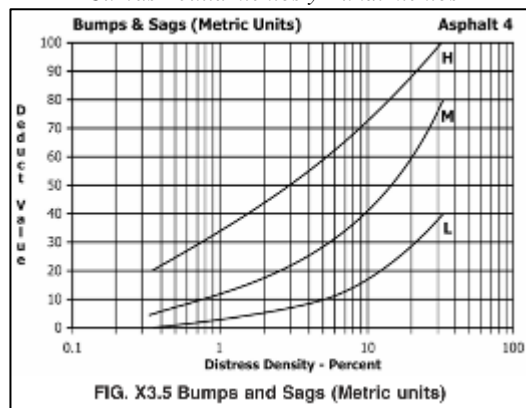
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 34
Curvas Agrietamiento en Bloque



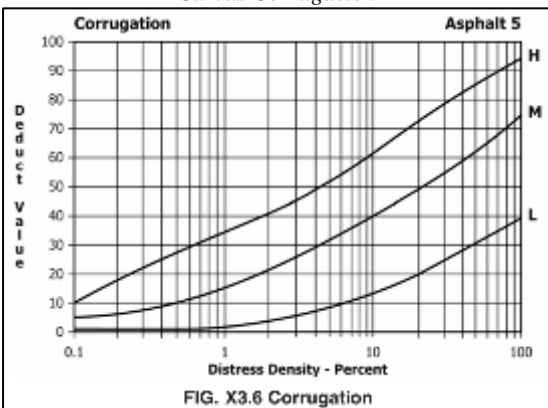
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 35
Curvas Abultamientos y Hundimientos



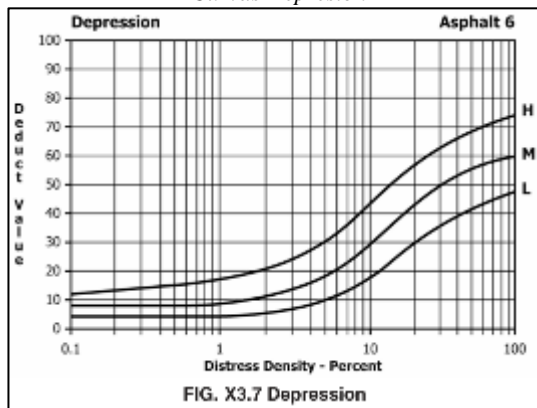
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 36
Curvas Corrugación



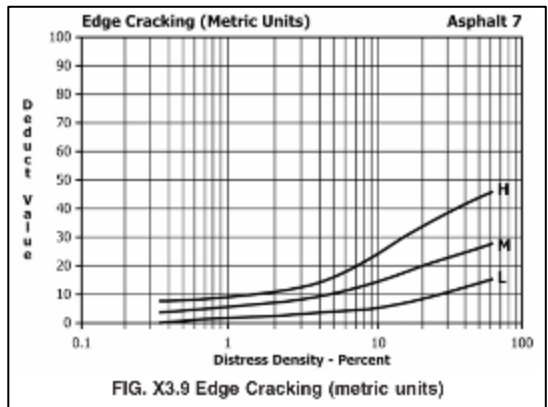
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 37
Curvas Depresión



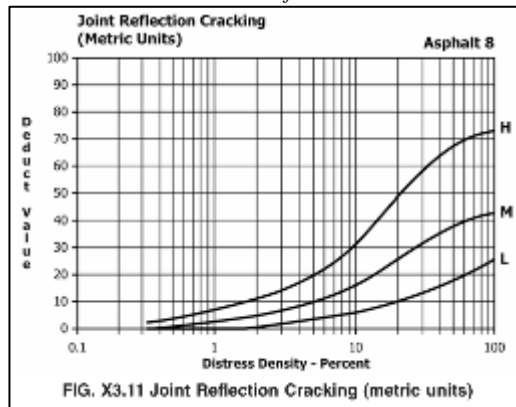
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 38
Curvas Grieta de Borde



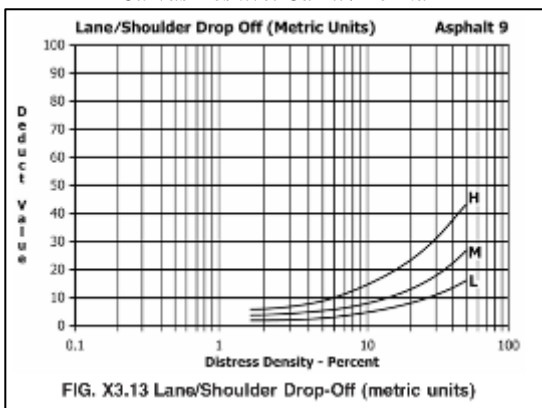
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 39
Curvas Grieta de Reflexión De Junta



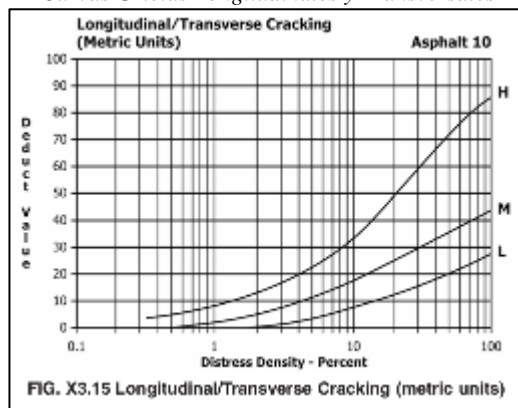
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 40
Curvas Desnivel Carril / Berma



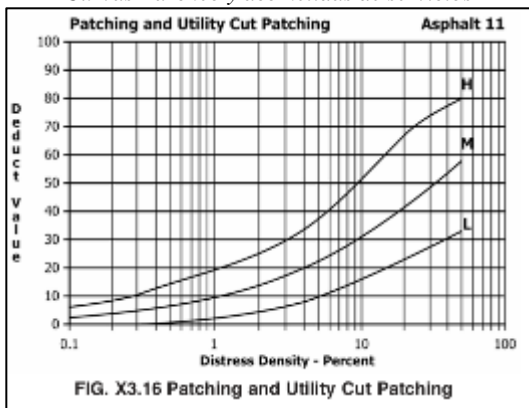
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 41
Curvas Grietas Longitudinales y Transversales



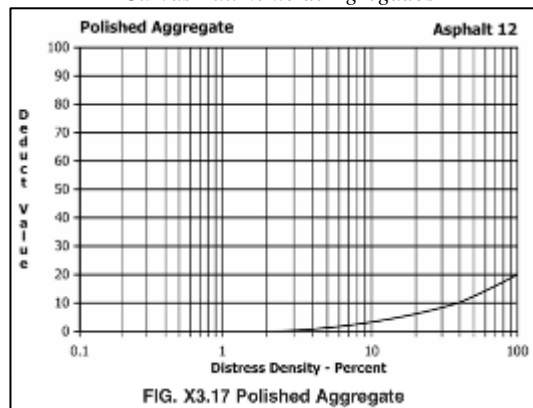
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 42
Curvas Parcheo y acometidas de servicios



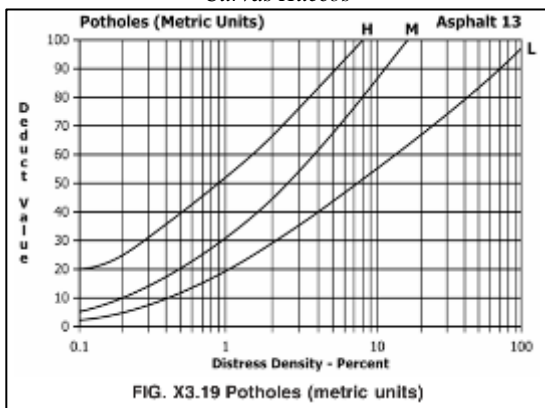
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 43
Curvas Pulimento de Agregados



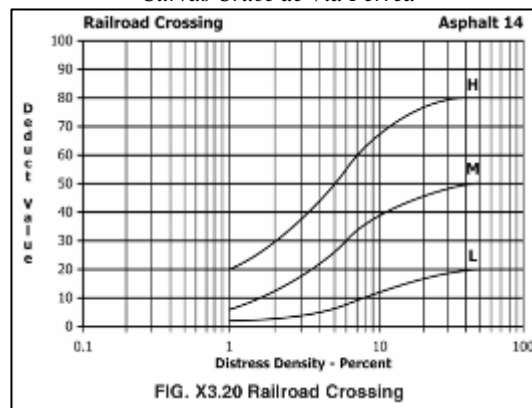
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 44
Curvas Huecos



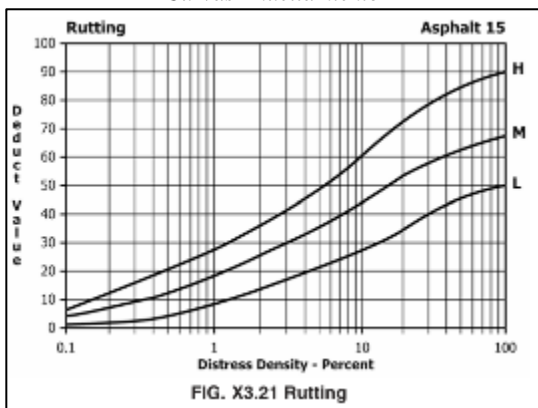
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 45
Curvas Cruce de Vía Férrea



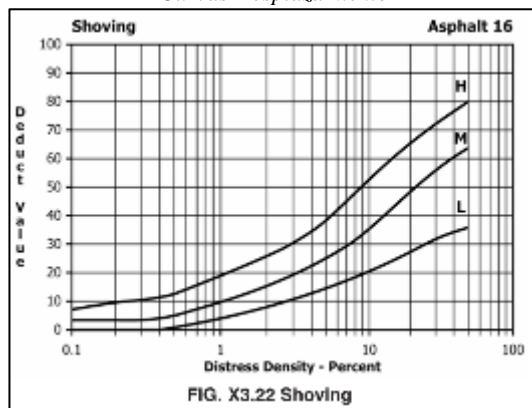
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 46
Curvas Ahuellamiento



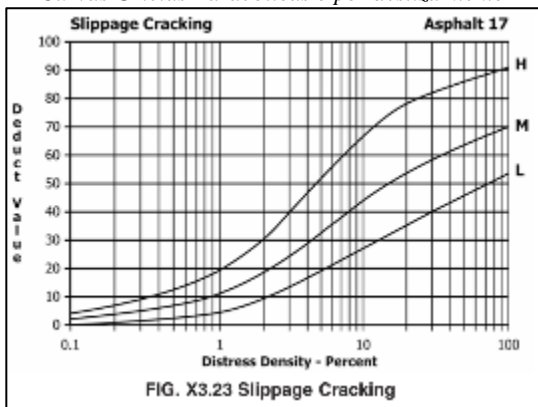
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 47
Curvas Desplazamiento



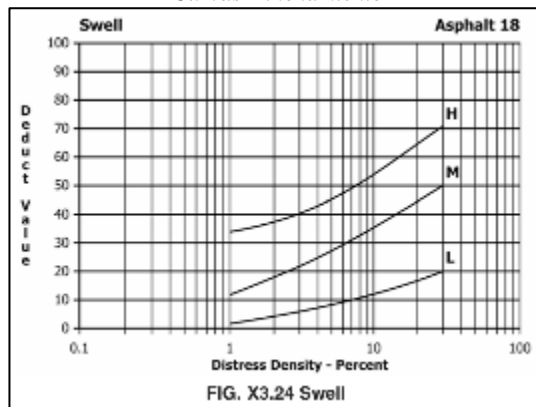
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 48
Curvas Grietas Parabólicas o por deslizamiento



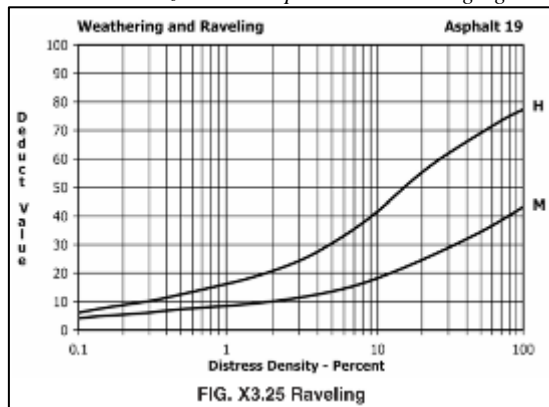
Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 49
Curvas Hinchamiento



Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 50
Curvas Meteorización / Desprendimiento de Agregados



Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

Ilustración 51
Valor Deducido Total

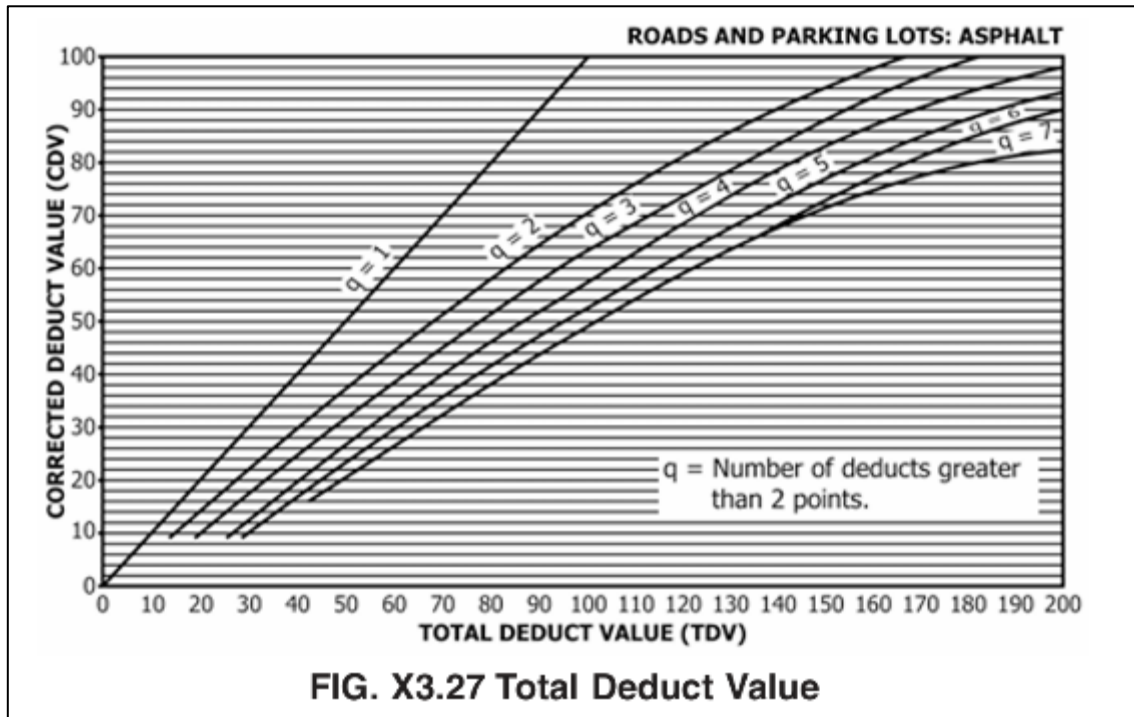


FIG. X3.27 Total Deduct Value

Fuente: extraída de (ASTM-D6433, 2011).

5.9. Estudio de tráfico

Para el estudio de tráfico, se optó por un método manual, por lo que, permitió observar directamente el comportamiento vehicular en la zona de estudio. Este enfoque brinda una visión realista y detallada del flujo de vehículos. Para su realización, se diseñó un formato específico para el conteo vehicular, el cual facilita la recolección sistemática y ordenada de datos como el número de vehículos, clasificación, hora y direcciones de circulación. Este formato asegura que la información sea clara y completa, permitiendo un análisis preciso del flujo vehicular y sirviendo de base para la planificación, diseño y mejora de la infraestructura vial.

Ilustración 52
Formato conteo vehicular

FORMATO Nº 1

FORMATO CONTEO DIARIO - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO

TRAMO DE LA CARRETERA				DIA Y FECHA			
SENTIDO				PRIMER SENTIDO			
UBICACIÓN				ARENAL- LLACAO			

HORA	AUTOS	CAMIONETAS		BUS		CAMION			SEMI TRAILER				VOLQUETAS		TOTAL	
		PICK UP	RURAL	2 E	>=3 E	C2D	C2DA	C2DB	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	V2DB	V3A		
DIAGRA. VEH.																
7:00 - 7:15																
7:15 - 7:30																
7:30 - 7:45																
7:45 - 8:00																
8:00 - 8:15																
8:15 - 8:30																
8:30 - 8:45																
8:45 - 9:00																
9:00 - 9:15																
9:15 - 9:30																
9:30 - 9:45																
9:45 - 10:00																
10:00 - 10:15																
10:15 - 10:30																
10:30 - 10:45																
10:45 - 11:00																
11:00 - 11:15																
11:15 - 11:30																
11:30 - 11:45																
11:45 - 12:00																
12:00 - 12:15																
12:15 - 12:30																
12:30 - 12:45																
12:45 - 13:00																
13:00 - 13:15																
13:15 - 13:30																
13:30 - 13:45																
13:45 - 14:00																
14:00 - 14:15																
14:15 - 14:30																
14:30 - 14:45																
14:45 - 15:00																
15:00 - 15:15																
15:15 - 15:30																
15:30 - 15:45																
15:45 - 16:00																
16:00 - 16:15																
16:15 - 16:30																
16:30 - 16:45																
16:45 - 17:00																
17:00 - 17:15																
17:15 - 17:30																
17:30 - 17:45																
17:45 - 18:00																
18:00 - 18:15																
18:15 - 18:30																
18:30 - 18:45																
18:45 - 19:00																
TOTAL																

Fuente: Elaboración propia.

5.9.1. Monitoreo

Dado que el estudio de tráfico fue manual, se utilizó una cámara para monitorear el tránsito durante 12 horas diarias a lo largo de 7 días consecutivos, empezando el jueves 13 de marzo hasta el miércoles 19 de marzo del 2025. La cámara se instaló en una ubicación

estratégica, específicamente en la abscisa 0+000 de la vía, esta posición permitió registrar de manera continua y objetiva la cantidad y tipo de vehículos que circulan en ambos sentidos de la vía Arenal – Puente de Lourdes.

Ilustración 53
Vista de cámara del conteo vehicular



Fuente: Elaboración propia.

5.10. Diseño de pavimento flexible

Se logra caracterizar la vía de estudio y se la define como una vía colectora (influyendo directamente en el parámetro pt) conformada por dos carriles, uno en cada dirección.

Tabla 16
Características de la vía

DATOS	
# DIRECCIONES	2
#CARRILES	2
SN	3
pt	2.25

1/dirección

Fuente: Elaboración propia

Se definen los factores de distribución direccional (FD) y de distribución por carril (FL) en base al número de carriles en ambas direcciones y en base al número de carriles en cada dirección respectivamente, así empleando los siguientes valores:

- FD correspondiente a 2 carriles en ambas direcciones = 50% de vehículos pesados en el carril de diseño.
- FL correspondiente a un carril en cada dirección = 100% de ESAL en el carril de diseño

Se emplea la siguiente ecuación para obtener los Factores de proyección correspondientes a cada periodo:

Tabla 17
Tasa de crecimiento Azuay, Cuenca

TASAS DE CRECIMIENTO				
Periodo		Livianos	Buses	Camiones
2020	2025	5.160%	1.960%	4.070%
2025	2030	4.510%	1.720%	3.670%
2030	2035	3.990%	1.510%	3.330%
2035	2040	3.470%	1.300%	2.990%
2040	2045	2.950%	1.090%	2.650%

Fuente: MTOP, Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

$$Fp = \frac{(1 + r)^n - 1}{\ln(1 + r)}$$

Ecuación 40

Tabla 18
Obtención factor de proyección

TASAS DE CRECIMIENTO				
Vehículo	10 años		20 años	
	%	Fp		Fp
Livianos	3.99%	12.24	2.95%	27.13
Buses	1.51%	10.79	1.09%	22.33
Camiones 2DA	3.33%	11.83	2.65%	26.28
Volquetas v2db	3.33%	11.83	2.65%	26.28

Fuente: Elaboración propia

Para proceder con el diseño según el Método AASHTO se requiere determinar la composición vehicular y proyectarla para los periodos de 10 y 20 años empleando *Ecuación 16*.

Tabla 19
Proyección y composición vehicular

Año	2025	2025	Composición	2035	TPD*A%	2045	TPD*A%
Livianos	2743	2743	83.22%	4056	3996	4906	4823
Bus 2DA	98	98	2.97%	114	143	122	172
C2DA	82	82	2.49%	114	119	138	144
C2DB	243	243	7.37%	337	354	410	427
C3-A	130	130	3.94%	180	189	219	229
4-C	0	0	0.00%	0	0	0	0
V2DB	0	0	0.00%	0	0	0	0
V3A	0	0	0.00%	0	0	0	0
TOTAL	3296	3296	100.00%	4802	4802	5796	5796

Fuente: Elaboración propia

El proceso de diseño requiere aplicar criterio para la selección de los valores correspondientes a cada parámetro necesario, siendo así que en base a las recomendaciones de la literatura se establece emplear un valor S_o entre 0.40 y 0.50 (así empleado el valor de 0.45) para pavimentos flexibles y el valor correspondiente al Índice de Serviciabilidad Inicial (P_o) igual a 4.2. De igual manera en base a la literatura se emplean los valores de CBR más bajos para las capas base y subbase, esto como criterio personal debido a la mala condición de la vía y las características del suelo presente en la zona.









Tabla 20
Parámetros iniciales de diseño

PARÁMETROS		
#Carriles	2	
Vía	Colectoras de tránsito	
R (confiabilidad)	85	%
Zr	-1.036433389	
So	0.45	desv. Estandar
Po	4.2	Índice de Serviciabilidad Inicial
Pt	2.25	Índice de Serviciabilidad Final
CBR (%)	30	Subbase
CBR (%)	70	Base granular
Ec (psi)	400000	Mod elástico concreto asfáltico

Fuente: Elaboración propia

Al caracterizar el flujo vehicular se procese con el cálculo del ESAL generando la siguiente tabla con todos los cálculos necesarios:

Tabla 21
Cálculo de ejes equivalentes

TIPO	GRÁFICA	DESCRIPCIÓN	E.E DELANTERO	E.E POSTERIOR	CARGA ANT (TON)	CARGA POST (TON)	E.E CALCULADO
LIVIANOS		Autos, etc	SIMPLE	SIMPLE	1	2.5	ANTERIOR POSTERIOR
BUS		Camión de 2 ejes mediano	SIMPLE	SIMPLE	3	7	ANTERIOR POSTERIOR
C2DA		Camión de 2 ejes mediano	SIMPLE	SIMPLE	3	7	ANTERIOR POSTERIOR
C2DB		Camión de 2 ejes grandes	SIMPLE	SIMPLE	7	11	ANTERIOR POSTERIOR
C3-A		Camión de 3 ejes	SIMPLE	TANDEM	7	20	ANTERIOR POSTERIOR
4-C		Camión de 4 ejes	SIMPLE	TRDEM	7	24	ANTERIOR POSTERIOR
V2DB		Volquetas de dos ejes - 8 m3	SIMPLE	SIMPLE	7	11	ANTERIOR POSTERIOR
V3A		Volquetas de tres ejes 10-14 m3	SIMPLE	TANDEM	7	20	ANTERIOR POSTERIOR

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22
Cálculo de ejes equivalentes

Lx/Ton	Lx/kips	<u>L18 (kips)</u>	L2x	<u>L2s</u>	pt	<u>SN</u>
1	2.2	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
2.5	5.5	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
3	6.6	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
7	15.4	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
3	6.6	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
7	15.4	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
7	15.4	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
11	24.2	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
7	15.4	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
20	44	<u>18</u>	2	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
7	15.4	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
24	52.8	<u>18</u>	3	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
7	15.4	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
11	24.2	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
7	15.4	<u>18</u>	1	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>
20	44	<u>18</u>	2	<u>1</u>	2.25	<u>3</u>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23
Cálculo de ejes equivalentes

G	Bx	G/Bx	B18	G/B18	WX/W18
-0.141	0.403	-0.351	1.221	-0.116	2953.267
-0.141	0.426	-0.332	1.221	-0.116	103.548
-0.141	0.443	-0.319	1.221	-0.116	50.414
-0.141	0.910	-0.155	1.221	-0.116	1.848
-0.141	0.443	-0.319	1.221	-0.116	50.414
-0.141	0.910	-0.155	1.221	-0.116	1.848
-0.141	0.910	-0.155	1.221	-0.116	1.848
-0.141	2.443	-0.058	1.221	-0.116	0.295
-0.141	0.910	-0.155	1.221	-0.116	1.848
-0.141	1.921	-0.074	1.221	-0.116	0.321
-0.141	0.910	-0.155	1.221	-0.116	1.848
-0.141	1.166	-0.121	1.221	-0.116	0.660
-0.141	0.910	-0.155	1.221	-0.116	1.848
-0.141	2.443	-0.058	1.221	-0.116	0.295
-0.141	0.910	-0.155	1.221	-0.116	1.848
-0.141	1.921	-0.074	1.221	-0.116	0.321

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el valor N Flexible para cada periodo se empleó la siguiente ecuación:

$$N = TPD * A\% * F_D * F_L * 365 * \frac{(1 + r)^n - 1}{\ln(1 + r)} * FEg \quad \text{Ecuación 41}$$

Tabla 24
Cálculo de ejes equivalentes

FEC Pav flexibles	FEC TOTAL Pav flexibles	N FLEXIBLE (10 años)	N FLEXIBLE (20 años)	N PERIODO 10 a 20
0.000	0.010	61240.22173	135739.7197	74499.498
0.010				
0.020	0.561	108252.2272	224103.5041	115851.277
0.541				
0.020	0.561	99345.06042	220614.4431	121269.3827
0.541				
0.541	3.926	2060165.035	4574985.006	2514819.971
3.385				
0.541	3.658	1026879.877	2280380.435	1253500.559
3.117				
0.541	2.057	0	0	0
1.516				
0.541	3.926	0	0	0
3.385				
0.541	3.658	0	0	0
3.117				
	TOTAL	3294642.199	7300083.389	4005441.19

Fuente: Elaboración propia

Para establecer el CBR de diseño correspondiente a la subrasante, se emplean los resultados obtenidos correspondientes al número de ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y la tabla presentada a continuación para establecer el percentil correspondiente:

Tabla 25
Cálculo de ejes equivalentes

Periodo de Diseño	W ₁₈ (ejes simples equivalentes)
10 años	3294642.199
20 años	7300083.389

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26
Límites para selección de Resistencia

Número de ejes de 8.2 ton en el carril de diseño	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
$< 10^4$	60
$10^4 - 10^6$	75
$> 10^6$	87.5

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Tabla 27
Resultados ensayos CBR realizado en laboratorio

# Ensayo	Abscisa	CBR calculado
1	0+000	2
2	1+000	3.2
3	2+000	7.4

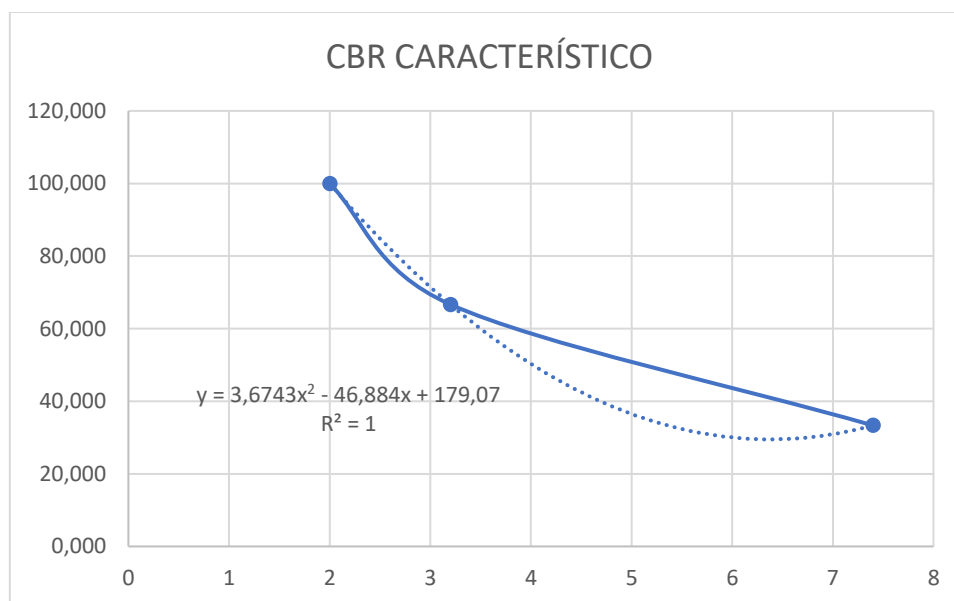
Fuente: Elaboración propia

El cálculo del CBR se ha realizado gracias al análisis de los suelos por medio de calicatas de 1.5 metros de profundidad en intervalos de cada 1000 metros. Los resultados brindados por el laboratorista han sido adjuntados en la sección de anexos.

De esta manera se establece emplear el valor correspondiente al percentil 87.5 y realizando los cálculos correspondientes:

Se procede a realizar un diagrama de dispersión para determinar que ajuste en la línea de tendencia presenta el valor R^2 más cercano a 1, representando un ajuste excelente o adecuado a los datos. En nuestro caso se empleó un ajuste cuadrático.

Tabla 28
CBR Característico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29
Obtención del valor CBR Característico

EMPLEANDO EL MEJOR AJUSTE	
AJUSTE	<u>CUADRÁTICO</u>
X (CBR)	2.407267904
Y	87.5
ECUACIÓN	87.49999507
VALIDACIÓN	-4.92805E-06

Fuente: Elaboración propia

Es así como se logra determinar un valor CBR Característico de la subrasante de 2.407%, lo cual indica que se está trabajando con una subrasante débil.

Debido a que no se han realizado ensayos directos para determinar el valor del Módulo Resiliente, se ha decidido emplear la siguiente expresión en cada una de las capas que no presentan ningún tratamiento previo para su determinación:

$$Mr = 2555 \cdot CBR^{0.64}$$

Ecuación 42

De esta manera se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 30
Obtención Módulos resilientes de los materiales

Mr de los materiales		
CBR (%)	CAPA	Mr (psi)
2.407267904	Subrasante	4482.98
20	Mejoramiento	12900
30	Subbase	14800.00
70	Base	28000.00

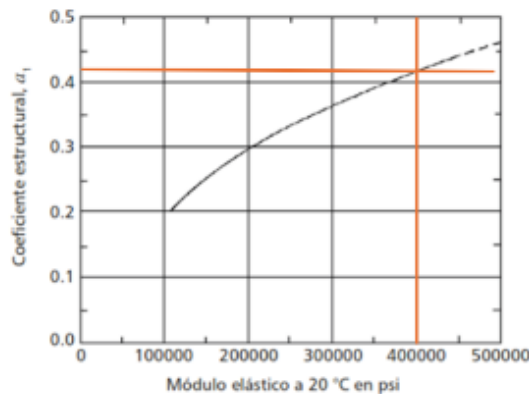
Fuente: Elaboración propia

Como observación adicional se ha optado por emplear una capa adicional de mejoramiento ya que una capa subrasante con un CBR de 2.4% es extremadamente débil, lo que implicaría la necesidad de espesores de pavimento estructurales (subbase, base y asfalto) excesivamente grandes para distribuir las cargas del tráfico y evitar fallas prematuras. Estos espesores voluminosos resultarían en costos de construcción prohibitivos, mayor uso de materiales de alta calidad y un impacto ambiental más significativo.

5.10.1. Determinación de las propiedades mecánicas de los materiales

Para el diseño de la carpeta asfáltica se toma en consideración el módulo elástico de 400,000 psi asociado a una temperatura de 20°C, valor con el cual se obtendrá el valor del coeficiente $a_1 = 0.42$ empleando el ábaco presentado en la imagen a continuación:

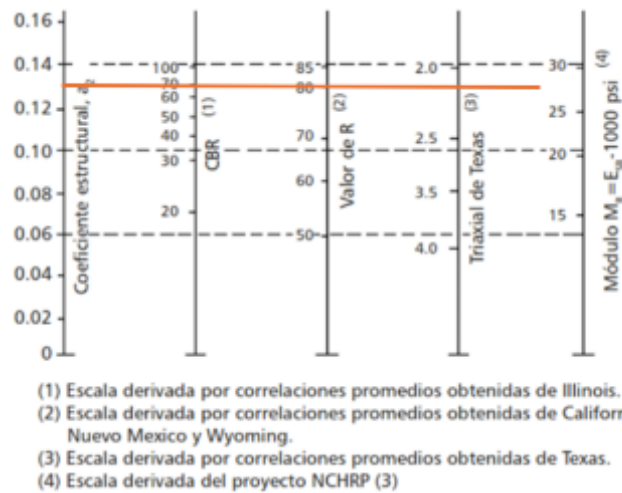
Ilustración 54
Coefficiente estructural al para mezcla de concreto asfáltico



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Para la determinación del coeficiente a_2 correspondiente a la base granular se emplea el ábaco correspondiente empleando el valor de CBR = 70% determinado inicialmente para el diseño. De esa manera se opta por emplear el valor $a_2 = 0.135$

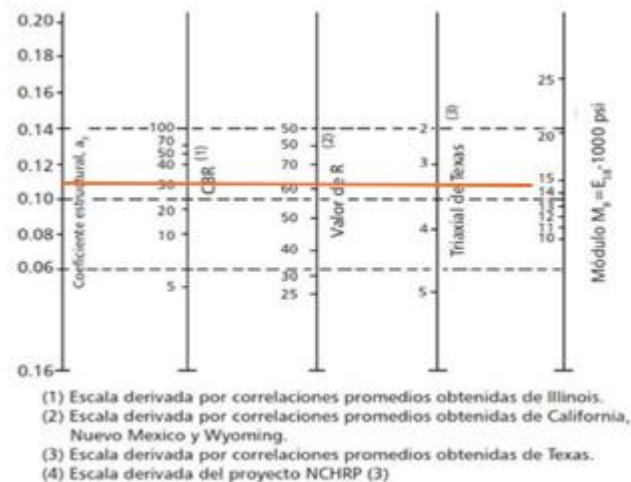
Ilustración 55
Coeficiente estructural a_2 para base granular no tratada



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

De igual manera para la determinación del coeficiente a_3 correspondiente a la subbase granular se emplea el ábaco correspondiente empleando el valor de CBR = 30% determinado inicialmente para el diseño. De esa manera se opta por emplear el valor $a_3 = 0.11$.

Ilustración 56
Coeficiente estructural a_3 para subbase granular no tratada



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

5.10.2.Drenaje

Luego de haber realizado las correspondientes visitas de campo para recolección de datos, se logró constatar el drenaje existente y el estado de estas, considerando que en las diversas secciones donde se localizan las estructuras cumplen con su propósito, catalogándolas como drenaje de calidad buena según la siguiente tabla:

Tabla 31
Calidad de drenaje

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	El agua no evacúa

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

En base a datos proporcionados por diversas fuentes como el INAMHI, se logró constatar que las precipitaciones en la zona oscilan entre aproximadamente 229 días al año, obteniendo así el porcentaje de precipitaciones anual:

$$\frac{229 \text{ días}}{365 \text{ días/año}} * 100\% = 62.74\% \text{ precipitaciones anuales}$$

Es así como al conocer la calidad del drenaje y el porcentaje de precipitaciones anuales se logra establecer el valor correspondiente al coeficiente m_i para las capas de base y subbase, siendo el valor de 1 aplicado para cada caso:

Tabla 32

Valores de m_i recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares

Características del Drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesto a grados de humedad próxima a la saturación.			
	Menor del 1%	1-5%	5-25%	Más del 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Muy malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

La American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

establece emplear el coeficiente $m_i = 1$ para la carpeta asfáltica.

5.10.3. Determinación de espesores finales

Al conocer todos estos valores se procede a emplear la ecuación recomendada por la AASHTO (1993) para determinar los números estructurales reales para cada capa de la estructura, además de lograr determinar un espesor calculado y un espesor ya ajustado para el diseño final con la *Ecuación 18*:

$$\log_{10} W_{18} = Z_r \cdot S_o + 9.36 \cdot \log_{10}(SN_i + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i+1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32 \times \log_{10}(M_r) - 8.07$$

Al contar con los diámetros calculados es necesario ajustarlos manualmente considerando los espesores mínimos respectivos al valor W_{18} correspondiente a la **Tabla 15**:

W_{18} (10^6)	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
<0.05	TSD	4.00
0.05-0.15	2.00	4.00
0.15-0.50	2.50	4.00
0.50-2.00	3.00	6.0
2.00-7.00	3.50	6.0
>7.00	4.00	6.0

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

5.10.4.Rehabilitación

Para proceder con la propuesta de rehabilitación se debe considerar los valores W_{18} correspondiente a los primeros 10 años y al valor W_{18} existente entre los 10 y 20 años.

De igual manera se debe determinar un nuevo valor W_{18} empleando el valor $pt = 1.5$ recomendado por la literatura. El valor W_{18} se determina empleando la siguiente ecuación para cada periodo de diseño con la *Ecuación 18*:

$$\log_{10} W_{18} = Z_r \cdot S_o + 9.36 \cdot \log_{10}(SN_i + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i+1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32 \times \log_{10}(M_r) - 8.07$$

Conociendo los nuevos valores W_{18} se procede con la determinación de la vida remanente (RL) empleando la *Ecuación 33*:

$$RL = 100 \cdot \left(1 - \frac{N_p}{N_{1.5}}\right)$$

El factor de Condición (CF) ha sido determinado por medio de la siguiente ecuación considerando que si el valor se aproxima a 1 la vía aún conserva buena parte de su capacidad.

$$CF = -5.6e^{-5} \cdot RL^2 + 0.0106 \cdot RL + 0.5$$

Ecuación 35

Determinamos el número estructural efectivo (SN_{eff}) y el número estructural remanente con sus ecuaciones correspondientes:

$$SN_{eff} = CF \cdot SN_{original} \quad \text{Ecuación 437}$$

$$SN_{ol} = SN_f \cdot SN_{eff} \quad \text{Ecuación 44}$$

De esta manera se logra es posible determinar numéricamente el nuevo espesor de refuerzo por medio de la siguiente ecuación y posteriormente realizar su ajuste de forma manual.

$$D_{refuerzo} = \frac{SN_f - SN_{eff}}{a_{nuevo}} \quad \text{Ecuación 39}$$

6. Resultados

6.1. Estudio Vehicular

6.1.1. Conteo Vehicular

Tabla 33
Conteo vehicular total

INTERVALO	AUTOS	CAMIONETAS		BUS		CAMION			SEMI TRAILER				VOLQUETAS		TOTAL
		PICK UP	RURAL	2 E	>=3 E	C2D	C2DA	C2DB	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	V2DB	V3A	
JUEVES	1565	522	207	118	0	72	61	40	0	0	2	0	144	94	2825
VIERNES	1935	585	217	113	0	89	89	43	0	0	1	0	137	78	3287
SABADO	2129	582	191	75	0	76	75	26	0	0	0	0	101	43	3298
DOMINGO	1248	393	133	33	0	37	34	9	0	0	0	0	71	27	1985
LUNES	1494	520	233	81	0	92	89	30	0	0	2	0	170	94	2805
MARTES	1584	491	213	60	0	58	73	53	0	0	0	0	189	106	2827
MIERCOLES	1535	528	281	113	0	71	93	53	0	0	0	0	145	87	2906
TOTAL	11490	3621	1475	593	0	495	514	254	0	0	5	0	957	529	19933
PROMEDIO	1641	517	211	85	0	71	73	36	0	0	1	0	137	76	2848

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34
Conteo Manual Total

Conteo Manual		
	TIPO	Total Volumen
Autos	Autos	1641
	Camionetas	
	Pick UP	517
	Rural	211
Bus	2 E	85
	>=3 E	0
Camiones	C2D	71
	C2DA	73
	C2DB	36
Semi-trailer	2S1/2S2	0
	2S3	0
	3S1/3S2	1
	>= 3S3	0
Volquetas	V2DB	137
	V3A	76
Volumen observado		2848

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35
Volumen Observado Clasificado

Volumen Observado Clasificado		
Tipo	Volumen Observado	%
AUTOS	2369	83%
BUS	85	3%
C2D	71	2%
C2DB	210	7%
C3A	113	4%
TOTAL	2848	100%

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Factor Horario

Se asume hasta el 10 % adicional debido a que el conteo abarca 12 horas dentro del horario laboral

$$\mathbf{FH} = 1\%$$

6.1.3. Factor Diario

Se asume hasta el 20 %

$$\mathbf{FD} = 1\%$$

6.1.4. Factor semanal

Para este factor se considera el mes en el que se hizo el estudio de tráfico, en nuestro caso el mes de estudio marzo del 2025, considerando los días de ese mes y el número de semanas que representa ese mes, dándonos un factor semanal ajustado de:

MARZO	31	Dias
Semanas	4.4285714	#semanas
FS	1.1071429	De acuerdo al mes del conteo

6.1.5. Factor Mensual

El cálculo de este factor se encuentra fundamentado en los datos publicados por PETROECUADOR en su anuario oficial de consumo de combustibles, tomando como referencia la provincia del Azuay, que corresponde al año 2023, tal como se muestra en la **Tabla 36**. Estas cifras abarcan el volumen total de combustible distribuidos, sin una diferenciación por tipo de usuario, así incluyendo tanto los consumos del sector automotriz como los de otras actividades económicas que también demandan combustibles, como la industria, comercio o agricultura.

Tabla 36
Anuario de consumo de combustible de PETROECUADOR 2023

AZUAY 2023	DIESEL PREMIUM	EXTRA CON ETANOL	SUPER	TOTAL
	GAL	GAL	GAL	GAL
ENERO	6200504	7476168	342104	14018776
FEBRERO	5833440	6985917	414918	13234275
MARZO	6503609	7523682	345194	14372485
ABRIL	5963292	7090143	313108	13366543
MAYO	6541071	7659316	348540	14548927
JUNIO	5981975	7401574	354555	13738104
JULIO	6453307	7447427	382048	14282782
AGOSTO	6620729	7379950	508760	14509439
SEPTIEMBRE	6815474	7536352	346152	14697978
OCTUBRE	6989068	7569567	334685	14893320
NOVIEMBRE	6737594	7498414	328758	14564766
DICIEMBRE	7234877	7937027	387116	15559020
TOTAL	77874940	89505537	4405938	171786315

Fuente: Elaboración Propia

Para la obtención del factor mensual, se considera la relación del promedio de consumo, con el consumo de ese mes, dándonos el factor mensual como se muestra a continuación:

PROMEDIO MENSUAL	1.43E+07	GAL/MES
CONSUMO DEL MES DE CONTEO	1.44E+07	GAL

FM	9.96E-01
----	----------

6.1.6. Calculo TPDA de diseño

El análisis de tráfico realizado permitió determinar los factores necesarios para calcular el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) utilizando la *Ecuación 1*:

$$TPDA = T_0 \times FH \times FD \times FS \times FM$$

Tabla 37
Factores determinados

To:	2848
FH	1
FD	1
FS	1.1071429
FM	0.99603696
TPDA	3140

Fuentes: Elaboración propia.

El TPDA calculado es de 3140 vehículos/día, lo que representa el flujo promedio diario anual de vehículos en el tramo analizado.

La composición vehicular del TPDA se detalla a continuación:

Tabla 38
Clasificación Total y TPDA diseño

CLASIFICACION TPDA

TIPO	COMPOSICION	TOTAL
AUTOS	83.21%	2613
BUS	2.98%	93
C2D	2.48%	78
C2DB	7.38%	232
C3A	3.95%	124
TOTAL	100.00%	3140

Trafico Inducido	5%
TPDA diseño	3297

Fuente: Elaboración propia.

Para considerar el crecimiento futuro y el tráfico inducido, se aplicó un incremento del 5% sobre el TPDA calculado. Así, el TPDA de diseño es:

TPDA diseño= 3297 vehículos/día

Este valor es fundamental para la planeación de infraestructura, ya que permite dimensionar adecuadamente la vía. En base a la **Tabla 3** del MTOP, conjunto a el TPDA calculado nos da como resultado una clasificación de carretera Clase I.

Tabla 39
Clasificación de la Vía de análisis

Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado	
Clase de carretera	Trafico Proyectado TPDA
R-I o R-II	Mas de 8.000
I	De 3.000 a 8.000
II	De 1.000 a 3.000
III	De 300 a 1.000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

El TPDA es el volumen de tráfico promedio anual proyectado a 15 o 20 años, cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7.000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera, cuando se efectúa el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes.

Fuente: MTOP, Normas de Diseño Geometrico de Carreteras, 2003.

6.2. Índice de Condición de Pavimento Flexible de la Vía Arenal-Puente de Lourdes

6.2.1. Muestreo

La longitud total de la vía medidamente es de 1981 m, con ancho de calzada que varía entre 7, 6 y 4 m. Para el análisis, se determinó una longitud de muestra de 38m.

$$N = \frac{2000 \text{ m}}{38 \text{ m}} = 52,63 \text{ m} \approx 53 \text{ m}$$

Según la norma correspondiente el valor del error admisible $e=5\%$, por otro lado, la desviación estándar del PCI entre las unidades es de 10 para pavimentos asfálticos.

Posteriormente, con los valores determinados mediante la **Ecuación 10** establecida en la norma, se calcula obteniendo el siguiente valor:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Remplazando los valores:

$$n = \frac{53 \times 10^2}{\frac{5^2}{4} \times (53 - 1) + 10^2} = 12$$

Por tanto, el número de unidades de muestreo es $n=12$. En último lugar, se calculó el intervalo de análisis de las muestras con la **Ecuación 11**:

$$i = \frac{N}{n}$$

$$i = \frac{53}{12} = 4,22 \approx$$


6.2.2. Cálculo del PCI manual

Se aplicó el cálculo del PCI a tramos de 200 m a lo largo de la longitud de 2 km que se está analizando, al ser una vía corta, analizamos una cantidad de 10 tramos respectivamente para un mayor análisis en toda la vía. Se realizó los respectivos cálculos mencionados en la norma correspondiente, y se analizó cada ábaco para las diferentes patologías.

6.2.2.1. Tramo 1

- **Identificación de fallas**

Ilustración 57
Identificación de fallas Tramo 1

		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)- PAVIMENTO FLEXIBLE					
EVALUADO POR:	ZONA	ABSCISA INICIAL					
Mayle Ortiz & David Bustamante	Ricaurte el Arenal- Via LLacao	0+000					
FECHA:	ÁREA DEL TRAMO	ABSCISA FINAL					
5/5/2025	1200m ²	0+200					
REGISTRO DE PATOLOGÍAS EN PAVIMENTO FLEXIBLE							
1	Piel de Cocodrilo	m2	11	Parqueo	m2		
2	Exudación	m2	12	Pulimento de agregados	m2		
3	Agrietamiento en bloque	m2	13	Baches	m2		
4	Abultamientos y hundimientos	m2	14	Crice de vía férrea	m2		
5	Corrugación	m2	15	Ahuellamiento	m2		
6	Depresión	m2	16	Desplazamiento	m2		
7	Grieta de borde	m2	17	Grieta Parabólica	m2		
8	Grieta de reflexión de junta	m2	18	Hinchamineto	m2		
9	Desnivel carril/berma	m2	19	Desprendimiento de agregados	m2		
10	Grietas Long y Transversales	m					
INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES							
FALLA	UNIDAD	SEVERIDAD	ANCHO (m)	LARGO (m)	ABSCISA	TOTAL	
13	Baches	m2	H	1	1	0+000	1
13	Baches	m2	L	1	1		1
4	Abultamientos y Hundimientos	m2	M	2.5	1.5		3.75
13	Baches	m2	H	1	1		1
1	Piel de cocodrilo	m2	L	1	1	0+100	1
11	Parqueo	m2	L	3	9		27
13	Baches	m2	L	1	1		1
4	Abultamientos y Hundimientos	m2	H	2	2		4
10	Grieta long/transv	m	H		1		1
3	Agrietamiento en bloque	m2	L	1	2		2
1	Piel de cocodrilo	m2	M	1	1		1
11	Parqueo	m2	L	3	6		18
1	Piel de cocodrilo	m2	L	1.5	1.5		2.25
11	Parqueo	m2	M	2	5		10
1	Piel de cocodrilo	m2	M	1	4		4
13	Baches	m2	M	1	1		1
11	Parqueo	m2	H	1	2		2
11	Parqueo	m2	L	3	3		9
1	Piel de cocodrilo	m2	H	1	4		4
1	Piel de cocodrilo	m2	L	1	12		12
1	Piel de cocodrilo	m2	M	2	10		20
10	Grieta long/transv	m	M		2	0+200	2

Fuente: Elaboración propia.

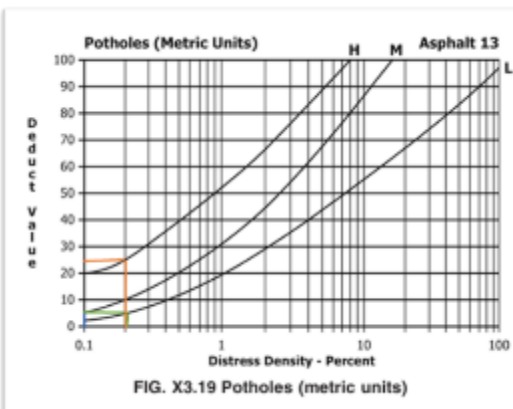
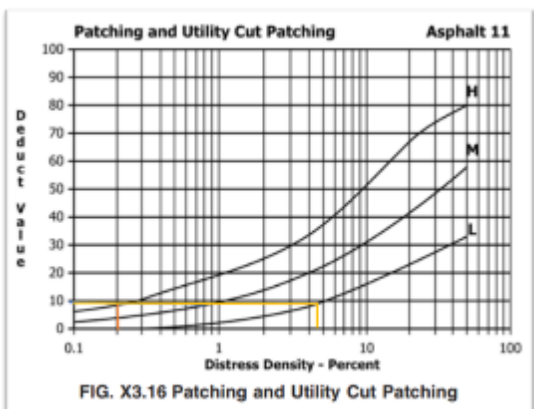
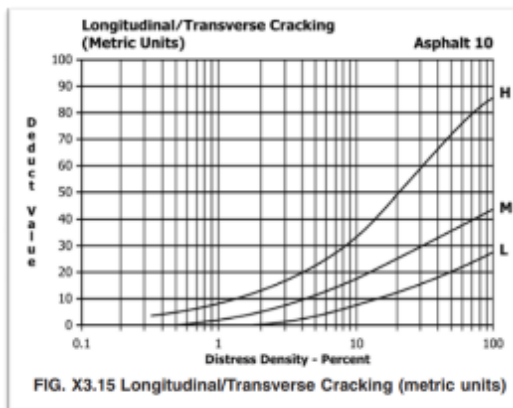
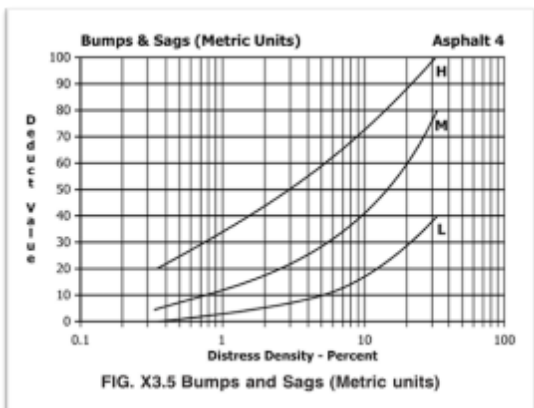
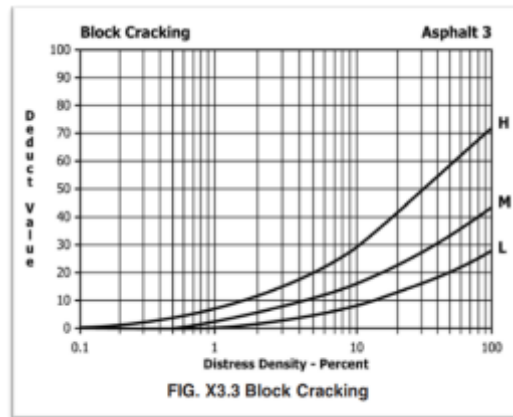
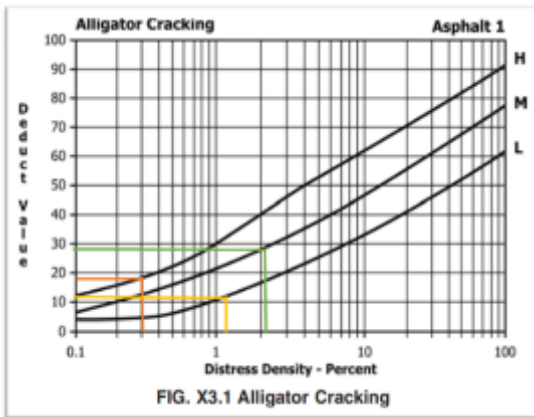
- **Densidad y determinación de valores deducidos individuales**

Ilustración 58
Valores deducidos con relación a la densidad Tramo 1

VALORES DEDUCIDOS DE FALLAS EXISTENTES									
NÚMERO	FALLA	UNIDAD	SEVERIDAD	TOTAL	DENSIDAD %	VD	VDT	m	q
13	Baches	m2	H	2	0.2	25	122	7.52	8
13	Baches	m2	M	1	0.1	5			
13	Baches	m2	L	2	0.2	5			
4	Abultamientos y Hundimientos	m2	H	4	0.3	0			
4	Abultamientos y Hundimientos	m2	M	3.75	0.3	0			
1	Piel de cocodrilo	m2	H	4	0.3	19			
1	Piel de cocodrilo	m2	M	25	2.1	29			
1	Piel de cocodrilo	m2	L	15.25	1.3	12			
10	Grieta long/transv	m	H	1	0.1	0			
10	Grieta long/transv	m	M	2	0.2	0			
11	Parqueo	m2	H	2	0.2	9			
11	Parqueo	m2	M	10	0.8	9			
11	Parqueo	m2	L	54	4.5	9			
3	Agrietamiento en bloque	m2	L	2	0.2	0			

Fuente: Elaboración propia.

- **Curvas de Valores Deducidos utilizadas**



- **Cálculo del TDV**

Para el cálculo del Total de valores Deducidos se formó una matriz, ordenando los Valores Deducidos de mayor a menor, con un valor de ajuste (q) de 8 en donde se calculó el número máximo de valores admisibles (m) se calculó con la *Ecuación 12*, donde el $HDV_i = 29$ para el tramo 1.

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$$

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - 29) = 7,52 \approx 8$$

Ilustración 59

Matriz de Valores Deducidos Tramo 1

VALORES DEDUCIDOS									TDV	q	CDV
29	25	19	12	9	9	9	5	117	8	0	
29	25	19	12	9	9	9	2	114	7	0	
29	25	19	12	9	9	2	2	107	6	52	
29	25	19	12	9	2	2	2	100	5	53	
29	25	19	12	2	2	2	2	93	4	54	
29	25	19	2	2	2	2	2	83	3	54	
29	25	2	2	2	2	2	2	66	2	48	
29	2	2	2	2	2	2	2	43	1	43	

HDV	54
PCI	46
CLASIFICACIÓN REGULAR	

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 60

Curva de Valor Deducido Corregido Tramo 1

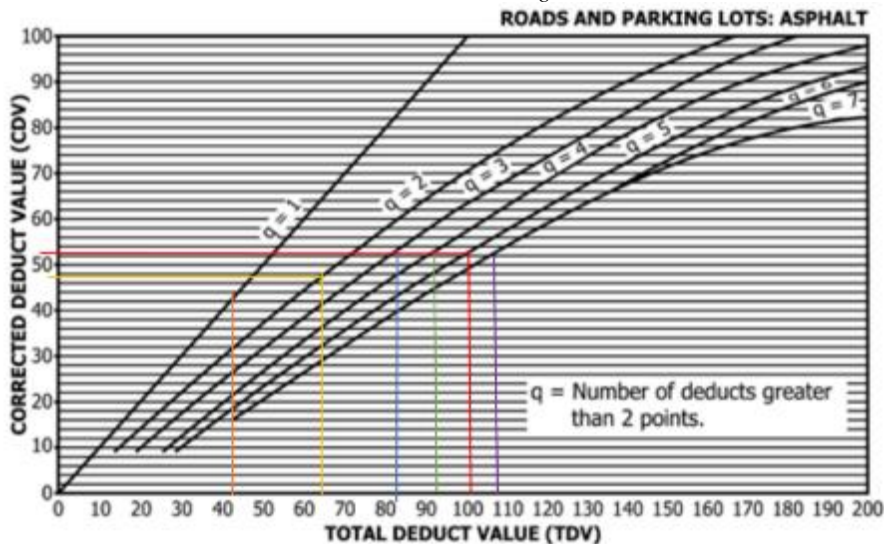


FIG. X3.27 Total Deduct Value

Fuente: extraída de ASTM International, 2011.

El máximo valor de CDV es de 54, se procede a realizar el cálculo del PCI para el Tramo 1, con la **Ecuación 13**.

$$PCI = 100 - CDV_{max}$$

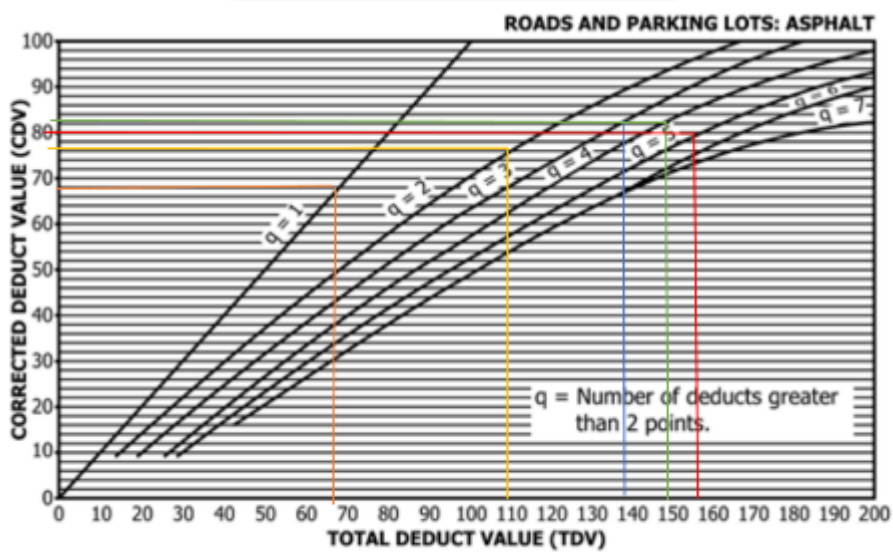
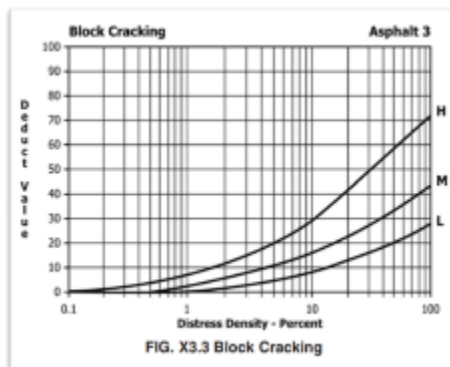
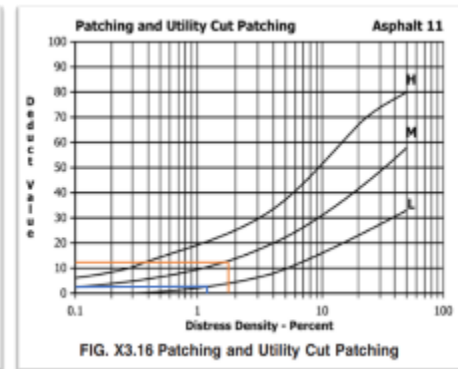
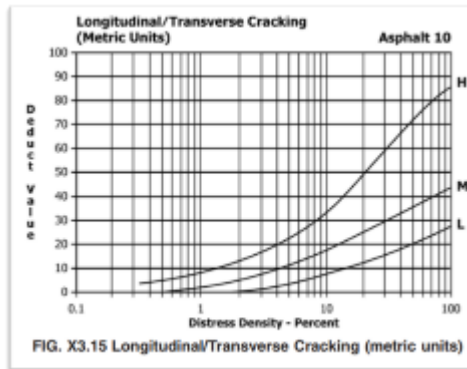
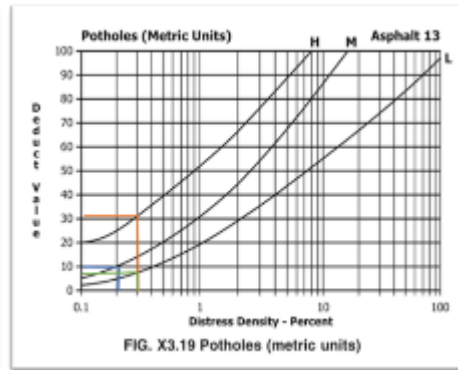
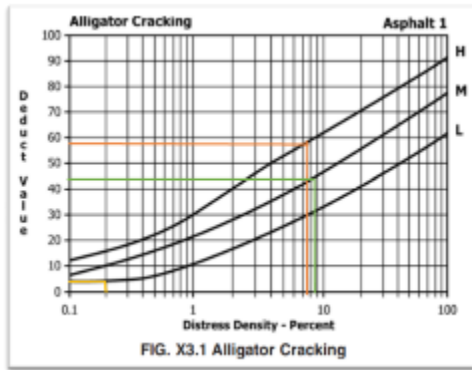
$$PCI = 100 - 54 = 46$$

El resultado que se obtuvo clasifica con una condición Regular, según el rango establecido en la **Tabla 40**.

Tabla 40
Clasificación de pavimento asfáltico


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

Fuente: Elaboración propia.

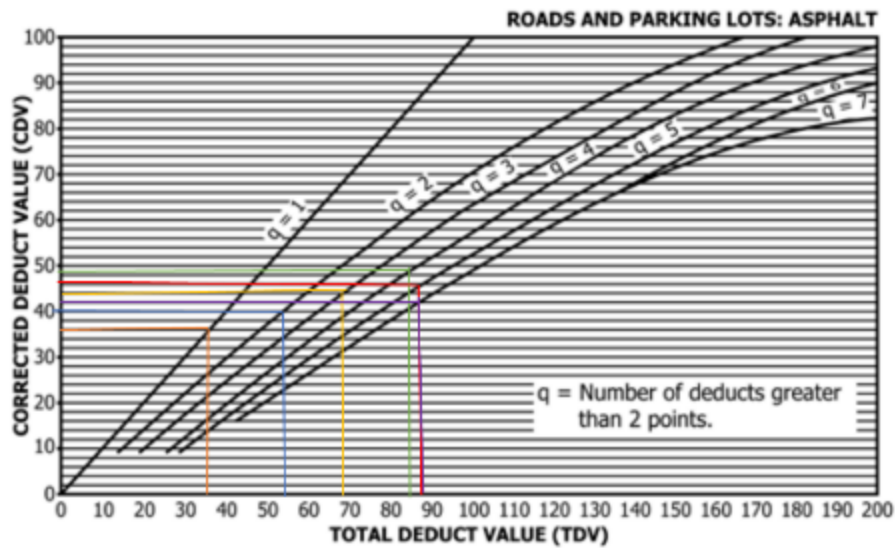
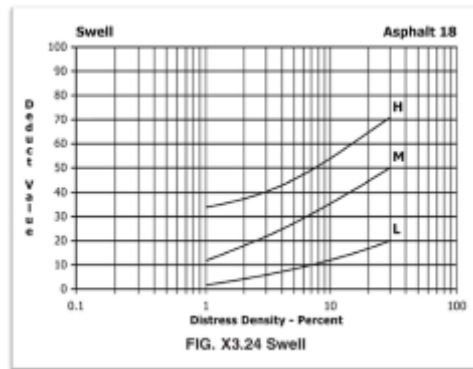
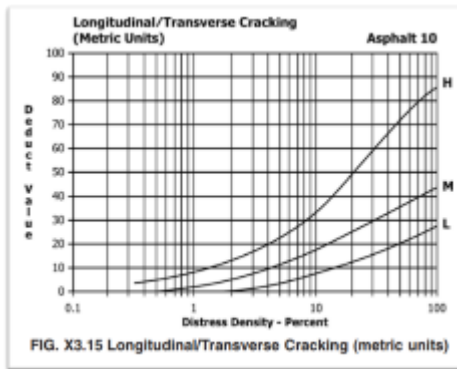
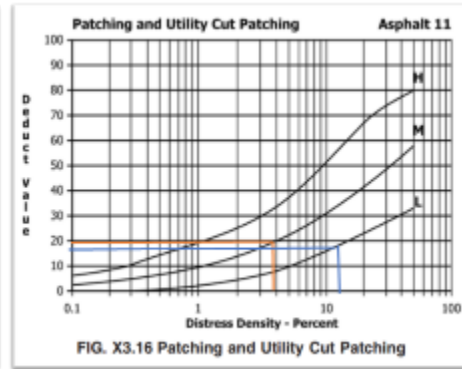
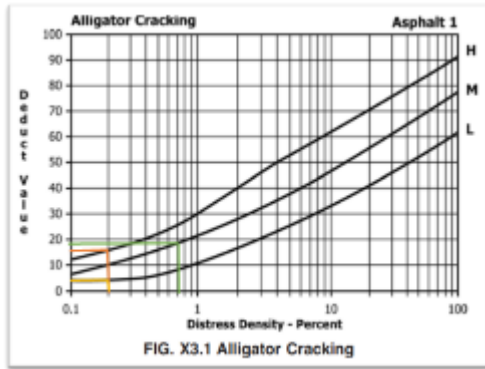


6.2.2.3. Tramo 3

Ilustración 62
PCI Tramo 3

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA												
ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)- PAVIMENTO FLEXIBLE												
	EVALUADO POR:			ZONA			ABSCISA INICIAL					
	Mayle Ortiz & David Bustamante			Ricaurte el Arenal- Via LLacao			0+400					
	FECHA:			ÁREA DEL TRAMO			ABSCISA FINAL					
	5/5/2025			1200 m ²			0+600					
REGISTRO DE PATOLOGÍAS EN PAVIMENTO FLEXIBLE												
1	Piel de Cocodrilo	m2	11	Parqueo	m2							
2	Exudación	m2	12	Pulimiento de agregados	m2							
3	Agrietamiento en bloque	m2	13	Baches	m2							
4	Abultamientos y hundimientos	m2	14	Crice de vía férrea	m2							
5	Corrugación	m2	15	Ahuellamiento	m2							
6	Depresión	m2	16	Desplazamiento	m2							
7	Grieta de borde	m2	17	Grieta Parabólica	m2							
8	Grieta de reflexión de junta	m2	18	Hinchamineto	m2							
9	Desnivel carril/berma	m2	19	Desprendimiento de agregados	m2							
10	Grietas Long y Transversales	m										
INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES												
FALLA	UNIDAD	SEVERIDAD	ANCHO (m)	LARGO (m)	ABSCISA	TOTAL						
11	Parqueo	m2	M	3	9	27						
11	Parqueo	m2	L	1	4	4	0+500					
11	Parqueo	m2	L	2	15	30						
11	Parqueo	m2	M	2	2	4						
1	Piel de cocodrilo	m2	M	2	2	4						
11	Parqueo	m2	L	5	1	5						
10	Grieta long/transv	m	L	1		1						
10	Grieta long/transv	m	L	1		1						
1	Piel de cocodrilo	m2	M	2	2	4						
18	Hinchamiento	m2	H	1	2	2						
11	Parqueo	m2	L	1	3	3						
11	Parqueo	m2	L	1	3	3						
11	Parqueo	m2	L	1	3	3						
1	Piel de cocodrilo	m2	H	2	1	2						
11	Parqueo	m2	M	2	2	4						
11	Parqueo	m2	M	2	1	2						
11	Parqueo	m2	M	1	4	4						
10	Grieta long/transv	m	L		1	1						
11	Parqueo	m2	L	3	9	27						
1	Piel de cocodrilo	m2	L	1	2	2						
11	Parqueo	m2	L	1	3	3						
11	Parqueo	m2	M	2	3	6						
11	Parqueo	m2	L	2	23	46	0+600					
VALORES DEDUCIDOS DE FALLAS EXISTENTES												
NÚMERO	FALLA	UNIDAD	SEVERIDAD	TOTAL	DENSIDAD %	VD	VDT	m	q			
1	Piel de cocodrilo	m2	H	2	0.2	18	79	8.35	9			
1	Piel de cocodrilo	m2	M	8	0.7	19						
1	Piel de cocodrilo	m2	L	2	0.2	4						
11	Parqueo	m2	M	47	3.9	20						
11	Parqueo	m2	L	124	10.3	18						
10	Grieta long/transv	m	L	3	0.3	0						
18	Hinchamiento	m2	H	2	0.2	0						
VALORES DEDUCIDOS										TDV	q	CDV
20	19	18	18	4	2	2				2	87	9
20	19	18	18	4	2	2	2	87	8	0		
20	19	18	18	4	2	2	2	87	7	0		
20	19	18	18	4	2	2	2	87	6	42		
20	19	18	18	4	2	2	2	87	5	46		
20	19	18	18	2	2	2	2	85	4	48		
20	19	18	2	2	2	2	2	69	3	44		
20	19	2	2	2	2	2	2	53	2	40		
20	2	2	2	2	2	2	2	36	1	36		
							HDV	48				
							PCI	52				
							CLASIFICACIÓN					
							REGULAR					

Fuente: Elaboración propia.



6.2.2.4. Tramo 4

Ilustración 63
PCI Tramo 4

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA									
ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)- PAVIMENTO FLEXIBLE									
EVALUADO POR: Mayle Ortiz & David Bustamante			ZONA Ricaurte el Arenal- Via Llacao			ABSCISA INICIAL 0+600			
FECHA: 5/5/2025			ÁREA DEL TRAMO 1200 m ²			ABSCISA FINAL 0+800			
REGISTRO DE PATOLOGÍAS EN PAVIMENTO FLEXIBLE									
1	Piel de Cocodrilo	m2	11	Parqueo	m2				
2	Exudación	m2	12	Pulimento de agregados	m2				
3	Agrietamiento en bloque	m2	13	Baches	m2				
4	Abultamientos y hundimientos	m2	14	Crice de vía férrea	m2				
5	Corrugación	m2	15	Ahuellamiento	m2				
6	Depresión	m2	16	Desplazamiento	m2				
7	Grieta de borde	m2	17	Grieta Parabólica	m2				
8	Grieta de reflexión de junta	m2	18	Hinchamineto	m2				
9	Desnivel carril/berma	m2	19	Desprendimiento de agregados	m2				
10	Grietas Long y Transversales	m							
INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES									
FALLA	UNIDAD	SEVERIDAD	ANCHO (m)	LARGO (m)	ABSCISA	TOTAL			
11	Parqueo	m2	L	1	3	3			
11	Parqueo	m2	L	1	4	4			
1	Piel de cocodrilo	m2	L	1	5	5			
11	Parqueo	m2	M	2	16	32			
7	Grieta de borde	m2	H	1	2	2			
11	Parqueo	m2	M	1	4	4			
11	Parqueo	m2	L	1	6	6	0+700		
11	Parqueo	m2	H	1	2	2			
11	Parqueo	m2	M	1	3	3			
11	Parqueo	m2	L	1	2	2			
11	Parqueo	m2	M	2	11	22			
10	Grieta long/transv	m	L		5	5			
11	Parqueo	m2	L	2	5	10			
11	Parqueo	m2	L	2	3	6			
11	Parqueo	m2	L	2	15	30			
1	Piel de cocodrilo	m2	H	2	3	6			
7	Grieta de borde	m2	H	1	2	2			
7	Grieta de borde	m2	H	1	7	7			
VALORES DEDUCIDOS DE FALLAS EXISTENTES									
NÚMERO	FALLA	UNIDAD	SEVERIDAD	TOTAL	DENSIDAD %	VD	VDT	m	q
1	Piel de cocodrilo	m2	H	6	0.5	23	77	8.07	9
1	Piel de cocodrilo	m2	L	5	0.4	5			
11	Parqueo	m2	H	2	0.2	9			
11	Parqueo	m2	M	61	5.1	21			
11	Parqueo	m2	L	61	5.1	10			
7	Grieta de borde	m	H	11	0.9	9			
10	Grieta long/transv	m2	L	5	0.4	0			
VALORES DEDUCIDOS							TDV	q	CDV
23	21	10	9	9	5	2	83	9	0
23	21	10	9	9	5	2	83	8	0
23	21	10	9	9	5	2	83	7	0
23	21	10	9	9	5	2	83	6	40
23	21	10	9	9	2	2	80	5	42
23	21	10	9	2	2	2	73	4	42
23	21	10	2	2	2	2	66	3	42
23	21	2	2	2	2	2	58	2	42
23	2	2	2	2	2	2	39	1	39
							HDV	42	
							PCI	58	
							CLASIFICACIÓN		
							BUENO		

Fuente: Elaboración propia.

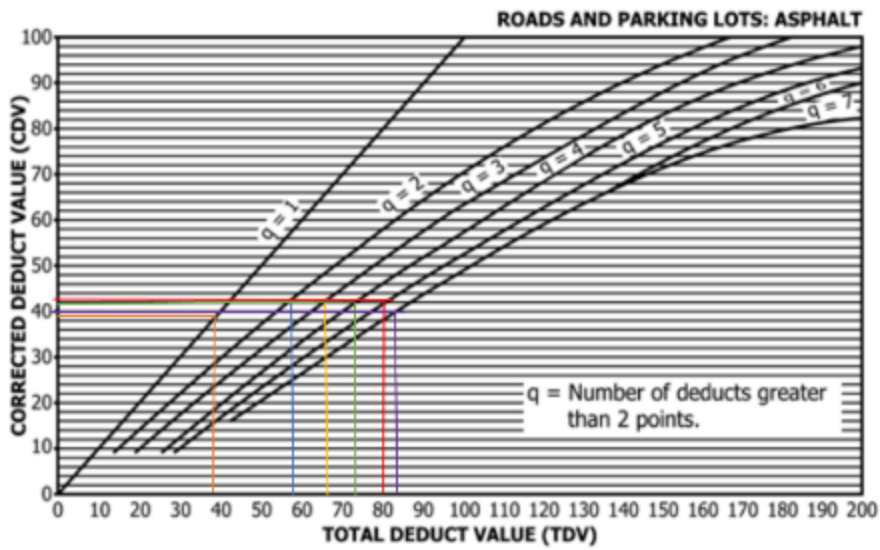
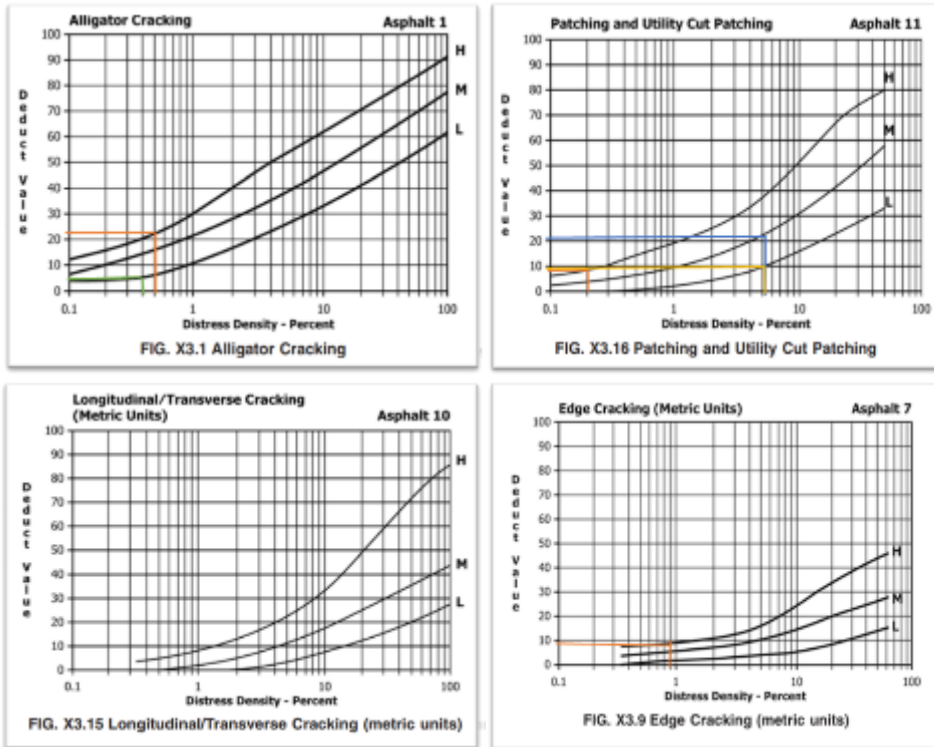
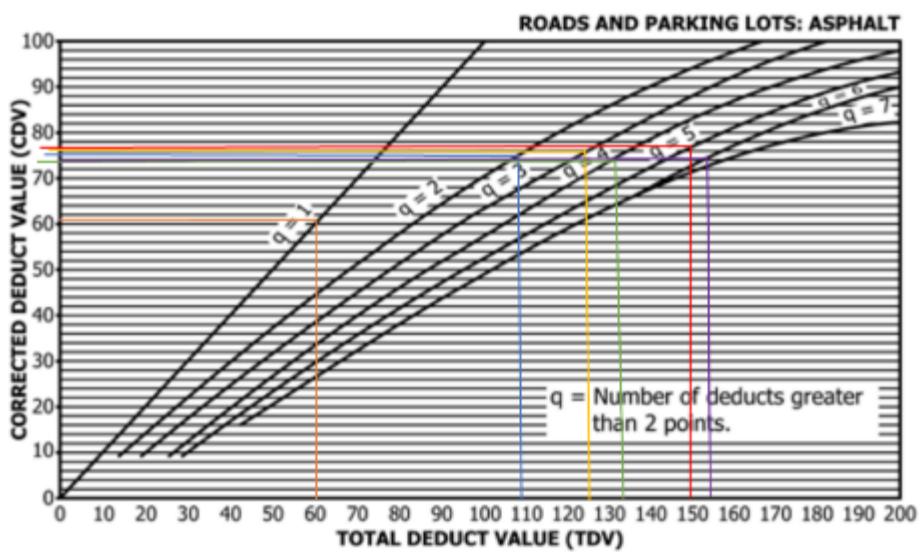
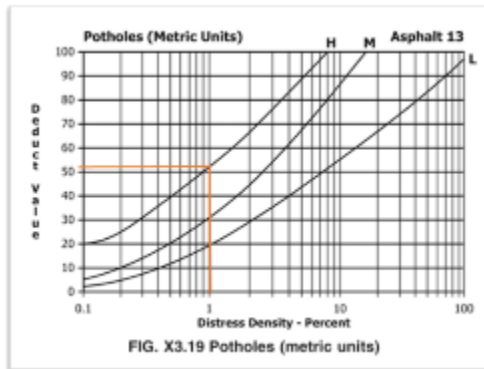
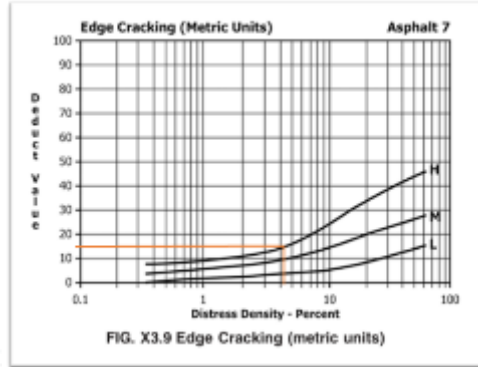
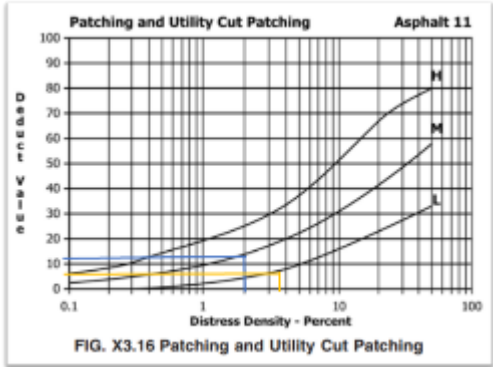
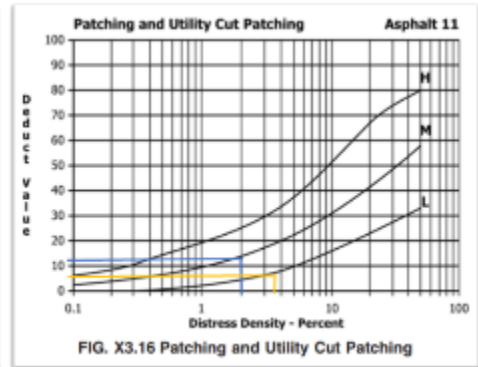
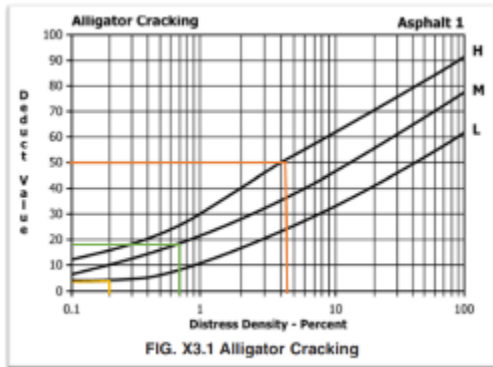


FIG. X3.27 Total Deduct Value



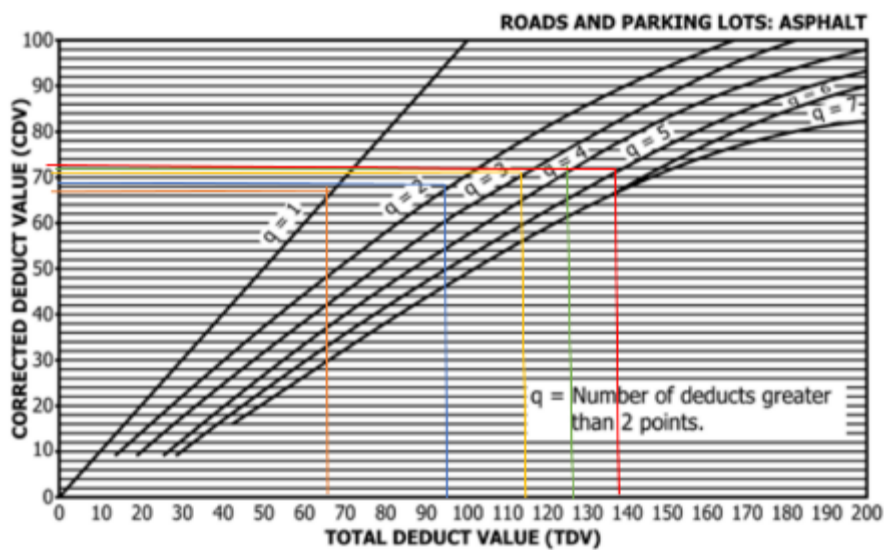
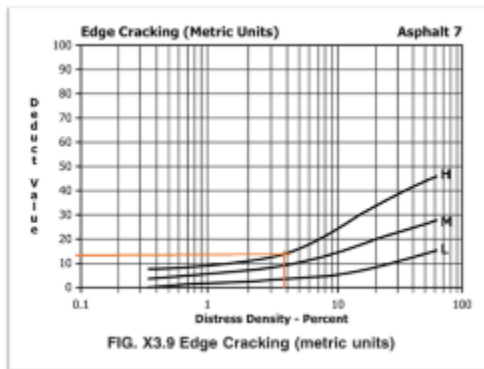
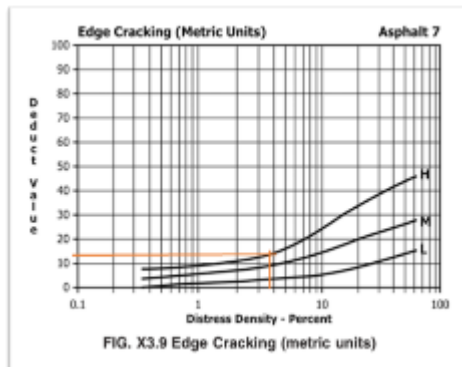
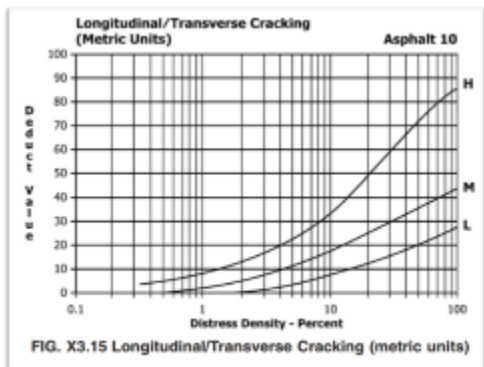
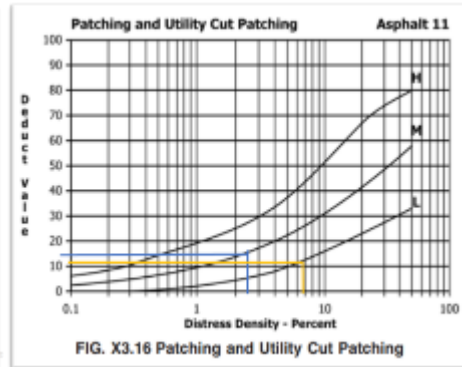
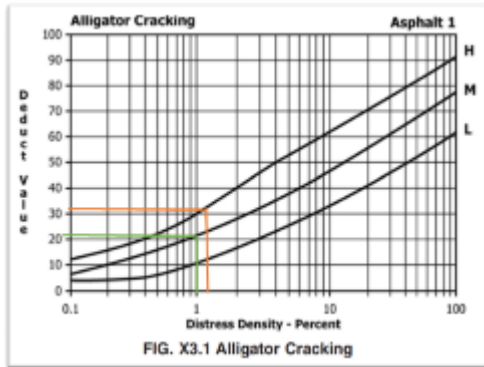
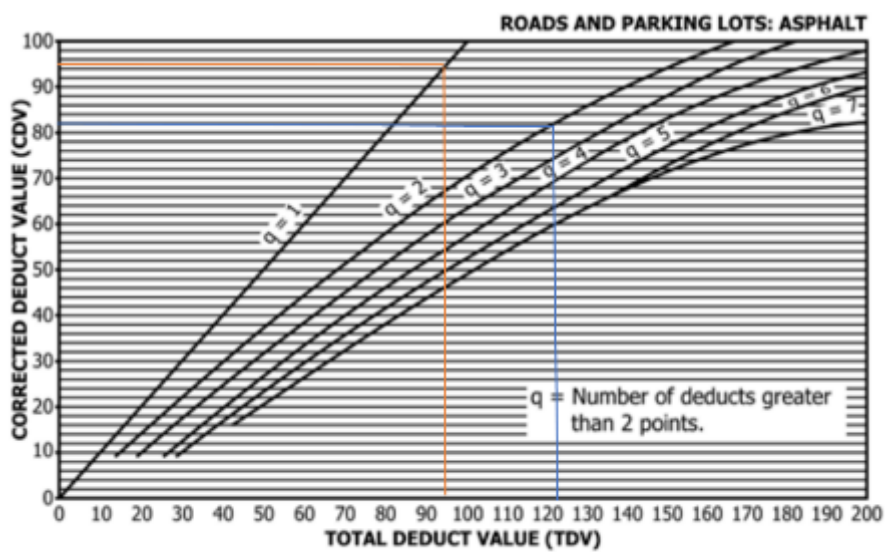
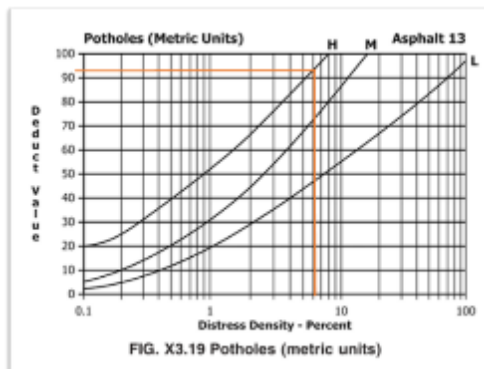
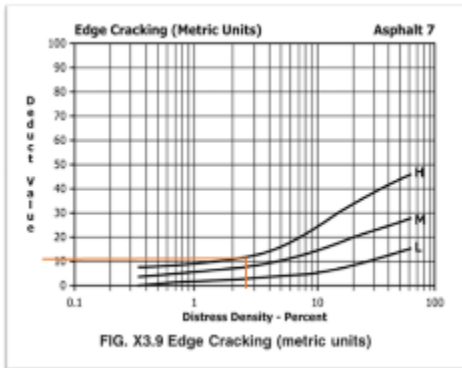
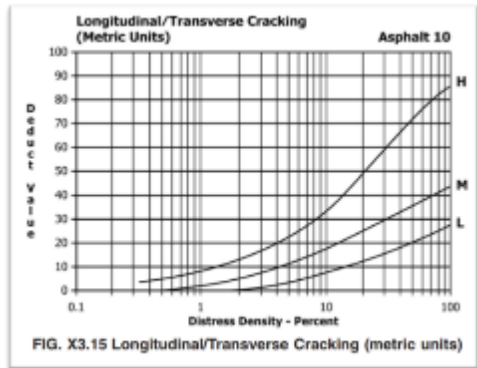
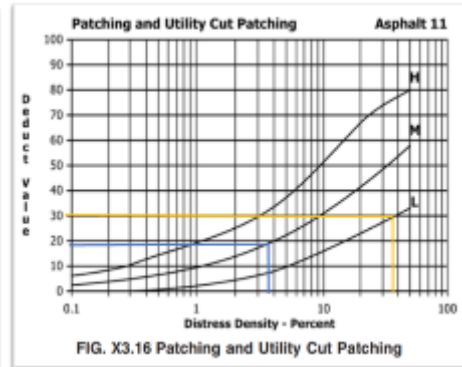
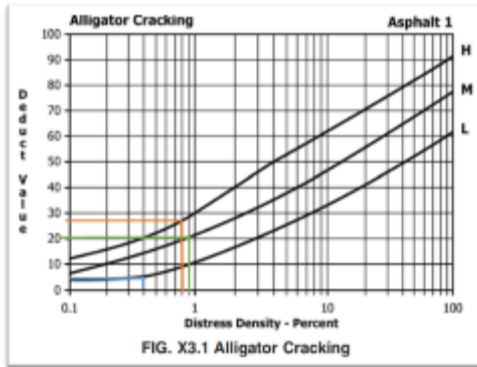
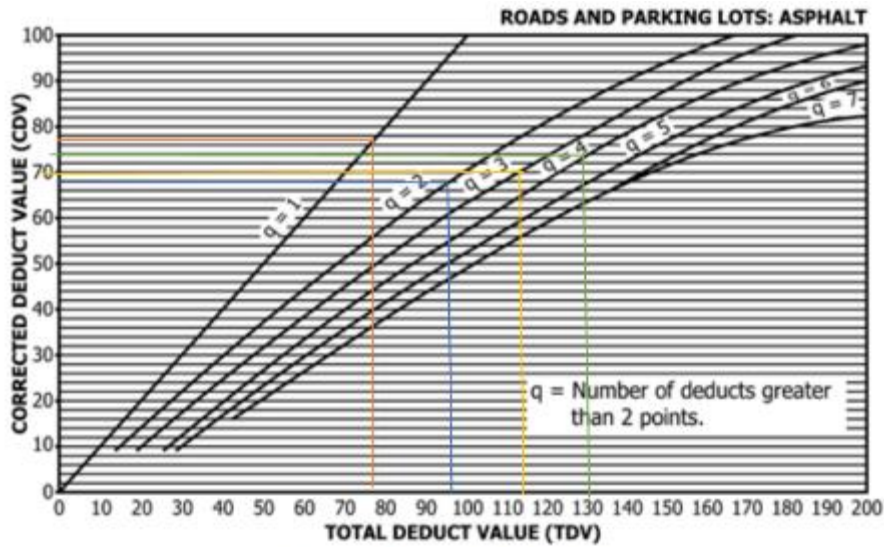
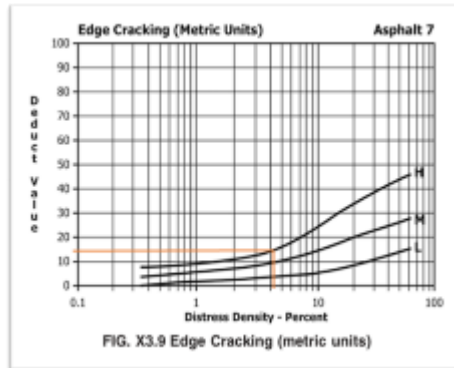
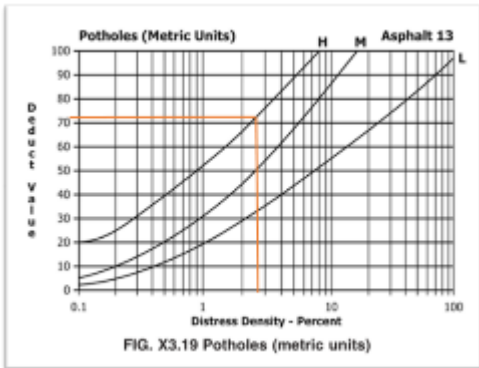
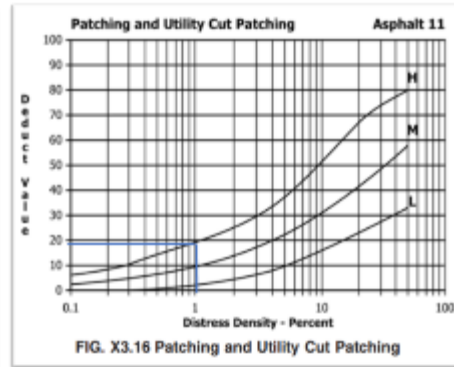
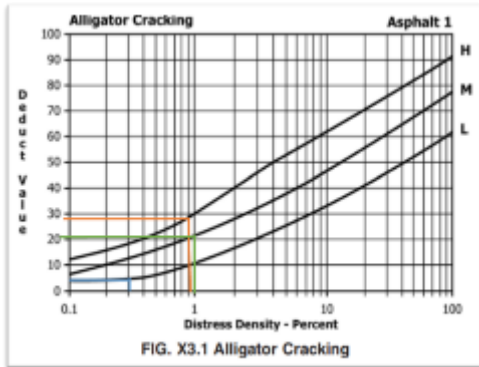
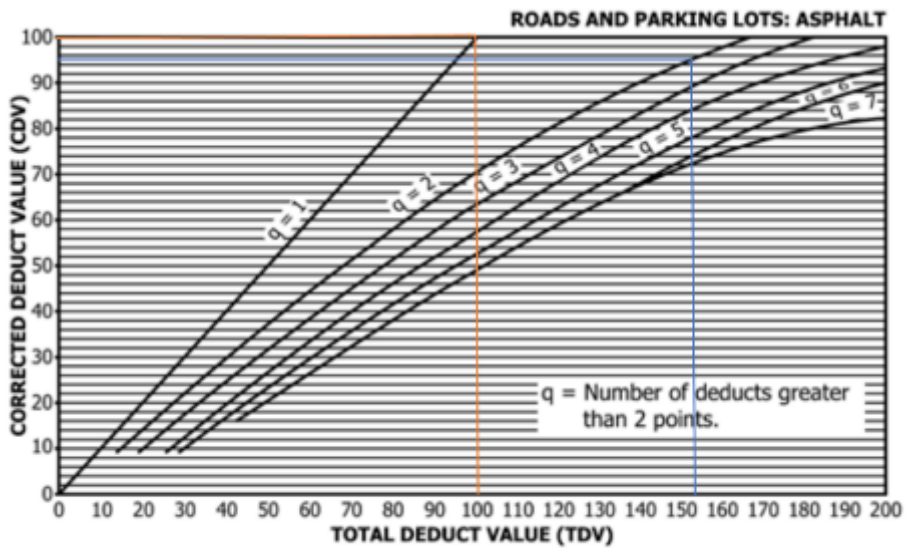
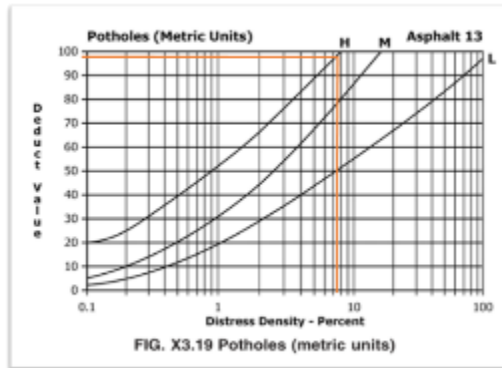
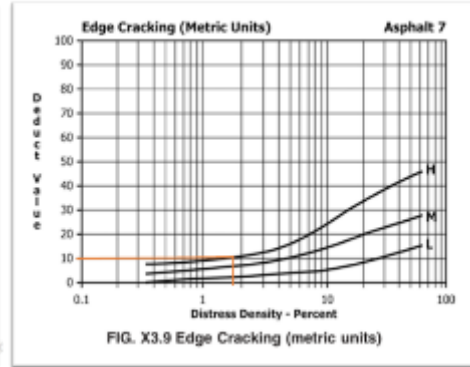
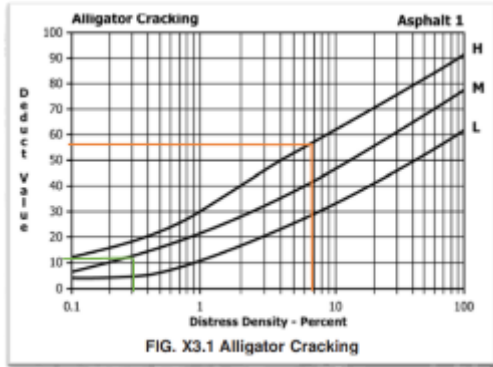


FIG. X3.27 Total Deduct Value







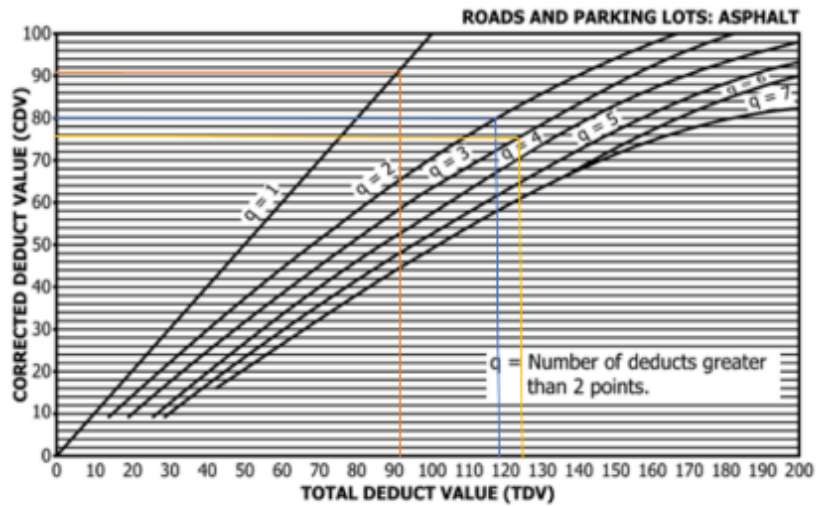
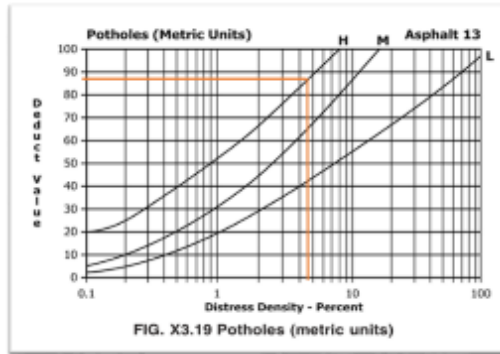


FIG. X3.27 Total Deduct Value

6.2.3. Resumen tramos

En la **Tabla 41** , se resume el PCI para cada Tramo analizado.

Tabla 41
Resumen de PCI de cada Tramo

TRAMO	Nº TRAMO	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	FALLAS PRINCIPALES	PCI	CALIFICACIÓN
Ricaurte el Arenal- Via Llacao	1	0+000	0+200	PIEL DE COCODRILO Y PARCHES	46	REGULAR
	2	0+200	0+400	PIEL DE COCODRILO, BACHES Y PARCHES	18	MUY MALO
	3	0+400	0+600	PIEL DE COCODRILO Y PARCHES	52	REGULAR
	4	0+600	0+800	PARCHEO, PIEL DE COCODRILO, GRIETA DE BORDE Y GRIETAS LONGITUDINALES/TRANSVERSALES	58	BUENO
	5	0+800	1+000	PARCHEO, PIEL DE COCODRILO, GRIETA DE BORDE, BACHES Y AGRIETAMIENTO EN BLOQUE	23	MUY MALO
	6	1+000	1+200	PARCHEO, PIEL DE COCODRILO, GRIETA DE BORDE, BACHES Y GRIETAS LONGITUDINALES/TRANSVERSALES	29	MALO
	7	1+200	1+400	PIEL DE COCODRILO, BACHES Y PARCHES	5	FALLADO
	8	1+400	1+600	GRIETAS DE BORDE, PARCHEO, PIEL DE COCODRILO Y BACHES	23	MUY MALO
	9	1+600	1+800	BACHES, PIEL DE COCODRILO Y GRIETAS DE BORDE	0	FALLADO
	10	1+800	2+000	BACHES, PIEL DE COCODRILO Y GRIETAS DE BORDE	9	FALLADO
				PCIA	26	MALO

Fuente: Elaboración propia

Como se inspeccionaron todas las unidades de muestreo de la vía, no fue necesario aplicar la fórmula de promedio ponderado; por ello, se calculó el PCI simplemente promediando los valores de cada unidad. Este cálculo arrojó un PCI de 26, lo que indica que la vía se encuentra en mal estado, por ende, se califica MALO, con daños severos que requieren rehabilitación a lo largo de toda la vía, para garantizar su funcionalidad y seguridad.

6.3. Diseño Estructural del Pavimento

6.3.1. Diseño para un periodo de diseño de 10 años

Tabla 42
Caracterización de Capas Estructurales

CAPAS			
Nombre	Módulo (psi)	mi	ai
Carpeta de rodadura	400000		0.42
Base	28000	1	0.135
Subbase	14800	1	0.11
Mejoramiento	12900	1	0.09
Subrasante	4483		-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43
Números Estructurales Calculados

NÚMERO ESTRUCTURAL	
SN requerido	
SN1	2.421
SN2	3.066
SN3	3.224
SN4	4.660

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44
Determinación de Espesores y Números Estructurales Adaptados

ESPESOR ADAPTADO D*		SN adaptado*	VERIFICACIÓN
in	cm		
6.00	15.24	2.52	CUMPLE

6	15.24	0.81	CUMPLE
7	17.78	0.77	CUMPLE
8	20.32	0.72	-
	SN TOTAL	4.820	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45
Espesores mínimos recomendados

W_{18} (10^6)	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
<0.05	TSD	4.00
0.05-0.15	2.00	4.00
0.15-0.50	2.50	4.00
0.50-2.00	3.00	6.0
2.00-7.00	3.50	6.0
>7.00	4.00	6.0

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Tabla 46
Diseño de Pavimentos para 10 años

DISEÑO DE PAVIMENTOS (10 AÑOS)		
CAPA	ESPESOR	UNIDAD
Carpeta asfáltica	6	pulg
Base	15.24	cm
Subbase	17.78	cm
Mejoramiento	20.32	cm

Fuente: Elaboración propia

6.3.2. Diseño para un periodo de diseño de 20 años

Tabla 47
Caracterización de Capas Estructurales

CAPAS			
Nombre	Módulo (psi)	mi	ai
Carpeta de rodadura	400000		0.42
Base	28000	1	0.135
Subbase	14800	1	0.11
Mejoramiento	12900	1	0.09
Subrasante	4483		-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48
Números Estructurales Calculados

NÚMERO ESTRUCTURAL	
SN requerido	
SN1	2.751
SN2	3.473
SN3	3.648
SN4	5.205

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49
Determinación de Espesores y Números Estructurales Adaptados

ESPESOR REQUERIDO D			ESPESOR ADAPTADO D*		SN adaptado*	VERIFICACIÓN
Capa	in	cm	in	cm		
D1	6.55	16.64	7	17.78	2.94	CUMPLE
D2	3.95	10.02	6	15.24	0.81	CUMPLE
D3	-0.93	-2.36	7	17.78	0.77	CUMPLE
D4	40.28	102.31	8	20.32	0.72	-
				<u>SN TOTAL</u>	<u>5.24</u>	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50
Espesores mínimos recomendados

$W_{18} (10^6)$	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
<0.05	TSD	4.00
0.05-0.15	2.00	4.00
0.15-0.50	2.50	4.00
0.50-2.00	3.00	6.0
2.00-7.00	3.50	6.0
>7.00	4.00	6.0

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Tabla 51
Diseño de Pavimentos para 20 años

DISEÑO DE PAVIMENTOS (20 AÑOS)		
CAPA	ESPESOR	UNIDAD
Carpeta asfáltica	7	pulg

Base	15.24	cm
Subbase	17.78	cm
Mejoramiento	20.32	cm

Fuente: Elaboración propia

6.3.3. Diseño para un periodo de diseño de 10 años – Alternativa Base cemento

En base a los resultados obtenidos se logra determinar que las exigencias actuales de la vía requieren emplear capas de carpeta de rodadura con espesores muy grandes, lo cual implica mayor inversión. Por ese motivo se ha planteado una segunda alternativa de diseño en la cual se empleará la una carpeta asfáltica junto con otra capa de base estabilizada con cemento.

Para base estabilizada con cemento, el MOP recomienda emplear cemento con una resistencia a la compresión ($f'c$) de 25kg/cm² a los 7 días, razón por la cual al emplear el ábaco para el coeficiente estructural a_2 se establece emplear un valor de 0.16. Es así como a continuación se presenta una segunda alternativa de diseño:

Tabla 52
Caracterización de Capas Estructurales

CAPAS			
Nombre	Módulo (psi)	mi	ai
Carpeta de rodadura	400000		0.42
Base cemento $f_c=25\text{kg/cm}^2$ a los 7 días especificaciones MOP	28000	1	0.16
Subbase	14800	1	0.11
Mejoramiento	12900	1	0.09
Subrasante	4483		-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53
Números Estructurales Calculados

NÚMERO ESTRUCTURAL	
SN requerido	
SN1	2.421
SN2	3.066
SN3	3.224
SN4	4.660

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54
Determinación de Espesores y Números Estructurales Adaptados

ESPESOR REQUERIDO D			ESPESOR ADAPTADO D*		SN adaptado*	VERIFICACIÓN
Capa	in	cm	in	cm		
D1	5.76	14.64	6.00	15.24	2.52	CUMPLE
D2	3.41	8.67	13.77952756	35	2.204724409	CUMPLE
				SN TOTAL	4.725	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55
Espesores mínimos recomendados

W_{18} (10^6)	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
<0.05	TSD	4.00
0.05-0.15	2.00	4.00
0.15-0.50	2.50	4.00
0.50-2.00	3.00	6.0
2.00-7.00	3.50	6.0
>7.00	4.00	6.0

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

Tabla 56
Diseño de Pavimentos para 10 años

DISEÑO DE PAVIMENTOS (10 AÑOS)		
CAPA	ESPESOR	UNIDAD
Carpeta asfáltica	6	pulg
Base cemento $f_c=25\text{kg/cm}^2$ a los 7 días especificaciones MOP	35	cm

Fuente: Elaboración propia

6.3.4. Diseño para un periodo de diseño de 20 años – Alternativa Base

cemento

Tabla 57
Caracterización de Capas Estructurales

CAPAS			
Nombre	Módulo (psi)	mi	ai
Carpeta de rodadura	400000		0.42
Base cemento $f_c=25\text{kg/cm}^2$ a los 7 días especificaciones MOP	28000	1	0.16
Subbase	14800	1	0.11
Mejoramiento	12900	1	0.09
Subrasante	4483		-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58
Números Estructurales Calculados

NÚMERO ESTRUCTURAL	
SN requerido	
SN1	2.751
SN2	3.473
SN3	3.648
SN4	5.205

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59
Determinación de Espesores y Números Estructurales Adaptados

ESPESOR REQUERIDO D			ESPESOR ADAPTADO D*		SN adaptado*	VERIFICACIÓN
Capa	in	cm	in	cm		
D1	6.55	16.64	8	20.32	3.36	CUMPLE
D2	0.70	1.79	13.77952756	35	2.204724409	CUMPLE
				SN TOTAL	5.564724409	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60
Espesores mínimos recomendados

W_{18} (10^6)	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
<0.05	TSD	4.00
0.05-0.15	2.00	4.00
0.15-0.50	2.50	4.00
0.50-2.00	3.00	6.0
2.00-7.00	3.50	6.0
>7.00	4.00	6.0

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993

e

Tabla 61
Diseño de Pavimentos para 20 años

DISEÑO DE PAVIMENTOS (20 AÑOS)		
CAPA	ESPESOR	UNIDAD
Carpeta asfáltica	8	pulg
Base cemento $f_c=25\text{kg/cm}^2$ a los 7 días especificaciones MOP	35	cm

Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis comparativo de las alternativas de diseño propuestas, y conforme a la información detallada en las tablas correspondientes a la solución seleccionada, se determina que la incorporación de una capa de base tratada con cemento constituye la opción técnicamente más viable (recomendado emplear mínimo 2 pulgadas adicionales de carpeta asfáltica como refuerzo luego de los 10 primeros años de servicio) y económicamente más eficiente. Esta decisión se sustenta en la posibilidad de utilizar materiales extraídos directamente del sitio, lo cual optimiza los recursos disponibles y reduce significativamente los costos de transporte y procesamiento. Adicionalmente, se recomienda incrementar el espesor de dicha capa de 30 cm a 35 cm, con el propósito de garantizar una mayor capacidad estructural frente a las solicitudes impuestas por el tránsito proyectado, asegurando al mismo tiempo un mejor aprovechamiento del material local disponible.

7. Conclusiones

El análisis técnico de la vía Arenal-puente de Lourdes, permitió constatar que las condiciones actuales del pavimento no responden a las exigencias funcionales impuestas por el tránsito pesado que circula de forma continua. Esta situación ha provocado un deterioro estructural progresivo y acelerado, comprometiendo la operatividad y seguridad de la vía. El estudio de PCI reveló que la vía se encuentra en un rango clasificado como malo, lo que indica que su estado actual es deficiente. Debido a este desgaste avanzado, se recomienda considerar la reconstrucción de la carretera para garantizar su funcionalidad, seguridad y durabilidad a largo plazo.

Al aplicar el procedimiento de diseño estructural establecido en la metodología AASHTO 1993, se determinó que, para resistir adecuadamente las cargas previstas, serían necesarios espesores muy elevados de carpeta asfáltica, lo cual implicaría una solución costosa y poco eficiente en términos constructivos y económicos.

Frente a este escenario, se propuso como alternativa una sección estructural que incorpora una base estabilizada con cemento de 35 cm de espesor, sobre la cual se dispone una carpeta asfáltica de 6 pulgadas. Esta configuración permitió optimizar los recursos disponibles, mejorar el desempeño estructural del pavimento y reducir significativamente los espesores asfálticos inicialmente proyectados.

En paralelo, se evaluaron las condiciones geométricas del corredor vial, identificándose una serie de deficiencias relacionadas con curvas horizontales de radios reducidos y alineamientos sinuosos. Sin embargo, las condiciones del entorno, especialmente la cercanía de edificaciones y viviendas, limitaron de manera significativa

la posibilidad de implementar mejoras geométricas sin generar afectaciones sociales o legales.

Bajo este contexto, la propuesta de rehabilitación se centró en fortalecer la estructura del pavimento sin modificar el trazo existente, lo cual constituye una solución realista, técnica y económicamente viable. Esta experiencia pone en evidencia la importancia de adaptar las soluciones de ingeniería a las condiciones reales del entorno, priorizando intervenciones eficientes, sostenibles y de bajo impacto.

8. Recomendaciones

Se recomienda establecer un plan de mantenimiento periódico del pavimento rehabilitado, con énfasis en la conservación de las juntas, el control del drenaje superficial y la detección temprana de fisuras, con el fin de preservar la funcionalidad de la vía a lo largo del tiempo.

Es necesario implementar controles de carga y establecer regulaciones para el transporte hacia la escombrera, con el objetivo de evitar la sobrecarga de la vía y prolongar la vida útil del pavimento rehabilitado.

9. Bibliografía

AASHTO-93. (2006). *Diseño de pavimentos*.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures*. Washington, D.C.: AASHTO.

Arthur. (10 de Abril de 2013). *CIVILteam*.

<https://fletch3hr.blogspot.com/2013/04/deterioro-de-pavimentos.html>

ASTM. (2016). Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. En A. D6433-16, *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*.

ASTM-D6433. (2011). *Roads and Parking Lots Pavement Condition Index*.

Cárdenas, J. (2002). Diseño Geométrico de Carreteras. En J. Cárdenas, *Diseño Geométrico de Carreteras* (pág. 3). 2da edición.

FRAPIAL. (16 de Diciembre de 2022). *FRAPIAL*. <https://www.frapial.com/que-son-los-pavimentos-semirrigidos/#:~:text=Un%20pavimento%20semirr%C3%ADgido%20es%20aque%20la%20capa%20flexible%20por%20encima>.

Grisales, J. C. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá, Colombia : Ecoe Ediciones.

INGEPAV, M. P. (2002). *Manual PCI*.

MOPC. (2016). *IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN PAVIMENTOS Y TÉCNICAS DE REPARACIÓN*.

MTOP. (2003). Normas de Diseño Geometrico de Carreteras. En M. d. Públicas,
Normas de Diseño Geometrico de Carreteras (pág. 180).

MTOP. (2003). NORMAS DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS. En
MTOP, *NORMAS DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS*.

Vázquez, L. R. (2002). PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI). En L. R.
VÁSQUEZ, *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS*.

ANEXOS

Anexo 1: Resultados ensayo CBR, Abscisa 0+000, Profundidad 0.6 – 1.2 m.

PROYECTO:	VÍA EL ARENAL - PUENTE DE LOURDES.
SOLICITADO POR:	ING. DIEGO VINTIMILLA - DIRECCIÓN DE VIALIDAD - GPA.
CLASIFICACIÓN:	Grava arcillosa con arena GC.
ABSCISA:	0+000
PROFUNDIDAD:	0,60 - 1,20 m.
UBICACIÓN:	PARROQUIA RICAURTE - PROVINCIA DEL AZUAY.
FECHA:	12/3/2024

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CBR					ASTM D 1883
HUMEDAD NATURAL DEL MATERIAL					
Capsula #	Peso Capsula	P. Capsula + Mat. Hum	Peso Capsula + Mat. Seco	Humedad	Hum. Promedio
	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
90	30,3	213,55	201,69	6,9	6,9
107	30,8	217,9	205,83	6,9	

EJECUCION DEL ENSAYO			
Penetracion (mm)	MUESTRA 1 (56 golpes)	MUESTRA 2 (25 golpes)	MUESTRA 3 (12 golpes)
	Sobrecarga: 4,536 kg Condicion: Saturada Carga (kN)	Sobrecarga: 4,536 kg Condicion: Saturada Carga (kN)	Sobrecarga: 4,536 kg Condicion: Saturada Carga (kN)
0,00	0,00	0,000	0,000
0,25	0,208	0,206	0,204
0,50	0,217	0,210	0,207
0,75	0,222	0,215	0,210
1,00	0,230	0,220	0,214
1,25	0,236	0,224	0,217
1,50	0,242	0,228	0,219
1,75	0,248	0,233	0,221

2,00	0,254	0,236	0,225
2,25	0,259	0,241	0,229
2,50	0,263	0,244	0,230
2,75	0,269	0,249	0,232
3,00	0,273	0,253	0,234
3,25	0,278	0,257	0,236
3,50	0,282	0,260	0,237
3,75	0,286	0,263	0,240
4,00	0,290	0,265	0,242
4,25	0,293	0,268	0,244
4,50	0,297	0,272	0,246
4,75	0,300	0,275	0,247
5,00	0,304	0,277	0,249
5,25	0,307	0,280	0,252
5,50	0,311	0,283	0,255
5,75	0,314	0,285	0,259
6,00	0,317	0,287	0,261
6,25	0,310	0,289	0,264
6,50	0,325	0,293	0,268
6,75	0,329	0,297	0,270
7,00	0,332	0,301	0,273

NUMERO CBR (%)				
PENETRACION	MUESTRA 1 (56 golpes)	MUESTRA 2 (25 golpes)	MUESTRA 3 (12 golpes)	CBR 100%
2,5 mm	2,0	1,8	1,7	2,0
5,0 mm	1,5	1,4	1,2	

CONTENIDO FINAL DE HUMEDAD w (%)			
Seccion del Molde	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1/3 Superior	32,3	33,0	36,3
1/3 Medio	11,4	18,6	26,4
1/3 Inferior	21,0	23,9	30,1
Promedio (%)	21,6	25,2	30,9

ESPONJAMIENTO (mm) - CONDICION SATURADA			
FECHA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
5-mar-24	0,00	0,00	0,00
6-mar-24	5,16	5,69	8,00
7-mar-24	7,47	8,42	11,33
8-mar-24	8,92	10,24	11,73
9-mar-24	9,60	11,58	11,81

Grafico Penetracion (mm) v.s. Carga (kN):

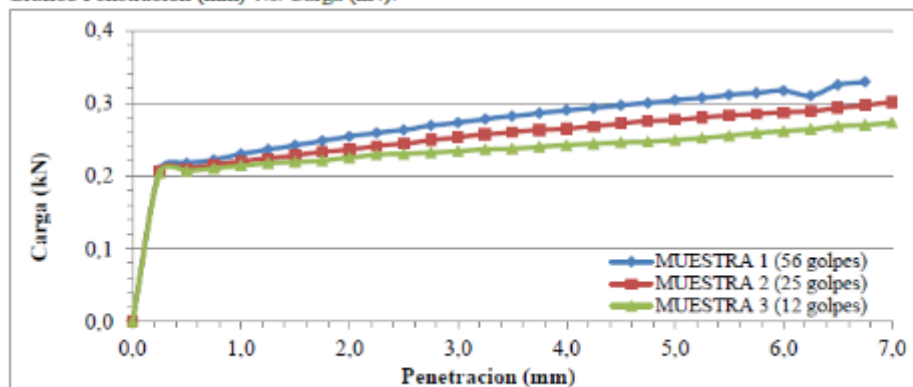
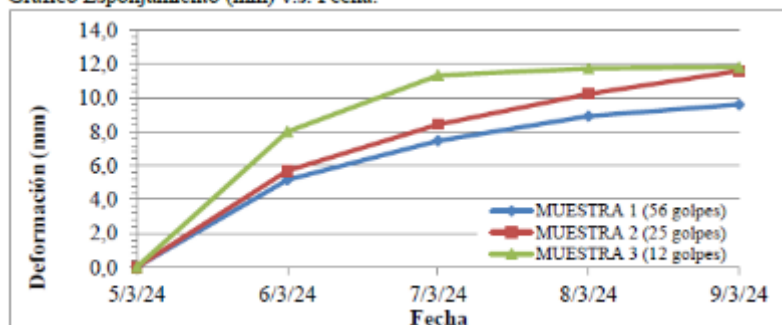
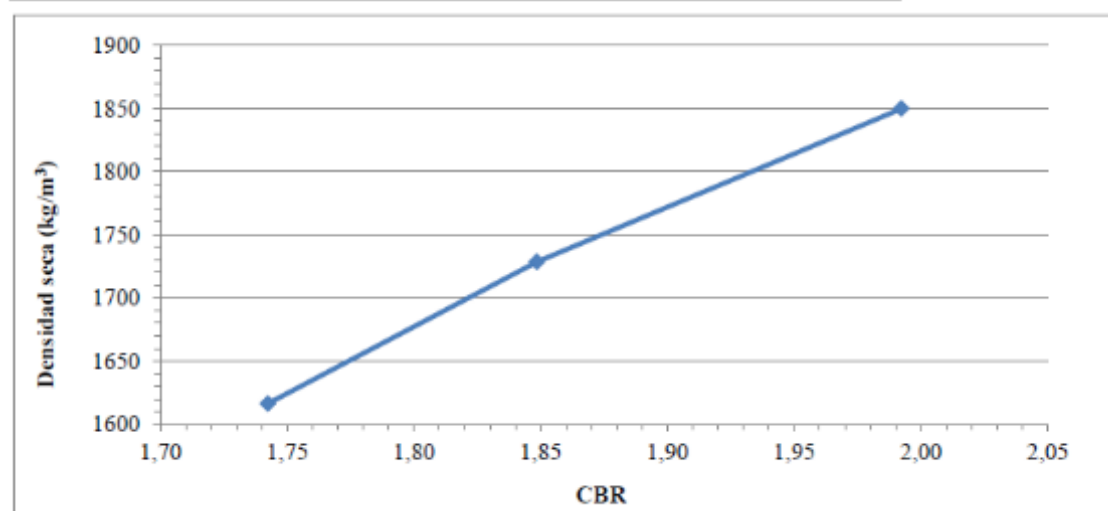


Grafico Esponjamiento (mm) v.s. Fecha:

Grafico Densidad seca (kg/m³) v.s. CBR:

Muestra #	Densidad seca (kg/m ³)	CBR
1 (56 golpes)	1850,04	2,0
2 (25 golpes)	1728,59	1,8
3 (12 golpes)	1616,44	1,7



Anexo 2: Resultados ensayo CBR, Abscisa 1+000, Profundidad 0.5 – 1.3 m.

PROYECTO:	VÍA EL ARENAL - PUENTE DE LOURDES.
SOLICITADO POR:	ING. DIEGO VINTIMILLA - DIRECCIÓN DE VIALIDAD - GPA.
CLASIFICACIÓN:	Grava arcillosa GC.
ABSCISA:	1+000
PROFUNDIDAD:	0,50 - 1,30 m.
UBICACIÓN:	PARROQUIA RICAURTE - PROVINCIA DEL AZUAY.
FECHA:	12/03/2024

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CBR					ASTM D 1883
HUMEDAD NATURAL DEL MATERIAL					
Capsula #	Peso Capsula (gr)	P. Capsula + Mat. Hum (gr)	Peso Capsula + Mat. Seco (gr)	Humedad (%)	Hum. Promedio (%)
13	31,71	169,46	147,52	18,9	18,8
22	31,59	160,79	140,46	18,7	

EJECUCION DEL ENSAYO			
Penetracion (mm)	MUESTRA 1 (56 golpes)	MUESTRA 2 (25 golpes)	MUESTRA 3 (12 golpes)
	Sobrecarga: 4,536 kg Condicion: Saturada Carga (kN)	Sobrecarga: 4,536 kg Condicion: Saturada Carga (kN)	Sobrecarga: 4,536 kg Condicion: Saturada Carga (kN)
0,00	0,000	0,000	0,000
0,25	0,220	0,227	0,223
0,50	0,243	0,257	0,249
0,75	0,264	0,283	0,275
1,00	0,284	0,311	0,300
1,25	0,307	0,339	0,322
1,50	0,331	0,368	0,346
1,75	0,356	0,395	0,369

2,00	0,378	0,424	0,390
2,25	0,402	0,451	0,412
2,50	0,421	0,478	0,430
2,75	0,447	0,504	0,448
3,00	0,470	0,530	0,465
3,25	0,496	0,550	0,484
3,50	0,517	0,576	0,501
3,75	0,538	0,602	0,517
4,00	0,562	0,625	0,534
4,25	0,584	0,644	0,550
4,50	0,601	0,665	0,564
4,75	0,628	0,686	0,580
5,00	0,647	0,706	0,596
5,25	0,667	0,723	0,607
5,50	0,687	0,742	0,620
5,75	0,708	0,762	0,633
6,00	0,726	0,780	0,644
6,25	0,743	0,796	0,656
6,50	0,761	0,813	0,666
6,75	0,776	0,829	0,679
7,00	0,792	0,845	0,689

NUMERO CBR (%)				
PENETRACION	MUESTRA 1 (56 golpes)	MUESTRA 2 (25 golpes)	MUESTRA 3 (12 golpes)	CBR 100%
2,5 mm	3,2	3,6	3,3	3,2
5,0 mm	3,2	3,5	3,0	

CONTENIDO FINAL DE HUMEDAD w (%)			
Seccion del Molde	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1/3 Superior	30,0	27,8	29,2
1/3 Medio	20,6	22,1	24,0
1/3 Inferior	23,7	26,1	25,4
Promedio (%)	24,8	25,3	26,2

ESPONJAMIENTO (mm) - CONDICION SATURADA			
FECHA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
6-mar-24	0,00	0,00	0,00
7-mar-24	8,15	6,12	7,32
8-mar-24	9,86	8,13	7,47
9-mar-24	10,77	8,26	7,49
10-mar-24	11,46	8,31	7,54

Grafico Penetracion (mm) v.s. Carga (kN):

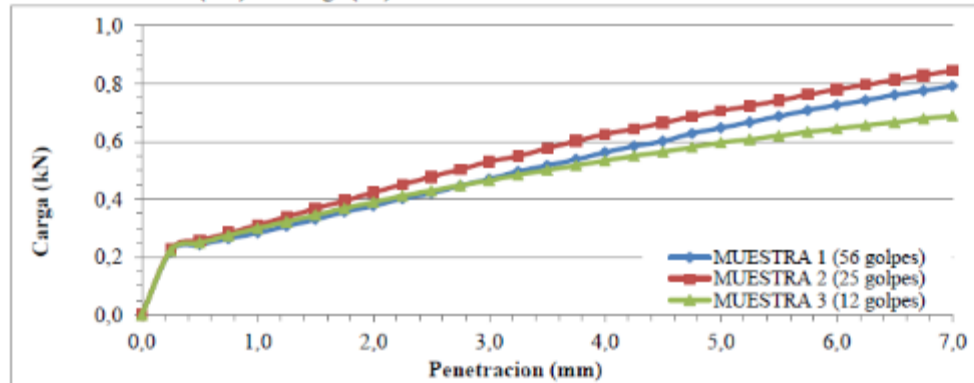
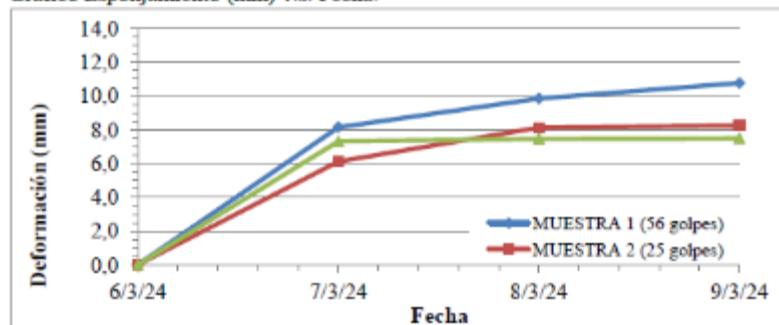
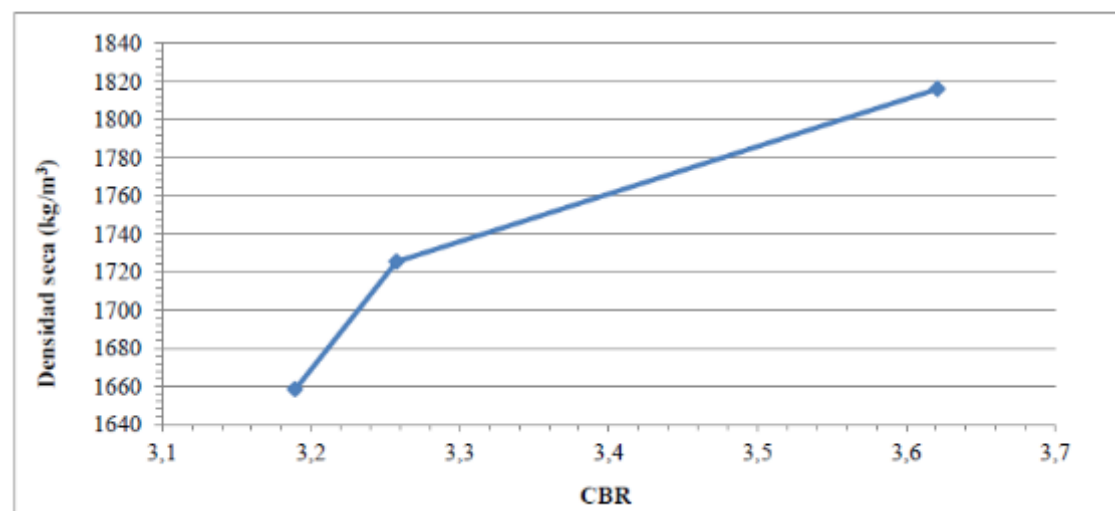


Grafico Esponjamiento (mm) v.s. Fecha:

Grafico Densidad seca (kg/m³) v.s. CBR:

Muestra #	Densidad seca (kg/m ³)	CBR
1 (56 golpes)	1816,12	3,2
2 (25 golpes)	1725,42	3,6
3 (12 golpes)	1658,48	3,3



Anexo 3: Resultados ensayo CBR, Abscisa 2+000, Profundidad 0.3 – 1.00 m.

PROYECTO:	VIA EL ARENAL - PUENTE DE LOURDES.
SOLICITADO POR:	ING. DIEGO VINTIMILLA - DIRECCIÓN DE VIALIDAD - GPA.
CLASIFICACIÓN:	Grava arcillosa con arena GC.
ABSCISA:	2+000
PROFUNDIDAD:	0,30 - 1,00 m
UBICACIÓN:	PARROQUIA RICAURTE - PROVINCIA DEL AZUAY.
FECHA:	12/03/2024

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE CBR					ASTM D 1883
HUMEDAD NATURAL DEL MATERIAL					
Capsula #	Peso Capsula (gr)	P. Capsula + Mat. Hum (gr)	Peso Capsula + Mat. Seco (gr)	Humedad (%)	Hum. Promedio (%)
7	31,08	180,17	158,81	16,7	16,6
87	31,06	176,3	155,72	16,5	

EJECUCION DEL ENSAYO			
Penetracion (mm)	MUESTRA 1 (56 golpes)	MUESTRA 2 (25 golpes)	MUESTRA 3 (12 golpes)
	Sobrecarga: 4,536 kg Condicion: Saturada Carga (kN)	Sobrecarga: 4,536 kg Condicion: Saturada Carga (kN)	Sobrecarga: 4,536 kg Condicion: Saturada Carga (kN)
0,00	0,000	0,000	0,000
0,25	0,265	0,262	0,264
0,50	0,327	0,325	0,323
0,75	0,391	0,398	0,384
1,00	0,463	0,475	0,449
1,25	0,536	0,549	0,507
1,50	0,613	0,630	0,560
1,75	0,687	0,704	0,611

2,00	0,749	0,778	0,665
2,25	0,826	0,841	0,707
2,50	0,901	0,913	0,750
2,75	0,970	0,978	0,795
3,00	1,033	1,035	0,829
3,25	1,105	1,089	0,864
3,50	1,161	1,144	0,891
3,75	1,217	1,194	0,934
4,00	1,273	1,243	0,962
4,25	1,329	1,295	0,995
4,50	1,378	1,339	1,026
4,75	1,429	1,379	1,054
5,00	1,479	1,419	1,081
5,25	1,515	1,460	1,109
5,50	1,553	1,496	1,132
5,75	1,596	1,532	1,151
6,00	1,627	1,574	1,173
6,25	1,662	1,607	1,195
6,50	1,703	1,645	1,215
6,75	1,734	1,680	1,236
7,00	1,765	1,719	1,260

NUMERO CBR (%)				
PENETRACION	MUESTRA 1 (56 golpes)	MUESTRA 2 (25 golpes)	MUESTRA 3 (12 golpes)	CBR 100%
2,5 mm	6,8	6,9	5,7	7,4
5,0 mm	7,4	7,1	5,4	

CONTENIDO FINAL DE HUMEDAD w (%)			
Seccion del Molde	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1/3 Superior	-496,9	-566,9	-477,4
1/3 Medio	-529,0	-487,2	-500,2
1/3 Inferior	-515,5	-513,6	-462,1
Promedio (%)	-513,8	-522,5	-479,9

ESPONJAMIENTO (mm) - CONDICION SATURADA			
FECHA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
10-mar-24	0,00	0,00	0,00
11-mar-24	4,27	3,56	3,30
12-mar-24	4,37	3,61	3,30

Grafico Penetracion (mm) v.s. Carga (kN):

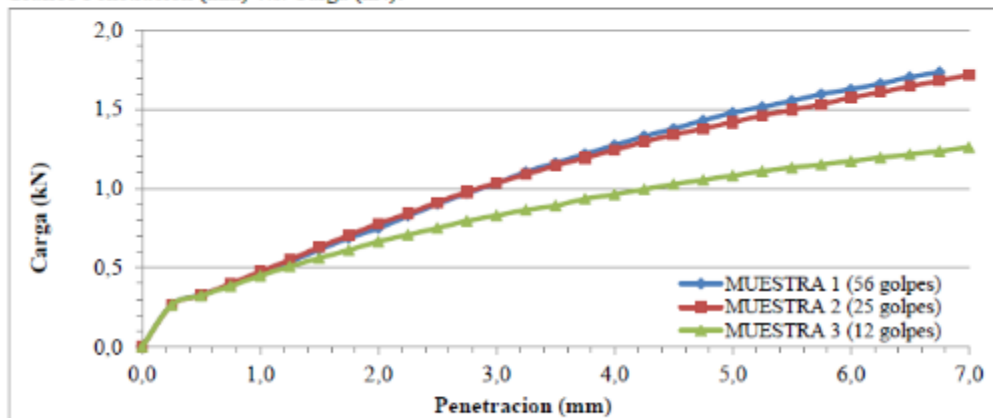
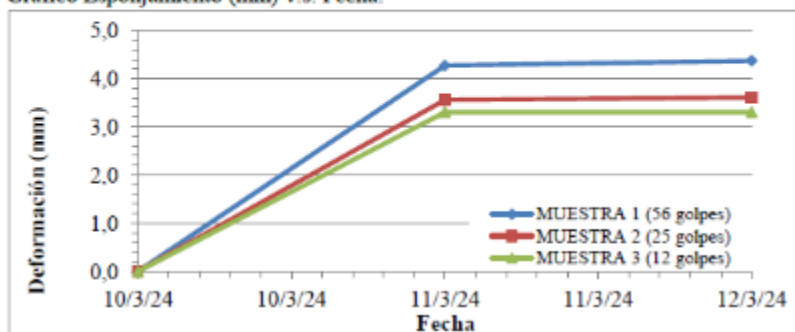
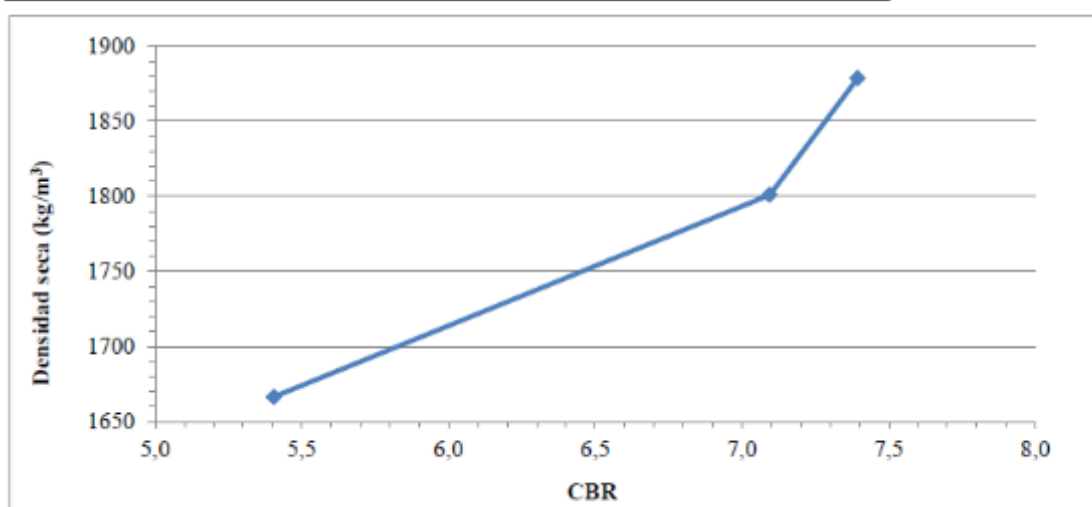
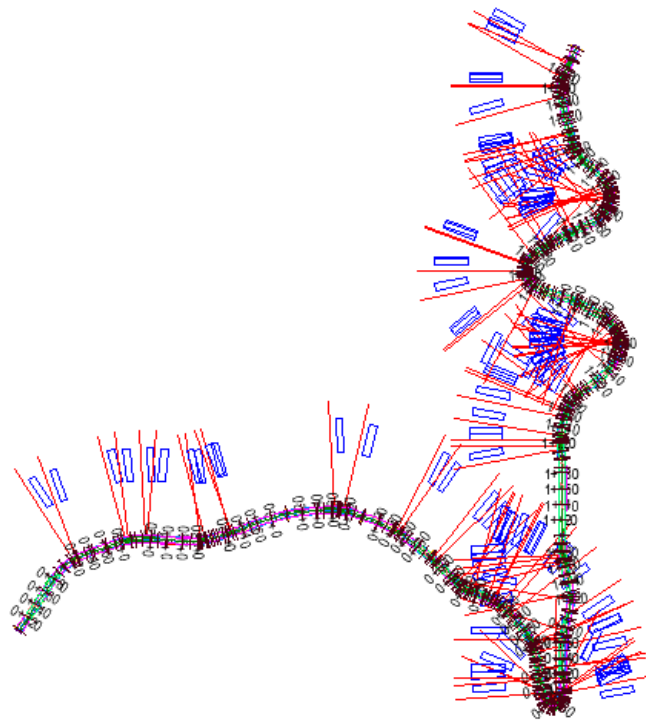
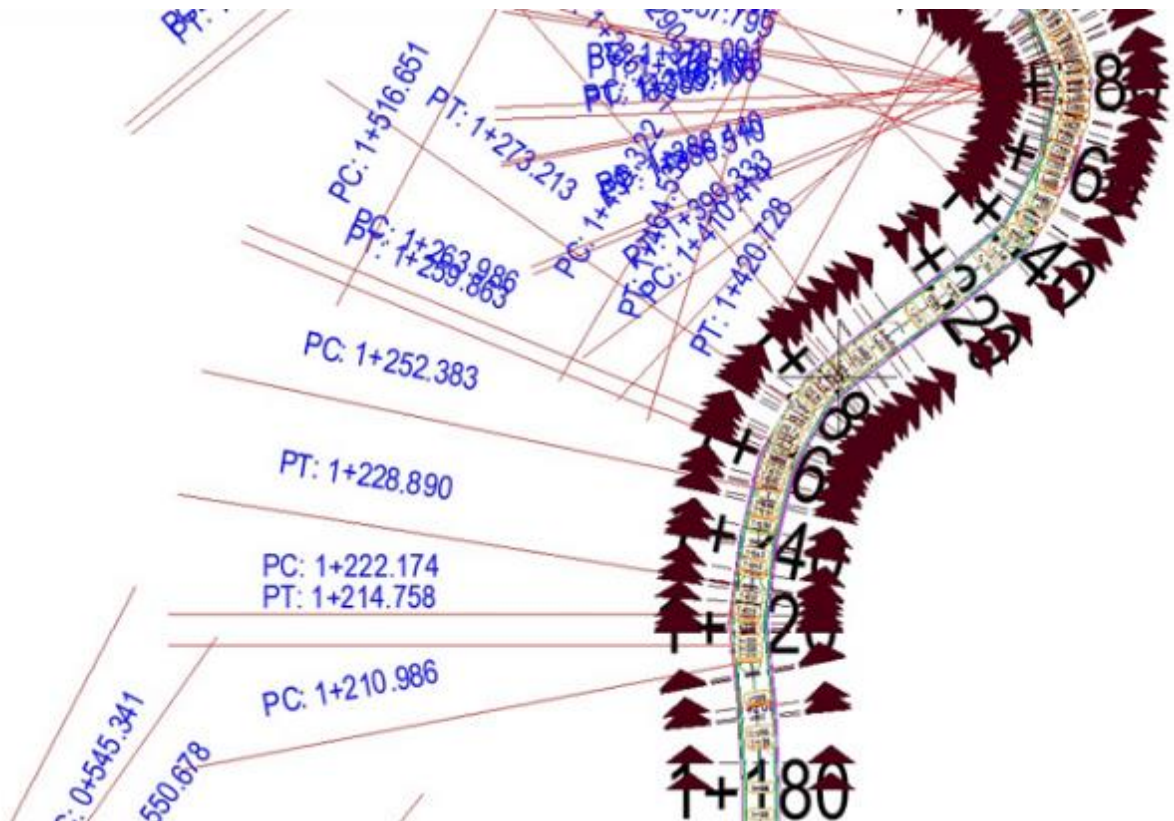


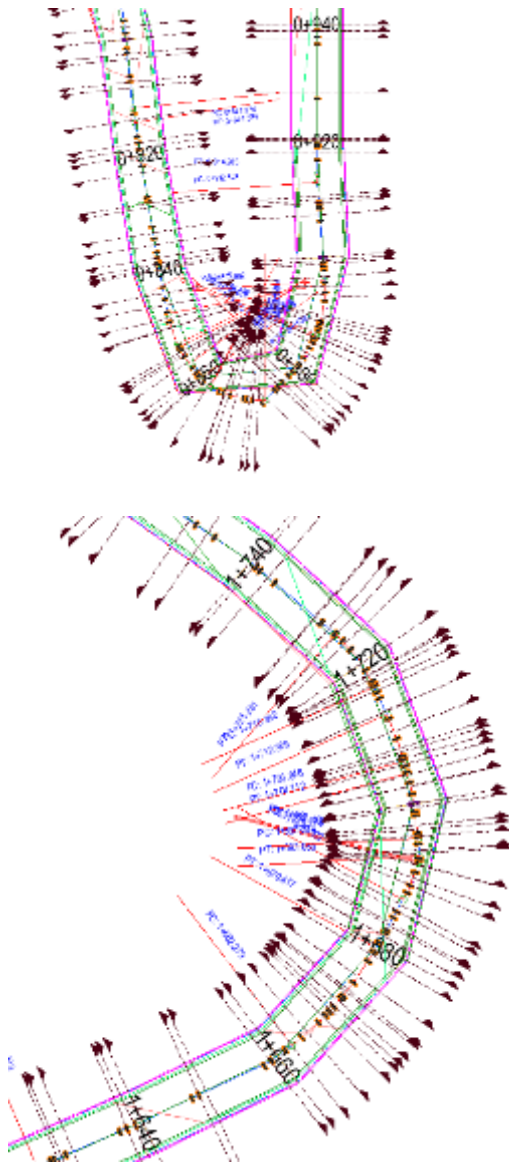
Grafico Esponjamiento (mm) v.s. Fecha:

Grafico Densidad seca (kg/m³) v.s. CBR:

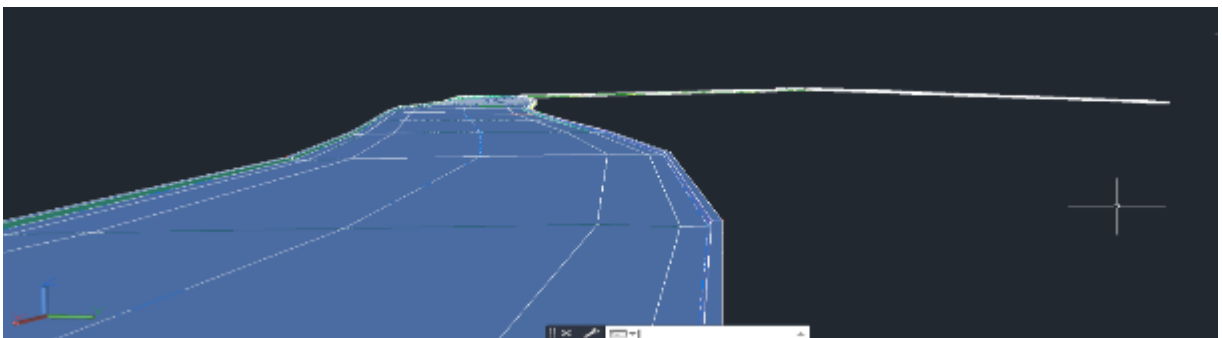
Muestra #	Densidad seca (kg/m ³)	CBR
1 (56 golpes)	1878,64	7,4
2 (25 golpes)	1801,00	7,1
3 (12 golpes)	1666,43	5,4



Anexo 4: Trazado vial empleando el software Civil3D.**Anexo 5: Secciones críticas presentes en la vía.**



Anexo 6: Simulación del recorrido de la vía empleando Civil3D.



Anexo 7: Conteo Vehicular del jueves

FORMATO CONTEO DIARIO - CLASIFICACION VEHICULAR ESTUDIO DE TRAFICO (JUEVES)

TRAMO DE LA CARRETERA		DIA Y FECHA	13 DE MARZO DEL 2025
SENTIDO	PRIMER SENTIDO		
UBICACION	ARENAL- LLACAO		

HORA	AUTOS	CAMIONETAS		BUS		CAMION			SEMI TRAILER				VOLQUETAS		TOTAL	
		PICK UP	RURAL	2 E	>=3 E	C2D	C2DA	C2DB	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	V2DB	V3A		
7:00 - 7:15	83	7	3	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100
7:15 - 7:30	61	11	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83
7:30 - 7:45	49	10	9	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	71
7:45 - 8:00	40	8	4	5	0	0	4	1	0	0	0	0	0	1	0	63
8:00 - 8:15	40	8	5	0	0	1	3	4	0	0	0	0	0	3	0	64
8:15 - 8:30	30	9	4	1	0	1	0	4	0	0	0	0	0	3	0	52
8:30 - 8:45	22	12	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	42
8:45 - 9:00	18	10	4	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	7	1	46
9:00 - 9:15	23	7	8	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	7	0	47
9:15 - 9:30	23	9	2	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	3	45
9:30 - 9:45	26	11	3	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	2	1	51
9:45 - 10:00	29	10	6	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3	8	60
10:00 - 10:15	19	11	3	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4	2	43
10:15 - 10:30	29	9	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	2	49
10:30 - 10:45	22	6	9	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	5	48
10:45 - 11:00	34	8	6	2	0	3	2	1	0	0	0	0	0	2	1	59
11:00 - 11:15	21	8	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	4	41
11:15 - 11:30	19	10	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	3	43
11:30 - 11:45	25	14	5	3	0	3	2	0	0	0	0	0	0	5	2	59
11:45 - 12:00	36	6	7	3	0	3	3	3	0	0	0	0	0	3	4	68
12:00 - 12:15	37	12	7	2	0	0	2	3	0	0	0	0	0	2	1	66
12:15 - 12:30	45	11	7	4	0	2	2	1	0	0	0	0	0	3	2	77
12:30 - 12:45	36	15	0	5	0	3	0	2	0	0	0	0	0	4	4	69
12:45 - 13:00	33	14	7	2	0	1	3	0	0	0	0	0	0	4	2	66
13:00 - 13:15	35	5	4	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	3	53
13:15 - 13:30	23	13	4	7	0	2	1	0	0	0	0	0	0	4	4	58
13:30 - 13:45	25	11	3	3	0	4	2	0	0	0	0	1	0	4	4	57
13:45 - 14:00	27	14	3	3	0	3	0	2	0	0	0	0	0	2	3	57
14:00 - 14:15	34	15	4	1	0	6	0	0	0	0	0	0	0	7	2	69
14:15 - 14:30	36	9	5	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	7	3	67
14:30 - 14:45	31	11	3	4	0	2	4	0	0	0	0	1	0	3	3	62
14:45 - 15:00	26	10	5	3	0	3	5	1	0	0	0	0	0	7	2	62
15:00 - 15:15	34	10	6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3	3	58
15:15 - 15:30	37	9	5	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	4	3	63
15:30 - 15:45	30	11	5	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4	2	58
15:45 - 16:00	23	10	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	2	5	45
16:00 - 16:15	22	9	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	3	44
16:15 - 16:30	28	14	1	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	5	4	57
16:30 - 16:45	24	10	4	1	0	1	4	0	0	0	0	0	0	3	0	47
16:45 - 17:00	28	9	3	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	2	47
17:00 - 17:15	41	17	7	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	1	3	75
17:15 - 17:30	29	21	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	58
17:30 - 17:45	32	12	0	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	51
17:45 - 18:00	40	19	4	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	69
18:00 - 18:15	37	17	2	5	0	4	2	1	0	0	0	0	0	1	0	69
18:15 - 18:30	31	10	4	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	50
18:30 - 18:45	45	9	4	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	62
18:45 - 19:00	47	11	9	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	75
TOTAL	1565	522	207	118	0	72	61	40	0	0	2	0	144	94	2825	

Anexo 8: Conteo Vehicular del viernes

FORMATO CONTEO DIARIO - CLASIFICACION VEHICULAR ESTUDIO DE TRAFICO (VIERNES)

TRAMO DE LA CARRETERA		DIA Y FECHA	14 DE MARZO DEL 2025
SENTIDO	PRIMER SENTIDO		
UBICACION	ARENAL- LLACAO		

HORA	AUTOS	CAMIONETAS		BUS		CAMION			SEMI TRAILER				VOLQUETAS		TOTAL	
		PICK UP	RURAL	2 E	>=3 E	C2D	C2DA	C2DB	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	V2DB	V3A		
7:00 - 7:15	75	6	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89
7:15 - 7:30	58	11	4	5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	80
7:30 - 7:45	42	10	9	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	3	0	68
7:45 - 8:00	47	9	4	4	0	0	3	3	0	0	0	0	0	1	1	74
8:00 - 8:15	39	9	6	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	3	0	62
8:15 - 8:30	34	10	2	2	0	2	3	2	0	0	0	0	0	5	0	60
8:30 - 8:45	37	17	3	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	4	2	66
8:45 - 9:00	30	14	6	4	0	1	4	1	0	0	0	0	0	5	1	66
9:00 - 9:15	44	12	5	1	0	2	2	1	0	0	0	0	0	6	2	74
9:15 - 9:30	30	11	3	3	0	1	1	2	0	0	0	0	0	4	3	58
9:30 - 9:45	36	12	2	2	0	3	3	1	0	0	0	0	0	1	2	61
9:45 - 10:00	37	13	4	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	6	6	74
10:00 - 10:15	33	12	4	3	0	2	2	1	0	0	0	0	0	5	4	65
10:15 - 10:30	40	10	4	0	0	3	2	1	0	0	0	0	0	2	4	65
10:30 - 10:45	27	12	6	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	5	4	59
10:45 - 11:00	35	11	3	1	0	5	4	2	0	0	0	0	0	4	3	67
11:00 - 11:15	28	13	6	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	3	4	59
11:15 - 11:30	31	11	4	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	7	2	59
11:30 - 11:45	29	9	4	2	0	3	4	2	0	0	0	0	0	7	5	66
11:45 - 12:00	44	10	6	3	0	2	3	1	0	0	0	0	0	6	2	79
12:00 - 12:15	44	14	6	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	6	2	77
12:15 - 12:30	37	11	7	2	0	1	2	1	0	0	0	0	0	2	3	67
12:30 - 12:45	47	12	2	3	0	2	2	1	0	0	0	0	0	2	2	74
12:45 - 13:00	38	11	5	1	0	1	4	2	0	0	0	0	0	2	1	65
13:00 - 13:15	51	11	6	2	0	2	3	3	0	0	0	0	0	2	1	80
13:15 - 13:30	43	12	5	5	0	2	3	1	0	0	0	0	0	3	2	76
13:30 - 13:45	41	14	3	5	0	4	4	0	0	0	1	0	0	2	2	75
13:45 - 14:00	44	16	4	3	0	2	1	1	0	0	0	0	0	1	1	73
14:00 - 14:15	44	13	4	2	0	6	2	0	0	0	0	0	0	4	2	77
14:15 - 14:30	44	11	8	2	0	2	3	2	0	0	0	0	0	5	2	79
14:30 - 14:45	45	11	3	4	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	1	72
14:45 - 15:00	35	13	5	2	0	1	3	0	0	0	0	0	0	4	1	65
15:00 - 15:15	39	13	6	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	1	66
15:15 - 15:30	44	13	5	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	3	2	72
15:30 - 15:45	35	9	4	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	1	58
15:45 - 16:00	30	16	4	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	3	2	59
16:00 - 16:15	37	12	5	1	0	2	1	1	0	0	0	0	0	3	2	64
16:15 - 16:30	40	14	3	3	0	3	0	1	0	0	0	0	0	2	2	66
16:30 - 16:45	37	11	2	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	2	0	59
16:45 - 17:00	42	15	4	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	67
17:00 - 17:15	51	19	5	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	82
17:15 - 17:30	41	16	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	65
17:30 - 17:45	35	10	2	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	53
17:45 - 18:00	42	14	7	2	0	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	70
18:00 - 18:15	44	12	5	2	0	4	1	1	0	0	0	0	0	1	0	70
18:15 - 18:30	37	12	7	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	61
18:30 - 18:45	42	14	2	3	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	65
18:45 - 19:00	49	13	4	6	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	77
TOTAL	1935	585	217	113	0	89	89	43	0	0	1	0	137	78	3287	

Anexo 9: Conteo Vehicular del sábado

FORMATO CONTEO DIARIO - CLASIFICACION VEHICULAR ESTUDIO DE TRAFICO (SABADO)

TRAMO DE LA CARRETERA		DIA Y FECHA	15 DE MARZO DEL 2025
SENTIDO	PRIMER SENTIDO		
UBICACION	ARENAL- LLACAO		

HORA	AUTOS	CAMIONETAS		BUS		CAMION			SEMI TRAILER				VOLQUETAS		TOTAL	
		PICK UP	RURAL	2 E	>=3 E	C2D	C2DA	C2DB	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	V2DB	V3A		
7:00 - 7:15	69	5	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80
7:15 - 7:30	54	10	4	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	74
7:30 - 7:45	37	9	8	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	3	0	62
7:45 - 8:00	51	9	4	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	1	73
8:00 - 8:15	37	8	5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	54
8:15 - 8:30	35	9	1	2	0	2	3	0	0	0	0	0	0	5	0	57
8:30 - 8:45	46	20	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	4	2	76
8:45 - 9:00	37	16	7	3	0	2	4	0	0	0	0	0	0	3	0	72
9:00 - 9:15	55	13	3	2	0	2	2	1	0	0	0	0	0	5	2	85
9:15 - 9:30	35	11	3	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	4	3	62
9:30 - 9:45	41	11	1	1	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	2	61
9:45 - 10:00	41	14	2	1	0	3	2	2	0	0	0	0	0	7	4	76
10:00 - 10:15	40	12	3	4	0	2	1	1	0	0	0	0	0	4	3	70
10:15 - 10:30	47	10	3	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	1	4	70
10:30 - 10:45	29	14	3	1	0	4	1	0	0	0	0	0	0	5	3	60
10:45 - 11:00	35	12	1	0	0	5	3	1	0	0	0	0	0	4	3	64
11:00 - 11:15	33	16	6	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3	2	65
11:15 - 11:30	38	11	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	8	2	65
11:30 - 11:45	31	6	3	2	0	2	4	2	0	0	0	0	0	7	6	63
11:45 - 12:00	49	12	5	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	8	0	79
12:00 - 12:15	49	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	77
12:15 - 12:30	29	10	6	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	2	3	55
12:30 - 12:45	54	10	2	2	0	2	3	0	0	0	0	0	0	1	0	74
12:45 - 13:00	40	8	2	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0	1	0	57
13:00 - 13:15	59	14	7	1	0	2	4	2	0	0	0	0	0	2	0	91
13:15 - 13:30	55	11	4	2	0	2	4	1	0	0	0	0	0	2	1	82
13:30 - 13:45	50	14	3	5	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	77
13:45 - 14:00	55	16	4	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	78
14:00 - 14:15	50	12	4	1	0	5	2	0	0	0	0	0	0	1	1	76
14:15 - 14:30	48	12	10	0	0	2	4	1	0	0	0	0	0	2	0	79
14:30 - 14:45	54	11	3	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	74
14:45 - 15:00	41	14	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	64
15:00 - 15:15	42	14	4	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	66
15:15 - 15:30	48	16	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	72
15:30 - 15:45	37	7	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
15:45 - 16:00	33	20	4	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	62
16:00 - 16:15	46	12	8	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	70
16:15 - 16:30	45	12	3	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65
16:30 - 16:45	45	11	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	62
16:45 - 17:00	50	17	4	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	74
17:00 - 17:15	56	19	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	81
17:15 - 17:30	47	12	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	62
17:30 - 17:45	37	8	3	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	52
17:45 - 18:00	43	10	9	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	66
18:00 - 18:15	47	8	7	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	67
18:15 - 18:30	39	12	8	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
18:30 - 18:45	40	16	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	62
18:45 - 19:00	50	13	1	5	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	73
TOTAL	2129	582	191	75	0	76	75	26	0	0	0	0	0	101	43	3298

Anexo 10: Conteo Vehicular del domingo

FORMATO CONTEO DIARIO - CLASIFICACION VEHICULAR ESTUDIO DE TRAFICO (DOMINGO)

TRAMO DE LA CARRETERA		DIA Y FECHA	16 DE MARZO DEL 2025
SENTIDO	PRIMER SENTIDO		
UBICACION	ARENAL- LLACAO		

HORA	AUTOS	CAMIONETAS		BUS		CAMION			SEMI TRAILER				VOLQUETAS		TOTAL		
		PICK UP	RURAL	2 E	>=3 E	C2D	C2DA	C2DB	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	V2DB	V3A			
7:00 - 7:15	22	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
7:15 - 7:30	27	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	39
7:30 - 7:45	30	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	39
7:45 - 8:00	32	7	2	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	46
8:00 - 8:15	21	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	34
8:15 - 8:30	28	7	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	42
8:30 - 8:45	26	14	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	48
8:45 - 9:00	26	7	4	2	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	3	0	48
9:00 - 9:15	13	9	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	5	1	30
9:15 - 9:30	21	11	3	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	2	43
9:30 - 9:45	25	10	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	39
9:45 - 10:00	28	12	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	4	51
10:00 - 10:15	26	8	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	3	44
10:15 - 10:30	20	10	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	37
10:30 - 10:45	20	7	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5	3	39
10:45 - 11:00	17	6	1	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	4	2	36
11:00 - 11:15	15	7	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	31
11:15 - 11:30	21	6	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	2	39
11:30 - 11:45	18	6	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	33
11:45 - 12:00	40	7	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7	0	60
12:00 - 12:15	41	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	56
12:15 - 12:30	26	10	6	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	50
12:30 - 12:45	35	6	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	46
12:45 - 13:00	24	8	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	37
13:00 - 13:15	36	8	4	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	53
13:15 - 13:30	30	8	4	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	48
13:30 - 13:45	25	7	3	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
13:45 - 14:00	30	13	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
14:00 - 14:15	29	10	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	45
14:15 - 14:30	22	5	6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	37
14:30 - 14:45	27	11	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	44
14:45 - 15:00	20	5	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	32
15:00 - 15:15	24	7	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
15:15 - 15:30	25	7	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	38
15:30 - 15:45	21	7	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
15:45 - 16:00	22	7	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	34
16:00 - 16:15	20	4	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	28
16:15 - 16:30	24	9	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38
16:30 - 16:45	20	6	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	32
16:45 - 17:00	19	11	4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
17:00 - 17:15	34	11	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
17:15 - 17:30	31	10	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
17:30 - 17:45	25	7	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
17:45 - 18:00	24	10	7	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	44
18:00 - 18:15	32	8	5	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	48
18:15 - 18:30	34	12	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
18:30 - 18:45	35	11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
18:45 - 19:00	37	8	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
TOTAL	1248	393	133	33	0	37	34	9	0	0	0	0	0	71	27	1985	

Anexo 11: Conteo Vehicular del lunes















FORMATO CONTEO DIARIO - CLASIFICACION VEHICULAR ESTUDIO DE TRAFICO (LUNES)

TRAMO DE LA CARRETERA		DIA Y FECHA	17 DE MARZO DEL 2025
SENTIDO	PRIMER SENTIDO		
UBICACIÓN	ARENAL- LLACAO		

HORA	AUTOS	CAMIONETAS		BUS		CAMION			SEMI TRAILER				VOLQUETAS		TOTAL	
		PICK UP	RURAL	2 E	>=3 E	C2D	C2DA	C2DB	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	V2DB	V3A		
7:00 - 7:15	25	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	36
7:15 - 7:30	30	10	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	1	50
7:30 - 7:45	39	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	54
7:45 - 8:00	39	10	4	3	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	63
8:00 - 8:15	23	13	4	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0	46	
8:15 - 8:30	35	14	7	1	0	2	1	1	0	0	0	0	4	2	67	
8:30 - 8:45	29	16	2	1	0	2	3	1	0	0	0	0	5	0	59	
8:45 - 9:00	29	7	4	2	0	4	4	0	0	0	0	0	12	3	65	
9:00 - 9:15	13	10	0	2	0	2	2	1	0	0	0	0	6	2	38	
9:15 - 9:30	24	15	5	1	0	0	2	2	0	0	0	0	4	3	56	
9:30 - 9:45	31	17	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	7	3	65	
9:45 - 10:00	32	12	3	2	0	2	1	2	0	0	0	0	2	6	62	
10:00 - 10:15	28	8	4	0	0	0	2	2	0	0	1	0	6	3	54	
10:15 - 10:30	23	11	6	0	0	4	2	0	0	0	0	0	5	1	52	
10:30 - 10:45	26	7	5	3	0	1	3	1	0	0	0	0	7	5	58	
10:45 - 11:00	18	6	3	5	0	5	3	2	0	0	0	0	4	2	48	
11:00 - 11:15	17	7	5	1	0	3	1	0	0	0	0	0	5	1	40	
11:15 - 11:30	24	8	9	3	0	3	3	0	0	0	1	0	4	5	60	
11:30 - 11:45	19	11	8	2	0	3	0	0	0	0	0	0	3	3	49	
11:45 - 12:00	44	10	4	3	0	3	1	0	0	0	0	0	8	2	75	
12:00 - 12:15	54	8	3	1	0	3	3	2	0	0	0	0	4	1	79	
12:15 - 12:30	41	15	8	3	0	1	2	0	0	0	0	0	4	2	76	
12:30 - 12:45	38	6	1	1	0	4	1	0	0	0	0	0	5	2	58	
12:45 - 13:00	43	15	3	4	0	1	1	1	0	0	0	0	3	2	73	
13:00 - 13:15	41	13	4	3	0	5	1	0	0	0	0	0	2	0	69	
13:15 - 13:30	35	10	8	3	0	1	1	0	0	0	0	0	5	2	65	
13:30 - 13:45	28	10	10	4	0	2	3	0	0	0	0	0	3	3	63	
13:45 - 14:00	34	18	4	4	0	1	2	0	0	0	0	0	7	5	75	
14:00 - 14:15	33	13	3	1	0	1	5	1	0	0	0	0	3	5	65	
14:15 - 14:30	23	11	6	2	0	0	2	0	0	0	0	0	6	8	58	
14:30 - 14:45	31	14	5	0	0	3	2	1	0	0	0	0	5	2	63	
14:45 - 15:00	23	5	3	3	0	2	2	1	0	0	0	0	6	6	51	
15:00 - 15:15	27	7	5	3	0	2	0	0	0	0	0	0	6	3	53	
15:15 - 15:30	28	7	4	1	0	2	2	2	0	0	0	0	3	2	51	
15:30 - 15:45	24	11	4	1	0	2	3	1	0	0	0	0	5	5	56	
15:45 - 16:00	24	7	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	42	
16:00 - 16:15	23	4	2	1	0	2	1	0	0	0	0	0	3	1	37	
16:15 - 16:30	26	10	3	2	0	3	3	1	0	0	0	0	2	0	50	
16:30 - 16:45	23	6	7	0	0	4	1	2	0	0	0	0	1	0	44	
16:45 - 17:00	22	11	5	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	42	
17:00 - 17:15	39	12	2	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	57	
17:15 - 17:30	34	15	4	0	0	2	3	0	0	0	0	0	1	0	59	
17:30 - 17:45	29	8	5	2	0	2	2	0	0	0	0	0	1	0	49	
17:45 - 18:00	30	14	10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	58	
18:00 - 18:15	42	20	10	2	0	2	4	2	0	0	0	0	0	0	82	
18:15 - 18:30	39	17	9	1	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	73	
18:30 - 18:45	52	16	8	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	80	
18:45 - 19:00	60	9	7	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	80	
TOTAL	1494	520	233	81	0	92	89	30	0	0	2	0	170	94	2805	

Anexo 12: Conteo Vehicular del martes

FORMATO CONTEO DIARIO - CLASIFICACION VEHICULAR ESTUDIO DE TRAFICO (MARTES)

TRAMO DE LA CARRETERA												DIA Y FECHA		18 DE MARZO DEL 2025		
SENTIDO		PRIMER SENTIDO														
UBICACION		ARENAL- LLACAO														
HORA	AUTOS	CAMIONETAS		BUS		CAMION			SEMI TRAILER				VOLQUETAS		TOTAL	
		PICK UP	RURAL	2 E	>=3 E	C2D	C2DA	C2DB	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	V2DB	V3A		
DIAGRA. VEH.																
7:00 - 7:15	54	9	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	67
7:15 - 7:30	34	7	3	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	2	51
7:30 - 7:45	32	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	49
7:45 - 8:00	40	9	6	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	62
8:00 - 8:15	41	9	5	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	3	1	65
8:15 - 8:30	20	13	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	3	43
8:30 - 8:45	19	11	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	37
8:45 - 9:00	15	11	4	0	0	1	1	5	0	0	0	0	0	3	2	42
9:00 - 9:15	27	7	5	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	4	2	48
9:15 - 9:30	25	9	8	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	7	1	58
9:30 - 9:45	21	9	2	2	0	1	2	3	0	0	0	0	0	4	5	49
9:45 - 10:00	28	6	5	0	0	2	3	1	0	0	0	0	0	5	3	53
10:00 - 10:15	29	5	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	5	2	47
10:15 - 10:30	30	13	3	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	7	6	66
10:30 - 10:45	36	4	5	0	0	2	3	1	0	0	0	0	0	3	3	57
10:45 - 11:00	19	8	3	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	4	1	40
11:00 - 11:15	22	8	2	1	0	4	3	0	0	0	0	0	0	8	2	50
11:15 - 11:30	23	5	1	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	5	4	42
11:30 - 11:45	21	7	7	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	7	5	53
11:45 - 12:00	30	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	52
12:00 - 12:15	41	11	4	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	6	6	72
12:15 - 12:30	50	11	6	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	7	4	82
12:30 - 12:45	46	17	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	2	73
12:45 - 13:00	41	17	9	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	5	78
13:00 - 13:15	29	15	8	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	59
13:15 - 13:30	32	12	4	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7	0	61
13:30 - 13:45	48	11	7	4	0	2	0	2	0	0	0	0	0	3	3	80
13:45 - 14:00	25	10	3	2	0	1	2	3	0	0	0	0	0	6	1	53
14:00 - 14:15	23	11	3	1	0	1	3	2	0	0	0	0	0	7	2	53
14:15 - 14:30	24	9	10	3	0	1	3	1	0	0	0	0	0	2	3	56
14:30 - 14:45	24	13	6	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	7	4	57
14:45 - 15:00	34	6	4	0	0	1	4	6	0	0	0	0	0	9	1	65
15:00 - 15:15	38	7	5	3	0	4	3	2	0	0	0	0	0	5	2	69
15:15 - 15:30	19	8	7	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0	4	1	45
15:30 - 15:45	29	12	6	2	0	1	4	2	0	0	0	0	0	8	6	70
15:45 - 16:00	17	11	4	1	0	3	4	1	0	0	0	0	0	6	2	49
16:00 - 16:15	34	18	6	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	4	2	67
16:15 - 16:30	30	12	6	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	5	1	58
16:30 - 16:45	24	8	7	1	0	2	1	1	0	0	0	0	0	4	2	50
16:45 - 17:00	35	15	3	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	1	1	60
17:00 - 17:15	39	9	5	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	1	0	59
17:15 - 17:30	39	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	51
17:30 - 17:45	46	19	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	70
17:45 - 18:00	40	9	5	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	60
18:00 - 18:15	52	8	5	3	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	71
18:15 - 18:30	50	10	6	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	73
18:30 - 18:45	63	18	5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	89
18:45 - 19:00	46	11	4	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	66
TOTAL	1584	491	213	60	0	58	73	53	0	0	0	0	0	189	106	2827

Anexo 13: Conteo Vehicular del miércoles

FORMATO CONTEO DIARIO - CLASIFICACION VEHICULAR ESTUDIO DE TRAFICO (MIERCOLES)

TRAMO DE LA CARRETERA		DIA Y FECHA	19 DE MARZO DEL 2025
SENTIDO	PRIMER SENTIDO		
UBICACION	ARENAL- LLACAO		

HORA	AUTOS	CAMIONETAS		BUS		CAMION			SEMI TRAILER				VOLQUETAS		TOTAL	
		PICK UP	RURAL	2 E	>=3 E	C2D	C2DA	C2DB	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	V2DB	V3A		
7:00 - 7:15	20	13	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
7:15 - 7:30	23	5	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	2	0	37
7:30 - 7:45	32	12	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	2	0	51
7:45 - 8:00	38	9	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	53
8:00 - 8:15	25	15	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	47
8:15 - 8:30	27	6	0	0	0	1	4	3	0	0	0	0	0	6	2	49
8:30 - 8:45	29	10	3	1	0	1	2	4	0	0	0	0	0	1	2	53
8:45 - 9:00	25	10	2	2	0	3	3	0	0	0	0	0	0	3	1	49
9:00 - 9:15	28	12	5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3	3	53
9:15 - 9:30	24	5	5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	42
9:30 - 9:45	21	8	3	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	5	3	45
9:45 - 10:00	23	7	5	3	0	3	1	2	0	0	0	0	0	4	3	51
10:00 - 10:15	23	8	7	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	5	3	51
10:15 - 10:30	17	14	4	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	4	2	46
10:30 - 10:45	21	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	42
10:45 - 11:00	15	11	2	2	0	1	1	3	0	0	0	0	0	5	2	42
11:00 - 11:15	31	11	3	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	4	4	59
11:15 - 11:30	19	6	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	2	32
11:30 - 11:45	23	9	1	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	3	47
11:45 - 12:00	38	6	4	2	0	1	2	2	0	0	0	0	0	2	2	59
12:00 - 12:15	52	12	8	2	0	2	1	2	0	0	0	0	0	2	2	83
12:15 - 12:30	46	13	7	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	1	76
12:30 - 12:45	23	8	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	36
12:45 - 13:00	44	20	3	2	0	1	2	1	0	0	0	0	0	3	0	76
13:00 - 13:15	37	16	4	3	0	1	3	1	0	0	0	0	0	3	0	68
13:15 - 13:30	46	16	15	4	0	1	2	1	0	0	0	0	0	6	5	96
13:30 - 13:45	38	17	12	6	0	3	0	4	0	0	0	0	0	4	5	89
13:45 - 14:00	43	11	11	4	0	2	3	0	0	0	0	0	0	5	4	83
14:00 - 14:15	57	12	10	2	0	1	4	0	0	0	0	0	0	8	4	98
14:15 - 14:30	32	13	9	2	0	2	2	1	0	0	0	0	0	4	9	74
14:30 - 14:45	33	6	4	2	0	1	3	0	0	0	0	0	0	2	2	53
14:45 - 15:00	28	10	7	4	0	2	4	2	0	0	0	0	0	6	3	66
15:00 - 15:15	23	13	7	4	0	4	7	2	0	0	0	0	0	3	3	66
15:15 - 15:30	39	12	5	2	0	2	1	2	0	0	0	0	0	3	0	66
15:30 - 15:45	47	6	1	5	0	1	2	2	0	0	0	0	0	3	3	70
15:45 - 16:00	36	22	6	5	0	1	2	3	0	0	0	0	0	5	1	81
16:00 - 16:15	31	16	8	6	0	3	1	1	0	0	0	0	0	4	2	72
16:15 - 16:30	30	9	8	7	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	1	59
16:30 - 16:45	20	8	4	4	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3	0	41
16:45 - 17:00	23	14	8	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	3	1	56
17:00 - 17:15	25	13	9	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	4	0	56
17:15 - 17:30	43	6	12	2	0	1	4	2	0	0	0	0	0	2	1	73
17:30 - 17:45	44	3	13	4	0	1	3	4	0	0	0	0	0	3	0	75
17:45 - 18:00	24	17	14	1	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	63
18:00 - 18:15	34	4	10	1	0	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	57
18:15 - 18:30	29	22	15	4	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	75
18:30 - 18:45	43	13	4	4	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	68
18:45 - 19:00	63	6	9	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85
TOTAL	1535	528	281	113	0	71	93	53	0	0	0	0	0	145	87	2906

Anexo 14: Inventario de fallas

Abscisa	Nº	Patología	Lado	Severidad	Ancho	Largo	Área/Longitud	Unidad
0+000	13	Baches	Izquierda	H	1	1	1	m2
	13	Baches	Derecha	L	1	1	1	m2
	4	Abultamientos y Hundimientos	Centro	M	2.5	1.5	3.75	m2
	13	Baches	Derecha	H	1	1	1	m2
0+100	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	L	1	1	1	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	3	9	27	m2
	13	Baches	Derecha	L	1	1	1	m2
	4	Abultamientos y Hundimientos	Izquierda	H	2	2	4	m2
	10	Grieta long/transv	Derecha	H		1	1	m
	3	Agrietamiento en bloque	Centro	L	1	2	2	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	1	1	m2
	11	Parqueo	Centro	L	3	6	18	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	L	1.5	1.5	2.25	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	5	10	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	4	4	m2
	13	Baches	Derecha	M	1	1	1	m2
	11	Parqueo	Centro	H	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	3	3	9	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	H	1	4	4	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	L	1	12	12	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	2	10	20	m2
0+200	10	Grieta long/transv	Derecha	M		2	2	m
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	2	5	10	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	M	2	1	2	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	L	1	1	1	m2
	10	Grieta long/transv	Izquierda	M	3		3	m
	11	Parqueo	Derecha	M	3	3	9	m2
	13	Baches	Derecha	H	2	2	4	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	2	5	10	m2
	10	Grieta long/transv	Centro	L		3	3	m
	3	Agrietamiento en bloque	Derecha	M	2	2	4	m2
	13	Baches	Izquierda	L	1	4	4	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	3	6	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	1	6	6	m2
	10	Grieta long/transv	Izquierda	L		3	3	m
	1	Piel de cocodrilo	Centro	L	1	1	1	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	2	9	18	m2
0+300	10	Grieta long/transv	Derecha	L		3	3	m
	10	Grieta long/transv	Centro	L		2	2	m
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	3	9	27	m2
	10	Grieta long/transv	Centro	L		4	4	m
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	3	5	15	m2
	13	Baches	Izquierda	M	1	2	2	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	2	2	4	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	M	1	10	10	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	2	7	14	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	H	3	8	24	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	1	8	8	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	11	11	m2
0+400	1	Piel de cocodrilo	Centro	M	4	14	56	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	3	9	27	m2
0+500	11	Parqueo	Centro	L	1	4	4	m2
	11	Parqueo	Centro	L	2	15	30	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	2	4	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	2	2	4	m2
	11	Parqueo	Toda.Calzada	L	5	1	5	m2
	10	Grieta long/transv	Derecha	L	1		1	m
	10	Grieta long/transv	Derecha	L	1		1	m
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	2	2	4	m2
	18	Hinchamiento	Derecha	H	1	2	2	m2

	11	Parqueo	Centro	L	1	3	3	m2
	11	Parqueo	Centro	L	1	3	3	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	1	3	3	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	2	1	2	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	2	4	m2
	11	Parqueo	Centro	M	2	1	2	m2
	11	Parqueo	Centro	M	1	4	4	m2
	10	Grieta long/transv	Centro	L		1	1	m
	11	Parqueo	Derecha	L	3	9	27	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	L	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Izquierda	L	1	3	3	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	3	6	m2
0+600	11	Parqueo	Derecha	L	2	23	46	m2
	11	Parqueo	Centro	L	1	3	3	m2
	11	Parqueo	Centro	L	1	4	4	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	L	1	5	5	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	16	32	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	1	4	4	m2
0+700	11	Parqueo	Izquierda	L	1	6	6	m2
	11	Parqueo	Derecha	H	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	1	3	3	m2
	11	Parqueo	Centro	L	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	11	22	m2
	10	Grieta long/transv	Centro	L		5	5	m
	11	Parqueo	Derecha	L	2	5	10	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	2	3	6	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	2	15	30	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	2	3	6	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	2	2	m2
0+800	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	7	7	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	4	4	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	2	8	16	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Centro	L	2	6	12	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	6	12	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	1	5	5	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	1	2	2	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	2	7	14	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	L	1	2	2	m2
	3	Agrietamiento en bloque	Derecha	H	2	2	4	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	1	3.5	3.5	m2
0+900	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	4	4	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	3	3	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	21	21	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	2	3	6	m2
	13	Baches	Derecha	H	2	4	8	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	H	2	7	14	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	2	4	8	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	2	2	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	M	1	1	1	m2
	13	Baches	Derecha	H	2	2	4	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1.5	13	19.5	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	M	1	1	1	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	6	12	m2
1+000	11	Parqueo	Izquierda	L	1	15	15	m2

	1	Piel de cocodrilo	Centro	M	1	6	6	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	12	24	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	M	2	3	6	m2
	10	Grieta long/transv	Centro	M		1	1	m
	11	Parqueo	Centro	L	1	3	3	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	3	3	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	2	10	20	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	8	8	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	3	3	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	2	5	10	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	2	20	40	m2
1+100	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	1	2	2	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	10	10	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	4	4	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	2	3	6	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	3	3	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	2	7	14	m2
	13	Baches	Izquierda	H	2	2	4	m2
	13	Baches	Izquierda	H	2	7	14	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	L	1	1	1	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	9	9	m2
	11	Parqueo	Derecha	M	2	3	6	m2
1+200	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	6	6	m2
	11	Parqueo	Izquierda	L	3	10	30	m2
	13	Baches	Derecha	H	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	2	25	50	m2
	11	Parqueo	Izquierda	L	1	3	3	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	M	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Izquierda	L	2	10	20	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	1	1	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	M	1	1	1	m2
	11	Parqueo	Toda.Calzada	M	5	9	45	m2
	11	Parqueo	Derecha	L	1.5	13	19.5	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	M	1	1	1	m2
	11	Parqueo	Izquierda	L	1.5	8	12	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	M	1	1	1	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	M	1	1	1	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	5	5	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	2	4	8	m2
	13	Baches	Izquierda	H	3	16	48	m2
1+300	11	Parqueo	Derecha	L	1.5	21	31.5	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	M	1	2	2	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	5.5	5.5	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	M	1	2	2	m2
	13	Baches	Izquierda	H	2	4	8	m2
	13	Baches	Derecha	H	1	3	3	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	1	5	5	m2
	10	Grieta long/transv	Derecha	L		2	2	m
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	L	1	5	5	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	M	1	1	1	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	1.5	3	4.5	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1.5	6	9	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1.5	3	4.5	m2
1+400	13	Baches	Derecha	H	1.5	7	10.5	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	0.3	3	0.9	m2
	11	Parqueo	Derecha	H	2	3	6	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	3	3	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	1	2	2	m2
	11	Parqueo	Derecha	H	1	6	6	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	L	1	1	1	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	1	1	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	M	2	2	4	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	12	12	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	18	18	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	8	8	m2
1+500	1	Piel de cocodrilo	Centro	L	1	2	2	m2

	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	M	1	2	2	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	L	1	3	3	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	3	3	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	1	7	7	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	M	1	2	2	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	1	2	2	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	2	2	m2
	13	Baches	Izquierda	H	2	15	30	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	7	7	m2
1+600	13	Baches	Derecha	H	1.5	2	3	m2
	13	Baches	Derecha	H	2	11	22	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	M	1	1	1	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	0.5	0.5	0.25	m2
	13	Baches	Izquierda	H	1	16	16	m2
	7	Grieta de borde	Derecha	H	1	3	3	m2
	13	Baches	Derecha	H	3	6	18	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	2	2	m2
	1	Piel de cocodrilo	Centro	H	2	18	36	m2
	13	Baches	Derecha	H	3	3	9	m2
	13	Baches	Derecha	H	2	10	20	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	5	5	m2
1+700	13	Baches	Izquierda	H	1	2	2	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	0.5	1.5	0.75	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	0.5	1.5	0.75	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	M	1	1.5	1.5	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	5	5	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	1	17	17	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	6	6	m2
	13	Baches	Izquierda	H	1	3	3	m2
1+800	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	2	15	30	m2
	1	Piel de cocodrilo	Derecha	H	1	9	9	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	3	3	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	0.5	14	7	m2
	13	Baches	Derecha	H	2	28	56	m2
	7	Grieta de borde	Izquierda	H	1	3	3	m2
	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	0.5	0.5	0.25	m2
2+000	1	Piel de cocodrilo	Izquierda	H	0.5	0.5	0.25	m2

Anexo 15: Fotos Análisis PCI





