Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.

INGE-2671

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Silvio Alejandro Joza Ponce

Isabel Estefanía Figueroa Villafuerte

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi papá Abg. Byron Joza, donde quiera que este, sé que estará totalmente orgulloso de mi.

Silvio Alejandro Joza Ponce

Dedicatoria

A Dante.

Isabel Estefanía Figueroa Villafuerte

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mis abuelos, mi familia y principalmente a mis padres que fueron el motor principal para poder llevar a cabo todas mis metas.

Al Ingeniero Gustavo Martínez y la Ingeniera Carola Gordillo, mis mentores en lo que refiere a la carrera de Ingeniería Civil.

Mis mejores amigos Raúl, Jacobo y Jorge; los cuales fueron fuentes de inspiración, motivación y empuje a lo largo de toda mi vida académica.

Finalmente, quiero agradecer a mi compañera de tesis Isabel Figueroa, pieza fundamental para que el proyecto se lleve a cabo.

Silvio Alejandro Joza Ponce

Agradecimientos

Agradezco a mis padres y a mi familia, por su apoyo incondicional. A mi pareja, por su compañía y fortaleza en cada momento. A mis amigos, por hacer de este camino algo memorable. A Dante y Kai, por ser mi fuente de alegría. A la Ing. Carola, por ser nuestra guía y mentora. Y, finalmente, a mi compañero de tesis, Silvio, por enfrentar conmigo este proyecto.

Isabel Estefanía Figueroa Villafuerte

Declaración Expresa

Nosotros Isabel Estefanía Figueroa Villafuerte y Silvio Alejandro Joza Ponce acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 10 de octubre del 2024.

Isabel Estefanía Figueroa Villafuerte

Silvio Alejandro Joza Ponce

Evaluadores

Ing. Lenin Dender

Profesor de Materia

Ing. Carola Gordillo

Tutor de proyecto

Resumen

En la Vía Acceso Los Lojas, ubicada en Daule, se identifica un deterioro estructural debido al recurrente tráfico pesado generado por las actividades de las canteras. El presente proyecto propone un diseño optimizado del pavimento flexible mediante el uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) estabilizado con emulsiones asfálticas, con el objetivo de garantizar eficiencia estructural, durabilidad y ofrecer una solución sostenible. Se plantea que la integración del RAP estabilizado mejora las propiedades mecánicas de los materiales reduciendo espesores, costos e impactos ambientales. El desarrollo del proyecto incluyó el levantamiento topográfico con tecnología RTK, aforos vehiculares, ensayos de laboratorio y la aplicación de los softwares AASHTO-93 e IMT-PAVE para realizar los diseños conforme a las normativas del MTOP. Los resultados demostraron que el uso del RAP conjunto a la emulsión CSS-1h mejora la capacidad de carga y resistencia del pavimento cumpliendo con los requerimientos de servicio. Esto respalda su viabilidad como una alternativa técnica y sostenible, que fomenta la reutilización de materiales y la creación de infraestructuras resilientes.

Palabras Clave: materiales reciclados, emulsión asfáltica, pavimento flexible, sostenibilidad.

Abstract

The Los Lojas access road, located in Daule, shows structural deterioration due to recurrent heavy traffic generated by quarrying activities. This project proposes an optimized design of the flexible pavement using recycled asphalt pavement (RAP) stabilized with asphalt emulsions, with the objective of guaranteeing structural efficiency, durability and offering a sustainable solution. It is proposed that the integration of stabilized RAP improves the mechanical properties of the materials, reducing thickness, costs and environmental impacts. The development of the project included topographic surveying with RTK technology, vehicle gauging, laboratory tests and the application of AASHTO-93 and IMT-PAVE software to carry out the designs in accordance with MTOP regulations. The results showed that the use of RAP together with CSS-1h emulsion improves the load capacity and resistance of the pavement, meeting the service requirements. This supports its viability as a technical and sustainable alternative, which promotes the reuse of materials and the creation of resilient infrastructures.

Keywords: recycled materials, asphalt emulsion, flexible pavement, sustainability

Índice general

Resumen I
Abstract II
Índice general III
Índice de figuras VI
Índice de tablas VIII
Capítulo 1 1
1. INTRODUCCIÓN 2
1.1 Antecedentes 2
1.2 Descripción del Problema 3
1.3 Justificación del Problema 4
1.4 Objetivos 6
1.4.1 Objetivo general 6
1.4.2 Objetivos específicos 6
Capítulo 2 7
2 MATERIALES Y MÉTODOS 8
2.1 Revisión de literatura 8
2.1.1 Pavimentos 8
2.1.2 Reutilización de materiales en pavimentos 11
2.1.3 Pavimento asfáltico reciclado (RAP) 11
2.1.4 Emulsión asfáltica 13
2.1.5 Método de diseño AASHTO 93 15
2.1.6 Método de diseño IMT-PAVE 3 16
2.2 Área de estudio 17
2.3 Trabajo de campo y laboratorio 20
2.3.1 Inspección del sitio 20
2.3.2 Levantamiento Topográfico 23
2.3.3 Aforo vehicular 26
2.3.4 Calicatas en sitio 28
2.3.5 Proctor Modificado 29
2.3.6 Relación de rodamiento de California (CBR) 34
2.3.7 Extracción de asfalto del RAP 36

2.3.8 Granulometría del RAP 38
2.3.9 Ensayo Marshall de muestra de RAP 40
2.4 Análisis de datos 44
2.4.1 Resultados del Aforo vehicular 44
2.4.2 Resultados de Proctor Modificado 46
2.4.3 Resultados de CBR 50
2.4.4 Resultados de extracción de asfalto del RAP 60
2.4.5 Resultados de granulometría del RAP 62
2.4.6 Resultados de Estabilidad de Marshall 66
2.5 Análisis de alternativas 69
Capítulo 3 74
3 DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES 75
3.1 Variables 75
3.1.1 Periodo de diseño 75
3.1.2 Tráfico Promedio Diario Anual 75
3.1.3 Tráfico Promedio Diario Anual Proyectado 79
3.1.4 Cálculo de ESAL's de diseño 84
3.1.5 Nivel de confiabilidad (R) 87
3.1.6 Nivel de serviciabilidad (PSI) 87
3.1.7 Coeficiente de drenaje (mi) 88
3.1.8 Desviación normal estándar (ZR) 89
3.1.9 Desviación estándar del sistema (So) 90
3.1.10 Módulo resiliente de la subrasante 91
3.1.11 Módulo resiliente de la subbase 92
3.1.12 Módulo resiliente de la base 94
3.1.13 Módulo resiliente de la carpeta asfáltica 95
3.2 Diseño del Pavimento Flexible AASHTO 93 96
3.2.1 Cálculo del Número Estructural SN 96
3.2.2 Determinación de Coeficientes Estructurales de cada capa (ai) 99
3.2.3 Determinación y verificación de espesores 100
3.3 Diseño de Pavimento Flexible IMT-PAVE 102
3.4 Especificaciones técnicas 106
3.4.1 Hormigón Asfáltico mezclado en planta 106

3.4.2 Emulsión Asfáltica CSS-1H 109
3.4.3 Base estabilizada con emulsión asfáltica 110
3.4.4 Recuperación de pavimentos 113
Capítulo 4 114
4 ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL 115
4.1 Descripción del proyecto 115
4.2 Línea base ambiental 116
4.3 Actividades del proyecto 117
4.4 Identificación de impactos ambientales 118
4.5 Valoración de impactos ambientales 120
4.6 Medidas de prevención/mitigación 123
4.6.1 Manejo adecuado durante la limpieza y desalojo 123
4.6.2 Mantenimiento preventivo en la movilización de máquinas y equipos 124
4.6.3 Uso de sistemas de riego en la explotación de canteras 124
4.6.4 Control del polvo en la excavación y movimiento de tierra 124
4.6.5 Transporte seguro y capacitación para la colocación de material 124
..... 126
Capítulo 5 126
5 PRESUPUESTO 127
5.1 Estructura Desglosada de Trabajo 127
5.2 Rubros y análisis de precios unitarios 129
5.3 Descripción de cantidades de obra 131
5.4 Valoración integral del costo del proyecto 133
5.5 Cronograma de obra 134
Capítulo 6 136
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 137
6.1 Conclusiones 137
6.2 Recomendaciones 138
Referencias 140
7 PLANOS Y ANEXOS 144
7.1 Anexo 1 144
7.2 Anexo 2 146
7.3 Planos 163

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de pavimentos 9
Figura 2. Cuantificación del costo del RAP vs una mezcla virgen 12
Figura 3. Consumo de energía y Emisiones de CO2 de mezcla virgen vs mezcla con RAP 13
Figura 4. Clasificación de las emulsiones asfálticas 14
Figura 5. Interacción de las distintas variables asociadas al diseño IMT-PAVE 16
Figura 6. Ubicación de la Parroquia Los Lojas del cantón Daule, Provincia del Guayas 17
Figura 7. Red vial de la parroquia Enrique Baquerizo Moreno-Los Lojas del cantón Daule 19
Figura 8. Tramo Acceso A Los Lojas-Daule delimitado de inicio a fin 19
Figura 9. Inicio del Tramo Acceso a Los Lojas 20
Figura 10. Estado Actual del 1er kilometro a intervenir 21
Figura 11. Presencia de “Ahuellamiento” a un costado de la vía 22
Figura 12. Presencia de "Descascaramiento" a un costado de la vía 22
Figura 13. Presencia de "Baches" en la vía 23
Figura 14. Antena Base calada sobre estructura existente 24
Figura 15. Levantamiento de Puntos Topograficos 25
Figura 16. Inicio de la exploración con Dron 26
Figura 17. Formato para conteo vehicular 27
Figura 18. Conteo de vehículos 27
Figura 19. Calicata realizada en sitio 28
Figura 20. Secado de base en estado crudo 29
Figura 21. Tamizado de material 29
Figura 22. Cuarteado de material 30
Figura 23. Muestreo de material 30
Figura 24. Cantidad de Agua exacta para evaluar las muestras 31
Figura 25. Ensayo de proctor modificado 32
Figura 26. Muestra a pesar antes del secado al horno 33
Figura 27. Masa compactada más molde a pesar 34
Figura 28. Moldes de muestras de CBR 35
Figura 29. Muestras de CBR en deformímetro 36
Figura 30. Cuarteo de material para extracción de asfalto 37
Figura 31. Muestra de RAP en la centrífuga eléctrica 38
Figura 32. Tamices para capas de rodadura 39
Figura 33. Tamizador para ensayo de granulometría 39
Figura 34. Dosificación de RAP 41
Figura 35. Compactación de mezcla con martillo Marshall 42
Figura 36. Proceso de desmolde de briquetas 43
Figura 37. Proceso de identificación de briquetas 44
Figura 38. Humedad vs Densidad Seca de Base Cruda 49
Figura 39. Humedad vs Densidad Seca de Base Emulsionada 50
Figura 40. Gráfica Esfuerzo vs Deformación Base cruda 57

Figura 41. Gráfica Esfuerzo vs Deformación Base emulsionada....57
Figura 42. Gráfica CBR vs Densidad Base Cruda....58
Figura 43. Gráfica CBR vs Densidad Base Emulsionada....59
Figura 44. Curva Granulométrica Muestra 1....65
Figura 45. Curva Granulométrica Muestra 2....65
Figura 46. Módulo resiliente de la subrasante....92
Figura 47. Coeficientes estructurales de las capas de pavimento....94
Figura 48. Módulo resiliente de la base....95
Figura 49. Módulo resiliente de la carpeta asfáltica....96
Figura 50. Cálculo del Número Estructural en el Programa Ecuación AASHTO 93 con Mr de la subrasante según Figura 46....98
Figura 51. Cálculo del Número Estructural en el Programa Ecuación AASHTO 93 con Mr de la subrasante según Fórmula 3.7....99
Figura 52. Ingreso de variables de tránsito al programa IMT-PAVE....103
Figura 53. Selección del nivel de carga....104
Figura 54. Análisis Espectral de acuerdo a espesores previamente establecidos....105
Figura 55. Análisis Probabilístico de la estructura de pavimento....105
Figura 56. Requisitos de emulsiones asfálticas catiónicas....110
Figura 57. Requisitos de suelos granulares para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica....111
Figura 58. Gradación de suelos granulares para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica....112
Figura 59. Requisitos del agua no potable para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica....112
Figura 60. Diagrama de fases del proyecto....127
Figura 61. Diagrama de fase preliminar....127
Figura 62. Diagrama de fase de diseño....128
Figura 63. Diagrama de fase de productos....128
Figura 64. Diagrama de fase de construcción....129

Índice de tablas

Tabla 1. Dosificación de materiales para diseño de briquetas....40
Tabla 2. Conteo de 10am - 16pm del miércoles 11 de septiembre de 2024....45
Tabla 3. Datos de molde de base en estado crudo....46
Tabla 4. Datos de molde de base estabilizada con emulsión....46
Tabla 5. Tabla de resultados del Proctor Modificado de la base cruda....47
Tabla 6. Tabla de resultados del Proctor Modificado de la base emulsionada....48
Tabla 7. Punto máximo de la curva para base cruda....49
Tabla 8. Punto máximo de la curva para base emulsionada....50
Tabla 9. Resultados de humedad CBR base cruda....51
Tabla 10. Resultados de humedad CBR base emulsionada....51
Tabla 11. Resultados de densidad CBR base cruda....52
Tabla 12. Resultados de densidad CBR base emulsionada....53
Tabla 13. Resultados del deformímetro para la base cruda....54
Tabla 14. Resultados del deformímetro para la base emulsionada....54
Tabla 15. Resultados de esfuerzo base cruda....55
Tabla 16. Resultados de esfuerzo base emulsionada....56
Tabla 17. Resultado de CBR Base Cruda....59
Tabla 18. Resultado de CBR Base Cruda....59
Tabla 19. Datos de extracción de asfalto de la Muestra 1....60
Tabla 20. Datos de extracción de asfalto de la Muestra 2....60
Tabla 21. Resultados de extracción de asfalto Muestra 1....61
Tabla 22. Resultados de extracción de asfalto Muestra 2....61
Tabla 23. Datos de granulometría Muestra 1....62
Tabla 24. Datos de granulometría Muestra 2....62
Tabla 25. Resultados granulometría Muestra 1....63
Tabla 26. Resultados granulometría Muestra 2....64
Tabla 27. Resultados de Diseño 1 con 2% de emulsión asfáltica....66
Tabla 28. Resultados de Diseño 2 con 3% de emulsión asfáltica....67
Tabla 29. Resultados de Diseño 3 con 4% de emulsión asfáltica....68
Tabla 30. Puntaje de criterios de evaluación....70
Tabla 31. Matriz de Likert....72
Tabla 32. Periodos de diseño recomendados....75
Tabla 33. Tráfico Promedio Diario Observado....77
Tabla 34. Resultados Factor Diario....77
Tabla 35. Ajuste mensual en base a los consumos de diésel en Guayas....78
Tabla 36. Tráfico Promedio Diario Anual....79
Tabla 37. Tasa de Crecimiento....80
Tabla 38. Proyección del TPDA....82
Tabla 39. Resumen de TPDA....83
Tabla 40. Tabla de fórmulas para cálculo del factor de equivalencia....84
Tabla 41. Estimación de Ejes Equivalentes....85
Tabla 42. Cálculo de ESAL's de Diseño....86

Tabla 43. Niveles de Confiabilidad [R] 87
Tabla 44. Capacidad de drenaje 88
Tabla 45. Factores de Diseño por Calidad de Drenaje y Humedad 89
Tabla 46. Relación del valor R con la desviación estándar 89
Tabla 47. Valores recomendados de desviación estándar (So) 91
Tabla 48. Datos para el diseño de un pavimento flexible 96
Tabla 49. Resumen de coeficientes de capa 99
Tabla 50. Diseño y Comprobación de Pavimento Alternativa 1 100
Tabla 51. Diseño y Comprobación de Pavimento Alternativa 2 101
Tabla 52. Resumen de espesores alternativa N° 1 102
Tabla 53. Resumen de espesores alternativa N° 2 102
Tabla 54. Requisitos del Cemento Asfáltico (810.2.1.) 106
Tabla 55. Granulometría establecida para agregados de hormigones asfálticos (404-5.1) 108
Tabla 56. Elementos y factores afectados por el proyecto 116
Tabla 57. Actividades susceptibles a causar impactos ambientales 117
Tabla 58. Ponderaciones de magnitud e importancia 118
Tabla 59. Matriz de Leopold 119
Tabla 60. Escala de valoración de impacto ambiental 120
Tabla 61. Escala de colores para la valoración de impacto ambiental 121
Tabla 62. Impacto Ambiental acorde a la matriz de Leopold 121
Tabla 63. Resumen de rubros y precios unitarios 130
Tabla 64. Resumen de cantidades del proyecto 131
Tabla 65. Presupuesto de la obra 133

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las infraestructuras viales, además de un ser medio clave para la movilidad que permite la interconexión territorial, fomentan el comercio y la industria impulsando el desarrollo económico. Asimismo, facilitan el acceso a servicios básicos, contribuyendo a una mejora en la calidad de vida de la población. Por ello, es fundamental ejecutar un buen diseño de carreteras y garantizar los mantenimientos adecuados para maximizar su funcionalidad y prolongar su vida útil.

En la mayoría de los países, las redes viales se encuentran principalmente compuestas por pavimentos flexibles. Estas estructuras se componen de una capa superficial de mezcla asfáltica en caliente asentada en una base o subbase, que a su vez se apoya sobre una subrasante. A lo largo de su vida útil, el pavimento está expuesto a cargas repetidas de tráfico, cambios climáticos y otros factores que aportan a un deterioro progresivo, siendo la capa asfáltica la más afectada (Fuentes et al., 2020).

Según Herrera (2023), aproximadamente el 80% de las vías en Ecuador están compuestas por pavimento flexible, diseñado para una vida útil de 10 a 15 años. De acuerdo con los datos proporcionados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, en 2023, el 45% de la red vial estatal del país se encontraba en malas condiciones, lo que representa un total de 4.718,13 kilómetros de carreteras. En este contexto, es fundamental plantear soluciones o mejoras en las diferentes etapas de la construcción de una carretera desde la inversión inicial para la construcción, mejoramientos, rehabilitaciones y mantenimientos en la red vial ecuatoriana; haciendo un énfasis en alternativas que tomen en cuenta la calidad de los materiales a utilizar, y así poder garantizar que la carretera cumplirá el periodo de diseño para el cual fue proyectada.

Existen vías con alto tráfico pesado que no permiten alcanzar buenas condiciones de serviciabilidad, debido a que este tipo de tráfico exige estructuralmente bases y sub-bases con altas resistencia en pavimentos flexibles. Según Tejeda et al. (2020), para obtener estas resistencias, los materiales granulares son estabilizados con aglomerantes. En varios países, la aplicación de tecnología en frío con emulsiones asfálticas ofrece una solución económica; sin embargo, en Ecuador su implementación aún es poco común debido al desconocimiento.

1.2 Descripción del Problema

El tramo de vía conocido como Acceso a Los Lojas, situado en el Km 10+800 de la Vía La Aurora-La T (Daule-Salitre), presenta un deterioro estructural significativo que compromete tanto la movilidad como la seguridad de los usuarios. Este deterioro se manifiesta a través de diversas fallas por fatiga, incluyendo “ahuellamiento”, “piel de cocodrilo”, “baches” y “fisuras longitudinales y transversales”, que son resultado del elevado volumen de tráfico pesado generado por la actividad de canteras en la zona.

A pesar de que la Prefectura del Guayas ha llevado a cabo intervenciones en los últimos años, como la implementación de una base granular compactada y un doble riego de material bituminoso, el tramo sigue presentando una alta incidencia de baches, consecuencia del frenado recurrente de los vehículos pesados.

El deterioro de la carretera puede generar diversas consecuencias, desde comprometer la seguridad vial hasta producir efectos negativos comerciales en sus alrededores. Al ser la principal conexión entre las canteras y la ciudad, su mal estado provoca retraso y costos más elevados en el transporte de materiales, lo que afecta directamente en el abastecimiento y la eficiencia productividad para los proyectos de construcción.

Adicionalmente, la Prefectura del Guayas genera anualmente un considerable volumen de material reciclado proveniente de carpetas asfálticas deterioradas. Este material, en su mayoría, se almacena en las instalaciones de la entidad, a la espera de ser reutilizado en proyectos de estabilización de bases o en la construcción de nuevas carpetas asfálticas.

Hasta el momento, la Prefectura ha implementado soluciones de rehabilitación en tramos de alto tráfico y con deterioro severo, utilizando métodos empíricos de conservación vial a través de administración directa. Sin embargo, estos enfoques carecen de una memoria técnica detallada que valide los espesores propuestos y asegure la eficiencia y durabilidad de las intervenciones realizadas. Es necesario consolidar y analizar toda la información disponible en una memoria técnica que respalde el diseño adecuado de estas mezclas y espesores.

1.3 Justificación del Problema

El uso de un material que ya cumplió su vida útil no siempre implica que deba ser desechado, especialmente cuando sus propiedades son beneficiosas a la hora de su reutilización. En el caso del pavimento asfáltico reciclado, también conocido como RAP (Recycled Asphalt Pavement), el mismo que además de contar con materiales que ya fueron correctamente clasificados, cuenta con un componente muy importante en la construcción de las carreteras, que es el asfalto, a pesar de presentar envejecimiento y haber cumplido su vida útil. Sin embargo, existen algunas alternativas para reutilizar este material, ya sea en nuevas estructuras de pavimento o en rehabilitaciones viales.

Para dar lugar a la intervención de 4km del Acceso a Los Lojas, se debe saber cómo antecedente; que el primer kilómetro fue construido con material de doble riego bituminoso, este presenta leves fallas por fatiga y erosión, sin embargo, los siguientes tres kilómetros construidos con carpeta asfáltica presentan gran cantidad de fallas por

fatiga, indicando así que la estructura ya ha cumplido el periodo de vida útil para el cual fue diseñada. Dando así lugar a la posible implementación de una metodología sostenible, que consiste en reutilizar la carpeta asfáltica existente para utilizarla como mejoramiento de la subrasante, debido a que la misma, según análisis de laboratorio es muy pobre. Esto adicionando beneficios no solo a las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante, sino que, también creando un proyecto sostenible, mediante la disminución de suministro de material virgen, disminución de volumen de botaderos y reducción en los procesos de extracción de materias primas limitadas (Miranda & Aguiar, 2019).

Para llevar a cabo este proceso de reutilizar un RAP, se realiza mediante la aplicación de emulsión asfáltica, la cual cumple la función de estabilizar el material, incluyendo una mejora a las propiedades del material reciclado; aumentando su resistencia, capacidad de carga y adicionarle años de servicio a la estructura de pavimento. La emulsión asfáltica comúnmente utilizada en el medio es la CSS-1h, la cual está compuesta en base a una dispersión de asfalto en agua, de excelente durabilidad y adherencia a los áridos (Emulsion-Asfaltica-CSS-1H, 2008). Cabe mencionar que la implementación del agua como solvente, en lugar de solventes orgánicos, generara un impacto mínimo a la atmósfera, esto debido a que, para dar lugar al asfalto de mantener sus propiedades adherentes, se necesita que la emulsión se rompa y se evapore el agua (González, 2014). Cabe señalar que esta emulsión ha sido utilizada para varios proyectos viales de la Prefectura Ciudadana de Guayas; la misma que es proporcionada por la Empresa EMULPAC.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un pavimento flexible para un tramo de 4 km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia del Guayas, optimizando el uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) estabilizado con emulsiones asfálticas, con el fin que garantice la durabilidad y eficiencia estructural del proyecto, contribuyendo a la sostenibilidad y reducción de costos en la infraestructura vial.

Este objetivo está relacionado con preguntas de diseño como:

¿Cuáles son los parámetros críticos a considerar en un diseño de pavimento flexible involucrando el uso del asfalto reciclado (RAP) y las emulsiones asfálticas?

¿Cómo influye la proporción de RAP estabilizado con emulsiones asfálticas en las propiedades mecánicas y de resistencia del pavimento?

¿Qué impacto ambiental conlleva la implementación del asfalto reciclado en el diseño de un pavimento?

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar las variables involucradas en el diseño de un pavimento, para la correcta selección de parámetros estructurales de materiales utilizados, mediante ensayos de laboratorio.
2. Evaluar los resultados de los softwares IMT-PAVE y AASHTO93, garantizando un diseño optimizado y confiable.
3. Proponer una solución técnica viable y sostenible a la problemática que enfrenta la Prefectura del Guayas respecto al uso de material reciclados.

Capítulo 2

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Revisión de literatura

2.1.1 Pavimentos

Definición. Un pavimento es definido como el cúmulo de capas sobrepuestas, las cuales deben ser diseñadas y constituidas por materiales que cumplan con especificaciones técnicas y una correcta compactación. Las capas mencionadas anteriormente, son obtenidas de movimientos de tierra y apoyadas sobre el suelo del sitio previamente explorado, las mismas que deben soportar apropiadamente la repetición de cargas ejercidas por el tránsito que se movilice sobre la estructura durante todo el periodo para el cual fue diseñado el pavimento (Montejo, 1998).

Tipos de pavimentos. Las estructuras de pavimentos pueden ser fraccionadas en 3 grupos conocidos como: pavimentos rígidos, pavimentos flexibles y pavimentos articulados. Su principal diferencia se efectúa en la manera en que las cargas son emitidas a la subrasante o suelo del sitio; puesto que los pavimentos rígidos ejercen una presión pequeña a la fundación debido a que cuentan con una gran área para la distribución de cargas, a diferencia de los pavimentos flexibles que ejercen una gran presión a la subrasante debido a que este posee una pequeña área de distribución de cargas (Instituto Boliviano de Cemento y Hormigón, 1993). Así mismo, los pavimentos articulados son diferenciados principalmente a que su capa de rodadura está constituida por bloques de concreto, también conocidos como adoquines (Montejo, 1998).

Figura 1.

Tipos de pavimentos

Nota. Tomado de la cátedra Ingeniería Civil I de Pavimentos de (Giordani & Leone, s. f.).

Pavimentos Rígidos. Es un pavimento constituido por una losa de hormigón hidráulico, la cual se sostiene directamente sobre la subrasante, si la misma cumple con la adecuada capacidad estructural, o sobre una capa de material previamente seleccionado, conocida como base o subbase del pavimento rígido. Este tipo de pavimento se caracteriza principalmente por su método de diseño, en el cual es de suma importancia tener en consideración la tensión a flexión que pueda sufrir la losa de hormigón hidráulico. Además, gracias a las propiedades del hormigón en cuanto refiere a su rigidez y módulo de elasticidad, este tipo de pavimento basa su capacidad portante en la losa más que en la capacidad del suelo de fundación (Instituto Boliviano de Cemento y Hormigón, 1993).

Este pavimento puede ser subdividido en 3 modelos:

- Hormigón simple con juntas.
- Hormigón armado con juntas.

- Hormigón armado con refuerzo continuo.

Pavimentos Flexibles. Son constituidos por una serie de capas con mejores materiales en la parte superior, donde la intensidad de la tensión es alta, y material de menor calidad en la parte inferior donde la intensidad es baja. Gracias a este fundamento, se vuelve posible la implementación de materiales locales o del sector donde vaya a construirse, lo que resultará en un diseño más económico (Huang, 2003).

Las capas anteriormente mencionadas están constituidas por: una capa fina de mezcla asfáltica, la cual es comúnmente sellada, colocada sobre una capa base sobre la cual debe haber un riego de imprimación para el correcto acoplamiento entre ambas capas; en la parte inferior de la base, existirá una capa de subbase que es colocada sobre una subrasante previamente nivelada y compactada (Giordani & Leone, s. f.).

Las capas base y sub base son principalmente constituidas por material granular y deben cumplir una serie de requerimientos, de acuerdo a normativas establecidas en manuales de diseño de carreteras, para ser propiamente clasificadas. Así mismo, la capa de mezcla asfáltica o capa de rodadura principalmente es constituida por hormigón asfaltico, la misma que debe brindar uniformidad y estabilidad al tráfico, además de resistir los efectos negativos que tiene el agua sobre este tipo de material (Instituto Boliviano de Cemento y Hormigón, 1993).

Pavimentos Articulados. Constituido por una capa de rodadura formada de adoquines de concreto, colocada sobre una cama de arena gruesa de espesor mínimo, esta es apoyada sobre las capas base y subbase. Este tipo de pavimento se caracteriza por estar confinado lateralmente para prevenir desplazamientos que pueden causar baches u otro tipo de fallas debido al empuje que produce el tránsito vehicular. Muestra una serie de limitaciones al momento de su construcción como: Impedimentos

constructivos si hay presencia de lluvia, ya que esta producirá humedad en la arena, la cual debe estar colocada en suelto sin humedad y sin compactación (Madrid, 2001).

2.1.2 Reutilización de materiales en pavimentos

Se entiende por reutilización de un pavimento, a darle una nueva aplicación a un material que ya cumplió su finalidad, o incluso conjunto a un material externo usado, para emplearse como refuerzo en las estructuras viales como base y subbase granular (Sánchez & Guio, 2014). El uso de recursos reciclables en pavimentos flexibles tiene el fin de mejorar sus propiedades otorgando más resistencia, durabilidad y soporte, existiendo varias alternativas como el uso del grano del caucho reciclado en la mezcla asfáltica o el uso del RAP (Cardoza et al., 2019).

Alkins et al. (2008), indica que las principales técnicas de reciclaje de pavimentos asfálticos son reciclado en caliente, donde la mezcla se elabora a temperaturas de 165 °C; reciclado en tibio, donde la mezcla alcanza la temperatura de 100 °C por medio de aditivos y; el reciclado en frío, donde el material es retirado y molido conjunto otros materiales, en esta última técnica usualmente se usan emulsiones asfálticas o asfalto espumado, ya sea en planta o in situ (Limeta & Delgado, 2021).

2.1.3 Pavimento asfáltico reciclado (RAP)

El pavimento asfáltico reciclado (RAP), acorde a Han et al. (2011), este se define como el material recuperado y procesado de pavimentos asfálticos con contenido de aglomerante asfáltico y agregados. Se obtiene mediante técnicas de fresado, remoción completa o de desperdicios de las plantas de asfalto. Este material al procesarse y reutilizarse en nuevas mezclas permite beneficios económicos y ambientales (Copeland, 2011).

El RAP está compuesto por una variedad de agregados recubiertos con asfalto envejecido. Su calidad influye en el reciclado de los pavimentos y se ve afectada

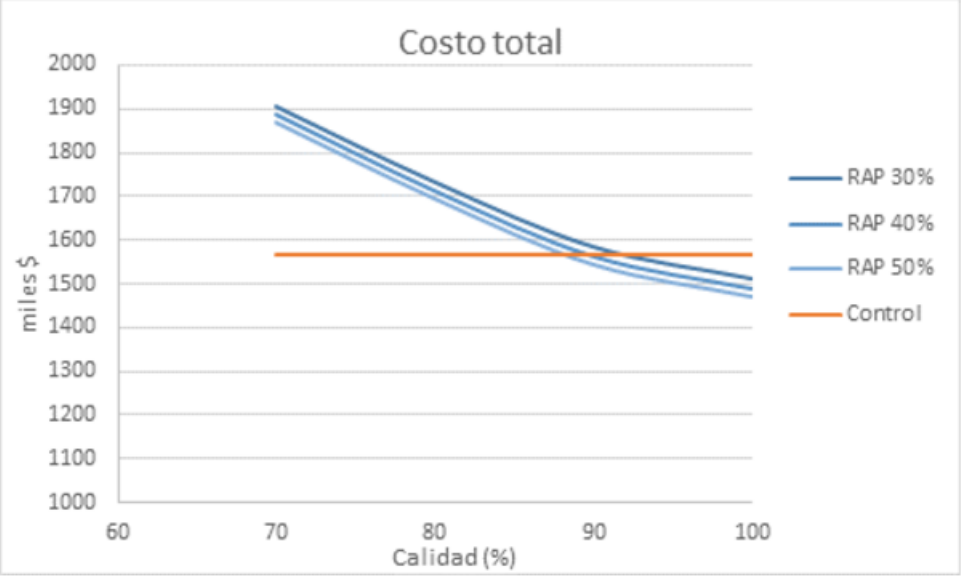
principalmente por la oxidación de la mezcla y las deficiencias de su mezcla original, incluyendo el contenido de asfalto y su granulometría (Morales et al., 2022).

El uso del RAP conlleva beneficios económicos, energéticos y técnicos. En términos económicos, Hajj et al. (2008), informó que en mezclas asfálticas vírgenes con contenido de RAP de entre 20%-30%, se logran ahorros del 14% al 34% por tonelada de mezcla asfáltica producida. Por otro lado, Kandhal & Mallick (1997), indican un ahorro de hasta 34% en mezclas con contenido de RAP de 50%.

Aurangzeb & Al-Qadi (2014), demostró que a mayor cantidad de RAP en la mezcla se presentan mayores beneficios económicos de forma inmediata.

Figura 2.

Cuantificación del costo del RAP vs una mezcla virgen



Nota. Tomado del artículo científico de Aurangzeb & Al-Qadi (2014).

En cuanto a beneficios energéticos, se conoce que el uso del RAP preserva los recursos naturales, la energía y reduce las cantidades de escombros, obteniendo beneficios ambientales. Chou & Lee (2015), resume en la siguiente tabla las cantidades

de consumo de energía y de emisiones de CO2, entre una mezcla virgen y una mezcla con 30% de RAP.

Figura 3.

Consumo de energía y Emisiones de CO2 de mezcla virgen vs mezcla con RAP

	Consumo de energía		Emisiones de CO2	
	[MJ/m3]	[%]	[kgeqCO2/m3]	[%]
Mezcla Virgen				
Agregados	234.15	10.83%	16.58	15.25%
Conglomerante de asfalto	1564.89	72.41%	88.87	81.75%
Bacheo	362.16	16.76%	3.26	3.00%
Total	**2161.20**	**100%**	**108.71**	**100%**
Mezcla 30% RAP				
Agregados	182.55	9.79%	12.93	14.81%
Conglomerante de asfalto	1230.69	66.03%	69.89	80.07%
Bacheo	403.97	21.67%	3.64	4.17%
Preparación del RAP	46.74	2.51%	0.83	0.95%
Total	**1863.95**	**100%**	**87.29**	**100%**
Diferencia				
Agregados	51.6	22.04%	3.65	22.01%
Conglomerante de asfalto	334.2	21.36%	18.98	21.36%
Bacheo	-41.81	-11.54%	-0.38	-11.66%
Total	**343.99**	**16%**	**22.25**	**20%**

Nota. Reducción del consumo de energía y emisiones mediante el uso del RAP.

En términos de desempeño técnico, acorde a Galvis (2021), estudios realizados por NCAT, determinaron que las mezclas con porcentaje de RAP de moderado a alto no presentaron calidades menores a las mezclas convencionales. West (2010), en pruebas de rendimiento de pavimento a largo plazo en 18 estados de EE. UU. y diversas provincias canadienses, se demuestra que las mezclas con al menos 30% de RAP presentan similares características a las mezclas vírgenes.

2.1.4 Emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas se definen como una mezcla de finas gotas de asfalto en una fase acuosa, estabilizadas por un agente emulsificante, dando como resultado una consistencia relativamente fluida. Estas pueden ser utilizadas sin la necesidad de añadir

calor o solventes, y tienen la facilidad de poder ser bombeada, almacenada y aplicadas a temperaturas significativamente más bajas en comparación con otros métodos de empleo del asfalto (Mercado et al., 2008).

Acorde a Rodríguez et al. (2001), existen 2 tipos de emulsiones asfálticas, aniónicas, en donde el agente emulsificante se le otorga una polaridad negativa y; catiónicas, donde en cambio, al agente emulsificante se le otorga una polaridad positiva. Por otro lado, también se pueden clasificar por velocidad de rotura: rápida, se usan en tratamientos superficiales; media, mezclas con agregados en frío o caliente y; lento, diseñadas para un tiempo máximo de mezcla con agregados.

Adicionalmente, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (2001), indica que las emulsiones se subdividen acorde a la viscosidad, dureza de los cementos asfálticos y si son de tipo catiónicas, uso de la letra C, o aniónicas.

Figura 4.

Clasificación de las emulsiones asfálticas

Emulsión Asfáltica Aniónica (ASTM D977, AASHTO M140)	Emulsión Asfáltica Catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS – 1 (RR – 1)	CRS – 1 (CRR – 1)
RS – 2	CRS – 2
HFRS – 2	----
MS – 1 (RM – 1)	----
MS – 2	CMS – 2 (CRM – 2)
MS – 2h	CMS – 2h
HFMS – 1	----
HFMS – 2	----
HFMS – 2h	----
HFMS – 2s	----
SS – 1 (RL – 1)	CSS – 1 (CRL – 1)
SS – 1h	CSS – 1h

Nota. Tomado del Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (2001).

La emulsión asfáltica a emplear es la catiónica CSS-1h, la cual es está compuesta por 40% de agua y 60% de residuo asfáltico. Esta permite que la mezcla pueda adquirir mayor flexibilidad y estabilidad de agregados, bases y carpetas asfálticas, debido a que es una emulsión de rotura lenta que permite periodos de trabajabilidad más extensos (Maylle & Avila, 2023).

2.1.5 Método de diseño AASHTO 93

El método AASHTO 1993 es un método empírico que permite diseñar la estructura de un pavimento mediante poca información de fácil obtención a través de ensayos ampliamente estandarizados. Se basa en la ecuación de diseño 2.1 obtenida mediante el ensayo vial AASHO y un análisis de regresión estadística (Rojas, 2013).

$$logW_{18} = Z_R S_O + 9.36\log(SN+1) - 0.20 + \frac{\frac{\log(\Delta PSI)}{4.2-1.5}}{0.40+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 logM_R - 8.07 \qquad (2.1)$$

Donde:

SN = número estructural (pulg)

W_{18} = número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas

Z_R = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada

S_O = desvío estándar de todas las variables

ΔPSI = pérdida de serviciabilidad

M_R = módulo resiliente de la subrasante (psi)

Acorde a Guía Para El Diseño de Pavimentos Según AASHTO 93 (2010), las variables de entrada a considerar son:

- Variables de tiempo: período de análisis y vida útil del pavimento
- Número de repeticiones de ejes equivalentes (ESALs)
- Grado de confiabilidad

- Pérdida de serviciabilidad por subrasantes expansivas o sometidas a expansión por congelación
- Niveles de serviciabilidad
- Módulo resiliente de los materiales
- Condiciones de drenaje

2.1.6 Método de diseño IMT-PAVE 3

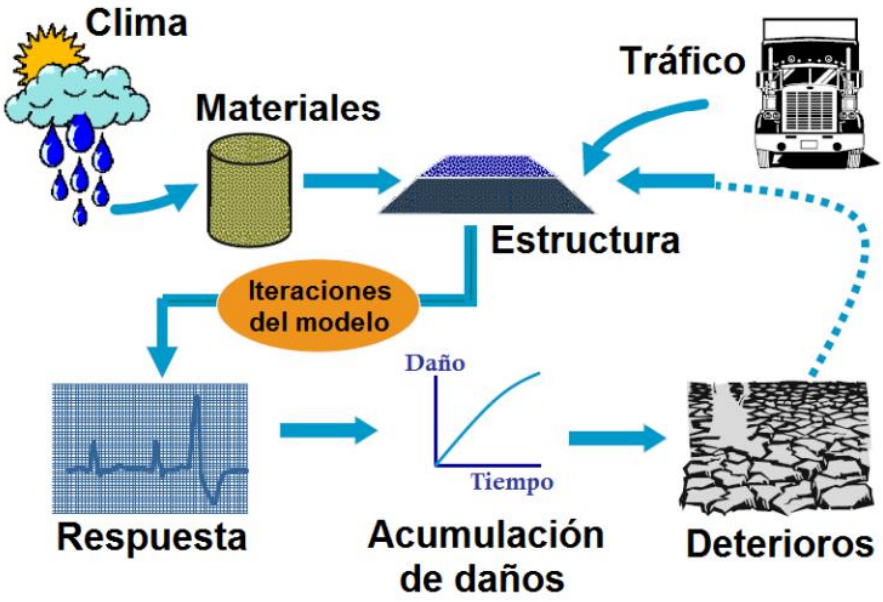
El IMT-PAVE es una herramienta para el diseño de pavimentos en donde se emplea la metodología empírico-mecanicista, priorizando los conceptos de espectro de carga, espectro de daño y su relación. Esto se logra mediante el análisis de esfuerzos y deformaciones y su conexión con los principales tipos de deterioro en los pavimentos (Garnica et al., 2016).

La interfaz de esta herramienta consiste en los siguientes módulos:

- Tránsito
- Espectros de carga
- Análisis espectral
- Análisis probabilista

Figura 5.

Interacción de las distintas variables asociadas al diseño IMT-PAVE



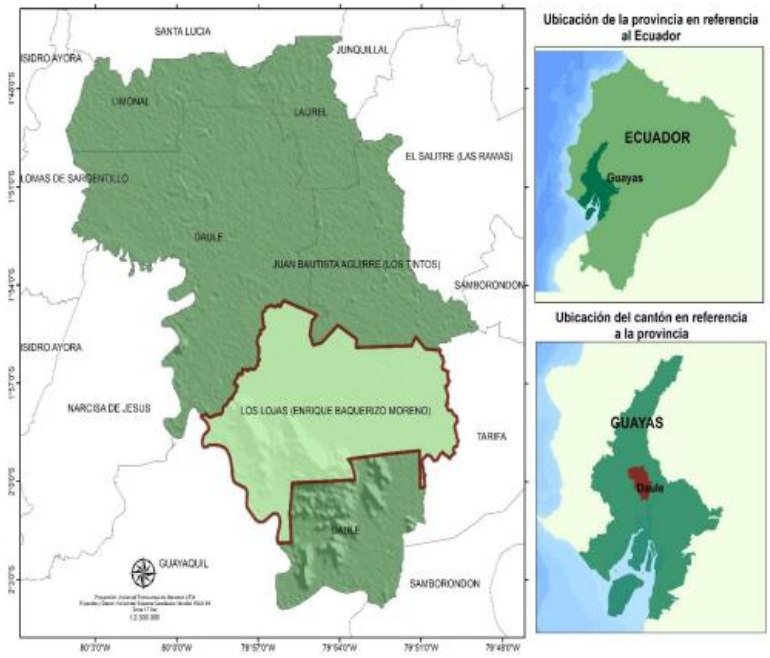
Nota. Tomado del Manual de Usuario IMT-PAVE 1.1 (Garnica et al., 2016).

2.2 Área de estudio

La zona por intervenir se encuentra ubicada en el Recinto Palo de Iguana parroquia Los Lojas, perteneciente al cantón Daule, provincia del Guayas. Según la División Política la parroquia limita de la siguiente forma: al norte con la parroquia Juan Bautista Aguirre, al sur con la parroquia urbana La Aurora, al este con la parroquia Tarifa (cantón Samborondón) y al oeste con la parroquia Daule en conjunto con Pascuales (cantón Guayaquil). Se estima que Los Lojas, parroquia rural del cantón Daule, ocupa una extensión de 122.20 km^2. Según los resultados del INEC, en el censo de población y vivienda, ejecutado en el año 2022, se tiene una población de 9.695 habitantes dentro de la parroquia (GAD Los Lojas, 2023).

Figura 6.

Ubicación de la Parroquia Los Lojas del cantón Daule, Provincia del Guayas



Nota. Tomado del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD ¨Los Lojas¨ (Maruri, 2023).

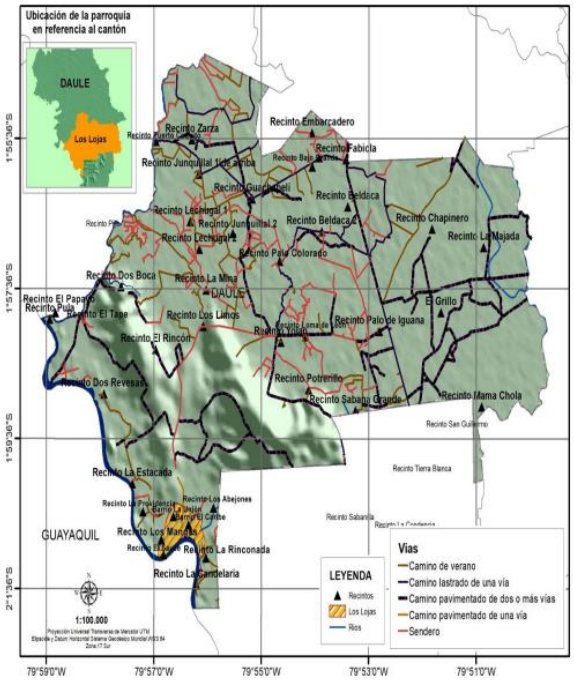
El recinto Palo de Iguana es característico por ser una fuente de recursos no renovables, principalmente de los materiales pétreos de construcción (arcilla, cascajo y piedra) obtenidos en la ladera norte del cerro ubicado en el sector Yolán, el cual posee permiso de explotación. La demanda de dichos recursos genera ingresos importantes y trabajo en la región; dando lugar al Gobierno Provincial del Guayas el libre aprovechamiento de 45 Ha, para poder solventar la demanda de materiales de construcción, a toda obra en ejecución a lo largo del territorio provincial.

En lo que compete a la red vial, que constituye carreteras, autopistas, caminos vecinales y otras vías de circulación; la principal conexión de la parroquia Los Lojas con el cantón Daule, es el “Acceso a Los Lojas” que se conecta a la Estatal E486 Vía Colectora Aurora – T de Salitre. Esta vía antes mencionada, es competencia del Estado General del Ecuador, además es fundamental para la conectividad y transporte eficiente en el país. Por otro lado, el acceso a Los Lojas es competencia del GAD Provincial; el

cual debe garantizar la accesibilidad y conectividad, con el fin de impulsar el desarrollo económico, turístico y social de la región.

Figura 7.

Red vial de la parroquia Enrique Baquerizo Moreno-Los Lojas del cantón Daule



Nota. Tomado del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD ¨Los Lojas¨ (Maruri, 2023).

El tramo por intervenir consta de 3.95 Km de longitud, con coordenadas de inicio (624849E; 9782400S) y fin (621002.79E; 9782157.26S). La coordenada final intercepta con la entrada principal a la Cantera Yolán (Cantera de la Prefectura de Guayas), además, este camino es también utilizado para la circulación de volquetas y maquinaria pesada de otras plantas, canteras y depósitos que existen en el sector.

Figura 8.

Tramo Acceso A Los Lojas-Daule delimitado de inicio a fin

Nota. Obtenido de Google Earth (Joza, 2024).

2.3 Trabajo de campo y laboratorio

2.3.1 Inspección del sitio

Como fase previa se llevó a cabo una exploración presencial del sitio a intervenir, en donde se realizaron evaluaciones visuales y una serie de entrevistas, a la mano de obra que intervino la vía en el año 2023. La exploración vial tuvo inicio en la intercepción entre la vía Colectora Aurora – T de Salitre y el Acceso a Los Lojas, en donde se pudo notar gran presencia de baches (causados por la frecuencia de frenado) y gran aforo de vehículos pesados, los mismos que provienen de la cantera Yolán.

Figura 9.

Inicio del Tramo Acceso a Los Lojas

Nota. Figura tomada in situ con gran presencia de vehículos pesados (Joza, 2024).

A continuación, se notó que el primer kilómetro del tramo no presenta fallas estructurales o por erosión, además se constató que este kilometro fue previamente intervenido con un Doble Riego de Material Bituminoso con el fin de impermeabilizar la estructura y mejorar el rodaje, además de ser una parte del tramo donde existen gran variedad de restaurantes, tiendas, distribuidoras, entre otras.

Figura 10.

Estado Actual del 1er kilometro a intervenir

Nota. Figura tomada in situ (Joza, 2024).

Los siguientes 3 kilómetros presentan una estructura de pavimento flexible, en donde se notan una serie de fallas por fatiga como ahuellamiento, piel de cocodrilo, exudación, descascaramiento, grietas longitudinales y transversales, parcheo y huecos. Según la mano de obra que intervino previamente este tramo, indica que el lugar de mayor presencia de ahuellamiento fue conformado con presencia de lluvia, además de que las volquetas que transportaban el asfalto no fueron previamente tapadas para así evitar que la mezcla en caliente de enfrié y se endurezca de manera más rápida. Otro criterio impartido de la experiencia del Ing. García Caputti, indica que la carpeta asfáltica que se encontraba en el sitio también presentaba exceso de agregado fino, con el fin de mejorar el acabado de la rasante y no garantizar así su durabilidad.

Figura 11.

Presencia de "Ahuellamiento" a un costado de la vía

Nota. Figura tomada in situ (Joza, 2024).

Figura 12.

Presencia de "Descascaramiento" a un costado de la vía

Nota. Figura tomada in situ (Joza, 2024).

Figura 13.

Presencia de "Baches" en la vía

Nota. Figura tomada in situ (Joza, 2024).

2.3.2 Levantamiento Topográfico

Se realizo un levantamiento con RTK de la mano del Ing. Daniel Landázuri, experto en trabajos topográficos, con el fin de conocer los niveles a los que se encuentra actualmente el tramo a intervenir y realizar un control de volúmenes de las capas próximas a colocar; respetando los límites establecidos y corroborando el correcto

diseño geométrico de la carretera. El equipo con el que se trabajó, propiedad del Ing. Landázuri; constaba de los siguientes elementos: Antena base, Rover móvil.

La antena base cuenta con una batería móvil, esto debido a que el equipo original cuenta con 2 pilas recargables, las cuales se descargan eventualmente rápido. La base fue ubicada en una superficie donde fue construido previamente, en este caso, dentro de una propiedad privada. Además, se debe contar con un cadenero en el lugar donde sea ubicada, esto con el fin de evitar manipulación del equipo por agentes externos y para brindar seguridad al equipo mientras se realice el levantamiento.

Figura 14.

Antena Base calada sobre estructura existente

Nota. Figura tomada in situ (Figueroa, 2024).

El Rover móvil se encarga de enviar la información al recolector e inmediatamente poder visualizarlo en la Tablet GIS RTK. Cuenta con una plomada óptica la cual indica si el bastón se encuentra totalmente recto y así asegurar una correcta toma de datos.

Figura 15.

Levantamiento de Puntos Topograficos

Nota. Figura tomada in situ (Joza, 2024).

En caso de que el equipo no se llegase a colocar recto, el mismo cuenta con un sistema de autocorrección para medidas tomadas de forma inclinada. El levantamiento se realizó cada 20 metros para facilidades de trabajabilidad, además en cada abscisa se tomó puntos a nivel terreno natural (TN), nivel base y nivel carpeta existente; esto de ambos lados de la vía. Además, se tiene en cuanto los diferentes postes, estructuras o linderos que existan en el sitio.

Se debe tener en cuenta que la presencia de nubes y cables de alta tensión debilita la señal de conexión que existe entre la base y el móvil, por lo que es conveniente realizar el levantamiento con el cielo medianamente despejado. Por último, el necesario que el cadenero vaya marcando el lugar donde se levantó el punto a nivel base, ya sea con una estaca o piedra pintada, con el fin de facilitar los trabajos de replanteo.

Así mismo se realizó una exploración con un Dron DJI Mini 4 Pro, sobrevolando a una altura aproximada de 400 metros, para poder obtener una serie de

imágenes y poder construir una fotogrametría actual de la vía y las propiedades que alrededor de la misma. El trabajo fue realizado en conjunto con Cesar Flores Elizalde, propietario y piloto de drones. No se realizó un levantamiento topográfico con el dron debido a que el mismo presenta errores aproximados de 5cm, lo que no es tan efectivo para trabajos viales.

Figura 16.

Inicio de la exploración con Dron

Nota. Figura tomada in situ (Joza, 2024).

2.3.3 Aforo vehicular

En la construcción de una carretera, es esencial conocer el flujo de tráfico actual que existe en el área de estudio, según el MTOP, existen 2 maneras de efectuar un conteo vehicular: mediante conteos manuales y conteos automáticos.

El conteo automático se realiza mediante equipos especializados en este tipo de trabajos, por lo general presentan ciertos tipos de fallas, debido a la mala calibración de los equipos.

Los conteos manuales se efectúan durante periodos de 6 a 12 horas seguidas, y son insustituibles debido a que mediante ellos se puede realizar una mejor caracterización del tráfico que transita por el lugar.

Figura 17.

Formato para conteo vehicular

espol Escuela Superior Politécnica del Litoral			ESTUDIO CLASIFICACION VEHICULAR									
			Nombre del Proyecto: Aforo Vehícular en el carril de diseño del "Acceso a Los Lojas"									
			Ubicación: Daule – Recinto Palo de Iguana						Fecha:			
Hoja N°:												
Contador: Figueroa – Joza			Hora de Inicio:						Hora Final:			
			DESCRIPCIÓN									
HORA	INTERVALOS		Motos	Livianos	Buses	2DA	2DB	V3A	2S2	3S2	3S3	Total
7:00-8:00	7:00	7:15										
	7:15	7:30										
	7:30	7:45										
	7:45	8:00										

Nota. La cuantificación se elabora mediante la nomenclatura vehicular definida por el MTOP.

Figura 18.

Conteo de vehículos

Nota. Figura tomada en comedor ubicado al inicio del tramo a intervenir (Joza, 2024).

2.3.4 Calicatas en sitio

Es necesario conocer el suelo de fundación donde se colocará la nueva estructura de pavimento y las diferentes propiedades que posee, para esto se llevó a cabo una serie de calicatas, en conjunto con laboratoristas de la Prefectura Ciudadana del Guayas. Cada una tendrá su profundidad aproximada de 50 a 60 cm y a una distancia entre sí de 250 a 500 metros, debido a que existe carpeta asfáltica, lo que indica que hay una estructura previamente diseñada y colocada, en caso de que la rasante se encuentre a nivel base o subbase, se debe tener en consideración una distancia de 100 metros entre calicatas.

Figura 19.

Calicata realizada en sitio

Nota. Figura tomada in situ (Figueroa, 2024).

Para realizar las calicatas se necesitan los siguientes elementos: Pico, pala, varilla, cuaderno de notas, agua, sacos y conos. Al realizar una calicata en una estructura vial se necesita tener siempre en consideración que el tráfico continuo activo, por lo que es necesario tener todas las consideraciones de seguridad industrial para evitar accidentes.

2.3.5 Proctor Modificado

Para los ensayos de Proctor Modificado y CBR, se extrajeron muestras representativas de material de la base en su estado crudo y de la base estabilizada con emulsión. Estas muestras fueron analizadas de manera comparativa para identificar las variaciones en las propiedades físicas y mecánicas entre ambas condiciones.

Con el material recolectado se procedió a pasarlo por el tamiz ¾ de pulgada, trabajando con el material pasante. Posteriormente, se realizó el secado del material base cruda y de la base estabilizada con emulsión, seguido de un cuarteo para obtener las muestras de 6 kg necesarias para los ensayos.

Figura 20.

Secado de base en estado crudo

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Figueroa, 2024).

Figura 21.

Tamizado de material

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Figueroa, 2024).

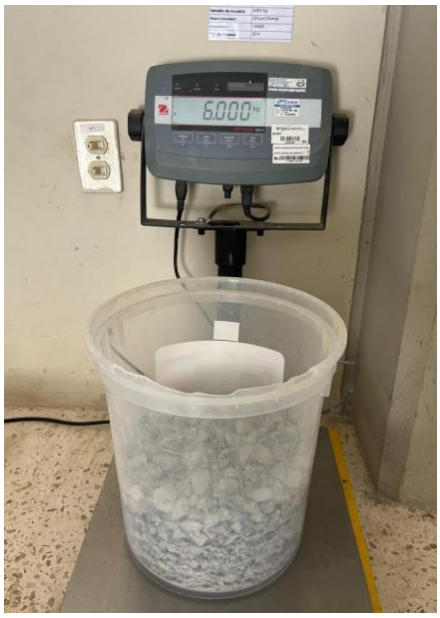
Figura 22.

Cuarteado de material

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Figueroa, 2024).

Figura 23.

Muestreo de material



Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Figueroa, 2024).

El procedimiento aplicado a ambos materiales fue el mismo, variando únicamente las cantidades de agua añadida a cada muestra. Para el ensayo de Proctor Modificado de la base cruda se trabajó con las siguientes masas de agua añadida: 250 g, 350 g y 450 g, mientras que para el ensayo con la base emulsionada se emplearon: 150 g, 300 g, 450 g.

Figura 24.

Cantidad de Agua exacta para evaluar las muestras

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Figueroa, 2024).

Se comenzó obteniendo las características del molde cilíndrico a utilizar, el diámetro y el peso. Luego, se prepararon las muestras con las respectivas cantidades de agua. A diferencia del Proctor estándar, este ensayo se realiza mediante 5 capas aplicando 56 golpes por capa con un pisón de peso de 4.54 kg y a una altura de caída de 457 mm (ASTM International, 2021).

Figura 25.

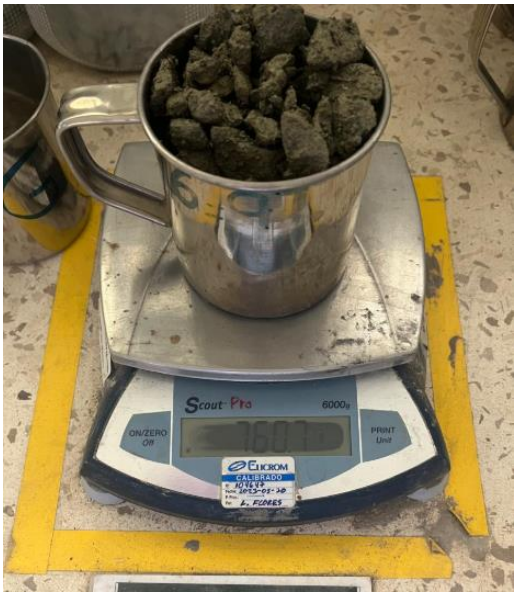
Ensayo de proctor modificado

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Figueroa, 2024).

Antes de la compactación de la quinta capa, se extrae una muestra, se pesa para luego ser secada en el horno y determinar posteriormente su contenido de humedad. Finalmente, se pesa la masa compactada más el molde para completar el registro de datos del ensayo.

Figura 26.

Muestra a pesar antes del secado al horno



Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Figueroa, 2024).

Figura 27.

Masa compactada más molde a pesar

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Figueroa, 2024).

2.3.6 Relación de rodamiento de California (CBR)

El procedimiento para realizar el ensayo de CBR es similar al del Proctor modificado, sin embargo, ya no se utilizarán cantidades de agua aleatoriamente, en su lugar se aplica una regla de 3 simple con los datos que tengan una humedad más cercana a la óptima, como el siguiente ejemplo: Si se tiene que la humedad optima del material con emulsión es 5.6%, además conocemos que se obtiene una humedad de 4.66% a 250 g de agua. Aplicando regla de 3 simple obtendremos 300.20 g como la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad optima de 5.6%.

Otro factor que cambia es el uso de otro tipo de molde, además de que se incluye una base y un disco auxiliar, que permitirán efectuar la compactación del material y luego poderlo cambiar a su base respectiva, este es un paso fundamental en el ensayo

porque se debe colocar un papel filtro que evite el lavado de finos al momento del proceso de saturación.

Para la muestra de base emulsionada y de base cruda, se deben efectuar 3 muestreos de 6 kg para cada tipo material. Los mismos que son necesarios, debido a que cada uno se compactara a diferente número de golpes (56, 25 y 12). Una vez compactados y colocados en la base que correspondan, se procede a colocar papel filtro en ambas caras del molde y luego colocarle 2 cargas constantes sobre el material, posteriormente, se mide con un deformímetro la medida estándar de 10 y se sumerge en el agua durante 24 horas. Al ser material granular, no es necesario medir deformaciones, dado que estas no se presentarán, sin embargo, se procedió a realizarlo para corroborar que no existan materiales que hayan podido contaminar la muestra.

Figura 28.

Moldes de muestras de CBR

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Joza, 2024).

Finalmente, se procede a retirar la muestra del agua al cabo de 24 horas y se retiran las cargas, para colocar el molde en el deformímetro previamente calibrado por una empresa certificada y correctamente configurado para la toma de deformidades a diferentes medidas de hundimiento del pistón.

Figura 29.

Muestras de CBR en deformímetro

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la FICT (Joza, 2024).

2.3.7 Extracción de asfalto del RAP

El presente ensayo consiste en cuantificar el contenido de ligante asfáltico presente en la muestra de RAP, empleando el proceso de centrifugación. Se inicia el ensayo, realizando el cuarteo de material, para proceder a registrar el peso de la muestra seca, del papel filtro y la tara.

Figura 30.

Cuarteo de material para extracción de asfalto

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la empresa Emulpac (Joza, 2024).

Se prepara la muestra para ser colocada en el plato centrifugado, seguido del papel filtro. Posteriormente, se asegura el equipo de centrífuga eléctrica, se ajusta el equipo a una velocidad de 1800 R.P.M. y se procede a encenderlo.

Durante el proceso de centrifugación se pueden utilizar diversos solventes, tales como tricloroetileno, cloruro de metileno, tricloroetano, entre otros. En este caso, se empleó combustible como solvente debido a su fácil disponibilidad. se adicionan gradualmente volúmenes de 500 ml de combustible sobre la muestra, hasta que el solvente escurrido cambie a un color más claro, lo que indica la finalización del proceso de extracción.

Figura 31.

Muestra de RAP en la centrífuga eléctrica

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la empresa Emulpac FICT (Figueroa, 2024).

Una vez concluido el ciclo de centrifugado, se desmonta el equipo y se registra el peso total de la muestra sin secar, incluyendo la tara y el papel filtro. Esto se debe a que, durante el proceso de centrifugación, las partículas finas se adhieren al papel filtro, lo cual debe considerarse en el peso total. Por último, se registra el peso de la muestra más la tara y el papel filtro luego de 24 horas de secado.

2.3.8 Granulometría del RAP

Con las muestras obtenidas del ensayo de extracción se asfalto, se les procede a realizar el ensayo de granulometría. Según lo establecido en el MOP (2002), Capítulo 4, Sección "Capas de rodadura para hormigones asfálticos mezclados en sitio", se especifican los tamices requeridos y los porcentajes máximos permitidos de material que debe pasar a través de cada uno.

Figura 32.

Tamices para capas de rodadura

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	3/8" Máximo	1/4" Máximo
1/2" (12.7 mm.)	100	
3/8" (9.5 mm.)	90 - 100	100
1/4" (6.3 mm.)	55 - 75	85 - 100
Nº 4 (4.75 mm.)	30 - 50	-
Nº 8 (2.38 mm.)	15 - 32	15 - 32
Nº 16 (1.18 mm.)	0 - 15	0 - 15
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 3	0 - 3

Nota. Fuente: (MOP, 2002)

Los tamices se disponen en orden decreciente de tamaño de apertura en la tamizadora, conforme a las especificaciones del ensayo. Posteriormente, se procede a registrar el peso del material retenido en cada tamiz. Cabe señalar que, en este caso, se omitió el tamiz de 1/4" debido a su falta de disponibilidad.

Figura 33.

Tamizador para ensayo de granulometría

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la Empresa Emulpac (Joza, 2024).

2.3.9 Ensayo Marshall de muestra de RAP

El procedimiento para realizar el ensayo de Marshall, en primer lugar, consiste en mezclar homogéneamente el RAP con agua y emulsión asfáltica. Este ensayo se lo llevo a cabo para 3 diseños diferentes, en los cuales variaron la cantidad a emulsión y dosificación de agua, los cuales fueron los siguientes:

Tabla 1.

Dosificación de materiales para diseño de briquetas

Dosificaciones para el diseño de briquetas			
	RAP	**Agua**	**Emulsión asfáltica**
Diseño 1	6500 g	325 g	2% = 130 g
Diseño 2	6500 g	260 g	3% = 195 g
Diseño 3	6500 g	195 g	4% = 260 g

Nota. Fuente: Elaboración Propia (Joza, 2024).

Como podemos observar se requieren 6500 g de material RAP previamente cuarteado, sin embargo, al momento de efectuar el mezclado, se utiliza la mitad que equivale a 3250 g, esto con el fin de obtener una mezcla completamente homogénea; así mismo se utiliza la mitad de dosificación para el agua y la emulsión asfáltica para cada diseño.

Figura 34.

Dosificación de RAP

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la Empresa Emulpac (Joza, 2024).

Una vez efectuada la mezcla, se procede a colocar aproximadamente 1100 g dentro del molde Marshall, donde se debe hincar con una espátula 10 veces alrededor del borde y 15 veces alrededor del centro del molde. Luego, se procede a compactar con el martillo de Marshall, ejecutando un total de 50 golpes para cada lado abierto del molde.

Figura 35.

Compactación de mezcla con martillo Marshall

Nota. Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la Empresa Emulpac (Joza,2024).

Posteriormente, se procede a repetir el proceso para cada diseño, dando como resultados 6 briquetas por diseño, las cuales se deben pintar para poder identificarlas. Además, se deben esperar 24 horas para poder desmoldar las briquetas y 24 horas más después de desmoldar para poder ser ensayadas.

Figura 36.

Proceso de desmolde de briquetas

*Nota***.** Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la Empresa Emulpac (Joza, 2024).

Figura 37.

Proceso de identificación de briquetas

*Nota***.** Figura tomada en Laboratorio de Suelos de la Empresa Emulpac (Joza, 2024).

2.4 Análisis de datos

2.4.1 Resultados del Aforo vehicular

El conteo vehicular en este estudio se realizó mediante un conteo manual en un punto estratégico donde se conoce que todo el tránsito pasara sin desviarse. Este conteo fue ejecutado por 2 personas, cada una realizando el conteo durante periodos de 15 minutos por mínimo 6 horas, las cuales contemplan las horas de mayor intensidad de tráfico, conocidas como horas pico. Además, se realizó dicho conteo durante 5 días, abarcando tanto días laborales como días del fin de semana.

La siguiente tabla especifica más a fondo los valores obtenidos durante la medición, clasificando correctamente el tipo de vehículo. Toda la información sobre los conteos realizados se encuentra detallados en el Anexo 1.

Tabla 2.

Conteo de 10am - 16pm del miércoles 11 de septiembre de 2024

Hora	Intervalos	DESCRIPCIÓN								
		Motos	**Livianos**	**Buses**	**2DA**	**2DB**	**V3A**	**2S2**	**3S2**	**3S3**
10:00 – 11:00	10:00 – 10:15	8	9	2	0	4	10	1	0	0
	10:15 – 10:30	4	7	1	0	5	13	0	8	0
	10:30 – 10:45	8	7	2	2	2	10	5	3	0
	10:45 – 11:00	8	5	2	0	3	15	2	3	0
11:00 – 12:00	11:00 – 11:15	7	4	0	0	3	12	1	1	1
	11:15 – 11:30	8	6	1	0	2	14	1	4	2
	11:30 – 11:45	19	7	1	0	2	9	2	4	0
	11:45 – 12:00	26	7	2	0	3	6	2	5	0
12:00 – 13:00	12:00 – 12:15	2	13	1	0	8	7	2	4	1
	12:15 – 12:30	9	8	2	0	4	10	0	0	1
	12:30 – 12:45	8	9	3	0	10	7	1	1	1
	12:45 – 13:00	14	9	1	0	3	6	0	0	2
13:00 – 14:00	13:00 – 13:15	7	3	2	0	1	7	1	2	0
	13:15 – 13:30	9	7	0	0	4	7	2	5	1
	13:30 – 13:45	8	5	3	0	2	12	3	3	1
	13:45 – 14:00	14	11	1	0	4	15	1	0	1
14:00 – 15:00	14:00 – 14:15	10	8	1	0	4	8	2	2	1
	14:15 – 14:30	6	13	2	1	4	15	1	7	0
	14:30 – 14:45	7	5	1	0	7	13	3	7	0

	14:45 – 15:00	9	8	1	0	2	15	2	1	0
15:00 – 16:00	15:00 – 15:15	9	5	1	0	4	11	2	0	2
	15:15 – 15:30	6	8	1	0	3	12	1	5	0
	15:30 – 15:45	11	7	3	0	1	14	1	4	0
	15:45 – 16:00	11	6	0	0	4	6	3	2	1

Nota. Elaboración propia (2024).

2.4.2 Resultados de Proctor Modificado

Se obtienen los datos del molde usado en la base en estado crudo y en la base estabilizada con emulsión.

Tabla 3.

Datos de molde de base en estado crudo

Datos de molde		
Diámetro de molde	6	pulgadas
Masa de molde + base	6.064	kg
Volumen de molde	0.002111	m3

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 4.

Datos de molde de base estabilizada con emulsión

Datos de molde		
Diámetro de molde	6	pulgadas
Masa de molde + base	6.012	kg
Volumen de molde	0.002111	m3

Nota. Elaboración propia (2024).

Luego de obtener el peso de la muestra húmeda y seca, se calcula el agua evaporada. También se calcula la masa de suelo seco, restándole el peso del recipiente. Teniendo estos valores se calcula el porcentaje de humedad.

$$Humedad\ (\%) = \frac{Masa\ de\ agua\ evaporada\ (g)}{Masa\ de\ suelo\ seco\ (g)} * 100 \quad (2.2)$$

Para determinar la densidad húmeda, se obtiene mediante los datos del molde y el peso de masa compactada.

$$Densidad\ Húmeda\ (kg/m^3) = \frac{[(Masa\ compactada+molde)-(Masa\ de\ molde+base)]}{Volumen\ de\ molde} \quad (2.3)$$

Finalmente, para determinar la densidad seca, se calcula un factor mediante la humedad previamente obtenida.

$$Factor = (Humedad + 100) * 0.01 \quad (2.4)$$

$$Densidad\ seca\ (kg/m^3) = \frac{Densidad\ húmeda}{Factor} \quad (2.5)$$

Tabla 5.

Tabla de resultados del Proctor Modificado de la base cruda

	PUNTO 1	**PUNTO 2**	**PUNTO 3**
Determinación de la densidad húmeda			
Masa compactada + molde (kg)	10.690	10.826	10.846
Densidad Húmeda (kg/m3)	2191.378	2255.803	2265.277
Determinación de la humedad			
Masa de agua añadida (g)	250	350	450
ID del recipiente	P5S2	P2F	15
Masa del recipiente (g)	91	94	99.3
Masa de suelo húmedo + recipiente (g)	610.7	744.2	925.7
Masa de suelo seco + recipiente (g)	584	701.6	858.1

Masa de agua evaporada (g)	26.7	42.6	67.6
Masa de suelo seco (g)	493	607.6	758.8
Humedad (%)	5.416	7.011	8.909
Determinación de la densidad seca			
Factor	1.0542	1.0701	1.0891
Densidad seca (kg/m3)	2078.8	2108.0	2080.0

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 6.

Tabla de resultados del Proctor Modificado de la base emulsionada

	PUNTO 1	**PUNTO 2**	**PUNTO 3**
Determinación de la densidad húmeda			
Masa compactada + molde (kg)	10.866	10.978	10.918
Densidad Húmeda (kg/m3)	2299.384	2352.440	2324.017
Determinación de la humedad			
Masa de agua añadida (g)	150	300	450
ID del recipiente	G	21	SC
Masa del recipiente (g)	97.4	98.8	101.1
Masa de suelo húmedo + recipiente (g)	828.2	846.2	863.9
Masa de suelo seco + recipiente (g)	802.7	803.6	807.6
Masa de agua evaporada (g)	25.5	42.6	56.3
Masa de suelo seco (g)	705.3	704.8	706.5
Humedad (%)	3.615	6.044	7.969
Determinación de la densidad seca			

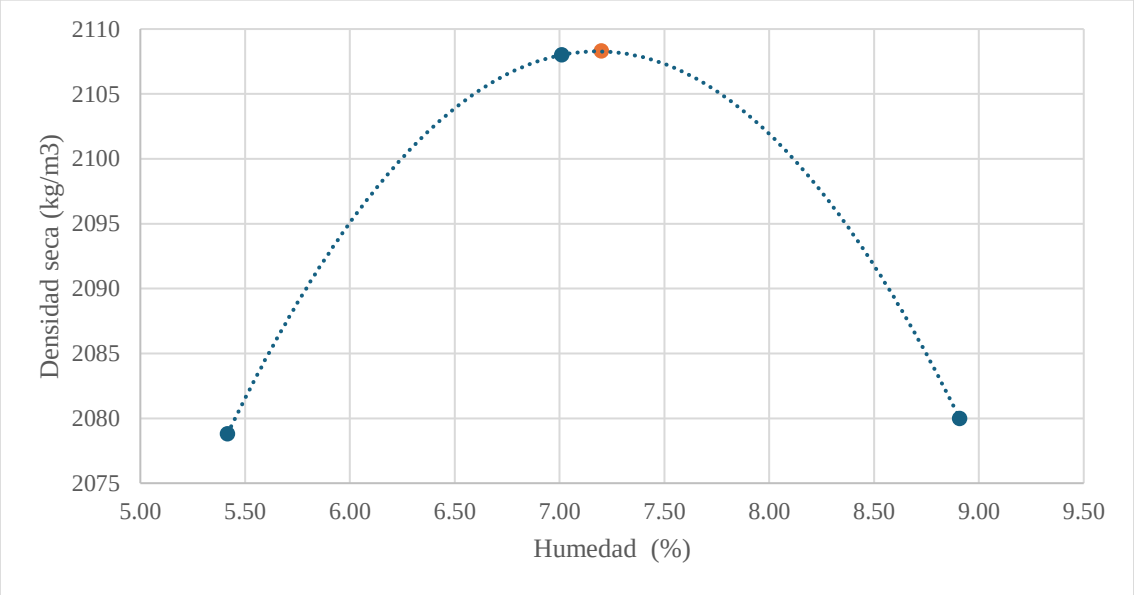
Factor	1.0362	1.0604	1.0797
Densidad seca (kg/m3)	2219.2	2218.4	2152.5

Nota. Elaboración propia (2024).

Con los resultados obtenidos se realiza la gráfica densidad húmeda vs humedad, con la curva resultante se escoge el punto máximo que representa la humedad óptima y la densidad seca máxima.

Figura 38.

Humedad vs Densidad Seca de Base Cruda



Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 7.

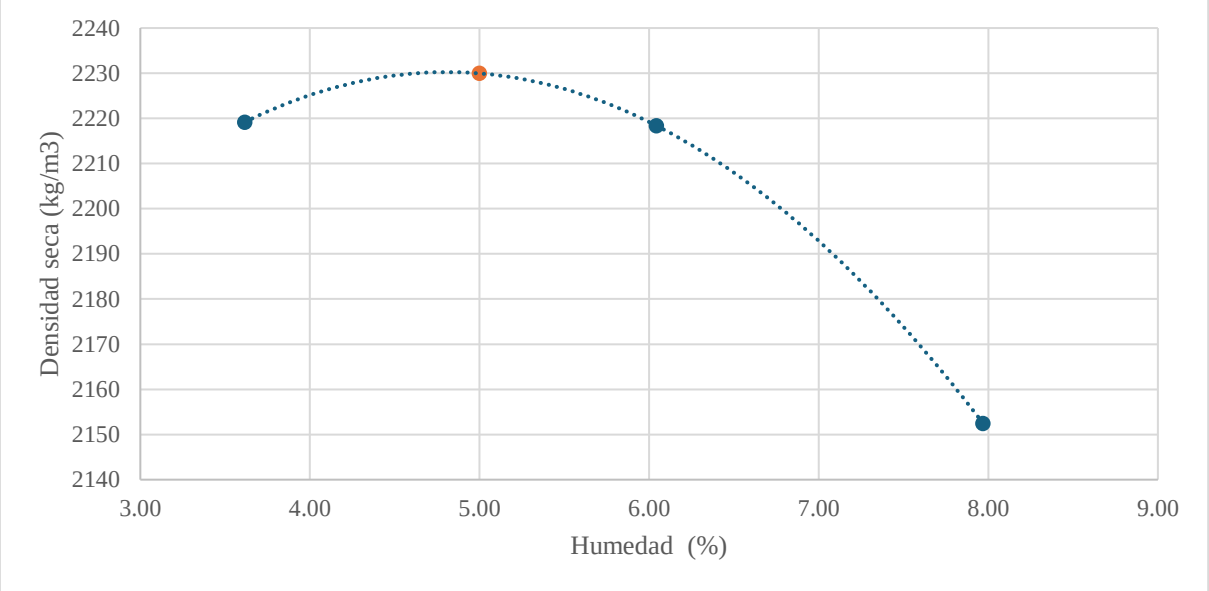
Punto máximo de la curva para base cruda

Humedad Óptima (%)	7.20
Densidad Seca Max (kg/m3)	2108.30

Nota. Elaboración propia (2024).

Figura 39.

Humedad vs Densidad Seca de Base Emulsionada



Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 8.

Punto máximo de la curva para base emulsionada

Humedad Óptima (%)	5
Densidad Seca Max (kg/m3)	2230

Nota. Elaboración propia (2024).

2.4.3 Resultados de CBR

Se obtienen los pesos del recipiente de la muestra, de la muestra húmeda y la muestra seca para determinar la masa de agua mediante la resta de estos. De igual

forma, se obtiene la masa de suelo seco mediante la resta de la masa del recipiente. Para determinar la humedad se emplea la fórmula 2.2, usada anteriormente en el ensayo Proctor modificado. Estos cálculos se realizan antes y después del saturado de 24 horas.

Tabla 9.

Resultados de humedad CBR base cruda

		Antes			**Después**		
HUMEDAD	Golpes por capa	**56**	**25**	**12**	**56**	**25**	**12**
	ID del recipiente	G	19	SG	14	39	12
	Masa del recipiente (g)	97.30	90.40	101.10	89.09	97.90	81.32
	Masa de s húmedo + recipiente (g)	852.60	720.10	910.50	435.97	545.38	533.23
	Masa de s seco + recipiente (g)	800.30	661.80	854.80	410.00	516.50	503.30
	Masa de agua (g)	52.30	58.30	55.70	25.97	28.88	29.93
	Masa de suelo seco (g)	703.00	571.40	753.70	320.91	418.60	421.98
	Humedad (%)	7.44	10.20	7.39	8.09	6.90	7.09

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 10.

Resultados de humedad CBR base emulsionada

		Antes			**Después**		
	Golpes por capa	**56**	**25**	**12**	**56**	**25**	**12**
	ID del recipiente	P2F1	P1F	P12F	21	11	P7F
	Masa del recipiente (g)	91.60	111.70	95.80	98.80	98.60	95.10

HUMEDAD	Masa de s húmedo + recipiente (g)	599.50	765.90	803.40	637.80	503.00	594.00
	Masa de s seco + recipiente (g)	570.40	726.30	763.40	605.70	475.70	551.00
	Masa de agua (g)	29.10	39.60	40.00	32.10	27.30	43.00
	Masa de suelo seco (g)	478.80	614.60	667.60	506.90	377.10	455.90
	Humedad (%)	6.08	6.44	5.99	6.33	7.24	9.43

Nota. Elaboración propia (2024).

Para el cálculo de densidad, se obtienen los valores de masa y volumen del molde en que se realizó la compactación, al igual que el valor de la masa compactada, para luego, mediante la fórmula 2.3 obtener la densidad húmeda. Al igual que en el anterior apartado, se emplean las fórmulas 2.4 y 2.5 para determinar la densidad seca.

Tabla 11.

Resultados de densidad CBR base cruda

		Antes			**Después**		
DENSIDAD	Golpes por capa	**56**	**25**	**12**	**56**	**25**	**12**
	ID del molde	13	11	7	13	11	7
	Masa del molde (kg)	6.500	6.730	7.108	6.500	6.780	7.108
	Volumen del molde (m3)	0.0021	0.002128	0.002121	0.0021	0.002128	0.002121
	Masa compactada + molde (kg)	11.068	11.008	11.500	11.186	11.132	11.576

	Densidad humeda (kg/m3)	2175.238	2010.338	2070.721	2231.429	2045.113	2106.554
	Factor	1.074	1.102	1.074	1.081	1.069	1.071
	Densidad seca (kg/m3)	2024.616	1824.214	1928.222	2064.367	1913.123	1967.036

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 12.

Resultados de densidad CBR base emulsionada

		Antes			**Después**		
DENSIDAD	Golpes por capa	**56**	**25**	**12**	**56**	**25**	**12**
	ID del molde	7	7	11	7	7	11
	Masa del molde (kg)	7.108	7.108	6.780	7.108	7.108	6.780
	Volumen del molde (m3)	0.002121	0.002121	0.002128	0.002121	0.002121	0.002128
	Masa compactada + molde (kg)	12.096	11.830	11.276	12.150	11.942	11.462
	Densidad humeda (kg/m3)	2351.721	2226.308	2112.782	2377.181	2279.114	2200.188
	Factor	1.061	1.064	1.060	1.063	1.072	1.094
	Densidad seca (kg/m3)	2216.980	2091.546	1993.348	2235.608	2125.257	2010.555

Nota. Elaboración propia (2024).

Se obtienen las lecturas realizadas con el deformímetro para la base en estado crudo y la base estabilizada con emulsiones.

Tabla 13.

Resultados del deformímetro para la base cruda

Muestra de Base Cruda							
Hincado del pistón		**Dial 0.001¨**			**Dial 0.0001¨**		
mm	**pulgadas**	**56**	**25**	**12**	**56**	**25**	**12**
0.00	0.000	45	25	25	0	0	0
0.64	0.025	70	50	50	35	2	12
1.27	0.050	95	75	75	81	5	30
1.91	0.075	120	100	100	125	10	48
2.54	0.100	145	125	125	175	14	63
3.81	0.150	195	175	175	224	24	91
5.08	0.200	245	225	225	275	36	119
7.62	0.300	345	325	325	378	76	163
10.16	0.400	445	425	425	491	114	220
12.70	0.500	545	525	525	593	153	277

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 14.

Resultados del deformímetro para la base emulsionada

Muestra de Base Con Emulsión							
Hincado del pistón		**Dial 0.001¨**			**Dial 0.0001¨**		
mm	**pulgadas**	**56**	**25**	**12**	**56**	**25**	**12**

0.00	0.000	40	45	70	0	0	0
0.64	0.025	65	70	95	42	17	14
1.27	0.050	90	95	120	102	45	23
1.91	0.075	115	120	145	156	71	31
2.54	0.100	140	145	170	205	95	41
3.81	0.150	190	195	220	295	142	61
5.08	0.200	240	245	270	384	185	81
7.62	0.300	340	345	370	535	264	120
10.16	0.400	440	445	470	685	330	156
12.70	0.500	540	545	470	828	393	187

Nota. Elaboración propia (2024).

Para determinar la fuerza aplicada, se realiza mediante la siguiente fórmula

$$Fuerza\ (kN) = x * (y * 0.0001) + Deformación \quad (2.6)$$

Donde:

x = 446.17

y = valor de la lectura del dial 0.0001¨

Deformación = 0.1885

Tabla 15.

Resultados de esfuerzo base cruda

Muestra de Base Cruda		
Hincado del pistón	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (MPa)**

mm	pulgadas	56	25	12	56	25	12
0.00	0.000	0.186	0.186	0.186	0.094	0.094	0.094
0.64	0.025	1.747	0.275	0.721	0.890	0.140	0.367
1.27	0.050	3.799	0.409	1.524	1.935	0.208	0.776
1.91	0.075	5.763	0.632	2.327	2.935	0.322	1.185
2.54	0.100	7.993	0.810	2.996	4.071	0.413	1.526
3.81	0.150	10.180	1.256	4.246	5.184	0.640	2.162
5.08	0.200	12.455	1.792	5.495	6.343	0.913	2.799
7.62	0.300	17.051	3.576	7.458	8.684	1.821	3.798
10.16	0.400	22.092	5.272	10.001	11.252	2.685	5.094
12.70	0.500	26.643	7.012	12.544	13.569	3.571	6.389

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 16.

Resultados de esfuerzo base emulsionada

Muestra de Base Con Emulsión							
Hincado del pistón		**Fuerza (kN)**			**Esfuerzo (MPa)**		
mm	**pulgadas**	**56**	**25**	**12**	**56**	**25**	**12**
0.00	0.000	0.186	0.186	0.186	0.094	0.094	0.094
0.64	0.025	2.059	0.944	0.810	1.049	0.481	0.413
1.27	0.050	4.736	2.193	1.212	2.412	1.117	0.617
1.91	0.075	7.146	3.353	1.569	3.639	1.708	0.799
2.54	0.100	9.332	4.424	2.015	4.753	2.253	1.026
3.81	0.150	13.348	6.521	2.907	6.798	3.321	1.481

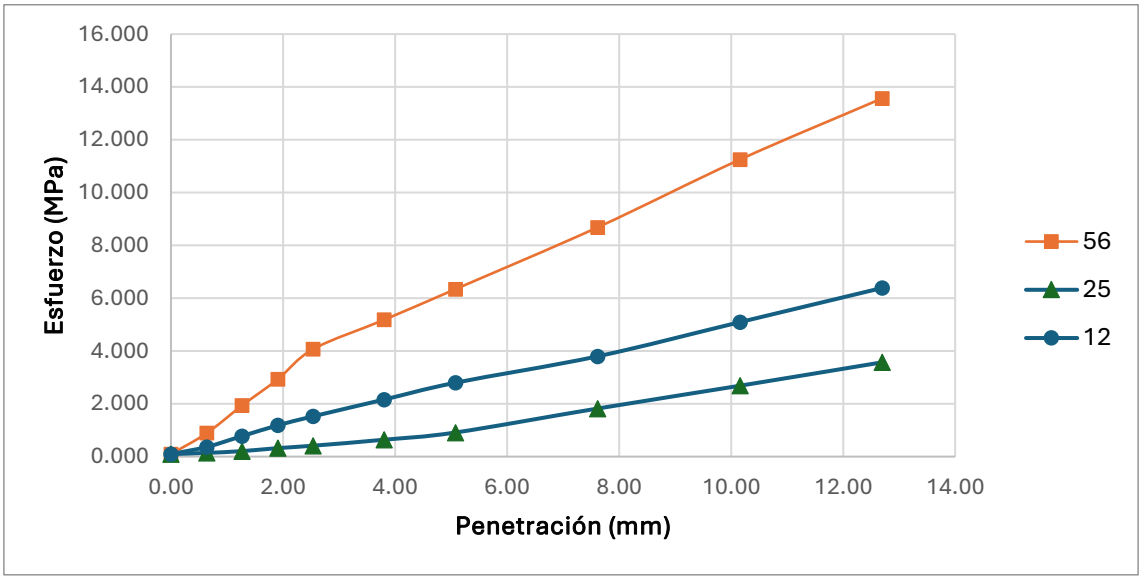
5.08	0.200	17.318	8.440	3.799	8.820	4.298	1.935
7.62	0.300	24.056	11.964	5.540	12.251	6.093	2.821
10.16	0.400	30.748	14.909	7.146	15.660	7.593	3.639
12.70	0.500	37.128	17.720	8.529	18.909	9.025	4.344

Nota. Elaboración propia (2024).

Con los datos obtenidos se realizan las gráficas Esfuerzo vs Deformación.

Figura 40.

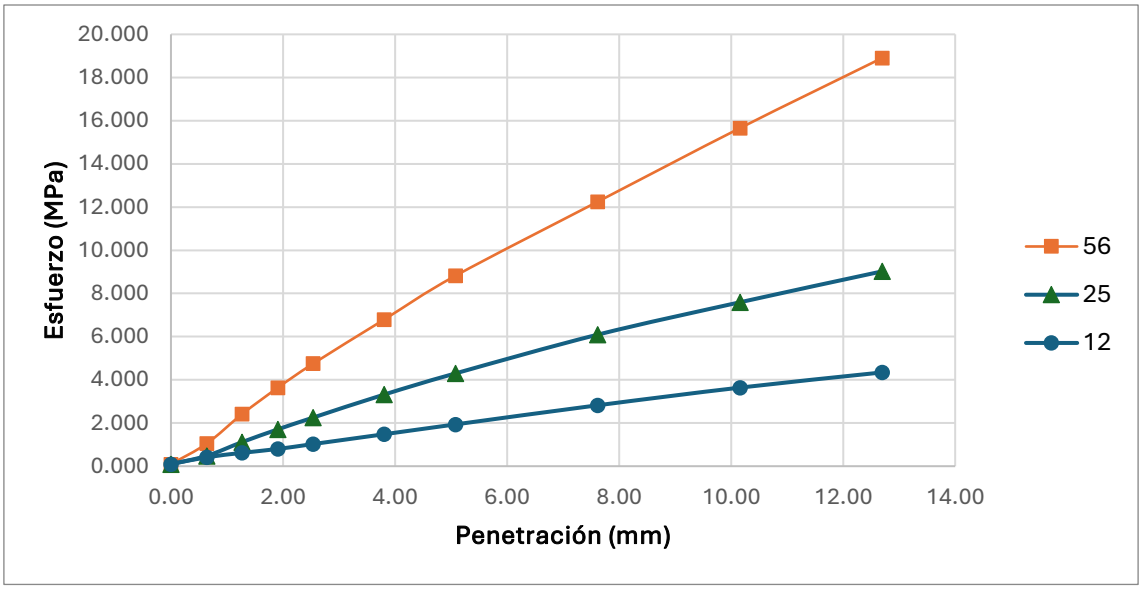
Gráfica Esfuerzo vs Deformación Base cruda



Nota. Elaboración propia (2024).

Figura 41.

Gráfica Esfuerzo vs Deformación Base emulsionada

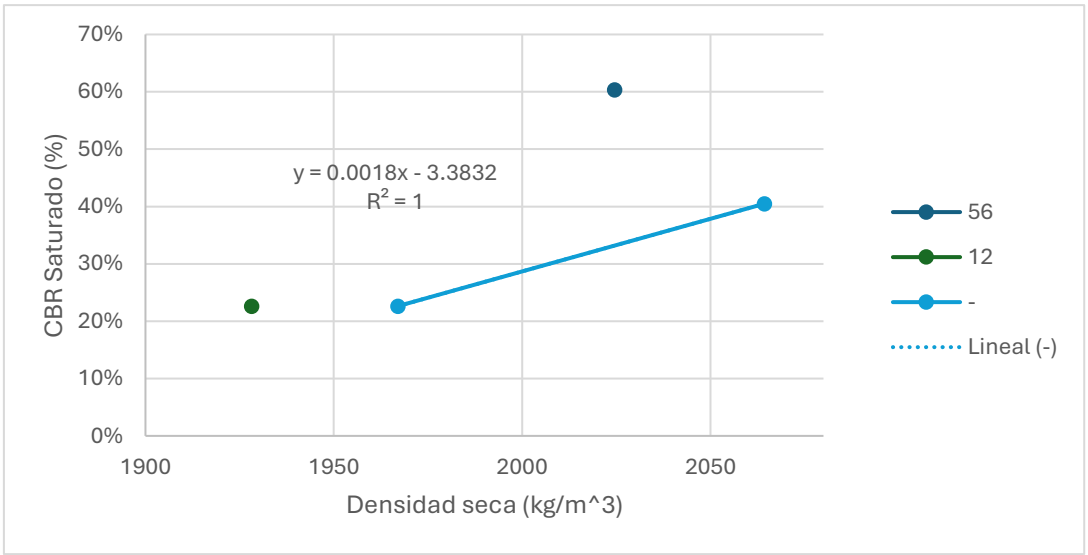


Nota. Elaboración propia (2024).

Finalmente, se realiza la gráfica CBR vs Densidad seca antes de la saturación, para encontrar la línea de tendencia y conjunto al valor de densidad al 100% del Proctor Modificado, calcular el CBR.

Figura 42.

Gráfica CBR vs Densidad Base Cruda



Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 17.

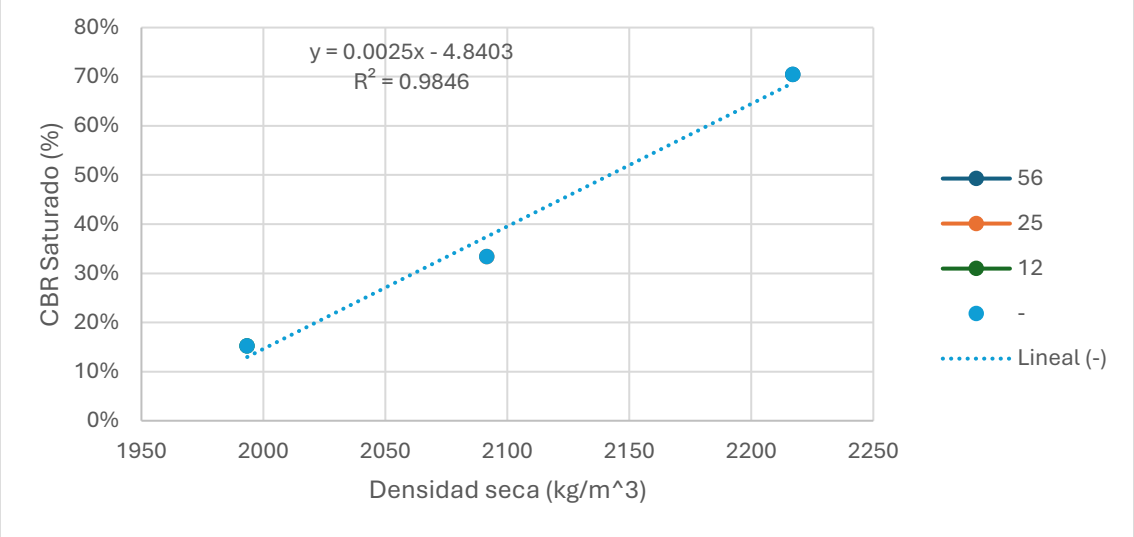
Resultado de CBR Base Cruda

Densidad al 100% del Proctor Modificado (kg/m3)	**2108.3**
CBR (%)	**41.17**

Nota. Elaboración propia (2024).

Figura 43.

Gráfica CBR vs Densidad Base Emulsionada



Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 18.

Resultado de CBR Base Cruda

Densidad al 100% del Proctor Modificado (kg/m3)	**2230**
CBR (%)	**73.47**

Nota. Elaboración propia (2024).

2.4.4 Resultados de extracción de asfalto del RAP

Se realizaron los ensayos a 2 muestras, donde se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 19.

Datos de extracción de asfalto de la Muestra 1

EXTRACCIÓN DE ASFALTO MUESTRA 1	
Muestra seca (g)	1120.7
Filtro (g)	23.3
Solvente (lt)	6.5
Tara (g)	235.1
Tara+Muestra+Filtro (g)	1320.1

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 20.

Datos de extracción de asfalto de la Muestra 2

EXTRACCIÓN DE ASFALTO MUESTRA 2	
Muestra seca (g)	1391.6
Filtro (g)	23.5
Solvente (lt)	5
Tara (g)	218.5
Tara+Muestra+Filtro (g)	1553.4

Nota. Elaboración propia (2024).

Se obtiene el porcentaje de asfalto para la Muestra 1 mediante la siguiente ecuación:

$$AC\% = \frac{M.seca+Filtro-\big((Tara+Muestra+Filtro)-Tara\big)-Solvente}{M.seca} * 100 \quad (2.7)$$

$$AC\% = \frac{1120.7 + 23.3 - \big((1350.4) - 235.1\big) - 6.5}{1120.7} * 100$$

$$AC\% = 4.7\%$$

Se realiza el mismo procedimiento para la Muestra 2, obtenido los siguientes resultados:

Tabla 21.

Resultados de extracción de asfalto Muestra 1

EXTRACCIÓN DE ASFALTO MUESTRA 1	
Muestra+Filtro (g)	1085.0
Peso de finos (g)	6.5
Peso asfalto (g)	52.5
AC%	4.7%

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 22.

Resultados de extracción de asfalto Muestra 2

EXTRACCIÓN DE ASFALTO MUESTRA 2	
Muestra+Filtro (g)	1334.9
Peso de finos (g)	5.0
Peso asfalto (g)	75.2
AC%	5.4%

Nota. Elaboración propia (2024).

2.4.5 Resultados de granulometría del RAP

Realizado el ensayo de granulometría se obtuvieron los siguientes datos de pesos retenidos de las 2 muestras.

Tabla 23.

Datos de granulometría Muestra 1

MUESTRA 1		
TAMIZ	**DIÁMETRO (mm)**	**PESO RETENIDO PARCIAL (g)**
1/2"	12.70	0.00
3/8"	9.50	96.10
1/4"	6.30	-
N° 4	4.75	243.90
N° 8	2.38	209.80
N° 16	1.18	166.00
N°200	0.075	318.20
Fondo		25.50
TOTAL		**1059.50**

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 24.

Datos de granulometría Muestra 2

Muestra 2		
TAMIZ	**DIÁMETRO (mm)**	**PESO RETENIDO PARCIAL (g)**
1/2"	12.70	0.00

3/8"	9.50	79.30
1/4"	6.30	-
N° 4	4.75	179.00
N° 8	2.38	202.20
N° 16	1.18	212.20
N°200	0.075	583.10
Fondo		52.60
TOTAL		**1308.40**

Nota. Elaboración propia (2024).

Con los datos obtenidos del peso retenido parcial, se lo convierte a porcentaje y se calcula el porcentaje retenido acumulado. Para calcular el porcentaje pasante acumulado, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%\ Pasante\ Ac._i = \%\ Pasante\ Ac._{i-1} - \%\ Retenido\ Ac._i + \%\ Retenido\ Ac._{i-1} \quad (2.8)$$

Se obtienen los siguientes resultados, conjunto a las especificaciones mínimas y máximas del tamiz 3/8" de la Tabla 1.

Tabla 25.

Resultados granulometría Muestra 1

TAMIZ	**DIÁMETRO (mm)**	**%RETENIDO PARCIAL**	**%RETENIDO ACUMULADO**	**%PASANTE ACUMULADO**	**ESPECIFICACIÓN**	
1/2"	**12.70**	0.00	0.00	**100.00**	100	100
3/8"	**9.50**	9.07	9.07	**90.93**	90	100
1/4"	**6.30**	-	-	**-**	55	75
N° 4	**4.75**	23.02	32.09	**67.91**	30	50
N° 8	**2.38**	19.80	51.89	**48.11**	15	32
N° 16	**1.18**	15.67	67.56	**32.44**	0	15
N°200	**0.075**	30.03	97.59	**2.41**	0	3

Fondo	2.41	100.00	**0.00**

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 26.

Resultados granulometría Muestra 2

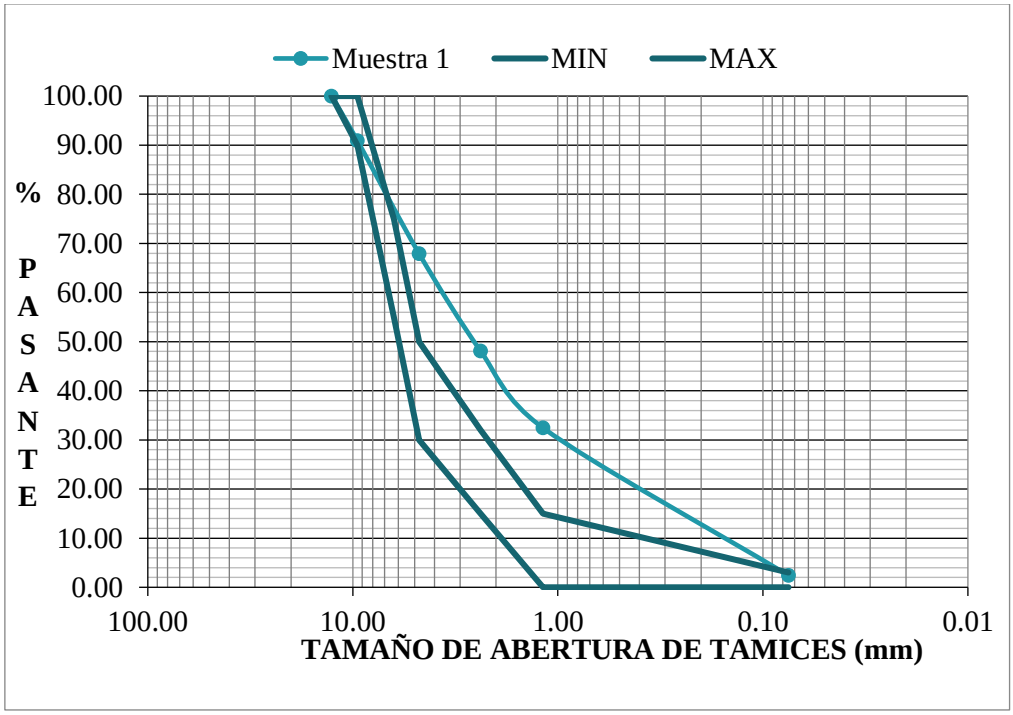
Muestra 2						
TAMIZ	**DIÁMETRO (mm)**	**%RETENIDO PARCIAL**	**%RETENIDO ACUMULADO**	**%PASANTE ACUMULADO**	**ESPECIFICACIÓN**	
1/2"	**12.70**	0.00	0.00	**100.00**	100	100
3/8"	**9.50**	6.06	6.06	**93.94**	90	100
1/4"	**6.30**	-	-	**-**	55	75
N° 4	**4.75**	13.68	19.74	**80.26**	30	50
N° 8	**2.38**	15.45	35.20	**64.80**	15	32
N° 16	**1.18**	16.22	51.41	**48.59**	0	15
N°200	**0.075**	44.57	95.98	**4.02**	0	3
Fondo		4.02	100.00	**0.00**		

Nota. Elaboración propia (2024).

Se realiza la curva granulométrica con el porcentaje de pasante acumulado y las especificaciones límites.

Figura 44.

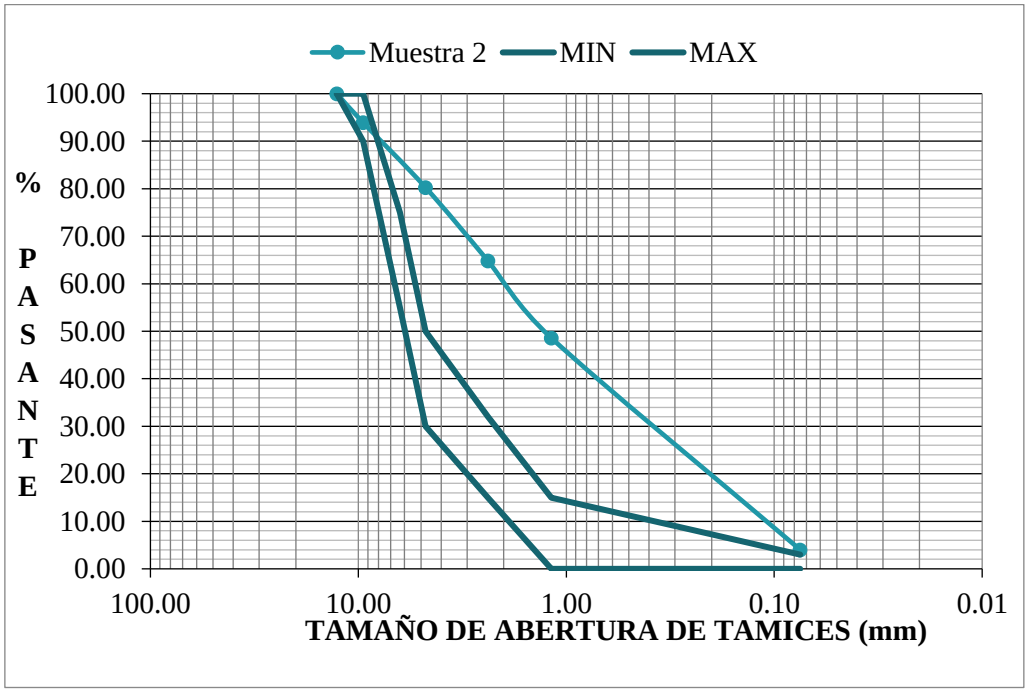
Curva Granulométrica Muestra 1



Nota. Elaboración propia (2024).

Figura 45.

Curva Granulométrica Muestra 2



Nota. Elaboración propia (2024).

2.4.6 Resultados de Estabilidad de Marshall

Una vez las briquetas alcancen las 24 horas después de desmoldar, se procede a pesar 3 sumergidas en un recipiente lleno de agua y tapado con un vidrio para evitar espacios vacíos; las otras 3 briquetas se las sumergen en agua durante aproximadamente 1 hora, y así simular periodos de saturación a los que se puede someter la estructura. Posteriormente, se anotan las lecturas de los diales y se procesan los datos; obteniendo como resultado los siguientes valores para cada diseño:

Tabla 27.

Resultados de Diseño 1 con 2% de emulsión asfáltica

Datos de especímenes compactados	**SECO**			**HUMEDO**		
	R21	**R22**	**R23**	**R24**	**R25**	**R26**
Peso en aire [D]	1047.8	1044.9	1040.8			
Peso en agua [E]	535.6	533.8	527.6			
Peso S.S.S [F]	1053.2	1049.9	1045.1			
G.S. bulk - mezcla compactada [G]	2.02	2.02	2.01			
G. S. bulk seca - mezcla compactada	2.024	2.025	2.011			
G. S. bulk seca - mezcla compactada promedio		2.020				
Espesor	6.43	6.47	6.53	6.53	6.50	6.50
Diámetro	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Volumen	515.43	518.10	523.44	523.44	520.77	520.77

ESTABILIDAD						
Dial	185	176	175	136	146	135
Carga	1832.82	1743.89	1734.01	1348.35	1447.28	1338.45
Factor de corrección	1.00	1.00	0.96	0.96	1.00	1.00
Estabilidad ajustada [S]	1832.82	1743.89	1664.65	1294.41	1447.28	1338.45
Estabilidad ajustada prom.		1747.12			1360.05	
Pérdida de estabilidad			22.15%			

*Nota***.** Fuente: Elaboración Propia (Figueroa, 2024).

Tabla 28.

Resultados de Diseño 2 con 3% de emulsión asfáltica

Datos de especímenes compactados	SECO			HUMEDO		
	R31	**R32**	**R33**	**R34**	**R35**	**R36**
Peso en aire [D]	1055.3	1054.4	1051.9			
Peso en agua [E]	542.1	538.2	539.3			
Peso S.S.S [F]	1058.5	1057.3	1055.2			
G.S. bulk - mezcla compactada [G]	2.04	2.03	2.04			
G. S. bulk seca - mezcla compactada	2.044	2.031	2.039			
G. S. bulk seca - mezcla compactada promedio		2.038				
Espesor	6.40	6.50	6.53	6.53	6.60	6.47

Diámetro	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Volumen	512.76	520.77	523.44	523.44	528.78	518.10
ESTABILIDAD						
Dial	180	205	195	127	150	156
Carga	1783.42	2030.36	1931.61	1259.28	1486.84	1546.18
Factor de corrección	1.00	1.00	0.96	0.96	0.96	1.00
Estabilidad ajustada [S]	1783.42	2030.36	1854.34	1208.91	1427.37	1546.18
Estabilidad ajustada prom.		1889.38			1394.15	
Pérdida de estabilidad			26.21%			

*Nota***.** Fuente: Elaboración Propia (Figueroa, 2024).

Tabla 29.

Resultados de Diseño 3 con 4% de emulsión asfáltica

Datos de especímenes compactados	**SECO**			**HUMEDO**		
	R41	**R42**	**R43**	**R44**	**R45**	**R46**
Peso en aire [D]	1056.78	1063.95	1062.9			
Peso en agua [E]	531.6	537.8	535.8			
Peso S.S.S [F]	1069.1	1067.6	1065.3			
G.S. bulk - mezcla compactada [G]	1.97	2.01	2.01			
G. S. bulk seca - mezcla compactada	1.966	2.008	2.007			

G. S. bulk seca - mezcla compactada promedio		1.994				
Espesor	6.60	6.50	6.67	6.60	6.77	6.90
Diámetro	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Volumen	528.78	520.77	534.12	528.78	542.13	552.82
ESTABILIDAD						
Dial	165	186	172	136	158	156
Carga	1635.16	1842.70	1704.36	1348.35	1565.95	1546.18
Factor de corrección	0.96	1.00	0.96	0.96	0.93	0.89
Estabilidad ajustada [S]	1569.76	1842.70	1636.18	1294.41	1456.34	1376.10
Estabilidad ajustada prom.		1682.88			1375.62	
Pérdida de estabilidad			18.26%			

*Nota***.** Fuente: Elaboración Propia (Figueroa, 2024).

Se puede inferir que la dosificación adecuada para el RAP con el que cuenta la Prefectura Ciudadana de Guayas presenta una mejor estabilización con un porcentaje de 3%, lo que implica una estabilidad de Marshall que ronda entre los 139 MPa y 188 MPa de resistencia.

2.5 Análisis de alternativas

Las alternativas se basan en lo tradicionalmente realizado por el cliente en casos de rehabilitaciones de vías, y la propuesta de diseño a considerar.

La Prefectura del Guayas trabaja acorde a la manera rutinaria de diseño y rehabilitación de vías, mediante colocación de subbase, base y carpeta asfáltica, que acorde a lo que se requiere, varían los espesores de las estas capas que conforman el pavimento flexible. Por otro lado, cuando el deterioro es superficial, se trabaja

usualmente, con el fresado de la capa superior y por consiguiente aplicar un bacheo con mezcla asfáltica.

A pesar de ser soluciones que se llevan usando varios años a nivel nacional, se evidencian ciertas deficiencias por distintos factores que pueden variar desde calidad de material, transporte, colocación, hasta el mal diseño acorde a las cargas recibidas, lo cual provoca mantenimientos y rehabilitaciones constantes que generan altos gastos.

Por esta razón, se considera una alternativa técnicamente viable, en donde se evalúen mejoras en los factores económicos, sociales y ambientales mediante el uso del asfalto reciclado, logrando resultados eficientes en términos de sostenibilidad y desempeño estructural, generando mayores beneficios al cliente y a los locales.

Para la elección de la mejor alternativa, se establecieron los siguientes criterios de evaluación:

- Costos
- Velocidad de construcción
- Disponibilidad de material
- Durabilidad
- Desempeño estructural
- Impacto ambiental

A cada uno de estos criterios se le asignó una ponderación de valor de importancia acorde a lo requerido por el cliente, en donde predominan el costo, durabilidad y el desempeño estructural. Luego, a cada alternativa se le asignó un puntaje acorde a la escala de Likert, para poder multiplicarlo por la ponderación de importancia y obtener la mejor alternativa en base a los criterios previamente mencionados.

Tabla 30.

Puntaje de criterios de evaluación

Criterio	Puntaje	Descripción
Costos	1	Muy costoso
	2	Costoso
	3	Costos moderados
	4	Asequible
	5	Poco costoso
Velocidad de construcción	1	Muy baja velocidad
	2	Baja velocidad
	3	Velocidad moderada
	4	Alta velocidad
	5	Muy alta velocidad
Disponibilidad de material	1	Muy poca disponibilidad
	2	Poca disponibilidad
	3	Disponibilidad moderada
	4	Alta disponibilidad
	5	Muy alta disponibilidad
Durabilidad	1	Muy poca durabilidad
	2	Poca durabilidad
	3	Durabilidad moderada
	4	Alta durabilidad
	5	Muy alta durabilidad
Desempeño estructural	1	Muy poco desempeño
	2	Poco desempeño
	3	Desempeño moderado

	4	Alto desempeño
	5	Muy alto desempeño
Impacto ambiental	1	Muy alto impacto
	2	Alto impacto
	3	Impacto moderado
	4	Bajo impacto
	5	Muy bajo impacto

Nota. Elaboración propia (2024).

Tabla 31.

Matriz de Likert

Criterios de evaluación	**Ponderación**	**Alternativa 1 (Tradicional)**	**Alternativa 2 (RAP)**
Costos	20%	2	3
Velocidad de Construcción	15%	3	3
Disponibilidad del material	10%	3	4
Durabilidad	20%	3	5
Desempeño estructural	20%	3	4
Impacto ambiental	15%	3	4
Total	100%	2.80	3.85

Nota. Elaboración propia (2024).

El uso del RAP presenta una serie de ventajas en comparación con el uso de mezclas asfálticas convencionales. Según lo evidenciado en la revisión de la literatura, destacan beneficios económicos, ambientales, energéticos y de desempeño. Estas características la posicionan como una alternativa superior en términos técnicos y sostenibles, otorgándole un mayor puntaje total.

Capítulo 3

3 DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

3.1 Variables

3.1.1 Periodo de diseño

El periodo de diseño seleccionado para la estructura de pavimento flexible es de 15 años, basado en las recomendaciones de la metodología AASHTO 93, que sugiere considerar periodos de diseño que garanticen la durabilidad y funcionalidad del pavimento bajo las condiciones de carga previstas. Además, este periodo se justifica por las características de la vía en estudio, que deberá soportar volúmenes medios a altos de tránsito, y requiere una vida útil prolongada.

Además, teniendo en cuenta el tipo de carretera que se esta interviniendo y el tránsito promedio diario inicial también se puede inferir un rango de años recomendados como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 32.

Periodos de diseño recomendados

Tipo de Camino	Tránsito promedio diario inicial	Rango recomendado (años)
Autopistas interurbanas y otras carreteras interurbanas principales	>5000	20 – 25
Colectoras interurbanas y vías rurales principales	1000 – 10000	15 – 20
Caminos rurales de tránsito medio	<1000	10 - 15

Nota. Fuente: Pavimentos asfálticos de carreteras (2016)

3.1.2 Tráfico Promedio Diario Anual

Para el correcto cálculo del Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) sería ideal contar con datos de una estación de conteo automático permanente, sin embargo, esto

no es siempre posible ni practico de tener en todas las vías. Es por esto por lo que se efectuó una aproximación real del tráfico, mediante la utilización de 4 factores de variación que son los siguientes:

- Factor Horario (FH). – Permitirá transformar el volumen de tráfico que se haya registrado en un determinado número de horas a un Volumen Diario Promedio.
- Factor Diario (FD). – Transformara el volumen de tráfico diario promedio en Volumen Semanal Promedio.
- Factor Semanal (FS). – Transformara el volumen semanal promedio de tráfico en Volumen Mensual Promedio.
- Factor Mensual (FM). – Transformara el volumen mensual promedio de tráfico en Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).

Obteniendo toda esta serie de datos se podrá realizar el correcto cálculo del TPDA, que se resume en la siguiente ecuación, según el (MTOP,2003, p. 16):

$$TPDA = To * Fh * Fd * Fs * Fm \quad (3.1)$$

Donde:

To = Tráfico Promedio Diario Observado.

Fh = Factor Horario.

Fd = Factor Diario.

Fs = Factor Semanal.

Fm = Factor Mensual.

Para el caso del Tráfico Promedio Diario Observado, que es la medida de cantidad media de vehículos que transitan por el lugar de donde se efectuó el conteo en un día especifico, se tiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 33.

Tráfico Promedio Diario Observado

Días	Tráfico Total								
	Motos	**Livianos**	**Buses**	**2DA**	**2DB**	**V3A**	**2S2**	**3S2**	**3S3**
Día 1	228	177	34	3	89	254	39	71	15
Día 2	229	181	27	8	78	315	40	36	24
Día 3	283	189	29	10	58	223	35	22	18
Día 4	228	146	31	11	69	276	36	37	43
Día 5	242	179	26	19	63	289	27	43	36
Total	1210	872	147	51	357	1357	177	209	136

Nota. Se detalla los valores del TPDO. Fuente: Elaboración propia (2024).

$$1210 + 872 + 147 + 51 + 357 + 1357 + 177 + 209 + 136 = 4516\ vehículos$$

Para determinar el Tráfico actual (Ta):

$$Ta = \frac{Total\ de\ vehículos}{Tiempo} = \frac{4516}{5} = 903\ vehículos/día \quad (3.2)$$

Para determinar el Factor diario (Fd):

$$Fd_{Día1} = \frac{Total\ x\ Día}{Ta} = \frac{910}{903} = 1.01 \quad (3.3)$$

Tabla 34.

Resultados Factor Diario

Día#	Total x Día	Fd
Día 1	910	1.01
Día 2	938	1.04
Día 3	867	0.96
Día 4	877	0.97
Día 5	924	1.02

Nota. Se detalla los valores diarios. Fuente: Elaboración propia (2024).

Para determinar el Factor mensual (Fm): Se utilizó la “Tabla de Ajuste Mensual Para Buses y Pesados De Dos O Mas Ejes En Base A Los Consumos De Diésel” la cual fue realizada en el año 2012 por la Empresa Geoplades. En la cual se analiza el consumo en la Provincia del Guayas para el mes en el que fue realizado el conteo, tal como se detalla a continuación:

Tabla 35.

Ajuste mensual en base a los consumos de diésel en Guayas

Consumo de Combustibles Diésel en Guayas 2012	
Enero	1.0714
Febrero	1.2092
Marzo	1.0451
Abril	1.119
Mayo	1.011
Junio	1.0029
Julio	0.9773
Agosto	0.9473
Septiembre	0.9562
Octubre	0.9183
Noviembre	0.9702
Diciembre	0.8632

Nota. Se detalla el mes de análisis. Fuente: Geoplades.

$$Fm = 0.9562$$

Para determinar el Factor horario (Fh): El valor deber ser transformado de 6 horas, a 24 horas; debido a que el conteo manual se ejecutó durante el periodo diurno, además, se conoce que durante el periodo nocturno transitan solo motos y vehículos

livianos del sector, podemos inferir que el factor horario fluctúa entre 1.10 a 1.40. Por motivos de no contar con la confiabilidad de un conteo automático para este proyecto de titulación, además de tener en consideración el tipo de vía, se procederá a trabajar con un valor de:

$$Fh = 1.10$$

Luego procedemos a hacer el cálculo de TPDA, dando como resultados los siguientes datos:

Tabla 36.

Tráfico Promedio Diario Anual

Días	**Tráfico Promedio Diario Anual**									**Total de Vehículos**
	Motos	**Livianos**	**Buses**	**2DA**	**2DB**	**V3A**	**2S2**	**3S2**	**3S3**	
Día 1	242	188	36	3	94	269	41	75	16	964
Día 2	250	198	29	9	85	344	44	39	26	1025
Día 3	286	191	29	10	59	225	35	22	18	875
Día 4	233	149	32	11	70	282	37	38	44	896
Día 5	247	183	27	19	64	295	28	44	37	944
Promedio	252	182	31	11	75	283	37	44	28	941
%	26.73	19.30	3.25	1.12	7.93	30.09	3.93	4.64	3.00	100

Nota. Se detalla los valores del cálculo del TPDA. Fuente: Elaboración propia (2024).

3.1.3 Tráfico Promedio Diario Anual Proyectado

En el procedimiento de proyección de tráfico en la vía de estudio, es fundamental tomar en consideración la información actual recopilado y la tasa de crecimiento vehicular en la Provincia de Guayas. Además, cabe mencionar que se proyectara el TPDA hasta le año 2039, considerando un periodo de diseño de 15 años.

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^t \quad (3.4)$$

Donde:

$TPDA_{proy}$= Tráfico Promedio Diario Anual Futuro

r = Tasa de crecimiento del tráfico

t = Número de años proyectados

Tabla 37.

Tasa de Crecimiento

Tasa de crecimiento anual de tráfico vehicular				
Provincia	**Período**	**Liviano**	**Bus**	**Camión**
Guayas	2015-2020	5.56	3	3.33
	2020-2025	4.95	2.67	2.96
	2025-2030	4.45	2.4	2.67
	2030-2035	4.04	2.18	2.43

Nota. Fuente: (MTOP, 2015)

A continuación, se detalla el procedimiento de cálculo de TPDA proyectado para un periodo de 15 años, empleando la ecuación 3.4.

Para determinar proyección de las motos:

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^t$$

$$TPDA_{proy} = 252 * (1 + 4.04/100)^{15}$$

$$TPDA_{proy} = 456\ Motos/día$$

Para determinar proyección de los livianos:

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^t$$

$$TPDA_{proy} = 182 * (1 + 4.04/100)^{15}$$

$$TPDA_{proy} = 330\ Livianos/día$$

Para determinar proyección de los Buses:

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^t$$

$$TPDA_{proy} = 31 * (1 + 2.18/100)^{15}$$

$$TPDA_{proy} = 43\ Buses/día$$

Para determinar proyección de camión 2DA:

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^t$$

$$TPDA_{proy} = 11 * (1 + 2.43/100)^{15}$$

$$TPDA_{proy} = 16\ Camión\ 2DA/día$$

Para determinar proyección de camión 2DB:

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^t$$

$$TPDA_{proy} = 75 * (1 + 2.43/100)^{15}$$

$$TPDA_{proy} = 108\ Camión\ 2DB/día$$

Para determinar proyección de Volqueta 3A:

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^t$$

$$TPDA_{proy} = 283 * (1 + 2.43/100)^{15}$$

$$TPDA_{proy} = 406\ \text{Volqueta 3A}/día$$

Para determinar proyección de camión 2S2:

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^t$$

$$TPDA_{proy} = 37 * (1 + 2.43/100)^{15}$$

$$TPDA_{proy} = 53\ Camión\ 2S2/día$$

Para determinar proyección de camión 3S2:

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^t$$

$$TPDA_{proy} = 44 * (1 + 2.43/100)^{15}$$

$$TPDA_{proy} = 63\ Camión\ 2S2/día$$

Para determinar proyección de camión 3S3:

$$TPDA_{proy} = TPDA * (1 + r)^{t}$$

$$TPDA_{proy} = 28 * (1 + 2.43/100)^{15}$$

$$TPDA_{proy} = 40\ Camión\ 2S3/día$$

A continuación, se presenta un cuadro resumen de la proyección del TPDA a 15 años como periodo de diseño:

Tabla 38.

Proyección del TPDA

TPDA Proyectado 15 años										
Años	**Tiempo**	**Motos**	**Livianos**	**Buses**	**2DA**	**2DB**	**V3A**	**2S2**	**3S2**	**3S3**

2024	0	252	182	31	11	75	283	37	44	28
2025	1	263	190	32	11	77	291	38	45	29
2026	2	275	199	33	12	79	298	39	46	30
2027	3	287	207	33	12	81	306	40	48	30
2028	4	300	217	34	12	83	314	41	49	31
2029	5	313	226	35	13	86	323	42	50	32
2030	6	320	231	35	13	87	327	43	51	32
2031	7	333	240	36	13	89	335	44	52	33
2032	8	346	250	37	13	91	343	45	53	34
2033	9	360	260	38	14	93	351	46	55	35
2034	10	374	270	38	14	95	360	47	56	36
2035	11	390	281	39	14	98	369	48	57	36
2036	12	405	293	40	15	100	377	49	59	37
2037	13	422	305	41	15	102	387	51	60	38
2038	14	439	317	42	15	105	396	52	62	39
2039	15	456	330	43	16	108	406	53	63	40

*Nota***.** Se detallan los valores del TPDA a 15 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Finalmente, se presenta un cuadro resumen de TPDA:

Tabla 39.

Resumen de TPDA

Resumen de Cálculos de TPDA					
Descripción	**TPDA Actual**	**TPDA proyectado a 15 años**	**% de vehículo**	**Categoría**	**% por categoría**

Motos	252	456	30.10	Livianos	51.88
Livianos	182	330	21.78		
Buses	31	43	2.84	Buses	2.84
2DA	11	16	1.06	Camiones	8.18
2DB	75	108	7.13		
V3A	283	406	26.80	Pesados	37.10
C2S2	37	53	3.50		
C3S2	44	63	4.16		
C3S3	28	40	2.64		

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

3.1.4 Cálculo de ESAL's de diseño

Una vez finalizado el correcto procesamiento de los datos del aforo vehicular para poder estimar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) y posteriormente proyectarlo hasta el año final de servicio de la carretera, se procede a calcular los Ejes Equivalentes de Carga, utilizando la tabla de "La Ley de la Cuarta Potencia" de acuerdo con el tipo de eje de que presentan los vehículos que transitan en el área de estudio.

Tabla 40.

Tabla de fórmulas para cálculo del factor de equivalencia

Ley de la cuarta potencia	
Tipo de Eje	**Fórmulas para el cálculo del factor de equivalencia**
Eje simple Rueda Simple	$\left(\frac{Carga\ del\ eje\ en\ Ton}{6.6}\right)^4$

Eje simple Rueda Doble	$\left(\frac{Carga\ del\ eje\ en\ Ton}{8.2}\right)^4$
Eje Tándem	$\left(0.57 * \frac{Carga\ del\ eje\ en\ Ton}{8.2}\right)^4$
Eje Trídem	$\left(\frac{Carga\ del\ eje\ en\ Ton}{23}\right)^{4.22}$

Nota. Fuente: Carlos Hernando Higuera Sandoval (2011).

A partir de estas fórmulas presentadas en la tabla anterior, se procede a calcular los factores de equivalencia para el cálculo final de ESAL's.

Tabla 41.

Estimación de Ejes Equivalentes

Cálculo de Ejes Equivalentes

Descripción	TPDA actual	Tipo de Eje	Carga permisible por Eje (Ton)	Factor de equivalencia	Ejes Equivalentes
Livianos	433	Sencillo Direccional	1	0.000527	0.46
		Sencillo Direccional	1	0.000527	
Buses	31	Sencillo Direccional	3	0.042688	17.56
		Sencillo Dual	7	0.531052	
C2DA	11	Sencillo Direccional	3	0.042688	6.04
		Sencillo Dual	7	0.531052	
C2DB	75	Sencillo Direccional	7	1.265367	335.88
		Sencillo Dual	11	3.238287	
V3A	283	Sencillo Direccional	7	1.265367	1415.74
		Tándem	20	3.735631	
C2S2	37	Sencillo Direccional	7	1.265367	304.37
		Sencillo Dual	11	3.238287	
		Tándem	20	3.735631	
C3S2	44	Sencillo Direccional	7	1.265367	381.76
		Tándem	20	3.735631	
		Tándem	20	3.735631	
C3S3	28	Sencillo Direccional	7	1.265367	174.74
		Tándem	20	3.238287	
		Trídem	24	1.196740	

Total Ejes Equivalentes	2636.54

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

En siguiente instancia, se procede a realizar el cálculo de N, el cual es denominado como el número de aplicaciones por eje de 80 KN, y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$N = \left(\frac{T_i + T_f}{2}\right) * 365 * n * TF * D_l \quad (3.5)$$

Donde:

Ti = Tráfico Actual

Tf = Tráfico Futuro

n = Periodo de diseño (años)

TF = Truck Factor

Dl = Factor de distribución del tráfico en el carril de diseño = 1.00 (Al solo haber 1 carril en cada dirección.)

Tabla 42.

Cálculo de ESAL's de Diseño

Aplicaciones de Carga por Ejes de 80 KN proyectado a 15 años (N)	
Total Ejes Equivalentes	**2636.54**
TPDA vehículos pesados	477
Ti	477
Tf	686
TF	2636.54/941
Dl	1

N	8920281.992
N (notación científica)	8.92E+0.6

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

3.1.5 Nivel de confiabilidad (R)

Para establecer el nivel de confiabilidad, se analizan los diferentes parámetros que han sido establecidos por AASHTO, dichos parámetros dependen principalmente de el "Tipo de camino" y la "Zona" donde está ubicada el pavimento.

Tabla 43.

Niveles de Confiabilidad [R]

Tipo de Camino	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Nota. Fuente: Officials (1993)

3.1.6 Nivel de serviciabilidad (PSI)

Para establecer la serviciabilidad que brindara el pavimento al momento de entrar en servicio, se recomiendan valores de serviciabilidad inicial de 4.2 para pavimentos flexibles y en el caso de serviciabilidad final el valor de 2.0. Estos valores se establecen para posteriormente calcular la perdida de serviciabilidad del pavimento, como lo indica la AASHTO 93:

$$\Delta PSI = Po - Pt \tag{3.6}$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

Donde:

Po = Serviciabilidad Inicial

Pt = Serviciabilidad Final

ΔPSI = Perdida de Serviciabilidad

3.1.7 Coeficiente de drenaje (mi)

La AASHTO 93 establece 2 parámetros para estimar el coeficiente del drenaje (mi), los mismos que dependen del tiempo en que drena el agua desde el momento que la misma cae sobre el pavimento y porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación. Para esto la AASHTO 93 presenta 2 tablas mostradas a continuación:

Tabla 44.

Capacidad de drenaje

Calidad del drenaje	Tiempo estimado de evacuación del agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no drena

Nota. Fuente: AASHTO 93

Tabla 45.

Factores de Diseño por Calidad de Drenaje y Humedad

Calidad del drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	**1% hasta 5%**	**5% hasta 25%**	**>1%**
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Regular	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Malo	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Muy malo	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

Nota. Fuente: AASHTO 93

3.1.8 Desviación normal estándar (ZR)

Para obtener el valor de la desviación normal estándar (ZR), previamente se debe conocer el valor de la confiabilidad (R), para poder ingresar a la tabla proporcionada por la AASHTO 93.

Tabla 46.

Relación del valor R con la desviación estándar

Confiabilidad (R)	Desviación normal estándar (ZR)

51	-0,000
61	-0,252
71	-0,523
76	-0,673
81	-0,842
86	-1,036
90	-1,283
91	-1,341
92	-1,406
93	-1,477
94	-1,556
95	-1,646
96	-1,752
97	-1,882
98	-2,055
99	-2,328
99,9	-3,091
99,99	-3,751

Nota. Fuente: AASHTO 93

3.1.9 Desviación estándar del sistema (So)

De acuerdo a las características del tránsito y la tipología de pavimento, la AASHTO 93 recomienda ciertos valores de desviación estándar, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 47.

Valores recomendados de desviación estándar (So)

Condición	Pavimento Rígido	Pavimento Flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0,34	0,44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0,39	0,49

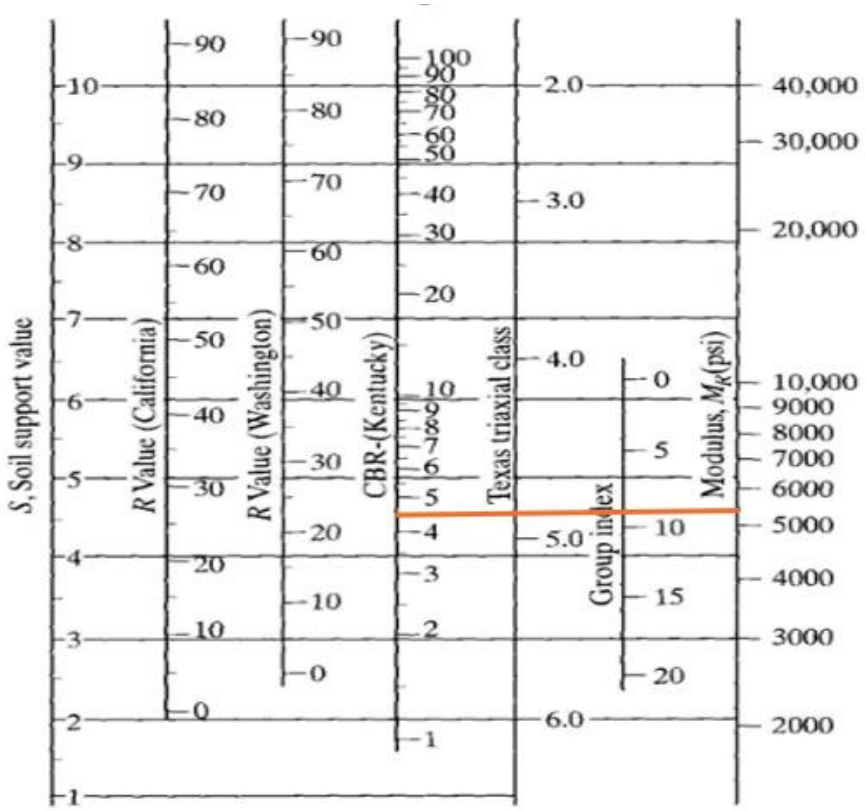
Nota. Fuente: AASHTO 93

3.1.10 Módulo resiliente de la subrasante

De acuerdo a las calicatas realizadas por el laboratorista de la Prefectura Ciudadana del Guayas, según los resultados de estas, se conoce que la subrasante está conformada por material pobre, arrojando valores de CBR que rondan entre 4% y 5%. Para poder obtener el valor del módulo resiliente se utiliza la siguiente gráfica, la cual relaciona el valor de CBR previamente obtenido con el valor aproximado del Módulo resiliente de la subrasante; obteniendo así un valor aproximado de 5500 psi.

Figura 46.

Módulo resiliente de la subrasante



Nota. Fuente: AASHTO 93

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, otra forma de hallar el Módulo Resiliente, es utilizando la siguiente ecuación:

$$Mr_{Subrasante} = 2555 * CBR^{0.64} \quad (3.7)$$

$$Mr_{Subrasante} = 2555 * 4.5^{0.64}$$

$$Mr_{Subrasante} = 6690\ psi$$

3.1.11 Módulo resiliente de la subbase

En este proyecto se contempló la utilización de RAP estabilizado con emulsión asfáltica como subbase granular, con un espesor de 2 pulg a 3 pulg debido a que en el

sitio se encuentra una carpeta asfáltica de un espesor promedio de 2.5 pulg, además del almacenado en la cantera Yolan. Asimismo, de acuerdo a las pruebas realizadas en el laboratorio de la empresa EMULPAC, donde se realizaron ensayos de Marshall a briquetas de asfalto reciclado (RAP) con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica para encontrar la dosificación más optima, se obtuvieron valores de resistencias aproximadas en laboratorio, las mismas que serán utilizadas para obtener una aproximación de los años de vida útil que tendrá el pavimento una vez entre en estado de servicio. Los resultados de módulo resiliente de las mezclas rondan entre los 139 MPa y 188 MPa, lo que implica valores de 20145 psi hasta 27246 psi respectivamente. A su vez, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, establece ciertos valores de coeficientes estructurales para diferentes tipos de capas en un pavimento; dando un valor de a3 = 0.047/cm = 0,12 como se muestra a continuación:

Figura 47.

Coeficientes estructurales de las capas de pavimento

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a (cm)	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 oC (68 oF)	a_1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frio, mezda asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Micropavimento 25mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	0.250 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%, y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a_1	0.150 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) Valor Global (no se considera el espesor)			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico ≤ 5'000,000 EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico > 5'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm²)	a_{2b}	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm²)	a_{2c}	0.060 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.047 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico ≤ 15'000,000 EE
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.050 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico > 15'000,000 EE

Nota. Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

3.1.12 Módulo resiliente de la base

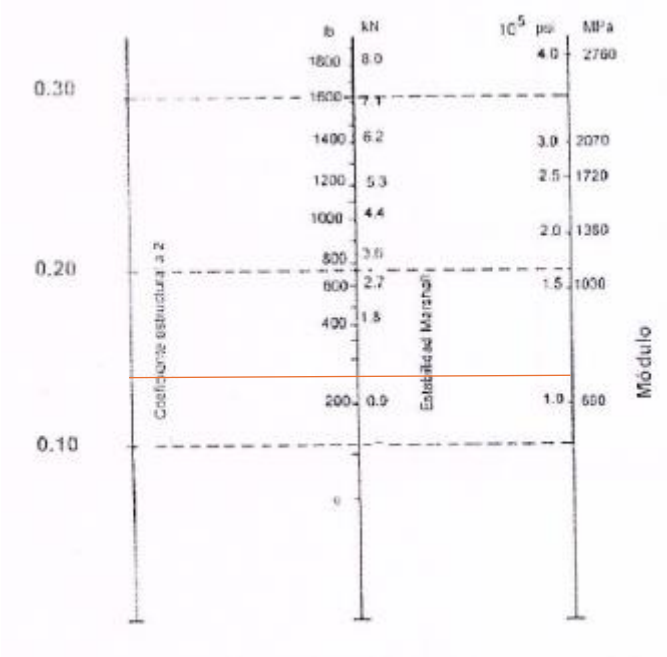
En este proyecto se contempló utilizar como base, a la mezcla de emulsión asfáltica con el material de base granular disponible, la cual al ser compactada en laboratorio alcanza valores de CBR 73%. Cabe mencionar que en el manual del MTOP, se especifica que una base de hormigón asfaltico mezclada en sitio, debe alcanzar una

resistencia mínima de 750 lbs de estabilidad Marshall, lo que implica un coeficiente de 0,19. Así mismo, una base de hormigón asfaltico mezclada en planta, alcanza valores de resistencia de hasta 1500 lbs de estabilidad Marshall, lo cual implica un coeficiente de aproximadamente 0,30, según estudios realizados en el Perú.

Sin embargo, el material granular disponible en este proyecto, no cumple con las características de una base granular, motivo por el cual se actuó del lado conservador, asignando así un valor de 0,13 como coeficiente estructural.

Figura 48.

Módulo resiliente de la base



Nota. Fuente: AASHTO 93

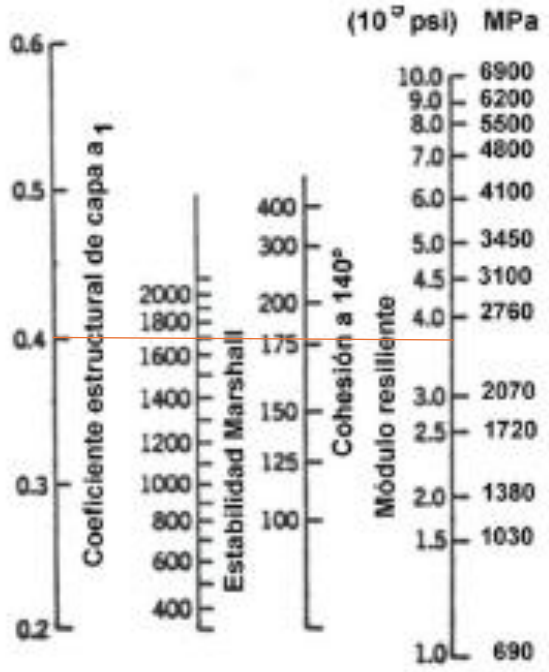
3.1.13 Módulo resiliente de la carpeta asfáltica

Para el caso de la carpeta asfáltica, se consideró que, en el Ecuador usualmente se obtienen capas de rodadura que alcanzan una resistencia de entre 2000 MPa hasta

2700 MPa; con esta información se procede a utilizar la siguiente figura de la AASHTO 93, de la cual se obtiene un valor de a1 = 0.4 como se muestra a continuación:

Figura 49.

Módulo resiliente de la carpeta asfáltica



Nota. Fuente: AASHTO 93

3.2 Diseño del Pavimento Flexible AASHTO 93

3.2.1 Cálculo del Número Estructural SN

Para proceder a realizar el diseño del pavimento flexible implementando RAP estabilizado con emulsiones asfálticas, se tomaron en consideración las siguientes variables presentadas en la siguiente tabla resumen:

Tabla 48.

Datos para el diseño de un pavimento flexible

Datos de Diseño

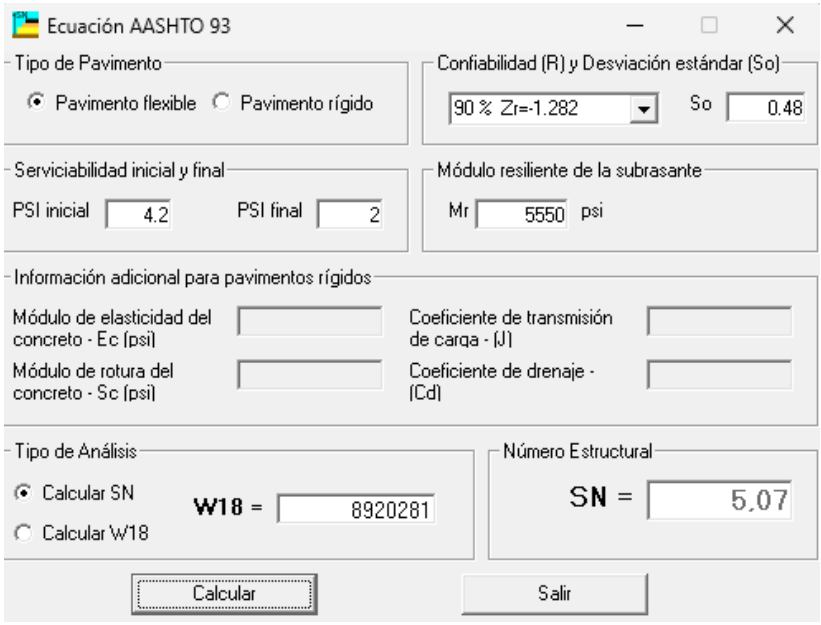
Periodo de diseño [años]	15
Número de ejes equivalentes total [N]	8920281
Serviciabilidad Inicial [Po]	4.2
Serviciabilidad Final [Pt]	2
Nivel de Confiabilidad [R]	0.9
Desviación Estándar Normal [Zr]	-1.282
Desviación Estándar Combinada [So]	0.49
Mr_Subrasante (Tabla) [psi]	5500
Mr_Subrasante (Fórmula) [psi]	6690

Nota. Fuente: Elaboración propia (Joza, 2024).

Procedemos a llenar en el programa “Ecuación AASHTO 93” con los datos anteriormente especificados, para obtener el Número Estructural SN requerido. Donde se obtienen valores de SN = 5.07 y SN = 4.78, como se muestra a continuación:

Figura 50.

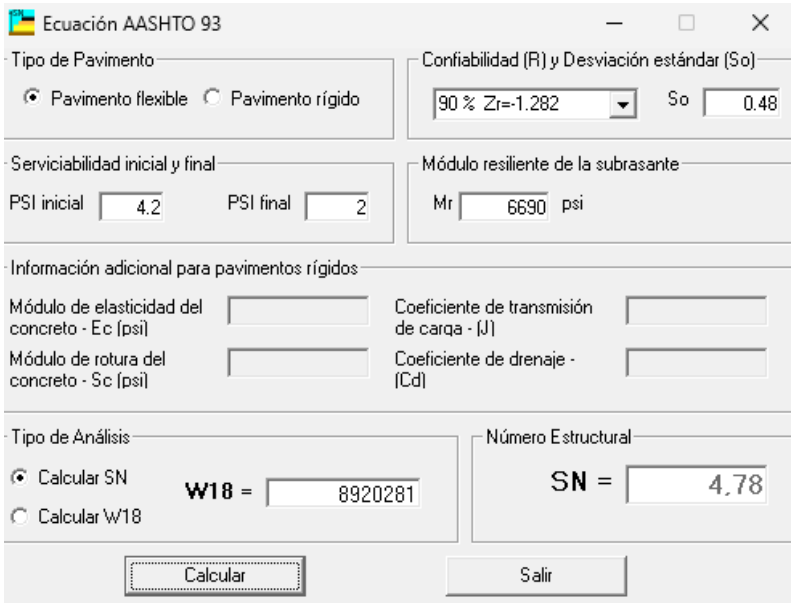
Cálculo del Número Estructural en el Programa Ecuación AASHTO 93 con Mr de la subrasante según Figura 46



Nota. Fuente: Elaboración propia (Joza, 2024).

Figura 51.

Cálculo del Número Estructural en el Programa Ecuación AASHTO 93 con Mr de la subrasante según Fórmula 3.7



Nota. Fuente: Elaboración Propia (Joza, 2024).

3.2.2 Determinación de Coeficientes Estructurales de cada capa (ai)

Para la determinación de cada coeficiente estructural, se tomaron en consideración cada una de las características que posee cada capa, además se utilizaron ábacos y tablas proporcionadas por la AASHTO 93 y el MTC de Perú. A continuación, se muestra una tabla resumen con cada uno de los coeficientes:

Tabla 49.

Resumen de coeficientes de capa

Coeficientes de capa	
Coeficientes Estructurales de cada capa	
Carpeta de Rodadura (a1)	0.4

Base estabilizada con emulsión asfáltica (a2)	0.13
Carpeta Asfáltica Reciclada estabilizada con emulsión asfáltica (a3)	0.12
Coeficientes de drenaje de cada capa	
Base estabilizada con emulsión asfáltica (m2)	1.1
Carpeta Asfáltica Reciclada estabilizada con emulsión asfáltica (m3)	1.1

Nota. Fuente: Elaboración Propia (Joza, 2024).

3.2.3 Determinación y verificación de espesores

Aplicando la siguiente fórmula, proporcionada por la AASHTO 93, se procede a evaluar los espesores de cada capa que conforman todo el paquete de pavimento:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (3.8)$$

Finalmente se verifica que la alternativa calculada, cumpla para ambos Mr de la subrasante, ya sea calculada mediante tabla o fórmula.

Tabla 50.

Diseño y Comprobación de Pavimento Alternativa 1

Capa	**Variable**	**Mr_Subrasante Tabla**	**Mr_Subrasante Fórmula**
		Espesor de capa	**Espesor de capa**
Capa de rodadura	D1	7.62 cm	7.62 cm
Base estabilizada con emulsión asfáltica	D2	15 cm	15 cm
RAP estabilizado con emulsión asfáltica	D3	5.08 cm	5.08 cm

SN Requerido	5.07	4.78
SN Resultante	5.358	5.358
SN Resultante > SN Requerido	Si Cumple	Si Cumple
Espesor Total del Pavimento	27.7 cm	27.7 cm

Nota. Fuente: Elaboración Propia (Joza, 2024).

Tabla 51.

Diseño y Comprobación de Pavimento Alternativa 2

Capa	**Variable**	**Mr_Subrasante Tabla**	**Mr_Subrasante Fórmula**
		Espesor de capa	**Espesor de capa**
Capa de rodadura	D1	5.08 cm	5.08 cm
Base estabilizada con emulsión asfáltica	D2	20 cm	20 cm
RAP estabilizado con emulsión asfáltica	D3	5.08 cm	5.08 cm
SN Requerido		5.07	4.78
SN Resultante		5.25	5.25
SN Resultante > SN Requerido		Si Cumple	Si Cumple
Espesor Total del Pavimento		30.16 cm	30.16 cm

Nota. Fuente: Elaboración Propia (Joza, 2024).

Tabla 52.

Resumen de espesores alternativa N° 1

ALTERNATIVA 1	**Carpeta Asfáltica**	7.5 cm (3”)
	Base Estabilizada	15 cm (6”)
	RAP + Emulsión	5 cm (2”)
	Subrasante	Espesor Total = 27.5 cm (11”)

Nota. Fuente: Elaboración Propia (Joza, 2024).

Tabla 53.

Resumen de espesores alternativa N° 2

ALTERNATIVA 2	**Carpeta Asfáltica**	5 cm (2”)
	Base Estabilizada	20 cm (8”)
	RAP + Emulsión	5 cm (2”)
	Subrasante	Espesor Total = 30 cm (12”)

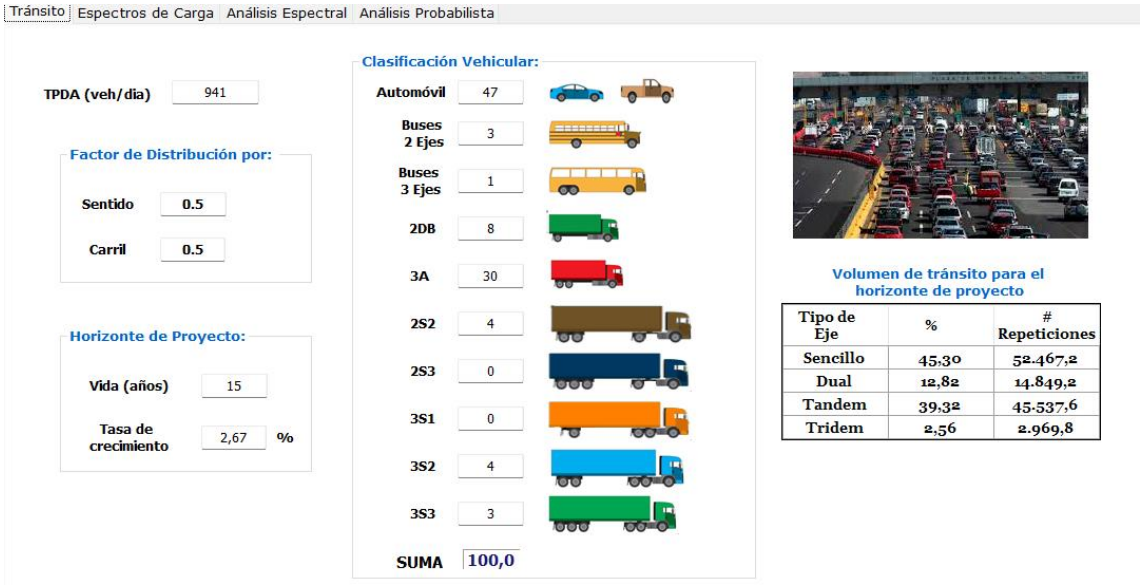
Nota. Fuente: Elaboración Propia (Joza, 2024).

3.3 Diseño de Pavimento Flexible IMT-PAVE

Para iniciar el diseño del pavimento flexible mediante la aplicación de cómputo IMT-PAVE, modificada por la Ingeniera Carola Gordillo con ejes equivalentes establecidos de acuerdo al marco legal que rige en el Ecuador, se procede a introducir el TPDA, factores de distribución y horizonte del proyecto; además de la distribución de los vehículos según la tipología del mismo. A continuación, se muestra este primer paso a cumplir:

Figura 52.

Ingreso de variables de tránsito al programa IMT-PAVE

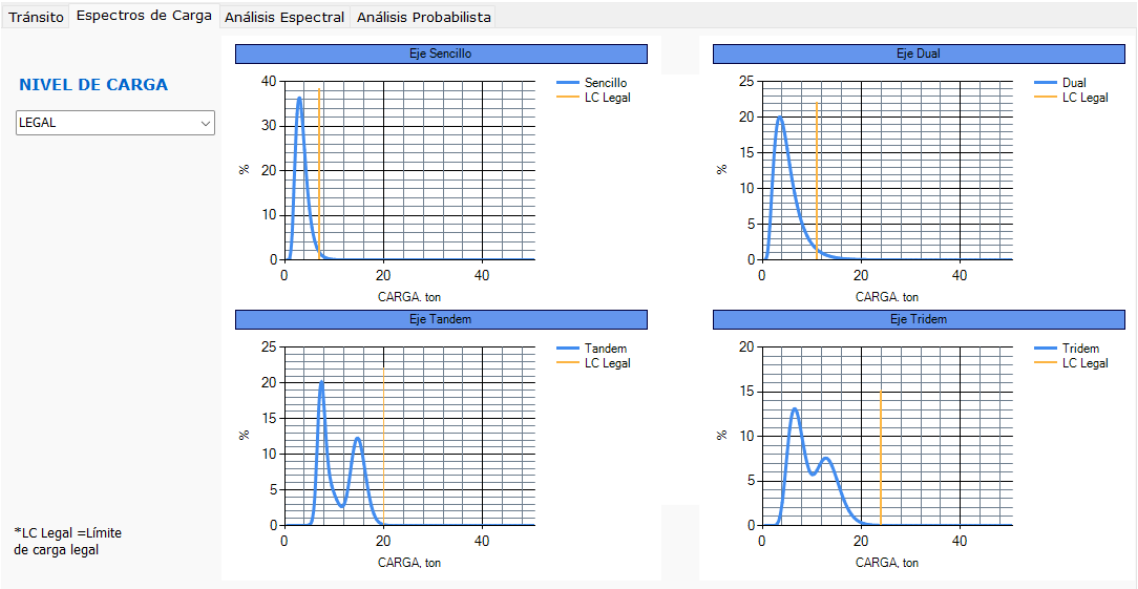


Nota. Fuente: Programa IMT-PAVE

En segundo lugar, se procede a establecer los espectros de carga, los mismos que para este proyecto se optó por utilizar los que se encuentren dentro del marco legal del país.

Figura 53.

Selección del nivel de carga

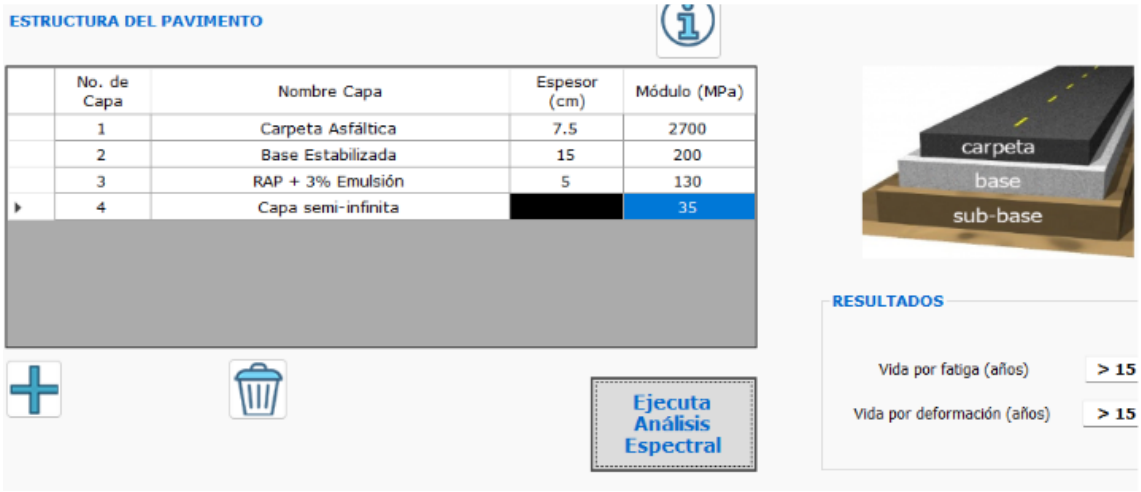


Nota. Fuente: Programa IMT-PAVE

Por consiguiente, se procede a realizar un análisis espectral de acuerdo a los espesores y módulos de cada capa, previamente obtenidos mediante el método AASHTO 93 haciendo énfasis en la alternativa 1, y se comprueba si por fatiga o deformación la estructura cumplirá con lo requerido durante su periodo de servicio.

Figura 54.

Análisis Espectral de acuerdo a espesores previamente establecidos



Nota. Fuente: Programa IMT-PAVE

Finalmente, procedemos a realizar el último análisis que permite hacer el programa, que es el análisis probabilístico en el cual también se obtienen resultados favorables, teniendo en cuenta que el periodo de diseño es de 15 años.

Figura 55.

Análisis Probabilístico de la estructura de pavimento

Nota. Fuente: Programa IMT-PAVE

3.4 Especificaciones técnicas

3.4.1 Hormigón Asfáltico mezclado en planta

Descripción. - Según el MOP-2002, establece que las capas de rodadura de hormigón asfáltico deben estar compuesta por agregados con una granulometría previamente establecida, debe contar con un relleno mineral de ser necesario, y material asfáltico, todo mezclado en caliente dentro de una planta central, y posteriormente colocado sobre una base adecuadamente preparada o sobre un pavimento ya existente; todo basado en lo establecido en los documentos contractuales.

Materiales. – En el contrato se establece el tipo y grado del material asfáltico a utilizar, y generalmente será cemento asfáltico con un grado de penetración 60 – 70. Para vías de tráfico liviano o medio, se permitirá el uso de cemento asfáltico 85 – 100; a su vez, para vías o carriles especiales destinados a soportar tráfico muy pesado, se permite utilizar cemento asfáltico mejorado. El cemento asfáltico empleado deberá cumplir con los estándares de calidad establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 54.

Requisitos del Cemento Asfáltico (810.2.1.)

Ensayos	**60-70**		**85-100**	
Betún original	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración (25 °C, 100 gr, 5 s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	-1.5	+1.5	-1.5	+1.5
Ductilidad (25 °C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %.	---	0.2	---	0.2

Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C.	232	---	232	---
Densidad relativa, 25 °C/ 25°C	1.00	---	1.00	---
Ensayo de la mancha (**)	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %.	---	2.2	---	2.2
Ensayos al residuo del TFOT:				
Variación de masa, %.	---	0.8	---	1.0
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad, cm.	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***).	---	5.0	---	5.0

Nota. Fuente: Obtenido del MOP (2002).

Los agregados utilizados en el hormigón asfáltico en planta podrán ser de roca o grava triturada, total o parcialmente, materiales fragmentados de manera natural, arenas y relleno mineral. Estos agregados deberán cumplir con los requisitos de graduación establecidos en la Tabla 404-5.1, para los agregados tipo A, B o C. En todos los casos, los agregados estarán formados por fragmentos limpios, sólidos y resistentes, con una uniformidad adecuada, y deberán estar libres de polvo, arcilla u otras impurezas.

Los agregados tipo A son aquellos en los que todas las partículas del agregado grueso se obtienen mediante trituración; el agregado fino puede ser arena natural o material triturado, y, si es necesario, se puede incorporar relleno mineral para cumplir con los requisitos de graduación.

Los agregados tipo B son aquellos en los que al menos el 50% de las partículas que componen el agregado grueso se generan por trituración. Por su parte, el agregado fino y el relleno mineral pueden provenir de procesos de trituración o de depósitos

naturales, dependiendo de la disponibilidad de estos materiales en el área donde se desarrolla el proyecto.

Los agregados tipo C para hormigón asfáltico son materiales que pueden proceder de depósitos naturales o de procesos de trituración, dependiendo de la disponibilidad regional.

Tabla 55.

Granulometría establecida para agregados de hormigones asfálticos (404-5.1)

TAMIZ	**% en peso que pasa a través los tamices de malla cuadrada**		
	A	B	C
2” (50.8 mm.)	100	--	--
11/2” (38.1 mm.)	90 – 100	100	--
1” (25.4 mm.)	--	90 - 100	100
¾” (19.0 mm.)	56 – 80	--	90 – 100
½” (12.5 mm.)	--	56 - 80	--
3/8” (9.5 mm.)	--	--	56 - 80
N° 4 (4.75 mm.)	23 – 53	29 – 59	35 – 65
N° 8 (2.36 mm.)	15 – 41	19 – 45	23 – 49
N° 50 (0.30 mm.)	4 - 16	5 - 17	5 - 19
N° 200 (0.075 mm.)	0 - 6	1 - 7	2 - 8

Nota. Fuente: Obtenido del MOP (2002).

Mano de obra mínima: conductor de finisher, 3 albañiles, 1 volquetero, 1 conductor de rodillo, 1 conductor de rodillo neumático, 1 conductor de esparcidor y 1 ayudante.

Maquinaria mínima: rodillo neumático, volquetas, finisher, esparcidor, rodillo de doble tambor.

La unidad de medida para el asfalto es en metros cúbicos, conforme al volumen de las volquetas.

3.4.2 Emulsión Asfáltica CSS-1H

Descripción. – La emulsión asfáltica CSS-1H es una emulsión catiónica de rotura lenta compuesta por agua y asfalto, caracterizada por un residuo asfáltico de mayor dureza. Este tipo de emulsión proporciona un tiempo adecuado de trabajabilidad, permitiendo la obtención de una mezcla homogénea y dispersa, siendo ideal para aplicaciones en la estabilización de bases (Surita Gil et al., 2023).

La emulsión asfáltica seleccionada debe estar basada en un diseño previo que considere las características de los agregados, la mezcla, el método de aplicación y las condiciones ambientales. Asimismo, su desempeño debe ser evaluado mediante ensayos y pruebas de control, tales como:

- Contenido de asfalto residual (ASTM D244 – AASHTO T59)
- Penetración del residuo de la emulsión (ASTM D2397 – AASHTO T49)
- Viscosidad (ASTM D244)
- Asentamiento (ASTM D244)
- Tamizado (ASTM D244)

Figura 56.

Requisitos de emulsiones asfálticas catiónicas

PROPIEDAD	ROTURA RAPIDA		ROTURA MEDIA						ROTURA LENTA			
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
VISCOSIDAD:												
FUROL,a 25 gC, s.	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100
FUROL,a 50 gC, s.	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-
ESTABILIDAD AL ALMACENAJE 24 h, %	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
DEMULSIFICACION: 35 ml .8% sds, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUBRIMIENTO												
agregado seco	-	-	-	-	bueno		bueno		-	-	-	-
luego rociado	-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-
agregado humedo	-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-
luego rociado	-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-
CARGA DE PARTICULA	+		+		+		+		+		+	
MEZCLA CON CEMENTO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	2,0
ENS. DEL TAMIZ	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1
DESTILACION: ACEITE DESTILADO %	-	3	-	3	-	12	-	12				
RESIDUO, %	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
ENSAYOS EN EL RESIDUO:												
PENETRACION, a 25 grados,100 gr, 5 s.	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90
DUCTILIDAD, a 25 grados, 5 cm/m, cm.	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO %	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-
TEMPERATURA DE EMPLEO:												
ALMACENAMIENTO	50	85	50	85	50	85	50	85	10	60	10	60
MEZCLA EN PLANTA	-	-	-	-	10	70	10	70	10	70	10	70
MEZCLA EN SITIO	-	-	-	-	20	70	20	70	20	70	20	70
TRATAMIENTO SUPERFICIAL	50	85	50	85	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Fuente: Obtenido del MOP (2002).

La empresa Emulpac es la responsable de procesar y realizar los ensayos correspondientes a las emulsiones asfálticas. Este proveedor cuenta con la capacidad técnica y los equipos necesarios para garantizar que las emulsiones cumplan con las especificaciones requeridas.

Mano de obra mínima: 1 conductor de esparcidor y 1 ayudante.

Maquinaria mínima: esparcidor.

La unidad de medición de para emulsiones SS-, SS-1H, CSS-1 o CSS-1H es el litro.

3.4.3 Base estabilizada con emulsión asfáltica

Descripción. – Este procedimiento implica la construcción de una base estabilizada con emulsión asfáltica, siguiendo los alineamientos y las secciones

especificadas en los documentos del proyecto o aprobadas por el interventor. El material por estabilizar puede provenir de la escarificación de una capa superficial existente, de material adicional incorporado o de una combinación de ambos.

Materiales. – Suelos granulares los cuales han sido pulverizados o disgregables económicamente, que no posean cantidades considerables de materia orgánica, arcilla plástica, materiales micáceos y cualquier otro tipo de sustancia que cambie las propiedades físicas o mecánicas del material. Acorde (Instituto Nacional de Vías, s. f.) Los principales requisitos básicos de calidad son los siguientes:

Figura 57.

Requisitos de suelos granulares para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

CARÁCTERÍSTICA	Norma de ensayo INV	REQUISITO
Tipo de suelo (F)		
Clasificación según el sistema AASHTO	E-180	A-1-b o A-2-4
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	7
Equivalente de arena - Suelos A-1-b, mínimo (%) - Suelos A-2-4, intervalo admisible (%)	E-133	≥ 90 20 - 40
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2
Capacidad de soporte (F)		
CBR del material sin emulsión asfáltica (%): porcentaje asociado al 90 % de la densidad seca correspondiente al ensayo modificado de compactación (norma INV E-142), medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E – 148	15

Nota. Fuente: Obtenido del Intituto Nacional de Vías

La granulometría del material próximo a estabilizar debe cumplir con los limites señalados en la siguiente tabla:

Figura 58.

Gradación de suelos granulares para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

TIPO DE MATERIAL	TAMIZ (mm / U.S. Standard)	
	4.75 No. 4	0.075 No. 200
	% PASA	
BEE-5	100	5 - 25

Nota. Fuente: Obtenido del Intituto Nacional de Vías

La emulsión asfáltica catiónica deberá ser de rotura lenta, que pertenezca al grupo CRL-1 o CRL-1h, además debe cumplir con los requisitos de calidad establecidos en el artículo 411, “Suministro de emulsión asfáltica”.

El agua requerida para producirse la estabilización deberá ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias perjudiciales, en caso de no ser agua potable deberá cumplir con los requisitos mostrados a continuación:

Figura 59.

Requisitos del agua no potable para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
pH	D 1293	5.5 - 8.0
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, g/l máximo	D 516	1.0

Nota. Fuente: Obtenido del Intituto Nacional de Vías

Equipo. – Se incluirán elementos para la explotación, carga y transporte; maquinaria de trituración, clasificación y extensión del material mineral;

almacenamiento, transporte y distribución del agua y de la emulsión asfáltica requerida; y, por último, para la elaboración, extensión, compactación y nivelación de la mezcla estabilizada, además de un equipo apropiado para escarificar la capa existente, en caso de ser necesaria su utilización.

3.4.4 Recuperación de pavimentos

Descripción. – Es el proceso mediante el cual se recuperan y reprocesan materiales provenientes de capas asfálticas de rodadura, bases asfálticas, materiales granulares o una combinación de estos. Los materiales reciclados que se obtienen a partir de este proceso pueden ser tratados y preparados para ser reutilizados en nuevas mezclas asfálticas o en trabajos de estabilización.

El material reciclado deberá someterse a ensayos Marshall, y de ser necesario estabilizarse con emulsiones asfálticas y/o adicionar material granular que no tenga un desgaste mayor a 40% pasado las 500 revoluciones (INEN 860). Además, considerar:

- Las nuevas especificaciones granulométricas del material mezclado, entre 19 a 25 mm de tamaño nominal.
- Ensayos de penetración (ASTM D5)
- Punto de ablandamiento (ASTM D369)
- Porcentaje de pureza del material
- Contenido de asfalto entre 4% y 6%

Mano de obra mínima: 1 ayudante, conductores de fresadora, volqueta y cargadora.

Maquinaria mínima: fresadora, equipo de trituración, volquetas, cargadora o retroexcavadora.

La unidad de medición de para la capa de asfáltica recuperada es de metro cúbico, puede utilizarse en el mismo sitio o almacenarse para su posterior uso.

Capítulo 4

4 ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto

El proyecto busca optimizar el diseño de un pavimento flexible en un tramo de 4 km de la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia del Guayas, mediante la reutilización de pavimento asfáltico reciclado (RAP) estabilizado con emulsiones asfálticas, obtenido y procesado por la empresa Emulpac. La ubicación principal del proyecto se encuentra en el Recinto Palo de Iguana, Parroquia Los Lojas, donde se aprovechará la cercanía a las canteras del Gobierno Provincial del Guayas para la obtención de agregados necesarios para la mezcla con el RAP.

El proyecto está alineado con el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables). La incorporación de RAP contribuye al ODS 9 al fomentar la innovación en el diseño de pavimentos flexibles sostenibles y al promover una metodología más eficiente y resiliente. Asimismo, se vincula con el ODS 12 al fomentar la reutilización de materiales y la economía circular, minimizando el desperdicio y maximizando los recursos disponibles.

La construcción de la obra implicará el uso de materiales con alto potencial contaminante, además de generar significativas emisiones de gases debido a las actividades de extracción, procesamiento y aplicación de dichos materiales. Asimismo, se prevé un considerable consumo de recursos naturales y la producción de residuos, por lo cual es necesario un estudio de impacto ambiental. La evaluación considerará los posibles impactos en la calidad del aire, agua, suelo, flora y fauna, mediante la matriz de Leopold, y se establecerán medidas de mitigación adecuadas para cada uno de ellos.

4.2 Línea base ambiental

La parroquia rural Los Lojas se caracteriza por un clima mayormente cálido y tropical, con una temperatura promedio entre 31 - 33 °C, con una precipitación anual que oscila entre 700 y 1000 mm. Los suelos presentes se destacan por la sensibilidad a la desecación, aptos para toda clase de cultivo y ganadería. No obstante, la aplicación inadecuada de técnicas agrícolas, como la ausencia de rotación de cultivos, así como las actividades antrópicas, ha generado deterioro en la cobertura natural y afectación en los recursos naturales. En base a las condiciones actuales del entorno y a las actividades que conllevará el proyecto se deben tomar en cuenta los siguientes recursos en donde la información fue obtenida de (GAD Los Lojas, 2023).

Tabla 56.

Elementos y factores afectados por el proyecto

Sistema	Recurso	Descripción
Medio Físico	Agua	Tiene una red hídrica compuesta generalmente por ríos, esteros y canales, principalmente: río Daule y Pula.
	Suelo	Terrenos planos o poco ondulados con textura arcillosa a limosas
	Calidad del aire	Mezcla de gases y partículas que conforman el ambiente en la atmósfera.
Medio Biótico	Flora	Se cuenta con especies de jobo de montaña, palo de leche, guayacán, bototillo, yuca de ratón, entre otros.
	Fauna	Consta de animales ganaderos, domésticos y avifauna.

Socio-económico-cultural	Población	9695 habitantes, acorde al censo del 2022.
	Uso del suelo	Uso agrícola. Explotación de canteras, donde solo 2 de 19 cuentan con permiso de explotación
	Red viaria	Tráfico pesado - lento
	Economía	Producción de arroz, la ganadería, la manufactura y el comercio.

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

4.3 Actividades del proyecto

Con el propósito de evaluar el impacto ambiental del proyecto, se identifican las actividades en sus diferentes fases constructivas, que pueden afectar los distintos componentes ambientales.

Tabla 57.

Actividades susceptibles a causar impactos ambientales

Fases	Actividades
Preparación	Movilización de maquinaria y equipos
	Limpieza y desalojo
	Trazo de nivelación y replanteo
Construcción	Explotación de canteras
	Excavación y movimiento de tierra
	Transporte de material
	Extendido, nivelación y compactación de material
Operación y mantenimiento	Gestión del tráfico
	Revisión estructural
	Limpieza de la vía
	Reparación de baches

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

4.4 Identificación de impactos ambientales

Para la identificación, análisis y evaluación de los impactos ambientales se empleará el método de matriz causa – efecto de Leopold. Este método organiza las componentes ambientales involucradas del proyecto en las filas, mientras que en las columnas se representan las actividades previamente definidas. Cada celda de la matriz indica la interacción entre actividad y componente, estableciendo un valor de magnitud e importancia (Ponce, 2008).

La magnitud cuantifica el grado de intensidad del impacto, asignando valores negativos para impactos perjudiciales y positivos para impactos beneficiosos. La importancia, por su parte, refleja la relevancia del impacto para el medio ambiental, considerando factores de duración, extensión y reversibilidad.

Ambos parámetros, magnitud e importancia, se expresan en una escala de 1 a 10, siguiendo la siguiente adaptación de la ponderación de Leopold et al., (1971).

Tabla 58.

Ponderaciones de magnitud e importancia

Magnitud			**Influencia**		
Intensidad	Alteración	Ponderación (+/-)	Duración	Influencia	Ponderación
Baja	Baja	1	Temporal	Puntual	1
Baja	Media	2	Media	Puntual	2
Baja	Alta	3	Permanente	Puntual	3
Media	Baja	4	Temporal	Local	4
Media	Media	5	Media	Local	5
Media	Alta	6	Permanente	Local	6
Alta	Baja	7	Temporal	Regional	7
Alta	Media	8	Media	Regional	8

Alta	Alta	9	Permanente	Regional	9
Muy alta	Muy alta	10	Permanente	Regional	10

Nota. Adaptado de Leopold et al. (1971)**.**

Con las ponderaciones establecidas, se realiza la matriz de Leopold.

Tabla 59.

Matriz de Leopold

			Preparación				Construcción			Operación y mantenimiento			
		Magnitud / Importancia	Movilización de maquinaria y equipos	Limpieza y desalojo	Trazo de nivelación y replanteo	Explotación de canteras	Excavación y movimiento de tierra	Transporte de material (emulsión)	Extendido, nivelación y compactación de material	Gestión del tráfico	Revisión estructural	Limpieza de la vía	Reparación de baches
Medio Físico	Agua	Calidad del agua				-6 / 5			-6 / 2			5 / 5	
		Contaminación por sólidos				-7 / 4	-5 / 4					6 / 6	
		Contaminación por fluidos				-6 / 5		-9 / 7	-7 / 5				
	Suelo	Erosión				-6 / 5	-4 / 5						
		Vertido de materiales				-5 / 4		-5 / 1					
		Cambio de permeabilidad					-4 / 5		-5 / 4				
	Aire	Calidad del aire	-6 / 5			-6 / 6	-5 / 4		-5 / 4				-5 / 4
		Partículas de polvo				-7 / 5	-5 / 5		-5 / 5				-5 / 5
		Emisiones de gases	-6 / 4			-8 / 6	-5 / 4	-5 / 4	-6 / 4				
		Contaminación sonora	-8 / 4			-8 / 6	-6 / 5	-5 / 4	-5 / 4				
Medio Biótico	Flora	Desbroce de vegetación		-6 / 6									
		Fragmentación de hábitats de ecosistemas vegetales		-7 / 6	-5 / 4								
		Degradación de la vegetación		-8 / 6									
	Fauna	Efecto barrera		-3 / 2			-3 / 1						
		Alteración del hábitat			-6 / 5								
		Reducción de fuentes de alimento		-3 / 3									
Medio Socio-económico	Humanos	Afectaciones de salud (ruido, respiratorios)	-6 / 5			-8 / 7	-5 / 4		-5 / 4				
		Vibraciones	-6 / 4			-8 / 5	-5 / 4	-4 / 4	-5 / 4				
		Seguridad vial						-4 / 5		8 / 9	7 / 8		7 / 8
	Economía	Impacto del uso del suelo		-7 / 5					-6 / 5				
		Cambio de valor de suelo			-6 / 5								
		Empleo	3 / 5			5 / 6	3 / 4	3 / 4	3 / 4				

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

En el análisis se identificaron impactos importantes con alta magnitud e influencia. Entre los negativos, destacan la contaminación por fluidos generados durante las actividades de construcción, las emisiones de gases que afectan la calidad del aire y la contaminación sonora provocada por el uso de maquinaria. Por otro lado, también se observaron impactos positivos, siendo el más notable la mejora de la seguridad vial. Este proyecto busca optimizar las condiciones de tránsito, reduciendo los riesgos en la vía y aportando beneficios tanto a los usuarios como a la comunidad en general.

4.5 Valoración de impactos ambientales

Se realiza el cálculo del impacto ambiental mediante la valoración cuantitativa de Tito (2020), mediante la siguiente fórmula:

$$IA = \pm\sqrt{Imp * |Mag|} \tag{4.1}$$

Se realiza el análisis acorde a la escala de valoración obtenida de Tito (2020).

Tabla 60.

Escala de valoración de impacto ambiental

Calificación del Impacto Ambiental	Valor del índice de impacto ambiental (IA)
Altamente significativo	$\|IA\| \geq 6.5$
Significativo	$6.5 > \|IA\| \geq 4.5$
Despreciable	$\|IA\| < 4.5$
Benéfico	$IA > 0$

Nota. Adaptado de Tito (2020)

Tabla 61.

Escala de colores para la valoración de impacto ambiental

Impactos ambientales positivos		**Impactos ambientales negativos**	
$\|IA\| \geq 6.5$		$\|IA\| \geq 6.5$	
$6.5 > \|IA\| \geq 4.5$		$6.5 > \|IA\| \geq 4.5$	
$4.5 > \|IA\| > 0$		$4.5 > \|IA\| > 0$	

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Con las escalas establecidas, se procede a calcular el impacto ambiental por cada celda de la matriz de Leopold.

Tabla 62.

Impacto Ambiental acorde a la matriz de Leopold

			Preparación				Construcción			Operación y mantenimiento				Promedio afectaciones	
			Movilización de maquinaria y equipos	Limpieza y desalojo	Trazo de nivelación y replanteo	Explotación de canteras	Excavación y movimiento de tierra	Transporte de material (emulsión)	Extendido, nivelación y compactación de material	Gestión del tráfico	Revisión estructural	Limpieza de la vía	Reparación de baches	+	-
Medio Físico	Agua	Calidad del agua				-5.48			-3.46			5.00		5.00	-4.47
		Contaminación por sólidos				-5.29	-4.47					6.00		6.00	-4.88
		Contaminación por fluidos				-5.48		-7.94	-5.92					0.00	-6.45
	Suelo	Erosión				-5.48	-4.47							0.00	-4.98
		Vertido de materiales				-4.47		-2.24						0.00	-3.36
		Cambio de permeabilidad					-4.47		-4.47					0.00	-4.47
	Aire	Calidad del aire	-5.48			-6.00	-4.47		-4.47				-4.47	0.00	-4.98
		Partículas de polvo				-5.92	-5.00		-5.00				-5.00	0.00	-5.23
		Emisiones de gases	-4.90			-6.93	-4.47	-4.47	-4.90					0.00	-5.13
		Contaminación sonora	-5.66			-6.93	-5.48	-4.47	-4.47					0.00	-5.40
Medio Biótico	Flora	Desbroce de vegetación		-6.00										0.00	-6.00
		Fragmentación de hábitats de ecosistemas vegetales		-6.48	-4.47									0.00	-5.48
		Degradación de la vegetación		-6.93										0.00	-6.93
	Fauna	Efecto barrera		-2.45			-1.73							0.00	-2.09
		Alteración del hábitat			-5.48									0.00	-5.48
		Reducción de fuentes de alimento		-3.00										0.00	-3.00
Medio Socio-económico	Humanos	Afectaciones de salud (ruido, respiratorios)	-5.48			-7.48	-4.47		-4.47					0.00	-5.48
		Vibraciones	-4.90			-6.32	-4.47	-4.00	-4.47					0.00	-4.83
		Seguridad vial						-4.47		8.49	7.48		7.48	7.82	-4.47
	Economía	Impacto del uso del suelo		-5.92					-5.48					0.00	-5.70
		Cambio de valor de suelo			-5.48									0.00	-5.48
		Empleo	3.87			5.48	3.46	3.46	3.46					3.95	0.00
		Promedio afectaciones (+)	3.87	0.00	0.00	5.48	3.46	3.46	3.46	8.49	7.48	5.50	7.48	5.69 5.41	-4.97
		Promedio afectaciones (-)	-5.28	-5.13	-5.14	-5.98	-4.35	-4.60	-4.71	0.00	0.00	0.00	-4.74	-4.99	Totales

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Como se detalla en la Tabla 36, la actividad con el mayor impacto ambiental negativo corresponde a la explotación de las canteras, obteniendo un valor de -5.98 clasificado en la categoría de impacto “Significativo”. Esto se debe a que, además de abastecer material para el proyecto, las canteras están ubicadas dentro de la zona de estudio, lo que implica que las consecuencias provocadas por la extracción de

materiales afectan directamente tanto al área en construcción como a sus componentes ambientales asociados.

El componente ambiental más afectado negativamente es la degradación de la vegetación. Este impacto se asocia exclusivamente con la actividad de limpieza y desalojo, la cual implica mantener despejada no solo el área de trabajo, sino también los espacios destinados para el almacenamiento temporal de materiales antes y después de su utilización. Estas acciones alteran significativamente la cobertura vegetal, afectando la estabilidad ecológica de la zona. Es importante destacar que este valor, al no estar relacionado ni promediado con otras actividades, mantiene su independencia en el análisis, lo que explica su magnitud elevada respecto a otros impactos ambientales.

Por otro lado, los impactos positivos están principalmente relacionados con la generación de empleo y las actividades de operación y mantenimiento del proyecto. Estos impactos presentan un valor considerablemente alto en comparación con los impactos negativos, evidenciando un efecto beneficioso en estos aspectos específicos. Este resultado sugiere que, aunque las actividades constructivas generan alteraciones ambientales significativas, también contribuyen a beneficios socioeconómicos.

4.6 Medidas de prevención/mitigación

4.6.1 Manejo adecuado durante la limpieza y desalojo

Para evitar la afectación de la flora y fauna, se definirán los límites del área de trabajo con el fin de prevenir la eliminación innecesaria de vegetación. Asimismo, se implementará un programa de reubicación para la fauna afectada, asegurando su traslado a un hábitat adecuado cercano (Menéndez, 2017). Estas acciones deberán realizarse desde antes de las actividades de limpieza y desalojo dando beneficios de preservar las especies locales disminuyendo los desequilibrios ecológicos.

4.6.2 Mantenimiento preventivo en la movilización de máquinas y equipos

Con el propósito de reducir las emisiones de gases de combustión, se llevará a cabo un mantenimiento preventivo regular en todas las máquinas y equipos, con antelación de al menos un mes. Para mitigar el impacto del ruido, se instalarán barreras acústicas portátiles alrededor de las máquinas, y la planificación de horarios de trabajo permitirá minimizar el impacto en las comunidades cercanas. Además, se implementarán medidas de control de vibraciones para evitar daños a estructuras cercanas. Así se reducirá la contaminación atmosférica y acústica, mejorando la convivencia de la población.

4.6.3 Uso de sistemas de riego en la explotación de canteras

Para controlar la erosión del suelo y la generación de polvo, se aplicará un sistema de riego constante en las áreas de extracción. Adicionalmente, se implementará un programa de reforestación progresiva para estabilizar el suelo y recuperar la vegetación. Al final de la actividad, se implementará un plan de restauración ambiental para estabilizar el suelo y recuperar de manera sostenible la cobertura vegetal.

4.6.4 Control del polvo en la excavación y movimiento de tierra

Se utilizará un sistema de riego constante en las áreas de excavación para reducir el levantamiento de polvo. Asimismo, se proporcionarán equipos de protección personal, como mascarillas y gafas, para garantizar la salud de los trabajadores. Estas acciones beneficiarán la salud de los trabajadores y las condiciones de trabajo.

4.6.5 Transporte seguro y capacitación para la colocación de material

El transporte inadecuado de materiales puede resultar en derrames y contaminación ambiental, especialmente en áreas cercanas a cuerpos de agua. Para prevenir esto, se utilizarán contenedores seguros y se cubrirán las volquetas antes del

transporte. Estas medidas deben implementarse desde el inicio del proyecto y ser reforzadas con capacitaciones periódicas para el personal. Además, se instalarán barreras de contención en las áreas cercanas a cuerpos de agua para prevenir accidentes de contaminación.

Capítulo 5

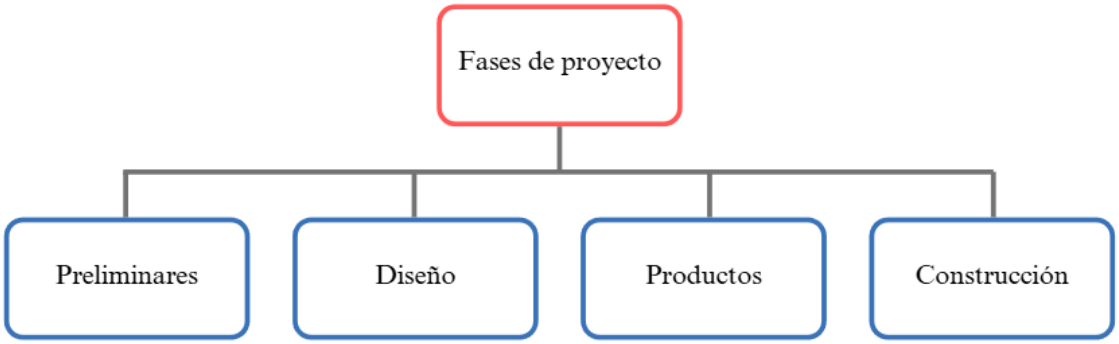
5 PRESUPUESTO

5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

En el siguiente esquema gráfico se ilustra la organización del proyecto, desglosando sus distintas fases para luego, desarrollar las subdivisiones específicas de cada una para definir el alcance y elaborar el proyecto.

Figura 60.

Diagrama de fases del proyecto

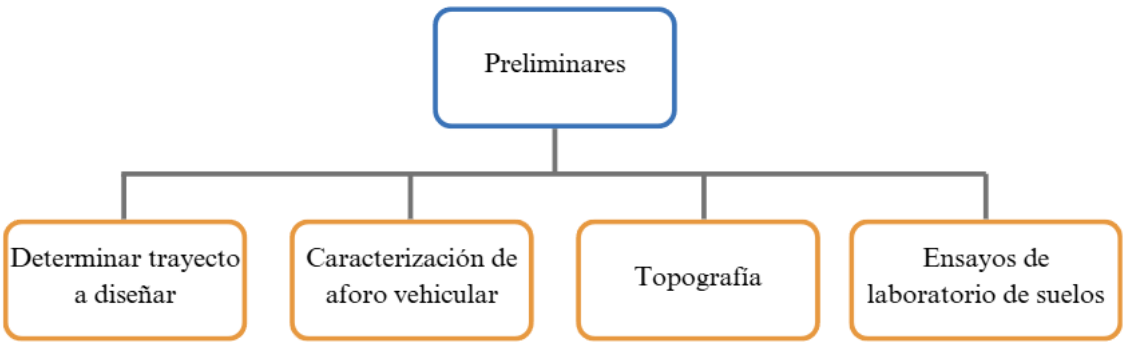


Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

A continuación, se describe la fase preliminar, encargada de obtener todos los datos correspondientes para realizar el dieseño.

Figura 61.

Diagrama de fase preliminar

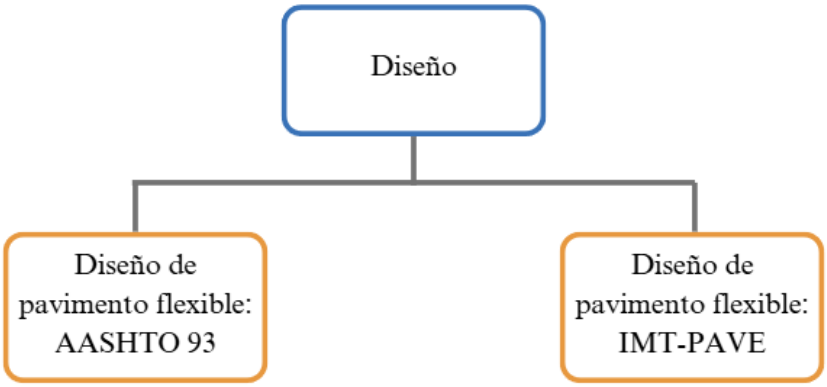


Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

La fase de diseño incorpora dos metodologías, especificadas en siguiente diagrama.

Figura 62.

Diagrama de fase de diseño

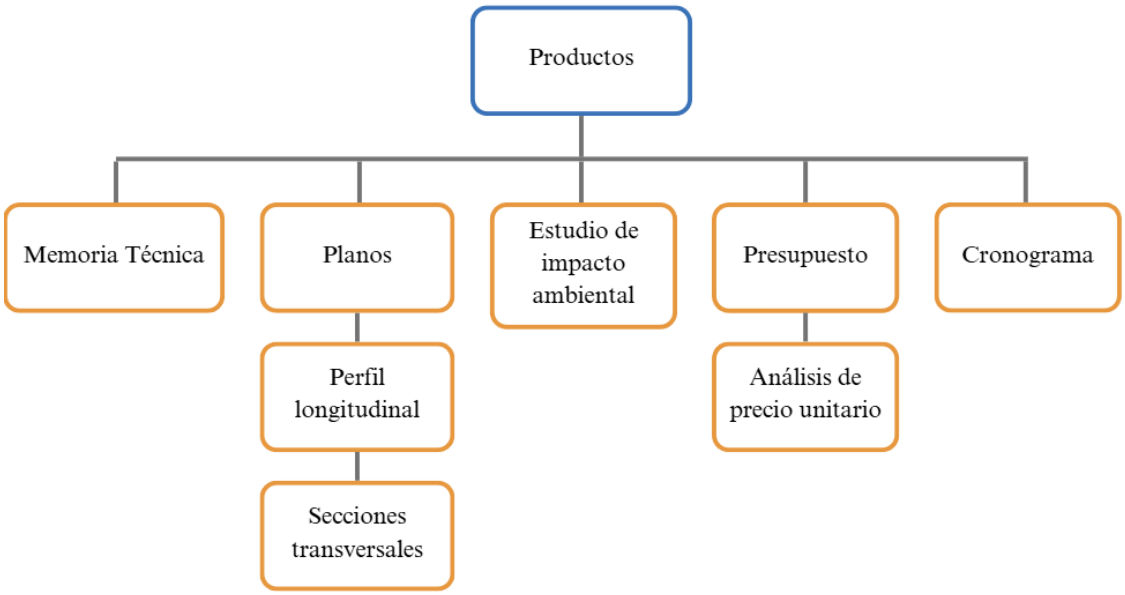


Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Luego de obtener los diseños, se culmina la fase de productos en donde se detallan los entregables del proyecto.

Figura 63.

Diagrama de fase de productos

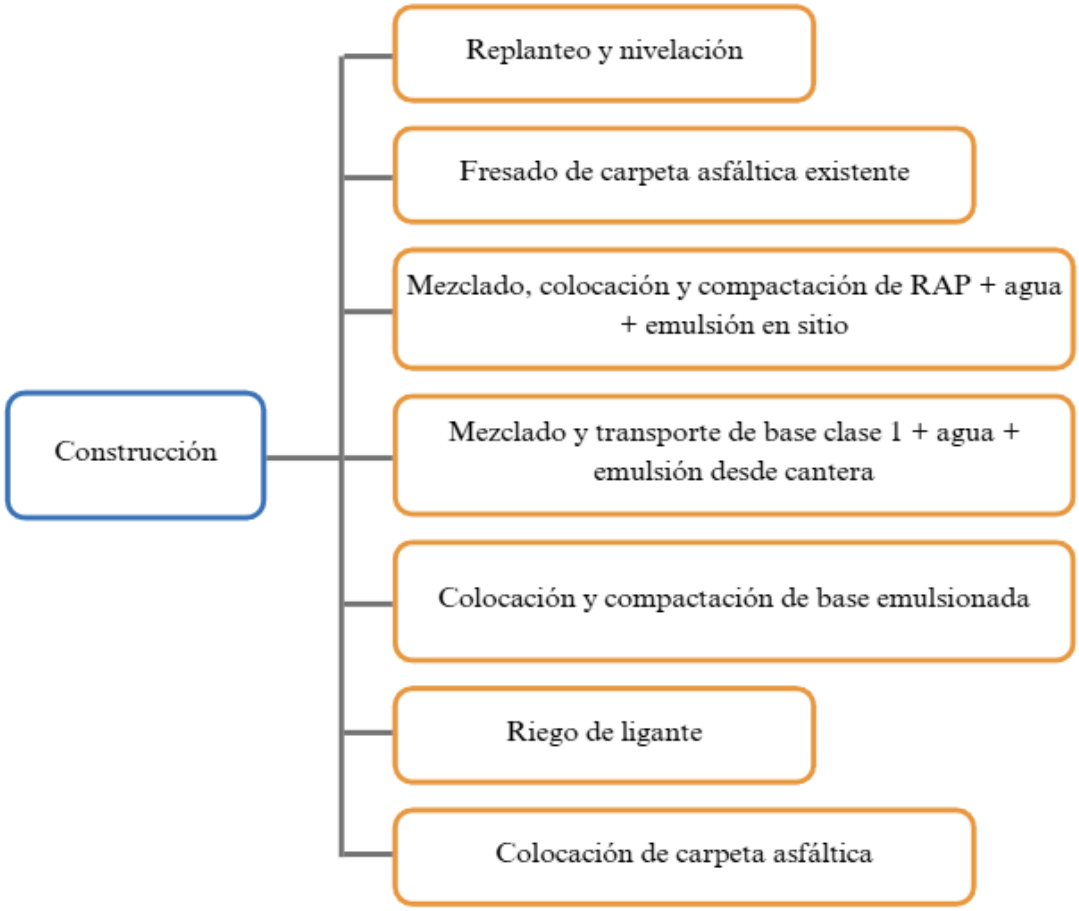


Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

En la fase de construcción se detallan de manera resumida las actividades para llevar a cabo la obra.

Figura 64.

Diagrama de fase de construcción



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

5.2 Rubros y análisis de precios unitarios

Los rubros se establecen conforme a las actividades de la obra, clasificándose en preliminares, construcción y acabados. Para la elaboración de los análisis de precios unitarios, se analizaron equipos, mano de obra, materiales y transporte de cada rubro, además, se adicionó un 17% de costos indirectos donde abarca utilidad y cualquier tipo

de imprevisto, ver en Anexo 2. Se tomó como referencia guías de proyectos previos del cliente, documentos oficiales de la Prefectura del Guayas y publicaciones de la Cámara de la Construcción.

Tabla 63.

Resumen de rubros y precios unitarios

ITEM	RUBRO	UNIDAD	P. UNITARIO
1	**PRELIMINARES**		
1.1	Cerramiento provisional del área	m	$ 16.32
1.2	Replanteo y nivelación del terreno	m2	$ 0.46
1.3	Letrero de identificación de la obra	u	$ 460.35
2	**CONSTRUCCIÓN**		
2.1	Fresada de carpeta asfáltica (Inc. transporte)	m2	$ 5.17
2.2	Base existente estabilizada con emulsión asfáltica	m3	$ 40.88
2.3	Base estabilizada con emulsión asfáltica (e=0.15 m) (Inc. Transporte de asfalto)	m3	$ 60.16
2.4	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	m3-km	$ 0.37
2.5	Imprimación asfáltica	m2	$ 1.18
2.6	Riego de liga	m2	$ 0.51
2.7	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta e=7.5 cm (3¨)	m2	$ 9.07
2.8	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	m3-km	$ 0.37
3	**ACABADOS**		
3.1	Limpieza final de obra	m2	$ 0.34

3.2	Marcas de pavimento (pintura línea continua ancho 12 cm)	m	$	1.47
3.3	Marcas de pavimento (pintura línea segmentada ancho 12 cm)	m	$	1.09
3.4	Señales al lado de la carretera hasta (1000x500) mm	u	$	284.40
3.5	Marcas de pavimento (paso cebra, flechas, leyendas)	m2	$	5.76
3.6	Marcadores de pavimento retroreflectivos (tachas bidireccionales)	u	$	6.76

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

5.3 Descripción de cantidades de obra

La cuantificación de las cantidades de los rubros se realizó utilizando los programas AutoCAD y CivilCAD, con licencia otorgada por la universidad. En el caso de CivilCAD, se empleó una versión específica demo. A través de estos softwares, se procesaron los datos topográficos y, con base en el diseño, se obtuvieron las áreas y volúmenes requeridos para el proyecto.

Tabla 64.

Resumen de cantidades del proyecto

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD
1	**PRELIMINARES**		
1.1	Cerramiento provisional del área	m	120.00
1.2	Replanteo y nivelación del terreno	m2	36151.96
1.3	Letrero de identificación de la obra	u	2.00
2	**CONSTRUCCIÓN**		

2.1	Fresada de carpeta asfáltica (Inc. transporte)	m2	23934.71
2.2	Base existente estabilizada con emulsión asfáltica	m3	1432.59
2.3	Base estabilizada con emulsión asfáltica (e=0.15 m) (Inc. Transporte de asfalto)	m3	4297.77
2.4	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	m3-km	34382.16
2.5	Imprimación asfáltica	m2	35134.71
2.6	Riego de liga	m2	28651.78
2.7	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta e=7.5 cm (3¨)	m2	28651.78
2.8	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	m3-km	17191.07
3	**ACABADOS**		
3.1	Limpieza final de obra	m2	11289.81
3.2	Marcas de pavimento (pintura línea continua ancho 12 cm)	m	3403.88
3.3	Marcas de pavimento (pintura línea segmentada ancho 12 cm)	m	614.84
3.4	Señales al lado de la carretera hasta (1000x500) mm	u	18.00
3.5	Marcas de pavimento (paso cebra, flechas, leyendas)	m2	215.50
3.6	Marcadores de pavimento retroreflectivos (tachas bidireccionales)	u	197.00

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

5.4 Valoración integral del costo del proyecto

Con las cantidades y el precio unitario de cada rubro, se obtiene el precio total del proyecto siendo $812,599.31 detallado en la siguiente tabla.

Tabla 65.

Presupuesto de la obra

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	**PRELIMINARES**				
1.1	Cerramiento provisional del área	m	120.00	$ 16.32	$ 1,958.40
1.2	Replanteo y nivelación del terreno	m2	36151.96	$ 0.46	$ 16,629.90
1.3	Letrero de identificación de la obra	u	2.00	$ 460.35	$ 920.70
2	**CONSTRUCCIÓN**				
2.1	Fresada de carpeta asfáltica (Inc. transporte)	m2	23934.71	$ 5.17	$123,742.46
2.2	Base existente estabilizada con emulsión asfáltica	m3	1432.59	$ 40.88	$ 58,564.28
2.3	Base estabilizada con emulsión asfáltica (e=0.15 m) (Inc. Transporte de asfalto)	m3	4297.77	$ 60.16	$258,553.84
2.4	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	m3-km	34382.16	$ 0.37	$ 12,721.40
2.5	Imprimación asfáltica	m2	35134.71	$ 1.18	$ 41,458.96
2.6	Riego de liga	m2	28651.78	$ 0.51	$ 14,612.41
2.7	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta e=7.5 cm (3¨)	m2	28651.78	$ 9.07	$259,871.64

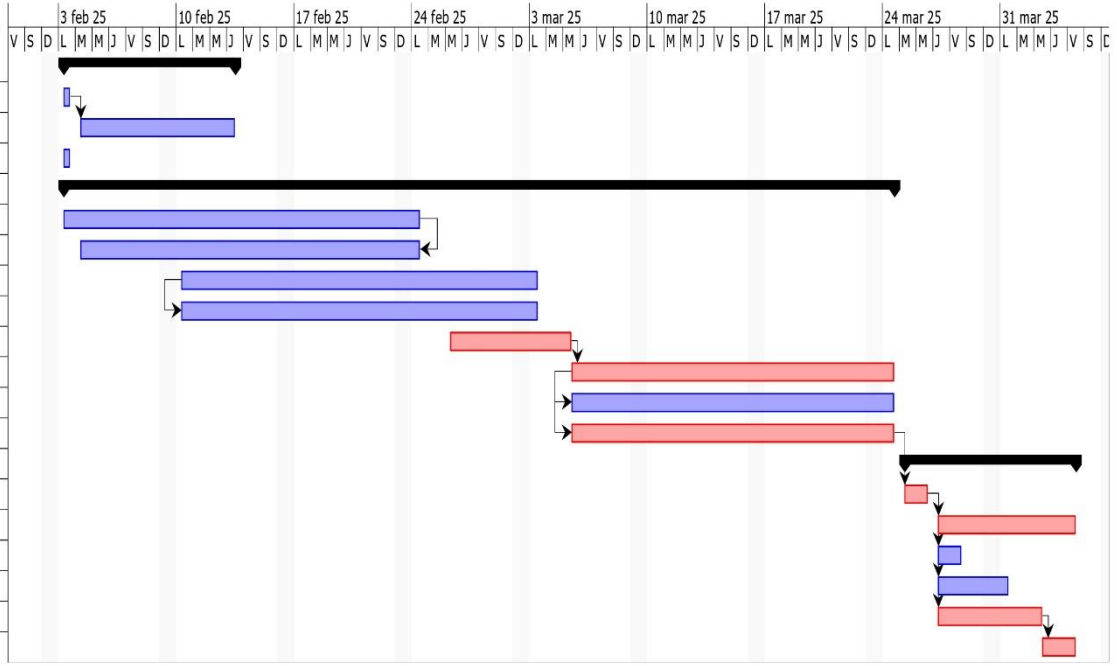
2.8	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	m3-km	17191.07	$	0.37	$ 6,360.70
3	**ACABADOS**					
3.1	Limpieza final de obra	m2	11289.81	$	0.34	$ 3,838.54
3.2	Marcas de pavimento (pintura línea continua ancho 12 cm)	m	3403.88	$	1.47	$ 5,003.70
3.3	Marcas de pavimento (pintura línea segmentada ancho 12 cm)	m	614.84	$	1.09	$ 670.18
3.4	Señales al lado de la carretera hasta (1000x500) mm	u	18.00	$	284.40	$ 5,119.20
3.5	Marcas de pavimento (paso cebra, flechas, leyendas)	m2	215.50	$	5.76	$ 1,241.28
3.6	Marcadores de pavimento retroreflectivos (tachas bidireccionales)	u	197.00	$	6.76	$ 1,331.72
	TOTAL					**$812,599.31**

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

5.5 Cronograma de obra

El cronograma se elaboró utilizando el software de acceso gratuito ProjectLibre. La fecha de inicio se estableció para el 3 de febrero de 2025, considerando una jornada laboral de lunes a viernes de 8 horas diarias y sábados de 4 horas, lo que resultó en una duración total de 58 días.

	Nombre	Duracion	Inicio	Terminado	Predecesores
1	**Preliminares**	**9 days**	**3/02/25 8:00**	**13/02/25 13:00**	
2	Cerramiento provisional del área	1 day	3/02/25 8:00	3/02/25 17:00	
3	Replanteo y nivelación del terreno	8 days	4/02/25 8:00	13/02/25 13:00	2
4	Letrero de identificación de la obra	1 day	3/02/25 8:00	3/02/25 17:00	
5	**Construcción**	**39,5 days**	**3/02/25 8:00**	**24/03/25 17:00**	
6	Fresada de carpeta asfáltica (Inc. transporte)	17 days	3/02/25 8:00	24/02/25 13:00	
7	Base existente estabilizada con emulsión asfáltica	16 days	4/02/25 8:00	24/02/25 13:00	6FF
8	Base estabilizada con emulsión asfáltica (e=0.15 m)(Inc. Transporte de asfalto)	17 days	10/02/25 8:00	3/03/25 13:00	
9	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	17 days	10/02/25 8:00	3/03/25 13:00	8SS
10	Imprimación asfáltica	6 days	26/02/25 8:00	5/03/25 13:00	
11	Riego de liga	15 days	5/03/25 13:00	24/03/25 17:00	10
12	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta e=7.5 cm (3¨)	15 days	5/03/25 13:00	24/03/25 17:00	11SS
13	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	15 days	5/03/25 13:00	24/03/25 17:00	11SS
14	**Acabados**	**9 days**	**25/03/25 8:00**	**4/04/25 13:00**	
15	Limpieza final de obra	2 days	25/03/25 8:00	26/03/25 17:00	13
16	Marcas de pavimento (pintura línea continua ancho 12 cm)	7 days	27/03/25 8:00	4/04/25 13:00	15
17	Marcas de pavimento (pintura línea segmentada ancho 12 cm)	2 days	27/03/25 8:00	28/03/25 17:00	15
18	Señales al lado de la carretera hasta (1000x500) mm	3 days	27/03/25 8:00	31/03/25 13:00	15
19	Marcas de pavimento (paso cebra, flechas, leyendas)	5 days	27/03/25 8:00	2/04/25 13:00	15
20	Marcadores de pavimento retroreflectivos (tachas bidireccionales)	2 days	2/04/25 13:00	4/04/25 13:00	19



Capítulo 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los estudios preliminares constituidos por el aforo vehicular manual, los ensayos de laboratorio y el levantamiento topográfico, permitieron obtener las variables necesarias para el diseño, entre ellas se definen las propiedades físicas y mecánicas de los materiales y la caracterización del tránsito. Los resultados obtenidos incluyen un TPDA de 4,516 vehículos, un ESAL's de diseño de 8.92E+0.6, un CBR de 41.17% para la base cruda y 73.47% para la base emulsionada, confirmando que la emulsión asfáltica CSS-1h mejora significativamente la capacidad de carga del suelo. Además, gracias a la topografía se obtuvieron los niveles actuales de la vía, los cuales fueron procesados para llevar a cabo la correcta colocación de espesores de material requerido, así mismo se añadieron ajustes respetando parámetros de drenaje, que incluye bombeo a 2% para optimo desfogue de agua lluvias.

El diseño desarrollado mediante la metodología AASHTO-93 incluyó dos alternativas que cumplen con los requisitos de resistencia y durabilidad. Posteriormente, el uso del software IMT-PAVE validó estos diseños mediante análisis espectral y probabilístico, garantizando la resistencia a la fatiga y la deformación para un periodo de diseño de 15 años. Considerando el nivel de importancia del tramo a intervenir para la distribución de materiales a lo largo de toda la provincia de Guayas, es fundamental para la Prefectura garantizar que su gestión en este tipo de proyectos sea la más optima y adecuada, teniendo en cuenta la futura construcción de una ampliación a 4 carriles de toda la vía a Los Lojas. Además, es fundamental realizar ensayos de laboratorio con materiales locales y prácticas constructivas del sitio para determinar resistencias y coeficientes de aporte basados en resultados reales, evitando depender únicamente de correlaciones teóricas no aplicables al contexto nacional.

La implementación del RAP estabilizado con emulsiones asfálticas se presentó como una alternativa ambientalmente sostenible, al reducir el uso de materiales vírgenes, así como en una disminución del consumo de energía y las emisiones de CO2 en un 16% y 20% respectivamente, según lo mostrado en la Figura 3, fomentando así las infraestructuras resilientes y producciones sostenibles, cumpliendo con los ODS 9 y ODS 12. Además, este tipo de proyectos va ligado completamente al compromiso que existe actualmente por parte de Ecuador para la reducción de los gases de efecto invernadero, fijado en 9% de reducción desde el año 2021 hasta el 2025, implementando infraestructuras resilientes que reduzcan la vulnerabilidad del sistema vial de la provincia y el país. Esto resulta ser beneficioso para entidades públicas como la Prefectura de Guayas, primordialmente para la obtención de financiamiento por parte de organismos internacionales.

6.2 Recomendaciones

El proceso de mezclado del RAP o la base clase 1 con la emulsión asfáltica en sitio no resulta ser el más garantizado, debido a que las limitaciones de espacio producidas por el tráfico y ancho de la rasante imposibilitan la correcta homogenización que se debe efectuar en el mezclado. Por lo tanto, es recomendable ejecutar el proceso de mezclado en planta o sitio apropiado, para así garantizar resistencia portante homogénea a lo largo de todo el tramo.

Durante el proceso de fresado, se sugiere incrementar ligeramente la profundidad del corte hasta alcanzar las capas de la base existente, con el objetivo de mejorar la composición granulométrica de dicho material. Además de generar suministro extra en caso de que haya tramos donde ya no exista carpeta asfáltica a fresar.

Se recomienda fomentar investigaciones para el uso del RAP y emulsiones asfálticas en proyectos de infraestructura vial, promoviendo regulaciones que incentiven la reutilización de materiales en obras.

Referencias

Alkins, A. E., Lane, B., & Kazmierowski, T. (2008). Sustainable Pavements: Environmental, Economic, and Social Benefits of In Situ Pavement Recycling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2084*(1), 100–103. https://doi.org/10.3141/2084-11

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2010). *Guía para el diseño de pavimentos según AASHTO 93*. Instituto Americano de Carreteras y Transporte (AASHTO).

American Society for Testing and Materials. (2021). *Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3))*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D1557-12R21

Asphalt Institute and Asphalt Emulsion Manufacturers Association. (2001). *Manual Básico de Emulsiones Asfálticas: Vol. MS-19* (4ª ed.). AEMA.

Aurangzeb, Q., & Al-Qadi, I. L. (2014). Asphalt Pavements with High Reclaimed Asphalt Pavement Content: : Economic and Environmental Perspectives. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2456*(1), 161–169. https://doi.org/10.3141/2456-16

Cardoza, M., Palomino, K. V., & Angulo, G. (2019). Pavimento flexible utilizando una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado para su sostenibilidad en Colombia. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, *10*(2), 17–27. https://doi.org/10.25213/2216-1872.16

Chou, C.-P., & Lee, N. (2015). Assessment of Life Cycle Energy Saving and Carbon Reduction of Using Reclaimed Asphalt Concrete. *Environmental Sustainability in Transportation Infrastructure*, 200–212. https://doi.org/10.1061/9780784479285.017

Copeland, A. (2011). *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice*. (Report No. FHWA-HRT-11-021). Turner-Fairbank Research Center.

Dynal Industrial S.A. (2008). *Emulsion-Asfaltica-CSS-1H*. https://www.dynal.cl/pavimentacion/wp-content/uploads/2021/02/Emulsion-Asfaltica-CSS-1H.pdf

Fuentes, L., Taborda, K., Hu, X., Horak, E., Bai, T., & Walubita, L. F. (2020). A probabilistic approach to detect structural problems in flexible pavement sections at network level assessment. *Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia*, 1867–1880. https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1828586

GAD Los Lojas. (2023). *Plan de desarrollo y Ordenamiento territorial de la parroquia Enrique Baquerizo Moreno "Los Lojas"*.

http://www.gadloslojas.gob.ec/media/gadloslojas/pdot_archivos/PDOT_LOS_LOJAS_2023-2027.pdf

Galvis, R. (2021). Una visión sobre el procesamiento del material RAP para su reutilización en planta. *Revista Asfalto y Pavimentación*, *XI*(42), 13–23. Recuperado de: https://asefma.es/wp-content/uploads/2021/09/Asfalto-y-Pavimentaci%C3%B3n-42.pdf

Garnica, P., Hernández, R., & Castellanos, A. (2016). Guía rápida de Usuario IMT-PAVE 3.0. En *Instituto Mexicano del Transporte* (Número 159). https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=427&IdBoletin=159

Giordani, C., & Leone, D. (n.d.). *Pavimentos*. Universidad Tecnológica Nacional. https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf

González, R. (2014, agosto). *Usar residuos industriales para modificar emulsiones asfálticas puede contribuir al ambiente*. Refinadora Costarricense de Petróleo. https://www.recope.go.cr/usar-residuos-industriales-para-modificar-emulsiones-asfalticas-puede-contribuir-al-ambiente/#:~:text=Su%20uso%20origina%20una%20menor,que%20se%20evapore%20el%20agua

Hajj, E., Sebaaly, P., & Kandiah, P. (2008). *Use of reclaimed asphalt pavements (RAP) in airfields HMA pavements*. University of Nevada Reno. http://hdl.handle.net/11714/4919

Han, J., Subhash, P. E., Thakur, C., Chong, O., Robert, L., & Parsons, P. E. (2011). *Laboratory evaluation of characteristics of recycled asphalt pavement in Kansas*. (Report No. K-TRAN: KU-09-2). Kansas Department of Transportation. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/23380

Herrera, D. (2023, enero). *El 45,85% de la red vial estatal está en malas condiciones o de peligro para la circulación* [Broadcast]. Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Huang, Y. (2003). *Pavement Analysis and Design* (Pearson, Ed.; 2ª ed.).

Instituto Boliviano de Cemento y Hormigón. (1993). *Diseño de pavimentos AASHTO 93 y software DIPAV 2.0* (1ª ed.).

Instituto Nacional de Vías. (s. f.). *Base estabilizada con emulsión asfáltica*. (Artículo 340-13). https://gerconcesion.co/invias2013/340%20BASE%20ESTABILIZADA%20CON%20EMULSION%20ASFALTICA.pdf

Kandhal, P., & Mallick, R. (1997). *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*. (Report No. (FHWA-SA-97). National Center for Asphalt Technology. https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/

Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). A procedure for evaluating environmental impact. En *U.S. Geological Survey Circular 645, Washington, D.C.* (Circular). https://doi.org/10.3133/cir645

Limeta, E. J., & Delgado, H. (2021). Proceso de extracción del asfalto de una mezcla asfáltica o del RAP. *Infraestructura del Transporte*, *5*, 14–22. www.koutye.com.mx

Madrid, G. (2001). *Guía para El Diseño de Pavimentos en Adoquines*. Instituto Colombiano de Productores de Cemento – ICPC.

Maylle, A., & Avila, P. E. (2023). Elaboración de un diseño de mezcla para la estabilización de un suelo con emulsión asfáltica tipo CSS-1h y pavimento asfáltico reciclado (RAP) basado en el procedimiento de Marshall modificado. *Infraestructura Vial*, *25*(44), 1–17. https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53441

Menéndez, G. (2017, diciembre). Evaluación Ambiental Estratégica (EAE): "Proceso de decisión ambiental y sostenible para Ecuador". *Revista San Gregorio*, *19*. https://doi.org/10.36097/rsan.v4i19.465

Mercado, R., Bracho, C., & Avendaño, J. (2008). *Emulsiones Asfálticas Usos - Rompimiento*. Laboratorio FIRP, Universidad de Los Andes. https://es.firp-ula.org/tesoro/cuadernos/s365a-emulsiones-asfalticas-uso-y-rompimiento

Ministerio de Obras Públicas. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. MOP-001-F 2002. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf

Miranda, F., & Aguiar, J. P. (2019). Mezclas Asfálticas con RAP: Pavimentos asfálticos reciclados. *PITRA-LanammeUCR*, *10*(1), 3.

Montejo, A. (1998). *Ingeniería de pavimentos* (2ª ed.). Universidad Católica de Colombia.

Morales, J., Barrera, E., & Alonso, A. (2022). Influencia del contenido de RAP en la granulometría y el contenido de asfalto de mezclas recicladas. *Revista Ciencia y Construcción*, *3*(2), 17–28.

Ponce, V. (2008). *La matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental*. https://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html

Rodríguez, R., Castaño, V., & Martínez, M. (2001). Emulsiones Asfálticas. *Instituto Mexicano del Transporte*, *23*, 1–41.

Rojas, C. (2013). Evaluación de la ecuación de diseño AASHTO 1993 aplicada en pavimentos flexibles del Altiplano Boliviano. *XVII Congreso Ibero*

Latinoamericano del Asfalto. https://www.researchgate.net/publication/335104394_EVALUACION_DE_LA_ECUACION_DE_DISENO_AASHTO_1993_APLICADA_EN_PAVIMENTOS_FLEXIBLES_DEL_ALTIPLANO_BOLIVIANO

Sánchez, H., & Guio, E. (2014). Mezclas asfálticas recicladas y su uso en capas granulares para pavimentos. *Revista Colombiana De Materiales*, *5*, 382–388. https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.rcm.19627

Surita Gil, L. E., Fernández Huamán, R. I., & Chahuares Paucar, L. (2023). Aporte estructural de capa base granular estabilizada con cemento Portland tipo I versus emulsión asfáltica catiónica para vías urbanas. *Gaceta Técnica*, *24*(2), 4–22. https://doi.org/10.51372/gacetatecnica242.2

Tejeda, E., Zambrano, M. I., & Alonso, A. (2020). Materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos. *Infraestructura Vial*, *22*(39), 29–42. https://doi.org/10.15517/iv.v22i39.41574

Tito, B. (2020, agosto). *Cómo hacer una Matriz de Leopold modificada en Excel. Ingeniería Ambiental*. Recuperado de: https://ingenieriaambiental.net/matriz-de-leopold/

West, R. C. (2010). *Reclaimed Asphalt Pavement Management: Best Parctices*. National Center for Asphalt Technology. https://thelibraryofcivilengineer.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/09/rap-best-practices.pdf

7 PLANOS Y ANEXOS

7.1 Anexo 1

Tabla Nº 1. Conteo vehicular manual											
Fecha:		9/11/2024			Hora de Inicio:	10:20:00 AM	Hora Final:		4:20:00 PM		
Periodo	Livianos	Buses	2 Ejes		3 Ejes	>4 Ejes			Motos	Total de vehiculos por hora	
			2D	2DA	3-A	2S2	3S2	3S3			
10:20 - 11:20	28	7	2	14	48	8	18	0	28	153	
11:20 - 12:20	24	4	0	10	41	6	14	3	59	161	
12:20 - 13:20	39	7	0	25	30	3	5	5	33	147	
13:20 - 14:20	26	6	0	11	41	7	10	10	38	149	
14:20 - 15:20	32	5	1	17	49	8	17	13	32	174	
15:20 - 16:20	26	5	0	12	43	7	11	13	37	154	
Total por tipo de vehículo	175	34	3	89	252	39	75	44	227	938	Total vehiculos
% de vehículos en la flota	18.66	3.62	0.32	9.49	26.87	4.16	8.00	4.69	24.20	536	Total Pesados
										175	Total Livianos
% de vehículos por categoría	100.00	6.34	0.56	16.60	47.01	7.28	13.99	8.21	100.00		

Tabla Nº 2. Conteo vehicular manual											
Fecha:		9/18/2024			Hora de Inicio:	10:10:00 AM	Hora Final:		4:10:00 PM		
Periodo	Livianos	Buses	2 Ejes		3 Ejes	>4 Ejes			Motos	Total de vehiculos por hora	
			2D	2DA	3-A	2S2	3S2	3S3			
10:10 - 11:10	29	4	2	15	43	8	7	6	35	149	
11:10 - 12:10	25	3	4	17	61	7	4	4	51	176	
12:10 - 13:10	34	6	0	10	42	4	5	2	52	155	
13:10 - 14:10	33	5	0	13	53	7	7	6	26	150	
14:10 - 15:10	32	5	2	13	55	9	6	4	32	158	
15:10 - 16:10	29	4	0	11	61	4	10	1	30	150	
Total por tipo de vehículo	182	27	8	79	315	39	39	23	226	938	Total vehiculos
% de vehículos en la flota	19.40	2.88	0.85	8.42	33.58	4.16	4.16	2.45	24.09	530	Total Pesados
										182	Total Livianos
% de vehículos por categoría	100.00	5.09	1.51	14.91	59.43	7.36	7.36	4.34	100.00		

Tabla Nº 3. Conteo vehicular manual											
Fecha:		9/21/2024			Hora de Inicio:	8:55:00 AM	Hora Final:		2:55:00 PM		
Periodo	Livianos	Buses	2 Ejes		3 Ejes	>4 Ejes			Motos	Total de vehiculos por hora	
			2D	2DA	3-A	2S2	3S2	3S3			
8:55 - 9:55	30	5	1	14	31	6	5	3	56	151	
9:55 - 10:55	27	6	2	12	50	4	4	4	36	145	
10:55 - 11:55	28	5	2	12	60	8	3	4	47	169	
11:55 - 12:55	43	5	2	7	27	7	5	3	52	151	
12:55 - 13:55	39	5	2	10	16	9	3	1	50	135	
13:55 - 14:55	22	3	1	4	40	1	2	3	42	118	
Total por tipo de vehículo	189	29	10	59	224	35	22	18	283	869	Total vehiculos
% de vehículos en la flota	21.75	3.34	1.15	6.79	25.78	4.03	2.53	2.07	32.57	397	Total Pesados
										189	Total Livianos
% de vehículos por categoría	100.00	7.30	2.52	14.86	56.42	8.82	5.54	4.53	100.00		

Tabla Nº 4. Conteo vehicular manual											
Fecha:		9/25/2024			Hora de Inicio:	8:55:00 AM	Hora Final:		2:55:00 PM		
Periodo	Livianos	Buses	2 Ejes		3 Ejes	>4 Ejes			Motos	Total de vehiculos por hora	
			2D	2DA	3-A	2S2	3S2	3S3			
8:55 - 9:55	20	3	1	9	45	7	5	6	28	124	
9:55 - 10:55	24	5	1	15	46	8	5	4	27	135	
10:55 - 11:55	21	5	1	9	43	5	9	7	30	130	
11:55 - 12:55	37	6	4	12	40	3	6	9	62	179	
12:55 - 13:55	28	6	0	11	54	8	6	7	40	160	
13:55 - 14:55	16	6	3	13	48	5	6	10	41	148	
Total por tipo de vehículo	146	31	10	69	276	36	37	43	228	876	Total vehiculos
% de vehículos en la flota	16.67	3.54	1.14	7.88	31.51	4.11	4.22	4.91	26.03	502	Total Pesados
										146	Total Livianos
% de vehículos por categoría	100.00	6.18	1.99	13.75	54.98	7.17	7.37	8.57	100.00		

Tabla Nº 5. Conteo vehicular manual											
Fecha:		10/3/2024			Hora de Inicio:	10:00:00 AM	Hora Final:		4:00:00 PM		
Periodo	Livianos	Buses	2 Ejes		3 Ejes	>4 Ejes			Motos	Total de vehiculos por hora	
			2D	2DA	3-A	2S2	3S2	3S3			
8:55 - 9:55	26	2	3	10	48	3	9	7	30	138	
9:55 - 10:55	24	3	2	14	53	6	9	5	46	162	
10:55 - 11:55	32	7	4	11	50	4	6	5	59	178	
11:55 - 12:55	33	6	3	10	36	5	3	5	38	139	
12:55 - 13:55	27	4	3	8	44	6	9	8	40	149	
13:55 - 14:55	35	4	4	10	52	3	7	6	29	150	
Total por tipo de vehículo	177	26	19	63	283	27	43	36	242	916	Total vehiculos
% de vehículos en la flota	19.32	2.84	2.07	6.88	30.90	2.95	4.69	3.93	26.42		Total Pesados
											Total Livianos
% de vehículos por categoría	100.00	5.23	3.82	12.68	56.94	5.43	8.65	7.24	100.00		

7.2 Anexo 2

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO						
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024	
Item	1.1	**Rubro**	Cerramiento provisional del área	**Unidad**	m	
EQUIPOS						
Descripción		**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)		5%MO		0.00		0.02
Subtotal						**0.02**
MANO DE OBRA						
Descripción		**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Maestro mayor en ejecución de obras civiles		0.80	4.65	3.72	0.05000	0.19
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)		1.00	4.14	4.14	0.05000	0.21
Subtotal						**0.40**
MATERIALES						
Descripción			**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Hoja de zinc de 10¨			u	1.33	7.94	10.56
Puntal			m	0.40	1.40	0.56
Clavos de 2¨			kg	0.13	1.05	0.14
Listón			u	1.00	1.50	1.50
Subtotal						**12.76**
TRANSPORTE						
Descripción			**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Transportes varios			%MT	6%MT		0.77
Subtotal						**0.77**
			Total Costo Directo			13.95
			Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)			2.37
			Costo Total del Rubro			**16.32**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	1.2	**Rubro**	Replanteo y nivelación del terreno	**Unidad**	m2

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.02
Equipo topográfico	1.00	2.50	2.50	0.00800	0.02
Subtotal					**0.04**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	4.00	4.14	16.56	0.00800	0.13
Topógrafo 2: título y experiencia mayor a 5 años	1.00	4.65	4.65	0.00800	0.04
Cadenero	4.00	4.19	16.76	0.00800	0.13
Dibujante	1.00	4.42	4.42	0.00800	0.04
Subtotal					**0.34**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Pintura esmalte	gal	0.0005	28.45	0.01
Subtotal				**0.01**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	0.39
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.07
Costo Total del Rubro	**0.46**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	1.3	**Rubro**	Letrero de identificación de la obra	**Unidad**	u

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.06
Subtotal					**0.06**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0.20	4.65	0.93	0.13000	0.12
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	2.00	4.14	8.28	0.13000	1.08
Subtotal					**1.20**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Letreros de obra metálicos	u	1.00	370.00	370.00
Subtotal				**370.00**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Transportes varios	%MT	6%MT		22.20
Subtotal				**22.20**

Total Costo Directo	393.46
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	66.89
Costo Total del Rubro	**460.35**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	2.1	**Rubro**	Fresada de carpeta asfáltica (Inc. transporte)	**Unidad**	m2

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.01
Tanquero 8TN	1.00	30.00	30.00	0.00510	0.15
Recuperadora de asfalto 460HP	1.00	193.75	193.75	0.00510	0.99
Subtotal					**1.15**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Engrasador o abastecedor responsable	1.00	4.19	4.19	0.00510	0.02
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	6.00	4.14	24.84	0.00510	0.13
Chofer: Tanqueros	1.00	6.08	6.08	0.00510	0.03
Operador fresadora de pavimento asfáltico	1.00	4.65	4.65	0.00510	0.02
Subtotal					**0.20**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Desalojo de material (distancia 10 km)	m3	1.00	3.07	3.07
Subtotal				**3.07**

Total Costo Directo	4.42
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.75
Costo Total del Rubro	**5.17**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	2.2	**Rubro**	Base existente estabilizada con emulsión asfáltica	**Unidad**	m3

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.03
Motoniveladora 135HP	1.00	64.17	64.17	0.01090	0.70
Tanquero 8TN	1.00	30.00	30.00	0.01090	0.33
Rodillo vibratorio liso 142HP	1.00	42.06	42.06	0.01090	0.46
Rodillo neumático 96HP	1.00	48.00	48.00	0.01090	0.52
Subtotal					**2.04**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Engrasador o abastecedor responsable	1.00	4.19	4.19	0.01090	0.05
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	5.00	4.14	20.70	0.01090	0.23
Operador motoniveladora	1.00	4.65	4.65	0.01090	0.05
Operador rodillo autopropulsado	2.00	4.42	8.84	0.01090	0.10
Chofer: Tanqueros	1.00	6.08	6.08	0.01090	0.07
Subtotal					**0.50**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Emulsión asfáltica	Lt	61.11	0.53	32.39
Subtotal				**32.39**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Transporte de asfalto líquido longitud de acarreo de 4-6km	ton-km	0.06	0.24	0.01
Subtotal				**0.01**

Total Costo Directo	34.94
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	5.94
Costo Total del Rubro	**40.88**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	2.3	**Rubro**	Base estabilizada con emulsión asfáltica (e=0.15 m) (Inc. Transporte de asfalto)	**Unidad**	m3

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.03
Motoniveladora 135HP	1.00	64.17	64.17	0.01090	0.70
Rodillo vibratorio liso 142HP	1.00	42.06	42.06	0.01090	0.46
Distribuidor de asfalto 6TN	1.00	70.00	70.00	0.01090	0.76
Rodillo neumático 96HP	1.00	48.00	48.00	0.01090	0.52
Subtotal					**2.47**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Engrasador o abastecedor responsable	1.00	4.19	4.19	0.01090	0.05
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	5.00	4.14	20.70	0.01090	0.23
Operador motoniveladora	1.00	4.65	4.65	0.01090	0.05
Operador rodillo autopropulsado	2.00	4.42	8.84	0.01090	0.10
Chofer: Tanqueros	1.00	6.08	6.08	0.01090	0.07
Subtotal					**0.50**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Material unificado mediano (Base)	m3	1.25	12.84	16.05
Emulsión asfáltica	Lt	61.11	0.53	32.39
Subtotal				**48.44**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Transporte de asfalto líquido longitud de acarreo de 4-6km	ton-km	0.06	0.24	0.01
Subtotal				**0.01**

Total Costo Directo	51.42
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	8.74
Costo Total del Rubro	**60.16**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Ítem	2.4	**Rubro**	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	**Unidad**	m3-km

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Motoniveladora 135HP	1.00	28.73	28.73	0.00910	0.26
Subtotal					**0.26**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Chofer: Volquetas	1.00	6.08	6.08	0.00910	0.06
Subtotal					**0.06**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	0.32
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.05
Costo Total del Rubro	**0.37**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	2.5	**Rubro**	Imprimación asfáltica	**Unidad**	m2

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.00
Escoba autopropulsada	1.00	25.00	25.00	0.00110	0.03
Distribuidor de asfalto 6TN	1.00	70.00	70.00	0.00110	0.08
Subtotal					**0.11**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Engrasador o abastecedor responsable	1.00	4.19	4.19	0.00110	0.00
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	6.00	4.14	24.84	0.00110	0.03
Operador barredora autopropulsada	1.00	4.42	4.42	0.00110	0.00
Operador distribuidor de asfalto	1.00	4.42	4.42	0.00110	0.00
Subtotal					**0.03**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Asfalto RC 250	Lt	1.62	0.53	0.86
Diesel	Lt	0.03	0.46	0.01
Subtotal				**0.87**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Transporte de asfalto líquido longitud de acarreo de 4-6km	ton-km	0.002	0.29	0.00
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	1.01
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.17
Costo Total del Rubro	**1.18**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	2.6	**Rubro**	Riego de liga	**Unidad**	m2

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.00
Escoba autopropulsada	1.00	25.00	25.00	0.00100	0.03
Distribuidor de asfalto 6TN	1.00	70.00	70.00	0.00100	0.07
Subtotal					**0.10**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Engrasador o abastecedor responsable	1.00	4.19	4.19	0.00100	0.00
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	3.00	4.14	12.42	0.00100	0.01
Operador barredora autopropulsada	1.00	4.42	4.42	0.00100	0.00
Operador distribuidor de asfalto	1.00	4.42	4.42	0.00100	0.00
Subtotal					**0.01**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Asfalto RC 250	Lt	0.60	0.53	0.32
Diesel	Lt	0.02	0.46	0.01
Subtotal				**0.33**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Transporte de asfalto líquido longitud de acarreo de 2-4km	ton-km	0.001	0.29	0.00
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	0.44
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.07
Costo Total del Rubro	**0.51**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	2.7	**Rubro**	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta e=7.5 cm (3¨)	**Unidad**	m2

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.01
Rodillo de tamden 119HP	1.00	45.00	45.00	0.00280	0.13
Rodillo neumático 96HP	1.00	48.00	48.00	0.00280	0.13
Finisher	1.00	55.00	55.00	0.00280	0.15
Subtotal					**0.42**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Engrasador o abastecedor responsable	1.00	4.19	4.19	0.00280	0.01
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	8.00	4.14	33.12	0.00280	0.09
Operador rodillo autopropulsado	2.00	4.42	8.84	0.00280	0.02
Operador acabadora de pavimento asfáltico	1.00	4.42	4.42	0.00280	0.01
Subtotal					**0.13**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Hormigón asfáltico	m3	0.09	80.00	7.20
Subtotal				**7.20**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	7.75
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	1.32
Costo Total del Rubro	**9.07**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	2.8	**Rubro**	Transporte de base, sub-base y hormigón asfáltico longitud de acarreo de 8-10 km	**Unidad**	m3-km

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Motoniveladora 135HP	1.00	28.73	28.73	0.00910	0.26
Subtotal					**0.26**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Chofer: Volquetas	1.00	6.08	6.08	0.00910	0.06
Subtotal					**0.06**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	0.32
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.05
Costo Total del Rubro	**0.37**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	3.1	**Rubro**	Limpieza final de obra	**Unidad**	m2

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.01
Subtotal					**0.01**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0.10	4.65	0.47	0.06000	0.03
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	1.00	4.14	4.14	0.06000	0.25
Subtotal					**0.28**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	0.29
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.05
Costo Total del Rubro	**0.34**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	3.2	**Rubro**	Marcas de pavimento (pintura línea continua ancho 12 cm)	**Unidad**	m

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.00
Escoba autopropulsada	1.00	25.00	25.00	0.00420	0.11
Franjadora	1.00	5.25	5.25	0.00420	0.02
Subtotal					**0.13**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	2.00	4.14	8.28	0.00420	0.03
Operador barredora autopropulsada	1.00	4.42	4.42	0.00420	0.02
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	1.00	4.65	4.65	0.00420	0.02
Operador compresor	1.00	4.42	4.42	0.00420	0.02
Subtotal					**0.09**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Pintura reflectiva (sin perlas)	gal	0.03	28.41	0.85
Diluyente	gal	0.01	6.12	0.06
Microesferas	kg	0.09	1.47	0.13
Subtotal				**1.04**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	1.26
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.21
Costo Total del Rubro	**1.47**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	3.3	**Rubro**	Marcas de pavimento (pintura línea segmentada ancho 12 cm)	**Unidad**	m

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.00
Escoba autopropulsada	1.00	25.00	25.00	0.00390	0.10
Franjadora	1.00	5.25	5.25	0.00390	0.02
Subtotal					**0.12**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	2.00	4.14	8.28	0.00390	0.03
Operador barredora autopropulsada	1.00	4.42	4.42	0.00390	0.02
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	1.00	4.65	4.65	0.00390	0.02
Operador compresor	1.00	4.42	4.42	0.00390	0.02
Subtotal					**0.09**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Pintura reflectiva (sin perlas)	gal	0.02	28.41	0.57
Diluyente	gal	0.01	6.12	0.06
Microesferas	kg	0.06	1.47	0.09
Subtotal				**0.72**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	0.93
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.16
Costo Total del Rubro	**1.09**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	3.4	**Rubro**	Señales al lado de la carretera hasta (1000x500) mm	**Unidad**	u

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		4.74
Soldadora	1.00	2.20	2.20	7.33330	16.13
Subtotal					**20.87**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	1.00	4.14	4.14	7.33330	30.36
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0.75	4.65	3.49	7.33330	25.59
Técnico electromecánico de construcción	1.00	4.19	4.19	7.33330	30.73
Técnico obras civiles	0.25	4.42	1.11	7.33330	8.14
Subtotal					**94.82**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Soldadura 6011	kg	0.13	3.56	0.46
Placa / alum e=2 mm	m2	0.50	45.21	22.61
Platina ref / alum 1 1/2¨x1/8¨	m2	3.00	0.80	2.40
Base / sop. Plancha 1.22x2.44x3 mm	u	0.02	62.14	1.24
Perno de refuerzo	u	2.00	3.00	6.00
Bloque de anclaje h.s. f``c=210 kg/cm2 (40x40x40)	u	2.00	14.53	29.06
Remaches	u	16.00	0.03	0.48
Pintura primer gris	gal	0.13	26.59	3.46
Fondo para señal	m2	0.50	31.37	15.69
Papel reflec. Grado / diamante (Leyenda)	m2	0.20	76.23	15.25
Pata tubo HG (2¨x2 mm)	m	6.00	3.70	22.20
Accesorios	glb	1.00	1.33	1.33
Subtotal				**120.18**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Transporte de materiales	%MT	6%MT		7.21
Subtotal				**7.21**

Total Costo Directo	243.08
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	41.32
Costo Total del Rubro	**284.40**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	3.5	**Rubro**	Marcas de pavimento (paso cebra, flechas, leyendas)	**Unidad**	m2

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.02
Escoba autopropulsada	1.00	25.00	25.00	0.01000	0.25
Franjadora	1.00	5.25	5.25	0.01000	0.05
Subtotal					**0.32**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	4.00	4.14	16.56	0.01000	0.17
Operador barredora autopropulsada	1.00	4.42	4.42	0.01000	0.04
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	1.00	4.65	4.65	0.01000	0.05
Operador compresor	1.00	4.42	4.42	0.01000	0.04
Subtotal					**0.30**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Pintura reflectiva (sin perlas)	gal	0.13	28.41	3.55
Diluyente	gal	0.03	6.12	0.19
Microesferas	kg	0.38	1.47	0.56
Subtotal				**4.30**

TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	4.92
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.84
Costo Total del Rubro	**5.76**

Este precio no incluye IVA

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
Obra	Optimización del Diseño de Pavimento Flexible en un Tramo de 4 Km en la Vía a Los Lojas, Cantón Daule, Provincia de Guayas, mediante la Integración de RAP Estabilizado con Emulsiones Asfálticas.			**Fecha**	12/1/2024
Item	3.6	**Rubro**	Marcadores de pavimento retroreflectivos (tachas bidireccionales)	**Unidad**	u

EQUIPOS					
Descripción	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Herramienta menor (5% M.O.)	5%MO		0.00		0.07
Equipo mezcla bituminosa (tacha)	1.00	8.00	8.00	0.10000	0.80
Subtotal					**0.87**

MANO DE OBRA					
Descripción	**Cantidad**	**Jornal/hr**	**Costo hora**	**Rendimiento**	**Costo**
Peón / ayudante (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero)	1.00	4.14	4.14	0.10000	0.41
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0.25	4.65	1.16	0.10000	0.12
Operador de equipo liviano	1.00	4.19	4.19	0.10000	0.42
Instalador de revestimiento en general	1.00	4.19	4.19	0.10000	0.42
Subtotal					**1.37**

MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Costo**
Adhesivo bituminoso	lb	0.38	1.68	0.64
Marcador de pavimento bidireccional (sin espigo)	u	1.00	2.90	2.90
Subtotal				**3.54**

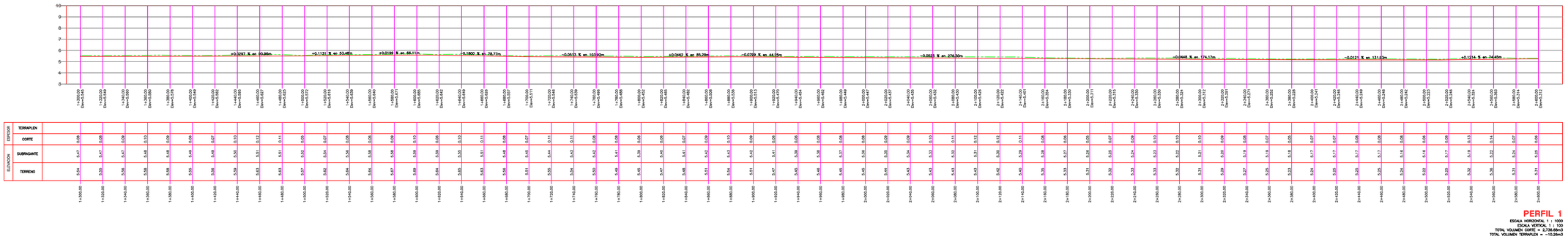
TRANSPORTE				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo**
Subtotal				**0.00**

Total Costo Directo	5.78
Indirectos-Utilidad-Imprevisto (17%)	0.98
Costo Total del Rubro	**6.76**

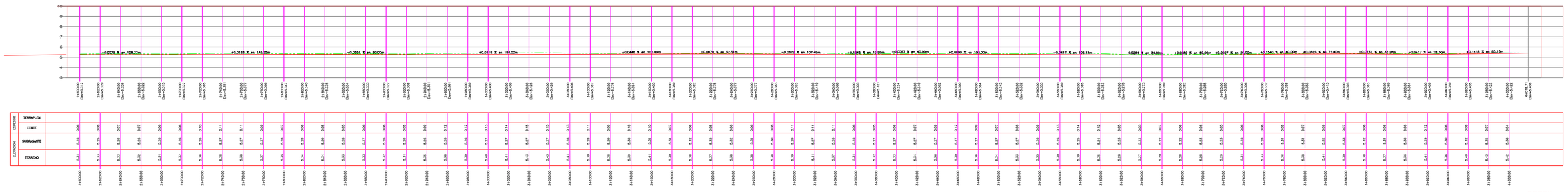
Este precio no incluye IVA

7.3 Planos

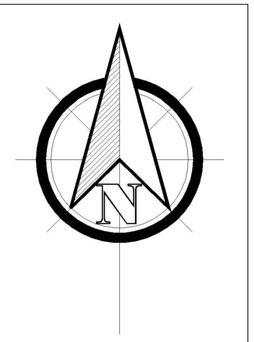
PERFIL 1
ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000
ESCALA VERTICAL 1 : 100
TOTAL VOLUMEN CORTE = 2,736.68m3
TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -10.26m3



PERFIL 1
ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000
ESCALA VERTICAL 1 : 100
TOTAL VOLUMEN CORTE = 2,736.68m3
TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -10.26m3



PERFIL 1
ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000
ESCALA VERTICAL 1 : 100
TOTAL VOLUMEN CORTE = 2,736.68m3
TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -10.26m3



Mapa N° 1. Ubicación de la Parroquia Los Lojas
Elaborado: Equipo Consultor 2023 – 2027

UBICACIÓN:

Provincia: Guayas

Cantón: Daule

Parroquia: Los Lojas

PERFIL LONGITUDINAL

ESC: 1_20

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

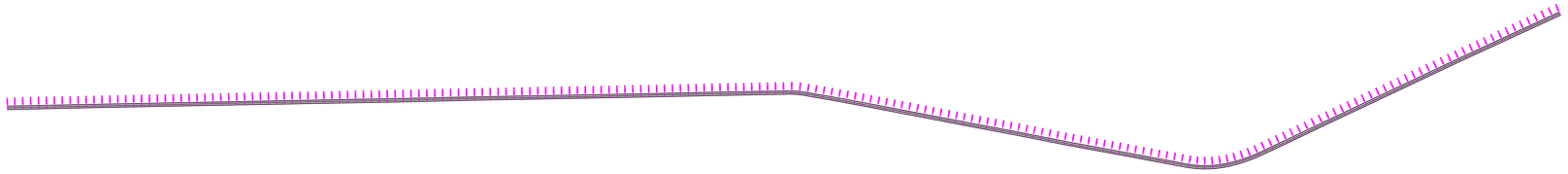
PROYECTO:

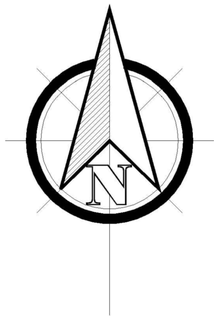
DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA LOS LOJAS

CONTENIDO:

PLANOS PERFILES LONGITUDINALES

Coordinador de Materia Integradora:	Estudiantes:	Fecha de Entrega:
Ing. Lenin Dender	Isabel Estefanía Figueroa Villafuerte Silvio Alejandro Joza Ponce	6 de enero, 2024
Tutor de Área de Conocimiento: Ing. Carola Gordillo		Lámina: A 1/3 — Escala: 1:20





UBICACIÓN:

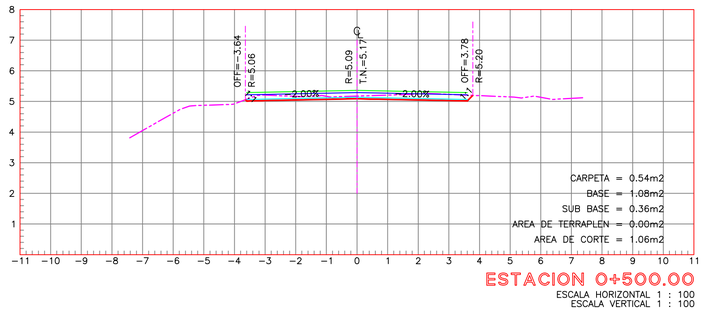
Provincia: Guayas

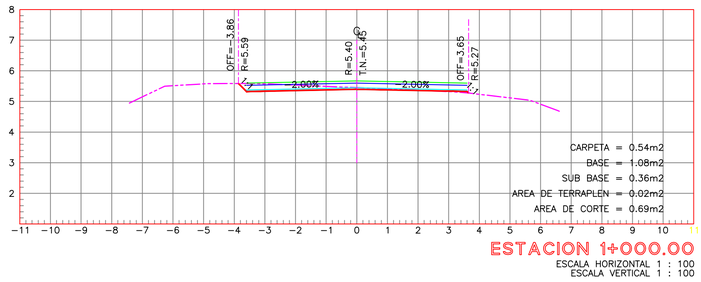
Cantón: Daule

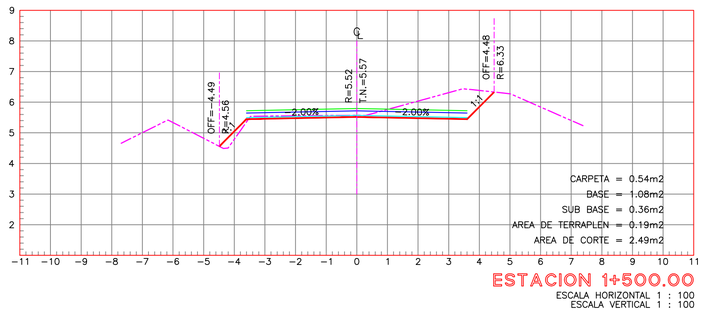
Parroquia: Los Lojas

VISTA EN PLANTA

ESC: 1_50







SECCIONES TRANSVERSALES

ESC: 1_1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

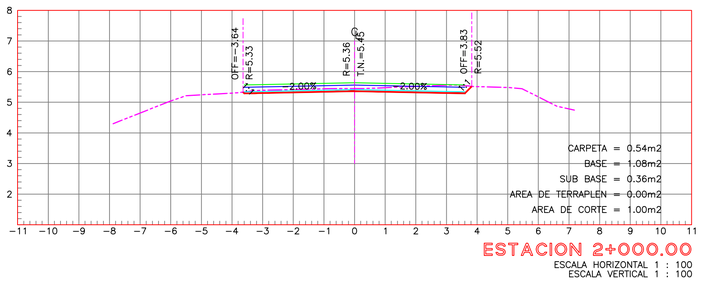
PROYECTO:

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA LOS LOJAS

CONTENIDO:

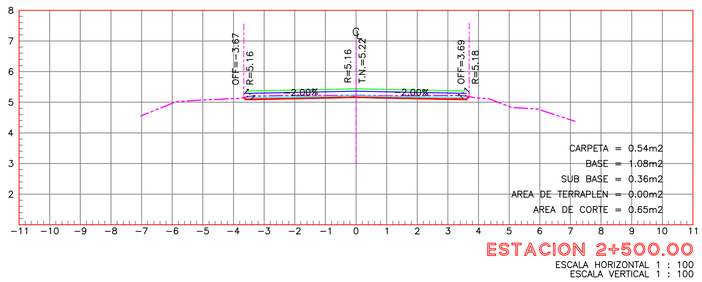
PLANOS VISTA EN PLANTA Y TRANSVERSAL

Coordinador de Materia Integradora:	Estudiantes:	Fecha de Entrega:
Ing. Lenin Dender	Isabel Estefanía Figueroa Villafuerte Silvio Alejandro Joza Ponce	6 de enero, 2024
Tutor de Área de Conocimiento:	Lámina:	Escala:
Ing. Carola Gordillo	A 2/3	Indicadas



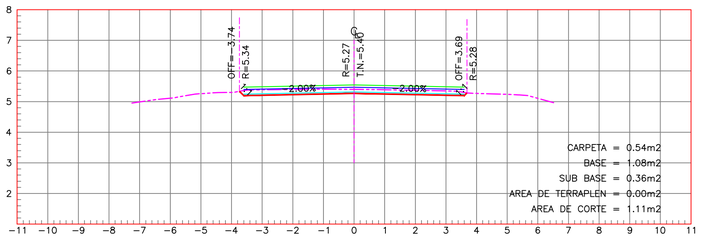
ESTACION 2+000.00

ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
ESCALA VERTICAL 1 : 100



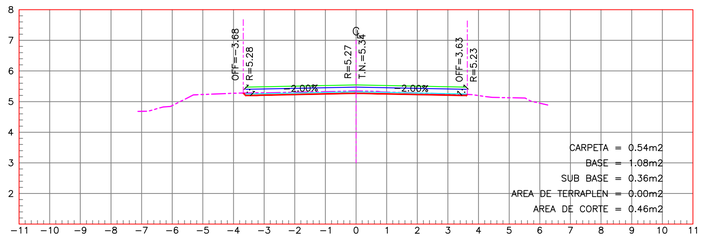
ESTACION 2+500.00

ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
ESCALA VERTICAL 1 : 100



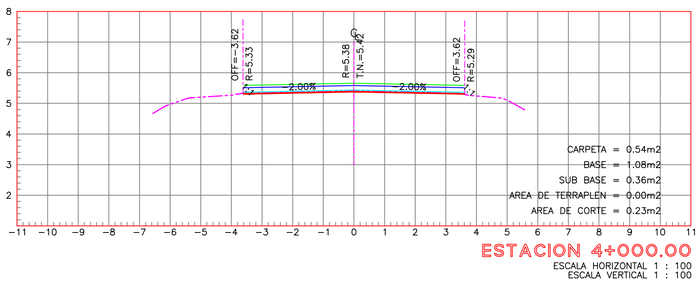
ESTACION 3+000.00

ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
ESCALA VERTICAL 1 : 100



ESTACION 3+500.00

ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
ESCALA VERTICAL 1 : 100



ESTACION 4+000.00

ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
ESCALA VERTICAL 1 : 100

UBICACIÓN:

Provincia: Guayas

Cantón: Daule

Parroquia: Los Lojas

SECCIONES TRANSVERSALES

ESC: 1_1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA VÍA LOS LOJAS

CONTENIDO:

PLANOS VISTA TRANSVERSAL

Coordinador de Materia Integradora:	Estudiantes:	Fecha de Entrega:
Ing. Lenin Dender	Isabel Estefanía Figueroa Villafuerte Silvio Alejandro Joza Ponce	6 de enero, 2024
Tutor de Área de Conocimiento:		Lámina: A 3/3 — Escala: 1:1
Ing. Carola Gordillo		