

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Diseño vial del tramo Pedro Montero-Buena Fe estabilizando materiales granulares  
con emulsión asfáltica.

INGE-3058

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Civil**

Presentado por:

José Andrés Merino Alcívar

Jorge Elian Villón Burgos

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

## Dedicatoria

---

Dedico este trabajo primordialmente a mi familia, a mi mami Martha, que ha sido un pilar fundamental en mi vida, quien me ha alentado a seguir adelante frente a cualquier vicisitud, brindándome su apoyo y su cariño en todo momento. A mi papi Pepe, por ser mi inspiración para seguir esta profesión; gracias por apoyarme siempre sin negarse y dar lo mejor de él para sacarnos adelante. A mi mami Tere, por su presencia constante y su ayuda inagotable, incluso en momentos de terquedad. A mi ñaña Josy, por estar presente de cualquiera manera, por encima de nuestras diferencias. Y a mi ñaño Luis Fer, cuyas ocurrencias y sonrisas llegan siempre en el momento exacto en que más las necesito. Finalmente, dedico este trabajo con especial cariño a Celinnsita, quien ha sido una pieza fundamental de mi vida universitaria. Gracias por tu amor incondicional y por ser esa compañera de aventuras y la voz de aliento que siempre necesito escuchar.

**José Andrés Merino Alcívar**

## Agradecimientos

---

Le agradezco, en primer lugar, a Dios por ponerme en este camino y en esta carrera.

A Jorge, que se ha bancado las cosas siempre, cuando se ha necesitado.

A mi tutora, por guiarnos de forma correcta y enseñarnos lo hermoso de esta profesión.

A mis amigas de los primeros semestres, Yairis y Nicolle, gracias por tantas risas compartidas y su gran amistad.

A mis amigos, que considero una segunda familia que hice en la U, en especial a Chrystel, Odalys, Adamaris, Daniel, Judith, Carlos y Chugcho: gracias por siempre estar para mí, escucharme y hacer de mis días en la universidad más divertidos y amenos. ¡Los quiero mucho!

**José Andrés Merino Alcívar**

## Dedicatoria

---

Es dedicado a Dios, sin él yo no estaría aquí.

Dedicado a mi mamá y a mi papá que fueron, son y serán mi motivo día a día de querer ser mejor, aunque a veces falle.

Dedicado a mis amigos, a todos ellos que formaron un pequeño vínculo durante la carrera gracias a una broma, actividad o relación alguna en la que coincidíamos por aleatoria que sea la vida.

Dedicado a todos aquellos ingenieros dentro y fuera de la Academia que salen del molde para poder transmitir con paciencia la pasión por la ingeniería civil hacia las futuras generaciones.

Dedicado a mi abuelita Aleja y al Arquitecto que siempre quisieron verme lograr esto, donde estén sé que son mis guías en este nuevo reto que tengo por delante. Aunque no estén ya, aun los siento conmigo.

**Jorge Elian Villón Burgos**

## Agradecimientos

---

Agradecerle a José por su dedicación durante el proyecto, sin él esto no hubiera sido posible. Gracias por tanto perdón por tan poco enanox.

Agradecerle a la Ing. Carola por enseñarme y guiarme durante los momentos más influyentes en la carrera. Además de darme la oportunidad de realizar un proyecto de estas características, el cual fortalecen mis pasiones dentro de la carrera. Agradecerles a los ingenieros que se dieron un tiempo para romper el hielo con alguna anécdota, consejo o chiste durante las clases para que no se vuelva monótona la clase, Ing. Salas, Ing. Gordillo, Ing. Danilo, Ing. Valarezo, Ing. Orta, Ing. Mijail, Ing. Qhishpe.

Agradecerles a mis amigos, Jorgex2, Heimmy, Kchetes y Saray, Jeison, Johan, Galo, David, Alex, Iesus, Oswaldo, Lozada, Alonso, Ángel por todo este tiempo que me soportaron con las cosas de la universidad. Todos necesitamos un Marc y una ensalada.

**Jorge Elian Villón Burgos**

## Declaración Expresa

---

Nosotros José Andrés Merino Alcívar y Jorge Elian Villón Burgos 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 a 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, 13 de octubre del 2025.



JOSÉ A. MERINO A.

José Andrés Merino Alcívar



Jorge Elian Villón Burgos

## **Evaluadores**

---

---

**Ingrid Tatiana Orta Zambrano**

Profesor de Materia

---

**Carola María Gordillo Vera**

Tutor de proyecto

## Resumen

El presente proyecto aborda la rehabilitación integral de la vía Pedro J. Montero – Buena Fe, mediante el diseño de una estructura de pavimento estabilizada con emulsión asfáltica. El objetivo principal es proponer una solución técnica sostenible que optimice el uso de recursos locales y garantice la conectividad rural. Para el desarrollo, se ejecutaron ensayos de laboratorio donde se caracterizó el material in situ como Grava bien graduada con limo (GW-GM) y se aplicó el método Marshall modificado para definir la dosificación de la mezcla, complementado con el dimensionamiento estructural bajo la normativa AASHTO 93. Los resultados determinaron que la incorporación del 6% de emulsión asfáltica alcanzó una estabilidad seca de 4106.94 lb y una resistencia retenida del 92%. Además, el diseño propuesto de 15 cm de base estabilizada aportó un Número Estructural de 3.41 con un presupuesto referencial de \$251272.13. Finalmente, se concluye que esta alternativa es viable técnica y económicamente, ya que reduce significativamente la huella de carbono y los costos de transporte de áridos, validando un modelo eficiente de economía circular para infraestructura vial provincial.

**Palabras Clave:** Emulsión Asfáltica, Pavimento Flexible, Rehabilitación de Carreteras, Método Marshall, Sostenibilidad.

### **Abstract**

This project addresses the comprehensive rehabilitation of the Pedro J. Montero – Buena Fe Road through the design of a pavement structure stabilized with asphalt emulsion. The main objective is to propose a sustainable technical solution that optimizes the use of local resources and ensures rural connectivity. For the development, laboratory tests were carried out where the material was characterized in situ as well-graded gravel with silt (GW-GM) and the modified Marshall method was applied to define the mixture dosage, complemented by structural dimensioning under AASHTO 93 standards. The results determined that the incorporation of 6% asphalt emulsion achieved a dry stability of 4106.94 lb and a retained strength of 92%. In addition, the proposed design of a 15 cm stabilized base provided a Structural Number of 3.41 with a reference budget of \$251,272.13. Finally, it was concluded that this alternative is technically and economically viable, as it significantly reduces the carbon footprint and transportation costs of aggregates, validating an efficient circular economy model for provincial road infrastructure.

**Keywords:** Asphalt Emulsion, Flexible Pavement, Road Rehabilitation, Marshall Method, Sustainability.

## Índice General

1.	INTRODUCCIÓN .....	2
1.1	Antecedentes .....	4
1.2	Descripción del Problema .....	5
1.3	Justificación del Problema .....	6
1.4	Objetivos .....	7
1.4.1	Objetivo general .....	7
1.4.2	Objetivos específicos.....	7
2.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
2.1	Revisión de literatura .....	9
2.2	Área de estudio.....	13
2.2.1	Ubicación geográfica.....	13
2.2.2	Descripción física o técnica del sitio.....	14
2.3	Trabajo de campo y laboratorio .....	16
2.3.1	Reconocimiento de campo .....	16
2.3.2	TPDA – Conteo de tráfico.....	19
2.3.3	Apertura de calicatas .....	21
2.3.4	Ensayos de laboratorio .....	23
2.3.4.1	Contenido de humedad.....	23
2.3.4.2	Granulometría.....	25
2.3.4.3	Límites de Atterberg.....	28
2.3.4.4	Abrasión de los Ángeles.....	30
2.3.4.5	Ensayo CBR .....	32
2.3.4.6	Ensayo Proctor .....	33
2.3.5	Levantamiento Topográfico .....	35
2.4	Análisis de datos.....	37

2.4.1	Resultado de TPDA – Conteo de tráfico .....	37
2.4.2	Resultado de Ensayo Contenido de humedad .....	39
2.4.3	Resultado de Ensayo Granulometría .....	40
2.4.4	Resultado de Ensayo Límites de Atterberg .....	41
2.4.5	Resultado de Ensayo CBR .....	44
2.4.6	Resultado de Ensayo Proctor.....	48
2.5	Análisis de alternativas.....	52
3.	DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES .....	57
3.1	Análisis y estudios preliminares.....	57
3.1.1	Estudio de Tráfico y Determinación de Cargas de Diseño (ESALs) .....	57
3.1.2	Características del Suelo .....	64
3.2	Diseño definitivo .....	65
3.2.1	Análisis de Resultados del Ensayo Marshall.....	65
3.2.2	Selección de la Fórmula de Trabajo .....	69
3.2.3	Parámetros de Diseño del Método AASHTO 93 .....	70
3.2.3.1	Nivel de Confiabilidad (R).....	70
3.2.3.2	Variabilidad del Sistema ( <b>So</b> ) .....	71
3.2.3.3	Índice de Serviciabilidad (PSI) .....	71
3.2.3.4	Coefficientes de Drenaje ( <b>mi</b> ).....	72
3.2.4	Caracterización de la Rigidez de los Materiales ( <b>MR</b> ).....	73
3.2.4.1	Subrasante .....	73
3.2.4.2	Material Granular .....	74
3.2.5	Cálculo del Número Estructural y Determinación de Espesores .....	75
4.	ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL.....	81
4.1	Descripción del proyecto.....	81
4.2	Línea base ambiental.....	82

4.3	Actividades del proyecto .....	83
4.4	Identificación de impactos ambientales .....	85
4.5	Valoración de impactos ambientales.....	90
4.6	Propuestas de medidas de prevención/mitigación.....	93
4.7	Resultados de medidas .....	94
5.	PRESUPUESTO .....	96
5.1	Estructura Desglosada de Trabajo.....	96
5.2	Especificaciones Técnicas.....	97
5.2.1	Nivelación topográfica .....	97
5.2.2	Limpieza de espaldones .....	99
5.2.3	Transporte de material enrocado-piedra, longitud de acarreo de 35 - 75 km.....	100
5.2.4	Estabilización de material existente con emulsión asfáltica .....	102
5.2.5	Tratamiento superficial bituminoso tipo 2B.....	104
5.2.6	Agua para control de polvo .....	105
5.2.7	Monitoreo de ruido.....	106
5.2.8	Material particulado (Estación de medición de polvo) .....	107
5.2.9	Batería sanitaria portátil .....	108
5.2.10	Conos reflectivos.....	109
5.2.11	Señalización vertical: Informativa .....	110
5.2.12	Señalización vertical: Preventiva .....	111
5.2.13	Cinta plástica de peligro.....	112
5.3	Rubros y análisis de precios unitarios .....	113
5.4	Cantidades de obra .....	114
5.5	Costo del proyecto.....	115
5.6	Cronograma de obra .....	116
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118

6.1	Conclusiones .....	118
6.2	Recomendaciones.....	119
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	121
8.	PLANOS Y ANEXOS .....	126

### Abreviaturas

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBR	California Bearing Ratio
COV	Costos de Operación Vehicular
CSS-1h	Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta y alta viscosidad
EPP	Equipo de Protección Personal
ESAL	Cargas Equivalentes de Ejes
FHWA	Federal Highway Administration
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
IVA	Impuesto al Valor Agregado
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
NEVI	Norma Ecuatoriana Vial
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
TPDA	Tráfico Promedio Diario Anual
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente
USCS	Unified Soil Classification System

**Simbología**

a1, a2	Coefficientes estructurales de capa
Cc	Coefficiente de curvatura
Cu	Coefficiente de uniformidad
D	Diámetro de partículas (D10, D30, D60)
D1, D2	Espesores de capa de pavimento
Fc	Factor de carril
Fd	Factor direccional
IP	Índice de Plasticidad
LEF	Factor de Equivalencia de Carga
LL	Límite Líquido
LP	Límite Plástico
MR	Módulo Resiliente
N	Número de golpes
psi	Libras por pulgada cuadrada
Pt	Serviciabilidad final o terminal
R	Confiabilidad estadística
SN	Número Estructural
So	Desviación estándar combinada
w	Contenido de humedad
$\Delta$ PSI	Pérdida de serviciabilidad
$\rho_d$	Densidad seca

### Índice de Figuras

Figura 1 <i>Mapa de ubicación referencial de la vía dentro de la provincia</i> .....	3
Figura 2 <i>Mapa de ubicación de la vía Pedro J. Montero – Buena Fe</i> .....	13
Figura 3 <i>Condiciones actuales de la vía</i> .....	18
Figura 4 <i>Presencia de ganado en la vía</i> .....	18
Figura 5 <i>Formato para el conteo vehicular</i> .....	19
Figura 6 <i>Toma de calicatas en la vía</i> .....	22
Figura 7 <i>Recolección de calicatas</i> .....	22
Figura 8 <i>Mapa de curvas de nivel donde se asienta la vía</i> .....	36
Figura 9 <i>Curva de distribución granulométrica del material de suelo natural</i> .....	41
Figura 10 <i>Curvas de Esfuerzo-Penetración para las distintas energías de compactación del ensayo CBR</i> .....	46
Figura 11 <i>Curva de relación Densidad Seca - CBR para la determinación del valor de soporte de diseño</i> .....	48
Figura 12 <i>Curva de Compactación (Relación Humedad - Densidad) para la determinación de la Densidad Seca Máxima</i> .....	51
Figura 13 <i>Variación de la Estabilidad Marshall en condición seca en función del porcentaje de emulsión asfáltica</i> .....	67
Figura 14 <i>Comportamiento de la Estabilidad Marshall en condición sumergida (Húmeda) y su sensibilidad ante la variación de emulsión</i> .....	67
Figura 15 <i>Correlación de CBR a Módulo Resiliente para la Subrasante</i> .....	73
Figura 16 <i>Correlación de CBR a Módulo Resiliente para el Material Granular</i> .....	74
Figura 17 <i>Determinación computacional del Número Estructural requerido para la subrasante</i> .....	76
Figura 18 <i>Determinación del Número Estructural requerido sobre la capa granular</i> .....	77
Figura 19 <i>Sección transversal típica de la estructura de pavimento propuesta</i> .....	79
Figura 20 <i>Estructura de Desglose de Trabajo del proyecto</i> .....	96
Figura 21 <i>Diagrama de Gantt y cronograma de ejecución física del proyecto</i> .....	116

## Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Clasificación funcional de la red vial según TPDA</i> .....	9
Tabla 2 <i>Resultado de aforo vehicular</i> .....	37
Tabla 3 <i>Consolidados diarios del conteo de tráfico vehicular clasificado</i> .....	39
Tabla 4 <i>Resultados del ensayo de contenido de humedad natural según norma ASTM D2216</i> ...	39
Tabla 5 <i>Análisis granulométrico por tamizado de la muestra de suelo (ASTM D422)</i> .....	40
Tabla 6 <i>Determinación de los Límites de Atterberg (Límite Líquido y Plástico) según norma ASTM D4318</i> .....	42
Tabla 7 <i>Clasificación del suelo según el Sistema Unificado (USCS) basada en los parámetros de plasticidad</i> .....	43
Tabla 8 <i>Resumen de parámetros de forma (Cu, Cc) y consistencia para la validación del material granular</i> .....	43
Tabla 9 <i>Registro de parámetros de compactación y humedad para el ensayo de Valor de Soporte California (CBR) según norma ASTM D1883</i> .....	44
Tabla 10 <i>Determinación del porcentaje de absorción de agua en los especímenes de ensayo CBR tras el periodo de inmersión</i> .....	45
Tabla 11 <i>Relación Carga-Penetración y Esfuerzos resultantes para las distintas energías de compactación del ensayo CBR</i> .....	46
Tabla 12 <i>Determinación del porcentaje de hinchamiento (expansión vertical) del suelo durante la fase de saturación del ensayo CBR</i> .....	47
Tabla 13 <i>Relación Densidad - Resistencia (CBR) obtenida para las diferentes energías de compactación</i> .....	47
Tabla 14 <i>Parámetros y condiciones iniciales para el ensayo de Compactación Proctor Modificado (ASTM D1557)</i> .....	49
Tabla 15 <i>Determinación del contenido de humedad para los diferentes puntos de la curva de compactación</i> .....	49
Tabla 16 <i>Registro de masas y cálculo de la densidad húmeda de los especímenes compactados</i>	50
Tabla 17 <i>Determinación de la densidad seca en función del contenido de humedad por punto de ensayo</i> .....	50
Tabla 18 <i>Resumen de resultados: Densidad Seca Máxima y Humedad Óptima del material</i> .....	51

Tabla 19 <i>Matriz de valoración cualitativa de alternativas</i> .....	54
Tabla 20 <i>Ponderación de criterios de evaluación</i> .....	55
Tabla 21 <i>Matriz de decisión ponderada (Cuantificación final)</i> .....	55
Tabla 22 <i>Resumen del aforo vehicular volumétrico realizado durante tres jornadas consecutivas</i> .....	57
Tabla 23 <i>Promedio diario de tráfico vehicular clasificado por tipología (sin ajuste estacional)</i>	58
Tabla 24 <i>Factores de ajuste estacional para vehículos livianos y pesados (Mes de Noviembre)</i>	58
Tabla 25 <i>Determinación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) con ajuste mensual y composición porcentual</i> .....	59
Tabla 26 <i>Tasas de crecimiento vehicular anual - Provincia del Guayas (Periodo 2015-2035)</i> ..	60
Tabla 27 <i>Cálculo de Factores de Equivalencia (LEF) y Factor Camión según configuración de ejes</i> .....	60
Tabla 28 <i>Periodos de diseño recomendados según el tipo de carretera (AASHTO)</i> .....	62
Tabla 29 <i>Rango de periodos de diseño según volumen de tránsito</i> .....	62
Tabla 30 <i>Cálculo de Factores de Equivalencia de Carga (LEF) y Factor Camión según configuración de ejes</i> .....	63
Tabla 31 <i>Resultados de Estabilidad Marshall (Seca y Sumergida) y determinación del porcentaje de Resistencia Retenida</i> .....	66
Tabla 32 <i>Verificación de parámetros de Estabilidad, Densidad Bulk y Susceptibilidad Hídrica de la mezcla estabilizada</i> .....	69
Tabla 33 <i>Especificaciones técnicas de los componentes para la mezcla estabilizada</i> .....	70
Tabla 34 <i>Niveles de confiabilidad recomendados según clasificación funcional</i> .....	70
Tabla 35 <i>Valores recomendados de Desviación Estándar (So)</i> .....	71
Tabla 36 <i>Clasificación de la calidad de drenaje</i> .....	72
Tabla 37 <i>Valores recomendados para el coeficiente de drenaje (mi)</i> .....	72
Tabla 38 <i>Resumen de parámetros de entrada para el diseño estructural (AASHTO 93)</i> .....	75
Tabla 39 <i>Memoria de cálculo y verificación de espesores del pavimento propuesto</i> .....	78
Tabla 40 <i>Desglose de actividades y acciones del proyecto por fases de ejecución</i> .....	84
Tabla 41 <i>Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales (Método de Leopold)</i> ..	85

Tabla 42 <i>Matriz de referencia para la calificación cualitativa y cuantitativa de impactos positivos</i> .....	86
Tabla 43 <i>Matriz de referencia para la calificación cualitativa y cuantitativa de impactos negativos</i> .....	87
Tabla 44 <i>Resumen cuantitativo de interacciones ambientales y balance neto de importancia (Evaluación Horizontal)</i> .....	88
Tabla 45 <i>Resumen de valoración cuantitativa vertical por componente ambiental</i> .....	88
Tabla 46 <i>Escala de significancia y rangos para la categorización del impacto ambiental</i> .....	89
Tabla 47 <i>Jerarquización y categorización final de los impactos ambientales del proyecto</i> .....	89
Tabla 48 <i>Criterios de ponderación y escala de valoración para las variables de la ecuación de impacto ambiental</i> .....	90
Tabla 49 <i>Matriz de asignación de valores paramétricos por actividad y factor ambiental</i> .....	91
Tabla 50 <i>Escala de categorización del Índice de Impacto Ambiental (IA) y semaforización de severidad</i> .....	91
Tabla 51 <i>Matriz de resultados cuantitativos del Índice de Impacto Ambiental (IA) y mapa de calor de significancia</i> .....	92
Tabla 52 <i>Programa de medidas de prevención, mitigación y control para los componentes ambientales afectados</i> .....	93
Tabla 53 <i>Rubros y precios unitarios del proyecto</i> .....	113
Tabla 54 <i>Resumen de cantidades de obra estimadas por rubro</i> .....	114
Tabla 55 <i>Presupuesto referencial detallado del proyecto</i> .....	115

## **Índice de Planos**

PLANO 1 Plano en Planta de la vía

# Capítulo 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde los orígenes de la civilización, la movilidad ha representado un factor esencial para el desarrollo de las sociedades. La evolución de simples senderos a redes viales estructuradas demuestra que la infraestructura de transporte es un elemento crucial para la integración territorial y el crecimiento económico. En la actualidad, una infraestructura vial eficiente no es solo una ventaja logística, sino un pilar fundamental del progreso social y a una mejor calidad de vida.

En Ecuador, la red vial desempeña un papel determinante en la articulación entre las zonas urbanas y rurales. Dentro de esta estructura, las vías de tercer orden, a menudo denominadas vías vecinales, desempeñan un papel fundamental. Estas vías son la conexión directa y muchas veces única, entre pequeñas comunidades, zonas de producción agrícola y los principales corredores viales (vías de primer y segundo orden). Sin embargo, gran parte de las vías de tercer orden presentan un alto grado de deterioro. Esta situación se debe principalmente a diversos factores, entre los cuales destacan:

- El uso de materiales inadecuados.
- Falta de mantenimiento preventivo
- La escasa aplicación de soluciones técnicas sostenibles.

Esta situación no solo representa un problema logístico, sino una barrera directa para el desarrollo, afectando la productividad agrícola al incrementar las pérdidas postcosecha y los costos operacionales junto con los de transporte.

La provincia del Guayas administra una red vial estratégica de 6,419.57 km, a través del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial. Los datos oficiales (GAD Provincial del Guayas, 2024) revelan una marcada disparidad en la calidad de la infraestructura vial. De la

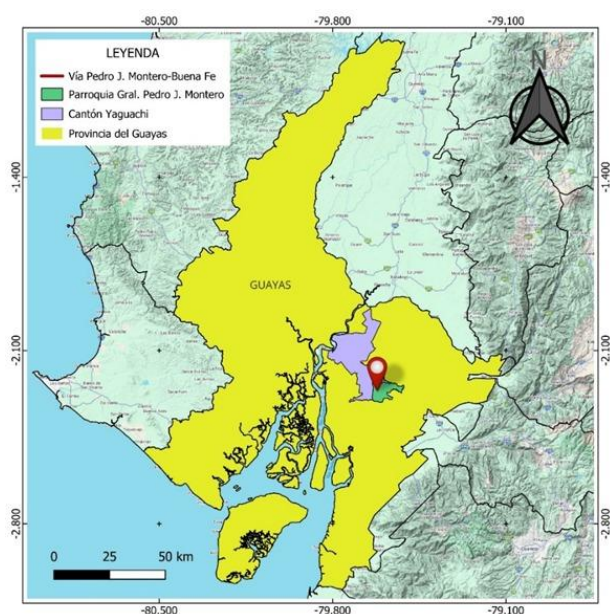
totalidad de la red vial provincial, solo 1.52 km cuentan con pavimento rígido y 726.65 km con pavimento flexible, siendo el 12% de la red vial.

Mientras que el 88% restante de la red, cuenta con superficies de lastre o suelo natural, y carece de pavimentación. Esta realidad evidencia una marcada brecha de infraestructura y subraya la necesidad de implementar tecnologías innovadoras que permitan mejorar la conectividad con soluciones técnicas sostenibles que sean, simultáneamente viables.

En este contexto, la vía Pedro J. Montero – Buena Fe, ubicada en la parroquia Pedro J. Montero del cantón Yaguachi, provincia del Guayas, constituye un tramo rural de aproximadamente 3.66 km de longitud y 6.5 m de ancho de calzada, que actualmente se encuentra sin pavimentar y en condiciones operativas deficientes. La vía se inicia sobre la **E25** (Troncal de la Costa), al oeste del centro poblado de Pedro J. Montero, y se extiende hacia el este hasta el sector Buena Fe, bordeando el río Taura. Se localiza geográficamente entre las coordenadas X: 651625.18 – Y: 9750208.42 y X: 654929.25 – Y: 9749194.34.

### Figura 1

*Mapa de ubicación referencial de la vía dentro de la provincia*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

La ausencia de una estructura estabilizada y de una capa de rodadura adecuada en la vía ocasiona dificultades de tránsito durante la temporada invernal, así como deterioros acelerados que elevan significativamente los costos de mantenimiento y, en última instancia, compromete la conectividad rural. Frente a esta problemática, la solución técnica propuesta se centra en la aplicación de técnicas de estabilización de materiales granulares con emulsión asfáltica. Este enfoque es altamente efectivo, ya que mejora la cohesión y la capacidad portante del suelo, reduce la permeabilidad y, por lo consiguiente, prolonga la vida útil del pavimento con un notable menor impacto ambiental.

El presente proyecto busca proponer una solución técnica estructural para la rehabilitación de la vía Pedro J. Montero – Buena Fe. Esta propuesta busca optimizar el uso de los materiales locales y, de esta forma, contribuir al fortalecimiento sostenible de la red vial provincial. Además, se alinea estratégicamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 9: “Industria, innovación e infraestructura” y el ODS 11: “Ciudades y comunidades sostenibles”, promoviendo la mejora de la infraestructura rural bajo rigurosos criterios de eficiencia y sostenibilidad.

## **1.1 Antecedentes**

El Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Guayas (2024), a través de su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), evidencia un déficit estructural crítico en la red vial provincial. Los indicadores señalan que únicamente el 22% de la infraestructura vial opera en condiciones óptimas, mientras que el 66% presenta un estado regular y el 12% un deterioro severo. Esta situación compromete la conectividad entre los cantones y parroquias rurales, lo que restringe la movilidad, disminuye la competitividad territorial y limita el acceso equitativo a servicios básicos.

Históricamente, las intervenciones en vialidad rural han priorizado el uso de materiales de préstamo y capas de lastre, soluciones que exhiben una vida útil reducida y altos costos de mantenimiento. Ante este escenario, la estabilización de materiales granulares con emulsión asfáltica surge como una alternativa técnica superior orientada a la sostenibilidad. Este método incrementa la capacidad portante del suelo y reduce la permeabilidad, permitiendo el aprovechamiento de materiales in situ. Además, dicha técnica mitiga el impacto ambiental y optimiza los costos del ciclo de vida del proyecto en comparación con las metodologías convencionales (Ministerio de Obras Públicas [MOP], 2020).

## **1.2 Descripción del Problema**

La vía Pedro J. Montero – Buena Fe, situada en el cantón Yaguachi, presenta un nivel de servicio deficiente caracterizado por la ausencia de una estructura de pavimento consolidada y una superficie de rodadura granular inestable. Esta condición limita severamente la transitabilidad y afecta la cadena logística de productos agrícolas de la zona. La vulnerabilidad de la vía se agudiza durante la temporada invernal, donde la infiltración pluvial y la carencia de sistemas de drenaje efectivos provocan la saturación de la subrasante, derivando en patologías superficiales graves y la interrupción operativa del flujo vehicular.

En este contexto, la problemática técnica reside en la necesidad de elevar la capacidad de soporte de la vía optimizando los recursos disponibles. Por lo tanto, se plantea como solución la estabilización química del material in situ mediante emulsión asfáltica, una técnica orientada a incrementar la resistencia mecánica y la durabilidad ante la intemperie. La presente investigación busca validar la viabilidad técnica y económica de esta metodología mediante ensayos de laboratorio y diseño estructural, proponiendo un modelo aplicable a vías de bajo volumen de tránsito (TPDA bajo) bajo las condiciones climáticas del litoral ecuatoriano.

### 1.3 Justificación del Problema

La rehabilitación integral del tramo Pedro J. Montero – Buena Fe constituye una intervención estratégica para la dinamización socioeconómica del cantón Yaguachi. Al optimizar el flujo logístico de la producción agrícola y garantizar la accesibilidad permanente a servicios esenciales, el proyecto impacta directamente en la eficiencia del transporte. Específicamente, se prevé una reducción significativa en los Costos de Operación Vehicular (COV) y una mitigación de los índices de siniestralidad, elevando así los estándares de seguridad y movilidad rural.

Desde la perspectiva técnica, la estabilización con emulsión asfáltica se fundamenta como una alternativa eficiente y sostenible, guardando estricta coherencia con los lineamientos de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

- **ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura):** Se promueve mediante la adopción de tecnologías de pavimentación resilientes que modernizan la infraestructura rural sin depender de métodos extractivos tradicionales.
- **ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles):** Se garantiza al asegurar la conectividad física de los asentamientos rurales, reduciendo el aislamiento territorial y fomentando el acceso equitativo a oportunidades.
- **ODS 12 (Producción y Consumo Responsables):** Se materializa a través de la gestión eficiente de los recursos naturales, al priorizar el aprovechamiento del material in situ y reducir la demanda de explotación de canteras para la obtención de áridos vírgenes.

En consecuencia, la validación e implementación de esta metodología no solo fortalecerá la matriz vial provincial, sino que generará externalidades positivas en la productividad, el intercambio comercial y la cohesión territorial de la provincia del Guayas.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar una solución estructural a través de la estabilización de materiales granulares con emulsión asfáltica para la rehabilitación de la vía Pedro J. Montero - Buena Fe, cantón Yaguachi.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- I. Caracterizar los materiales existentes mediante ensayos de laboratorio evaluando su viabilidad técnica en procesos de estabilización con emulsión asfáltica.
- II. Determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica mediante métodos de dosificación como Marshall o módulo resiliente.
- III. Diseñar el pavimento considerando las propiedades del material tratado, con base en criterios estructurales y de sostenibilidad.
- IV. Elaborar el presupuesto referencial de la solución propuesta, considerando costos unitarios actualizados de materiales y procesos constructivos.

## **Capítulo 2**

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Revisión de literatura

En el contexto ecuatoriano, la infraestructura vial se jerarquiza en función de su capacidad operativa y funcional. El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), a través de la Norma Ecuatoriana Vial vigente (NEVI-12), establece una clasificación técnica fundamentada en el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), clasificando desde autopistas de alto flujo hasta caminos vecinales, tal como se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Clasificación funcional de la red vial según TPDA*

Tipo de vía	TPDA inicial
CARRETERA RI, RII	> 8000 Vehículos
CARRETERA CLASE I	3000 < Vehículos < 8000
CARRETERA CLASE II	1000 < Vehículos < 3000
CARRETERA CLASE III	300 < Vehículos < 1000
CARRETERA CLASE IV	100 < vehículos < 300

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025) a partir de los datos de la (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

Para el presente caso de estudio, el tramo Pedro J. Montero – Buena Fe, tras el levantamiento de información en campo, registra un volumen de tráfico que lo categoriza como una Carretera Clase IV. Esta tipología demanda soluciones estructurales acordes a cargas de tránsito moderadas pero constantes.

Tradicionalmente, la ingeniería vial en Ecuador ha oscilado entre dos soluciones constructivas: pavimentos rígidos y flexibles. Aunque difieren en sus mecanismos de disipación de esfuerzos, ambos buscan transmitir las cargas vehiculares hacia la subrasante sin generar deformaciones permanentes. Los pavimentos rígidos se caracterizan por una losa de hormigón

que absorbe la mayor parte de carga por efecto de losa, permitiendo reducir las exigencias sobre las capas subyacentes. Por otro lado, los pavimentos flexibles constituyen la solución predominante en la región por factores económicos y de mantenibilidad. Su estructura típica (carpeta asfáltica sobre base y subbase granular) distribuye las cargas mediante un sistema de capas, lo cual requiere materiales pétreos de alta calidad.

Sin embargo, ante la escasez de agregados pétreos y las largas distancias de acarreo, surge la necesidad de optimizar los pavimentos flexibles mediante técnicas de mejoramiento de suelos. Aquí es donde la estabilización con emulsión asfáltica cobra relevancia técnica.

Las emulsiones asfálticas se definen como una dispersión de micropartículas de cemento asfáltico dentro de una solución de agua junto con un agente emulsificante catiónico, lo que resulta en un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento asfáltico en su fase acuosa (INVIAS, 2012).

La influencia de la emulsión asfáltica para la estabilización de capas granulares. Ha mostrado resultados positivos. La estabilización de bases granulares se vuelve particularmente ventajosa en zonas donde la disponibilidad de materiales pétreos es limitada y las distancias acarreo son extensas, ya que permite reducir costos y simplificar el proceso constructivo frente a alternativas como las bases estabilizadas con cemento (Arias Montenegro & Idrobo García, 2022). En esta misma línea, las bases estabilizadas con emulsión asfáltica han adquirido relevancia debido a sus ventajas técnicas y ambientales, entre ellas la disminución de los espesores de la carpeta asfáltica, la aplicación en frío y la reducción de consumo de hidrocarburos durante su fabricación, lo que refuerza su utilidad en proyectos de pavimentación (Zambrano Vera y Zavala Guanoluisa, 2019).

Según la Federal Highway Administration (Federal Highway Administration, 1992), la estabilidad de los materiales granulares se da debido a la resistencia a la fricción de las partículas

de agregado y a la cohesión proporcionada por el ligante. La estabilización con asfalto funciona mejor en suelos granulares con bajo contenido de finos (GW, GM, GC, SW, SP, SM y SC).

En estos suelos, el asfalto proporciona cohesión a la masa e impermeabiliza cualquier componente arcilloso que puede estar presente. Si la estabilidad lograda mediante la cementación es el criterio principal, entonces se puede incorporar porcentajes mayores de ligante asfáltico (entre 5 % y 7 %), haciendo que los materiales granulares queden recubiertos y unidos por el asfalto (Federal Highway Administration, 1992).

La evidencia experimental respalda la mejora en el comportamiento mecánico de los suelos tratados con emulsión, evaluado principalmente mediante el California Bearing Ratio (CBR). Estudios recientes indican que la incorporación de emulsión asfáltica optimiza de manera consistente las propiedades del suelo; por ejemplo, (Perca Quispe, 2024) reportó que materiales granulares finos con un CBR inicial de 17 % y 19 %, al ser tratados con 7.51 % de emulsión, registraron incrementos del 18.06 % en la densidad seca y de 4.64 % en la densidad máxima seca. Resultados similares se han obtenido en arenas limosas y gravas arcillosas, donde (Cubas Armas, 2018) señala que diferentes proporciones de emulsión pueden elevar hasta en un 50 % el CBR respecto al suelo natural.

De forma concordante, ensayos de Inmersión – Compresión en gravas con baja presencia de finos confirman que el uso de emulsión tipo CSS – 1h, en contenidos óptimos entre 6.3 % y 6.7 %, produce mejoras significativas en la capacidad de soporte del material (Castillo Alcázar, 2021). No obstante, estudios más recientes indican que esta mejora no es lineal; tal como evidencian (Coelho et al., 2024), si bien los valores de módulo de resiliencia se mantienen dentro de un rango satisfactorio para la resistencia a la deformación elástica, la deformación permanente tiende a incrementarse conforme aumenta el contenido de emulsión, lo que sugiere una reducción progresiva en la resistencia ante cargas cíclicas.

El rendimiento de las bases estabilizadas con emulsión asfáltica (EATB) depende de factores críticos como el curado y la compactación, los cuales marcan una gran diferencia operativa frente a la mezcla asfáltica en caliente (Chakravarthi et al., 2022). Generalmente las bases estabilizadas in situ presentan un alto contenido de vacíos de aire, parámetro que depende directamente de las condiciones de curado y el diseño de mezcla. Según (Oke, 2010), existe una correlación directa donde un mayor contenido inicial de vacíos acelera la tasa de pérdida de humedad, facilitando el proceso de estabilización.

En cuanto a la evaluación del desempeño, (Chakravarthi et al., 2022) establecen que la densidad seca máxima, la estabilidad Marshall y la resistencia a la tracción constituyen los indicadores primarios de rendimiento, dejando al módulo y la fatiga como indicadores secundarios. Este comportamiento evoluciona temporalmente en dos fases diferenciadas: una primera etapa de aumento de rigidez asociada a la densificación y curado, seguida de una segunda fase donde el material adopta un comportamiento viscoelástico con menor dependencia térmica que las mezclas en caliente (Pérez et al., 2013).

Finalmente, respecto a la vida útil, (Finn, 1963) sugiere que el curado no es un factor limitante crítico a largo plazo y que sus efectos iniciales pueden compensarse con ajustes menores en el espesor de capa. No obstante, (Pi, 2019) advierte que, pese a las ventajas constructivas, las mezclas en frío todavía pueden presentar un desempeño inferior en términos de resistencia a la fatiga en comparación con las mezclas producidas en caliente, lo cual debe ser considerado en el diseño estructural.

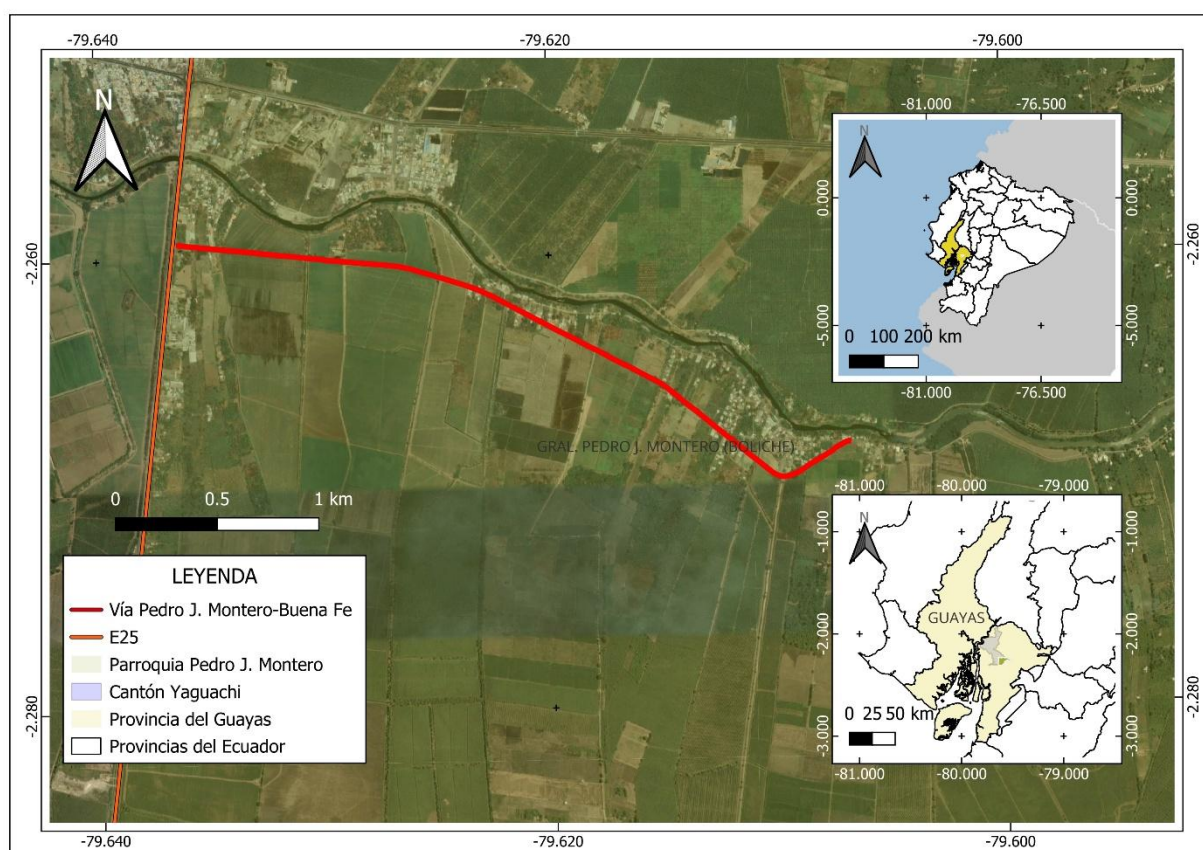
## 2.2 Área de estudio

### 2.2.1 Ubicación geográfica

La vía Pedro J. Montero – Buena Fe se localiza en la provincia del Guayas, cantón Yaguachi, parroquia Pedro J. Montero, con una longitud aproximada de 3.66 km. El trazado inicia en las coordenadas X: 651625.18 m E, Y: 9750208.42 m S, sobre la carretera E25 (Troncal de la Costa), y finaliza en X: 654929.25 m E, Y: 9749194.34 m S, en el sector Buena Fe, conforme al sistema de coordenadas UTM zona 17S.

### Figura 2

*Mapa de ubicación de la vía Pedro J. Montero – Buena Fe*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

### 2.2.2 Descripción física o técnica del sitio

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón San Jacinto de Yaguachi (GAD Municipal de San Jacinto de Yaguachi, 2012) las principales características físicas y técnicas del sitio son las siguientes:

- **Tipo de terreno y Topografía**

La vía se encuentra en el Cantón San Jacinto de Yaguachi, caracterizado por un relieve predominantemente bajo, con una altitud máxima de aproximadamente 15 m.s.n.m., aunque generalmente supera los 5 m.s.n.m. Por lo tanto, la vía se asienta sobre una superficie plana.

El suelo del área proviene de procesos de degradación y sedimentación, formando parte de una llanura aluvial antigua. Las pendientes del cantón oscilan entre el 2% y el 40%, aunque en la zona del proyecto predominan las más suaves.

- **Clima**

El cantón se ubica en la zona ecuatorial y presenta un clima tropical mega térmico semi-húmedo. La temperatura media anual varía entre 24.5°C a 26°C, con máximas de hasta 36°C. La humedad relativa promedio alcanza valores cercanos al 80%, incrementándose durante la temporada lluviosa.

- **Vegetación**

El ecosistema original del cantón se encuentra altamente intervenido por las actividades agrícolas y ganaderas. La cobertura vegetal actual está compuesta por pocas especies arbustivas, y escasas áreas boscosas, predominando pastizales y cultivos agrícolas. El territorio se dedica principalmente a la caña de azúcar, banano y arroz (en zonas bajas), maíz, y cacao.

- **Régimen de lluvias**

El patrón pluviométrico distingue dos estaciones marcadas, las cuales son Época seca (verano) y Época lluviosa (invierno) con una precipitación media anual entre 750 mm y 1342mm. Los meses de mayor precipitación son febrero, marzo y diciembre (por ejemplo, marzo con un valor medio de 290 mm), mientras que los meses más secos corresponden a julio, agosto y septiembre (por ejemplo, agosto con 0.7 mm).

Los vientos predominantes provienen del sur, con una velocidad media aproximada de 0.8 m/s.

- **Proyecto vial**

El cantón posee una ubicación estratégica debido a su accesibilidad y cercanía a centros de comercialización. La vía Pedro J. Montero – Buena Fe, se clasifica como vía de tercer orden, con una función principal de conectividad intercantonal de baja jerarquía, enlazando las parroquias Pedro J. Montero y Buena Fe. Tiene una longitud de 3.66 km, iniciando en la carretera E25 (Troncal de la Costa).

El tráfico vehicular es de bajo a moderado volumen, compuesto principalmente por vehículos de carga pesada (destinados al transporte de productos agropecuarios, especialmente caña de azúcar, banano y cacao), y vehículos livianos de uso local. La vía cumple un papel esencial para la producción agrícola y la conectividad rural del sector.

Actualmente, presenta una superficie lastrada y de tierra, con mantenimiento deficiente, lo que genera condiciones superficiales inadecuadas y susceptibilidad al colapso durante la temporada de lluvias.

- **Condiciones Sociales o económicas del entorno**

El cantón San Jacinto de Yaguachi mantiene una marcada vocación agropecuaria. Su población es predominantemente rural, con aproximadamente el 71% de los habitantes fuera de la cabecera cantonal.

Las principales actividades económicas corresponden a la agricultura, el agrocomercio, la agroindustria y al comercio minorista. El turismo, constituye un sector con alto potencial económico, aunque aún en desarrollo.

En la actualidad, el territorio enfrenta problemas de inseguridad ciudadana, especialmente en áreas rurales. Además, la población está expuesta a riesgos ambientales por la contaminación del aire, agua y suelo, derivada del uso incontrolado de plaguicidas (particularmente mediante aerofumigación).

## **2.3 Trabajo de campo y laboratorio**

### **2.3.1 Reconocimiento de campo**

Durante la fase inicial de reconocimiento se ejecutó una inspección visual del estado actual de la vía. Este proceso permitió la identificación del trazado, sus características geométricas y el entorno inmediato, que incluye áreas de cultivo intensivo y viviendas dispersas. El recorrido técnico se inició en la carretera E25 (Troncal de la Costa), punto donde se conecta la vía Pedro J. Montero – Buena Fe, y se extendió hasta su punto final en la parroquia Buena Fe.

La inspección verificó que la vía cuenta con dos carriles, con un ancho promedio de 3.25 m por carril, lo que corresponde a una calzada total de aproximadamente 6.5 m. Los taludes laterales exhiben estabilidad adecuada, sin presencia de erosión significativa. Se constató que la subrasante presenta características de relleno compactado, mientras que el uso predominante del

suelo a lo largo del corredor vial se asocia a actividades agrícolas, principalmente cultivo de caña de azúcar, banano y cacao.

Durante la prospección en campo se constató que la vía presenta un deterioro generalizado a lo largo de su trazado. Se identificaron diversas patologías superficiales, como deformaciones, pérdida de material granular, ahuellamientos y sectores con capacidad portante comprometida, especialmente en áreas donde el sistema de drenaje es insuficiente.

Se evidenció, además, que estas patologías habían sido objeto de intervenciones previas por la Prefectura mediante trabajos de mantenimiento rutinario; sin embargo, estas acciones corresponden a soluciones paliativas y de baja perdurabilidad que no resuelven el origen estructural del deterioro. La efectividad de estas intervenciones se pierde con rapidez, especialmente durante la temporada de lluvias.

Así mismo, a lo largo del corredor vial se identificaron viviendas aledañas y unidades productivas rurales, lo que evidencia la importancia social y económica del acceso. También se constató que la vía es utilizada como cruce ganadero y como ruta de transporte para productos agrícolas, lo que incrementa la necesidad de contar con una infraestructura con serviciabilidad adecuada que soporte el tráfico mixto del sector.

Como consecuencia, la deficiente serviciabilidad actual de la vía continúa representando un riesgo para los habitantes de la comunidad, incrementa la probabilidad de siniestralidad vial y genera mayores tiempos de desplazamiento para los usuarios.

Las Figuras referenciadas a continuación presentan evidencia fotográfica del estado actual de la vía y su entorno inmediato.

**Figura 3**

*Condiciones actuales de la vía*



*Nota.* Fuente: Fotografía tomada in-situ (2025).

**Figura 4**

*Presencia de ganado en la vía*



*Nota.* Fuente: Fotografía tomada in-situ (2025).














**2.3.2 TPDA – Conteo de tráfico**

Uno de los criterios fundamentales para el diseño y clasificación de una vía es el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), definido como el volumen promedio de tránsito diario proyectado a un horizonte de 15 a 20 años. Para su determinación, es recomendable realizar un conteo vehicular representativo en el tramo de estudio, ajustar los datos mediante factores de corrección estacional y de horas pico, y posteriormente proyectar el flujo vehicular para el periodo de servicio. Este valor permite clasificar la jerarquía vial, definir las secciones estructurales y calcular espesores de las capas de pavimento (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTO], 2013).

La actualización del flujo vehicular previo a la rehabilitación de una vía es indispensable para evitar un diseño subdimensionado o un deterioro prematuro, ya que el volumen y tipo de tráfico inciden directamente en los esfuerzos estructurales que actúan sobre el pavimento (Acuña Vásquez, 2024).

Para la toma de datos de tráfico del presente proyecto, se efectuó un conteo vehicular manual durante X días, con una duración de X horas por jornada, utilizando el formato establecido por el MTO para estudios de tránsito.

**Figura 5**  
*Formato para el conteo vehicular*

		REGISTRO DE TRÁFICO Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR – DETERMINACIÓN DEL TPDA <small>PROYECTO: OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SOBRE LA CARRETERA NACIONAL EN LA ZONA DE CONTROL URBANO ASFALTADO</small> <small>UBICACIÓN: PEDREGAL MONTEBONO - BUENAFÉ</small> <small>FECHA: _____</small> <small>ESTACIÓN: CONTADOR PEDRO - VILLÓN</small> <small>UBICACIÓN: _____</small> <small>FECHA: _____</small> <small>DIRECCIÓN DEL TRÁFICO: _____</small> <small>HORA INICIAL: _____</small> <small>HORA FINAL: _____</small>											
HORA	LIVIANOS				CAMIONES								SUMA
	Motos	Automóviles	Camionetas	Buses	20	3A	251	252	253	351	352	353	
													

*Nota.* Fuente: Clasificación vehicular establecida por el MTO (2013).

Para calcular el TPDA se hará uso de las siguientes ecuaciones:

- **Cálculo de Tráfico Promedio Diario**

$$TPD = \frac{N^{\circ} \text{ Total de Vehículos}}{N^{\circ} \text{ días de conteo}} \quad (2.1)$$

- **Cálculo de Tráfico Promedio Diario Semanal**

$$TPDS = \frac{TS}{7} \quad (2.2)$$

Donde:

- TS = Tráfico total semanal (suma de vehículos en los 7 días medidos).

- **Cálculo de Tráfico Promedio Diario Anual**

$$TPDA = TPDi * FD * FS * FE \quad (2.3)$$

Donde:

- TPDi = Tráfico promedio diario (diurno) medido.
- FD = Factor día (para pasar de tráfico diurno al total del día).
- FS = Factor semana (para expandir a promedio semanal).
- FE = Factor de expansión (factor anual) para proyectar a tráfico anual.

- **Tráfico Desarrollado**

$$Td = TPDA \text{ actual} * 5 \% \quad (2.4)$$

- **Tráfico Generado**

$$Tg = TPDA \text{ actual} * 25 \% \quad (2.5)$$

- **Tráfico Asignado**

$$Ta = TPDA \text{ actual} + Td + Tg \quad (2.6)$$

- **Tráfico a Futuro**

$$TPDA \text{ futuro} = TPDA \text{ actual} * (1 + TC)^n \quad (2.7)$$

Donde:

- TC = Tasa de crecimiento de tráfico anual.
- n = Número de años de proyección.

### 2.3.3 Apertura de calicatas

Las calicatas permiten observar directamente el perfil del suelo y registrar las variaciones estratigráficas. Este método constituye una práctica fundamental en proyectos de rehabilitación vial, ya que facilita la evaluación in situ del material existente y su aptitud para ser reutilizado o estabilizado. Además, permite obtener muestras representativas para ensayos de laboratorio, procedimientos establecidos que son considerados buenas prácticas en la investigación de suelos para obras civiles. (British Standards Institution [BSI], 2015).

La obtención de las muestras para la investigación se ejecutó mediante la excavación de dos calicatas exploratorias a lo largo del tramo vial, con el fin de verificar la uniformidad del material de subrasante y granular existente. La selección de los puntos fue estratégica, la primera calicata se localizó aproximadamente en el kilómetro 1.5, y la segunda se ubicó hacia el extremo final del tramo, en el kilómetro 3.0. Cada calicata fue excavada manualmente con pala y barreta, alcanzando una profundidad mínima de 30 cm a 35 cm. Esta profundidad garantizó la recolección de material representativo de la capa superficial de la subrasante y la base granular no estabilizada.

Se recolectó un volumen aproximado de 50 kg de material por cada calicata, totalizando dos muestras representativas para los ensayos. La justificación para limitar la muestra a dos puntos se fundamentó en la homogeneidad visual del material superficial observada durante el reconocimiento de campo. Para los ensayos de laboratorio, se consideró la totalidad de la altura muestreada en cada calicata como una muestra compuesta representativa, dada la aparente uniformidad de la capa expuesta.

### **Figura 6**

*Toma de calicatas en la vía*



*Nota.* Fuente: Fotografía tomada in-situ (2025).

### **Figura 7**

*Recolección de calicatas*



*Nota.* Fuente: Fotografía tomada in-situ (2025).

## **2.3.4 Ensayos de laboratorio**

### **2.3.4.1 Contenido de humedad**

El ensayo de contenido de humedad tiene como objetivo determinar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo, expresada como un porcentaje respecto a su peso seco (Lamanna, 2020). Este parámetro permite conocer el estado natural del suelo y evaluar su comportamiento mecánico, ya que la humedad influye directamente en propiedades como la densidad, la resistencia al corte, la comprensibilidad y la capacidad de compactación (British Standards Institution [BSI], 2015).

El procedimiento consiste en pesar una muestra húmeda y posteriormente secarla en horno a una temperatura controlada de 105 °C a 110 °C hasta alcanzar peso constante. Luego, se determina la relación entre el agua evaporada y el peso del suelo seco, de acuerdo con el método gravimétrico. Este ensayo debe realizarse con muestras representativas, evitando la pérdida de humedad durante su transporte y garantizando que el secado no altere la estructura del suelo (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [Lanamme-UCR], 2018) (ASTM International, 2020).

El contenido de humedad constituye un parámetro esencial para la interpretación de otros ensayos geotécnicos, como la compactación Proctor, los límites de Atterberg y los ensayos de resistencia, siendo además un indicador del estado de saturación del terreno y de la viabilidad del material para ser reutilizado o estabilizado en obras viales (British Standards Institution [BSI], 2015) (ASTM International, 2020).

## Procedimiento

1. Para la toma de muestra se extrae una porción representativa del suelo a analizar, procurando que mantenga su humedad natural. En caso de realizarse en campo, la muestra debe colocarse inmediatamente en un recipiente hermético o bolsa sellada para evitar la pérdida de agua por evaporación antes de su ensayo en laboratorio.
2. Para la preparación del recipiente se utiliza un contenedor metálico o de material no corrosivo, previamente limpio y seco. Se registra su peso vacío con precisión, ya que será necesario para los cálculos posteriores.
3. Para el pesado de la muestra húmeda se coloca el suelo dentro del recipiente y se determina el peso conjunto del suelo y del recipiente, lo que representa el peso húmedo inicial. Esta medición debe realizarse con una balanza de precisión, evitando el contacto prolongado con el ambiente para reducir la pérdida de humedad.
4. Para el secado del material se introduce el recipiente con la muestra en un horno de temperatura controlada entre 105 °C y 110 °C. El secado se mantiene hasta que el peso de la muestra sea constante, lo cual indica que se ha eliminado toda el agua libre presente en el suelo. Este proceso suele durar entre 12 y 24 horas, dependiendo del tipo de suelo y su contenido inicial de humedad.
5. Para el pesado de la muestra seca se retira el recipiente del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador para evitar la absorción de humedad del aire. Una vez frío, se registra nuevamente el peso total del recipiente y el suelo seco.

6. Para el cálculo del contenido de humedad se determina la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco, lo que corresponde a la masa de agua evaporada. Luego, esta diferencia se divide entre el peso del suelo seco y se multiplica por 100, obteniendo así el porcentaje de contenido de humedad del suelo.

$$w = \frac{\textit{peso del agua perdida}}{\textit{peso del suelo seco}} * 100\% \quad (2.8)$$

7. Para la interpretación de resultados se analiza el valor obtenido considerando el tipo de suelo, las condiciones del sitio y la finalidad del estudio. Este parámetro es fundamental para correlacionar con otros ensayos geotécnicos, como los de compactación o resistencia, y permite evaluar el comportamiento del suelo en condiciones naturales o modificadas.

#### 2.3.4.2 Granulometría

El ensayo de granulometría permite determinar la distribución de tamaños de partículas en un suelo, información fundamental para su clasificación, evaluación de su comportamiento ingenieril y selección de alternativas de mejoramiento. Este análisis se realiza mediante tamizado en seco para fracciones gruesas y, cuando corresponde, análisis hidrométrico para fracciones finas, siguiendo procedimientos estandarizados que garantizan resultados reproducibles y representativos. La granulometría es esencial en estudios de suelos para obras viales, ya que permite evaluar propiedades como la permeabilidad, compacidad y estabilidad potencial del material, así como verificar su conformidad con las especificaciones técnicas del proyecto (ASTM International, 2017).

## Procedimiento

1. Para la toma de muestra se extrae una porción representativa del suelo y se prepara según las normas del proyecto, se elimina material orgánico, piedras grandes que no correspondan al tamaño máximo permitido, se seca si es necesario y se tritura suavemente si hay agregados, de modo que se conserve la estructura de la muestra, pero se asegure una buena dispersión de partículas.
2. Para la preparación de la muestra de tamizado se pesa la muestra seca (o a humedad controlada) con una balanza de precisión, registrándose el peso inicial. Luego se prepara la torre de tamices seleccionados en orden descendente de apertura (por ejemplo: N° 4, N° 10, N° 40, N° 200, etc., según el tamaño máximo de partícula) y se coloca la muestra en el tamiz superior.
3. Para el tamizado la muestra se coloca en la torre de tamices y se tamiza mecánicamente (por ejemplo, en agitador de tamices) o manualmente durante un tiempo determinado (por ejemplo 5-10 min) hasta que no se observe cambio o hasta que se cumpla el tiempo especificado. Luego se pesa la cantidad de suelo retenido en cada tamiz.
4. Para el método de sedimentación (cuando entra en juego la fracción fina  $< 0.075$  mm) se prepara una suspensión de suelo dispersado en agua con agente dispersante, se realiza el procedimiento de hidrómetro o pipeta, con mediciones a tiempos predefinidos para calcular la proporción de partículas de tamaño muy fino.

5. Para el cálculo de resultados se determina el peso del suelo retenido en cada tamiz y el porcentaje que pesa cada tamiz. Se computa el porcentaje retenido (% retenido) = (peso retenido / peso total de muestra) \* 100. Luego el porcentaje que pasa (% que pasa) = 100% - (cumulativo % retenido hasta ese tamiz).

- Porcentaje retenido en un tamiz:

$$\%R = \frac{W_r}{W_t} * 100 \quad (2.9)$$

- Porcentaje que pasa acumulado:

$$\%P = 100 - \sum (\%R_{superiores}) \quad (2.10)$$

6. Para la interpretación de los resultados se construye la curva de distribución granulométrica (gráfico porcentaje que pasa vs diámetro de tamiz en escala logarítmica) y se calculan parámetros como el coeficiente de uniformidad  $C_u$  y el coeficiente de curvatura  $C_c$  para suelos granulares, donde:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.11)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} \quad (2.12)$$

Aquí  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$  son los diámetros correspondientes al porcentaje que pasa del 10%, 30% y 60% respectivamente.

7. Finalmente, se clasifica el suelo según el sistema de clasificación elegido (por ejemplo: Unified Soil Classification System (USCS)) con base en la distribución de tamaños, se discuten las implicaciones geotécnicas (como capacidad de compactación, permeabilidad, comportamiento bajo carga) y se documenta todo el procedimiento, incluyendo las condiciones de ensayo, equipos, tiempos, etc.

### 2.3.4.3 Límites de Atterberg

El ensayo de Límites de Atterberg permite determinar los estados de consistencia de los suelos finos mediante la identificación del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad. Estos parámetros son esenciales para clasificar suelos cohesivos, evaluar su potencial de expansión o retracción y predecir su comportamiento ante variaciones de humedad, aspectos fundamentales en proyectos viales y geotécnicos. Los procedimientos estandarizados para su determinación aseguran resultados precisos y comparables, permitiendo caracterizar las propiedades de plasticidad y trabajabilidad del material (International Organization for Standardization, 2018).

Antes de realizar los ensayos, la muestra se seca al aire, se desmenuza sin fracturar partículas y se tamiza por el tamiz No. 40 para obtener únicamente la fracción fina. Esta fracción se homogeniza y se reserva para ambos procedimientos (límite líquido y límite plástico), asegurando que el material sea representativo y adecuado conforme a los requisitos de la norma (International Organization for Standardization, 2018).

#### **Procedimiento**

##### ***a) Determinación de Límite Líquido (LL)***

1. Se mezcla una porción de la muestra con agua destilada hasta obtener una pasta homogénea.
2. Se coloca la pasta en la copa de Casagrande formando una capa uniforme y se abre la ranura con la herramienta estándar.
3. Se opera el aparato a dos golpes por segundo hasta que la ranura se cierre en aproximadamente 13 mm.
4. Se determina el contenido de humedad de la porción tomada de la zona de cierre.

5. Se repite el procedimiento con diferentes humedades para obtener al menos tres puntos y se grafica el contenido de humedad frente al logaritmo del número de golpes.
6. El límite líquido se determina como el contenido de humedad correspondiente a 25 golpes, obtenido mediante interpolación lineal entre dos puntos experimentales cuyos números de golpes se encuentren por encima y por debajo de 25.

$$LL = w_1 + \frac{(25 - N_1)(w_2 - w_1)}{(N_2 - N_1)} \quad (2.13)$$

Donde:

- $LL$  = Límite líquido (% de humedad).
- $w_1$  = Contenido de humedad (%) correspondiente al número de golpes  $N_1$  (primer punto experimental).
- $w_2$  = Contenido de humedad (%) correspondiente al número de golpes  $N_2$  (segundo punto experimental).
- $N_1$  = Número de golpes en la primera medición, mayor a 25 o menor (según la medición experimental).
- $N_2$  = Número de golpes en la segunda medición, del lado opuesto de 25, para permitir la interpolación.
- 25 = Número estándar de golpes para determinar el límite líquido según Casagrande.

***b) Determinación del Límite Plástico (LP)***

1. Se toma una pequeña porción de la muestra y se amasa hasta obtener una consistencia moldeable.

2. Se forman cilindros delgados mediante rolado sobre una superficie lisa, hasta alcanzar un diámetro aproximado de 3 mm.
3. Cuando el cilindro comienza a agrietarse, se toma esa porción y se determina su humedad.
4. El límite plástico se obtiene como el promedio de al menos tres determinaciones repetidas.

*c) Índice de Plasticidad (IP)*

El índice de plasticidad se calcula directamente a partir del límite líquido y el límite plástico:

$$IP = LL - LP \quad (2.14)$$

#### **2.3.4.4 Abrasión de los Ángeles**

El ensayo de abrasión de los Ángeles evalúa la resistencia de los áridos gruesos a la degradación por impacto y fricción mediante la rotación en un tambor metálico con esferas de acero (AASHTO, 2006). Este método permite cuantificar la pérdida de masa del agregado cuando es sometido a esfuerzos mecánicos, y constituye un indicador esencial de la durabilidad y el desempeño del material en estructuras viales (ASTM International, 2020b).

Debido a que los áridos en pavimentos están expuestos a cargas dinámicas, abrasión vehicular y efectos de fricción, el resultado de este ensayo es fundamental para determinar su idoneidad en capas de base, subbase y mezclas asfálticas. Valores elevados de pérdida indican menor resistencia del material y mayor susceptibilidad al desgaste, por lo que este parámetro es utilizado como criterio de aceptación en especificaciones de carreteras (California Department of Transportation [Caltrans], 1995).

### Procedimiento

1. Se selecciona la porción representativa de árido y se limpia; se seca en horno a 105–110 °C hasta masa constante y se tamiza para obtener la fracción especificada por la norma.
2. Se pesa la muestra seca inicial  $M_1$  (g) y se registra la granulometría del cargamento de ensayo.
3. Se coloca la muestra con la carga abrasiva (esferas/bolas de acero, número y masa prescritos) dentro del tambor Los Ángeles y se cierra la abertura.
4. Se hace girar la máquina a la velocidad normal ( $\cong 30$ –33 rpm) por el número de revoluciones que indica la norma (normalmente 500 revoluciones para C131).
5. Al finalizar, se extrae el material, se lava sobre el tamiz N° 12 (1.70 mm) para separar finos y fragmentos; se seca el material retenido y se pesa la masa final  $M_2$  (g).
6. Se calcula el porcentaje de pérdida con la fórmula siguiente y se reporta junto con la gradación y condiciones del ensayo.

$$\text{Porcentaje Pérdida (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (2.15)$$

Donde:

- $M_1$  = masa del espécimen original (g) antes del ensayo (muestra seca).
- $M_2$  = masa del material retenido en el tamiz especificado (1.70 mm / N° 12) después del ensayo, lavado y secado (g).
- El resultado se expresa en porcentaje (%) y representa la fracción de la nada original que ha degradado/pasado a tamaños finos.

#### **2.3.4.5 Ensayo CBR**

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) evalúa la capacidad de soporte de suelos y materiales granulares utilizados en subrasante, subbase y base de pavimentos (California Department of Transportation [Caltrans], 2000). El método consiste en medir la resistencia a la penetración de un pistón estándar bajo condiciones controladas de humedad y compactación, permitiendo comparar el comportamiento del suelo frente a un material de referencia (ASTM International, 2021).

Debido a que el CBR se relaciona directamente con la rigidez y la capacidad portante del suelo, su valor se emplea como base para diseñar el espesor de los pavimentos en capas de base y subbase. Además, el CBR proporciona un indicador empírico para estimar la resistencia de la subrasante bajo diferentes condiciones de humedad y compactación, siendo ampliamente usado en estudios de ingeniería de carreteras (Thakur, Naveen, & Tegar, 2020).

#### **Procedimiento**

1. Se selecciona una muestra representativa y se acondiciona a la humedad óptima determinada mediante Proctor estándar o modificado. El suelo se compacta en el molde CBR en uno o tres capas, dependiendo del método elegido, alcanzando la densidad especificada.
2. Se instala la base perforada, la placa de carga circular y los pesos que simulan la presión de confinamiento típica (normalmente 4.5 kg para una sobrecarga estándar).
3. Según el método, la muestra puede colocarse en un tanque de remojo durante 96 horas para simular condiciones saturadas y permitir la expansión medida del suelo.

4. Se coloca el molde en la máquina CBR y se ajusta el pistón de penetración en contacto con la superficie de la muestra.
5. Se aplica una penetración controlada a razón de 1.27 mm/min (0.05 in/min) registrando la carga correspondiente para penetraciones de 2.5 mm y 5.0 mm.
6. El valor CBR se calcula comparando la carga medida con la carga estándar de referencia:

$$CBR(\%) = \frac{P_m}{P_s} * 100 \quad (2.16)$$

Donde:

- $P_m$  = Carga medida en el ensayo (kN o lbf)
  - $P_s$  = Carga estándar de comparación (kN o lbf)
  - ASTM proporciona tabulados oficiales:
    - Para 2.5 mm => 70 kg/cm<sup>2</sup> (1000 psi aprox.)
    - Para 5.0 mm => 105 kg/cm<sup>2</sup> (150 psi aprox.)
7. El resultado se representa como CBR (%) acompañado de la humedad de ensayo, el grado de compactación, condición de remojo (si hubo) y el método utilizado.

#### 2.3.4.6 Ensayo Proctor

El ensayo Proctor permite determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca máxima que pueda alcanzar un suelo bajo una energía de compactación estandarizada. Esta información es fundamental porque permite identificar la humedad óptima (OMC) y la densidad seca máxima (MDD), parámetros necesarios para definir las condiciones de compactación de laboratorio y campo, así como para establecer especificaciones de control de calidad en proyectos de infraestructura (AASHTO, 2015).

En el contexto vial, los valores de OMC y MDD se utilizan para establecer el porcentaje de compactación requerido en obra y asegurar la capacidad portante y durabilidad de capas como la subrasante o bases granulares. Además, organismos internacionales recomiendan su uso para verificar desempeño estructural y asegurar la vida útil del pavimento, especialmente en proyectos que requieren control riguroso de compactación (Federal Highway Administration [FHWA], 2024).

### Procedimiento

1. Secar la muestra si es necesario, desmenuzarla sin triturar partículas y tamizar según el límite aplicable. Preparar suficiente material para varias determinaciones.
2. Luego dividir la muestra en varias porciones y ajustar cada una a diferentes contenidos de humedad, de forma que se abarque el rango donde se espera encontrar la humedad óptima.
3. Se compacta cada porción en el molde Proctor usando el método estándar indicado en (AASHTO, 2015): 3 capas, 25 golpes por capa, con una masa de 2.5 kg y caída de 305 mm. Se registra el peso del molde con el suelo compactado.
4. Con el peso del suelo compactado y el volumen del molde, se calcula la densidad húmeda.
5. Luego tomar una porción representativa del material compactado, secarlo en horno a  $110 \pm 5$  °C y calcular el contenido de humedad.

- Masa seca equivalente

$$M_d = \frac{M_h}{1 + w} \quad (2.17)$$

- Densidad seca

$$\rho_d = \frac{M_d}{V} = \frac{M_h}{V(1 + w)} \quad (2.18)$$

Donde:

- $M_h$  = masa húmeda
  - $M_d$  = masa seca
  - $w$  = contenido de humedad (decimal)
  - $V$  = volumen del molde
  - $\rho_d$  = densidad seca
6. Con las densidades secas calculadas para cada humedad, se grafica densidad seca ( $\rho_d$ ) vs contenido de humedad ( $w$ ). El punto máximo de la curva corresponde a la densidad seca máxima (MDD) y el valor de humedad asociado corresponde a la humedad óptima (OMC).
  7. Se registra MDD y OMC. Estos valores se emplean como referencia para especificar porcentajes de compactación de campo y verificar la calidad de ejecución en obras viales.

### 2.3.5 Levantamiento Topográfico

En la ingeniería moderna, la adquisición de datos geospaciales se apoya en diversas metodologías geométricas, que van desde el levantamiento convencional con Estación Total y GNSS (RTK), hasta el uso de fotografía digital y sensores remotos. Esta última vertiente permite la generación de Modelos Digitales del Terreno (MDT) a partir de imágenes satelitales, optimizando significativamente los tiempos y costos en las fases de estudio preliminar.

Para el presente proyecto, se empleó la plataforma Google Earth como fuente primaria para la extracción de la nube de puntos altimétricos, los cuales fueron procesados posteriormente mediante Sistemas de Información Geográfica (QGIS). Si bien esta metodología presenta limitaciones inherentes, como la interferencia de la cobertura vegetal en la precisión de la cota del terreno natural, su aplicación se justifica en este caso de estudio debido a las características topográficas del sector. Dado que la zona presenta una planicie predominante, el margen de error se reduce, permitiendo la generación de una topografía base con curvas de nivel a equidistancia de 1cm.

### Figura 8

*Mapa de curvas de nivel donde se asienta la vía*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

## 2.4 Análisis de datos

### 2.4.1 Resultado de TPDA – Conteo de tráfico

A continuación, la Tabla 2, resume el aforo vehicular de tres jornadas, registrando un promedio diario de 155 vehículos con predominio de motocicletas y camiones 2D, acorde a la dinámica rural del sector.

**Tabla 2**

*Resultado de aforo vehicular*

<b>Resultado del conteo de tráfico</b>													
Proyecto	Diseño vial del tramo pedro montero-buena fe estabilizando materiales granulares con emulsión asfáltica.											Ubicación	Pedro J. Montero
Día	Jueves	Fecha	13-nov-25									Dirección	Pedro J. Montero - Buena Fe
Hora	Livianos				Camiones								Suma
	Motos	Autos	Camionetas	Buses	2D	3A	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	
7h00 - 8h00	17	1	3	0	3	8	0	2	0	SS	0	0	34
8h00 - 9h00	14	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	19
9h00 - 10h00	14	1	2	0	2	4	0	1	0	0	0	0	24
10h00 - 11h00	10	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	13
11h00 - 12h00	10	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	15
12h00 - 13h00	13	1	4	0	3	6	0	1	0	0	0	0	28
13h00 - 14h00	16	2	3	0	2	2	0	1	0	0	0	0	26
Total													159
Día	Viernes	Fecha	14-nov-25									Dirección	Pedro J. Montero - Buena Fe
Hora	Livianos				Camiones								Suma
	Motos	Autos	Camionetas	Buses	2D	3A	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	
7h00 - 8h00	16	0	2	0	4	6	0	3	0	0	0	0	31
8h00 - 9h00	12	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	17

<b>9h00 - 10h00</b>	14	0	0	0	1	5	0	1	0	0	0	0	21	
<b>10h00 - 11h00</b>	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	
<b>11h00 - 12h00</b>	11	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	16	
<b>12h00 - 13h00</b>	14	2	3	0	2	4	0	2	0	0	0	0	27	
<b>13h00 - 14h00</b>	17	2	4	0	1	3	0	1	0	0	0	0	28	
<b>Total</b>													152	
<b>Día</b>	Lunes	<b>Fecha</b>	17-nov-25										<b>Dirección</b>	Pedro J. Montero - Buena Fe
<b>Hora</b>	<b>Livianos</b>				<b>Camiones</b>									<b>Suma</b>
	<b>Motos</b>	<b>Autos</b>	<b>Camionetas</b>	<b>Buses</b>	<b>2D</b>	<b>3A</b>	<b>2S1</b>	<b>2S2</b>	<b>2S3</b>	<b>3S1</b>	<b>3S2</b>	<b>3S3</b>		
<b>7h00 - 8h00</b>	18	2	3	0	5	7	0	2	0	0	0	0	37	
<b>8h00 - 9h00</b>	10	1	1	0	3	4	0	2	0	0	0	0	21	
<b>9h00 - 10h00</b>	11	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	18	
<b>10h00 - 11h00</b>	7	1	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	13	
<b>11h00 - 12h00</b>	9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10	
<b>12h00 - 13h00</b>	12	4	1	0	1	5	0	1	0	0	0	0	24	
<b>13h00 - 14h00</b>	16	3	2	0	3	6	0	1	0	0	0	0	31	
<b>Total</b>													154	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

En la Tabla 3 se presenta el resumen de los conteos de tráfico ejecutados en días laborables representativos.

**Tabla 3***Consolidados diarios del conteo de tráfico vehicular clasificado*

<b>Resumen de conteo de tráfico</b>														
<b>Fecha</b>	<b>Día</b>	<b>Livianos</b>			<b>Camiones</b>									<b>Total</b>
		<b>Motos</b>	<b>Autos</b>	<b>Camionetas</b>	<b>2D</b>	<b>3A</b>	<b>2S1</b>	<b>2S2</b>	<b>2S3</b>	<b>3S1</b>	<b>3S2</b>	<b>3S3</b>		
13-nov-25	Jueves	94	6	15	13	26	0	5	0	0	0	0	159	
14-nov-25	Viernes	95	6	11	12	21	0	7	0	0	0	0	152	
17-nov-25	Lunes	83	11	9	17	28	0	6	0	0	0	0	154	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).**2.4.2 Resultado de Ensayo Contenido de humedad**

La determinación del contenido de agua natural se ejecutó conforme a la normativa, fundamental para establecer las condiciones in situ del material antes de su manipulación. Como se detalla en la Tabla 4, el suelo presenta una humedad natural promedio del 3.21%. Este valor indica que el material se encuentra en un estado de baja saturación en su depósito original, lo cual es característico de suelos granulares con buen drenaje natural. Técnicamente, este bajo contenido de humedad, facilita las labores preliminares de transporte y acopio, aunque requerirá la adición controlada de agua durante la fase de mezcla para alcanzar la humedad óptima de compactación.

**Tabla 4***Resultados del ensayo de contenido de humedad natural según norma ASTM D2216*

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)</b>	
<b>M. Muestra Húmeda + Recipiente:</b>	5026
<b>M. Muestra Seca+ Recipiente:</b>	4884
<b>M. Recipiente</b>	454.1
<b>Total Material</b>	4429.9
<b>Fondo:</b>	461.4
<b>Humedad Natural</b>	3.21%

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

### 2.4.3 Resultado de Ensayo Granulometría

El análisis de distribución del tamaño de partículas (ver Tabla 5 y Figura 9) permite clasificar textualmente al suelo y prever su comportamiento mecánico. La curva granulométrica revela una estructura bien graduada, donde el 51.23% del material pasa el tamiz No.4, indicando una predominancia de la fracción arena-grava.

Un parámetro crítico para la estabilización es el contenido de finos (material pasante del tamiz No. 200), el cual se sitúa en un 10.43%. Este porcentaje es ideal para proyectos de mejoramiento vial.

**Tabla 5**

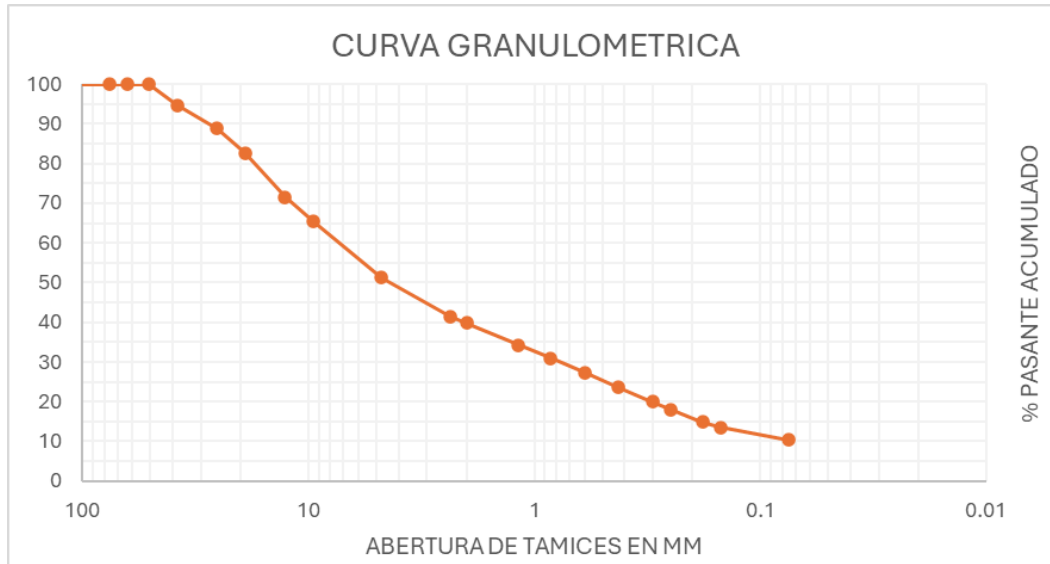
*Análisis granulométrico por tamizado de la muestra de suelo (ASTM D422)*

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO (Gramos)</b>	<b>RET (%)</b>	<b>PASANTE (%)</b>
<b>4"</b>	-	-	100
<b>3"</b>	-	0	100
<b>2 1/2"</b>	-	0	100
<b>2"</b>	-	0	100
<b>1 1/2"</b>	233.2	5.26	94.74
<b>1"</b>	258.11	5.83	88.91
<b>3/4"</b>	279.27	6.3	82.61
<b>1/2"</b>	490.17	11.07	71.54
<b>3/8"</b>	271.63	6.13	65.41
<b>No. 4</b>	628	14.18	51.23
<b>No. 8</b>	429.72	9.7	41.53
<b>No. 10</b>	76.89	1.74	39.8
<b>No. 16</b>	244.74	5.52	34.27
<b>No. 20</b>	149.48	3.37	30.9
<b>No. 30</b>	158.3	3.57	27.32
<b>No. 40</b>	163.21	3.68	23.64
<b>No. 50</b>	163.14	3.68	19.96
<b>No. 60</b>	84.39	1.91	18.05
<b>No. 80</b>	140.01	3.16	14.89
<b>No. 100</b>	57.81	1.3	13.59
<b>No. 200</b>	139.99	3.16	10.43
<b>Fondo</b>	461.84	10.43	-

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

**Figura 9**

*Curva de distribución granulométrica del material de suelo natural*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

#### 2.4.4 Resultado de Ensayo Límites de Atterberg

Para evaluar la consistencia de la fracción fina del suelo y su sensibilidad ante cambios de humedad, se determinaron los Límites de Atterberg según la norma. Los resultados resumidos en la Tabla 6 muestran un Límite Líquido (LL) promedio del 20.6% y un Límite Plástico (LP) del 17.2%, resultando en un Índice de Plasticidad (IP) de aproximadamente 3.4%.

Desde el punto de vista ingenieril, un IP tan bajo clasifica al material como de baja plasticidad (Ligeramente Plástico). Esto constituye una ventaja técnica significativa, ya que implica que la base del pavimento no sufrirá cambios volumétricos drásticos (hinchamiento/contracción) ante la presencia de agua, garantizando la estabilidad dimensional de la capa de rodadura.

**Tabla 6**

*Determinación de los Límites de Atterberg (Límite Líquido y Plástico) según norma ASTM*

*D4318*

TIPO DE DATO PARÁMETRO	LL: Límite Líquido			LP: Límite Plástico		
	RECIPIENTE #1	RECIPIENTE #2	RECIPIENTE #3	RECIPIENTE #4	RECIPIENTE #5	RECIPIENTE #6
RECIPIENTE #	309	104	A-50	211	BB	93
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	15.56	15.92	16.14	9.82	9.87	9.19
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	13.26	13.64	13.9	8.79	8.81	8.19
PESO DE AGUA (P3=P1-P2)	2.3	2.28	2.24	1.03	1.06	1
PESO DE RECIPIENTE (P4)	2.6	2.59	2.53	2.79	2.66	2.33
PESO DE MUESTRA SECA (P5=P2- P4)	10.66	11.05	11.37	6	6.15	5.86
% DE HUMEDAD (W=P3*100/P5)	21.58	20.63	19.7	17.17	17.24	17.06
# DE GOLPES	15	22	30	-	-	-

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

A partir de los datos granulométricos y de plasticidad reportados por el laboratorio se procedió a la categorización del material según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Como se resume en la Tabla 7, el suelo corresponde a la clasificación GW-GM (Grava bien graduada con limo).

Esta clasificación es favorable para el diseño del pavimento: el prefijo ‘GW’ confirma que la estructura granular es densa y capaz de soportar cargas mientras que el sufijo ‘GM’ indica la presencia de una matriz limosa de baja plasticidad ( $IP < 4$ ), la cual aporta la cohesión necesaria para la estabilización sin introducir riesgos de expansión volumétrica.

**Tabla 7**

*Clasificación del suelo según el Sistema Unificado (USCS) basada en los parámetros de plasticidad*

<b>LÍMITE LÍQUIDO [%]</b>	20	<b>Clasificación de acuerdo con la Carta de Plasticidad de Casa Grande</b>
<b>LÍMITE PLÁSTICO [%]</b>	17	
<b>ÍNDICE PLÁSTICO [%]</b>	3	
<b>CLASIFICACIÓN</b>		
<b>CLASIFICACIÓN USCS</b>		<b>GW-GM</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

De manera complementaria, los parámetros de forma presentados en la Tabla 8 permiten validar matemáticamente la calidad de la graduación del suelo.

Los resultados indican un Coeficiente de Uniformidad (Cu) de 107.15 y un Coeficiente de Curvatura (Cc) de 1.21. Al contrastar estos valores con la normativa técnica (que exige  $Cu > 4$  y Cc entre 1 y 3 para gravas bien graduadas), se confirma que el material cuenta con una excelente distribución de tamaños de partículas, lo que garantizará una alta compacidad y estabilidad mecánica una vez conformado en obra.

**Tabla 8**

*Resumen de parámetros de forma (Cu, Cc) y consistencia para la validación del material granular*

<b>LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D4318)</b>	
<b>Limite Liquido [%]:</b>	20
<b>Limite Plástico [%]:</b>	17
<b>Índice Plástico [%]:</b>	3
<b>Cu:</b>	107.15
<b>Cc:</b>	1.21

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

### 2.4.5 Resultado de Ensayo CBR

Para determinar la capacidad de soporte del suelo bajo condiciones de humedad crítica, se procedió con el ensayo de Valor de Soporte California (CBR) según la normativa.

En primera instancia, la Tabla 9 detalla los parámetros de moldeo de los especímenes sometidos a tres niveles de energía de compactación (56, 25 y 12 golpes). Se observa que el espécimen de mayor energía alcanzó una densidad seca de 2149.4 kg/m<sup>3</sup>, estableciendo el punto de referencia para la máxima compacidad obtenible.

**Tabla 9**

*Registro de parámetros de compactación y humedad para el ensayo de Valor de Soporte California (CBR) según norma ASTM D1883*

# DE GOLPES	15	22	30	
# Recipientes	12	6	8	
Masa de s húmedo + recip. B (g)	200.5	201.07	205.7	
Masa de s seco + recip C (g)	190.6	191.3	194.9	
Masa del recipiente. A (g)	30.49	30.46	30.35	HUMEDAD
Masa de agua D=B-C (g)	9.9	9.8	10.8	
Masa de suelo seco E= C-A (g)	160.1	160.8	164.6	
Humedad F=D/E*100(%)	6.2	6.1	6.6	
#Recipiente	12	6	8	
Masa compactada + molde B (Kg)	13.753	13.501	13.183	
Masa del molde B (Kg)	8.741	8.713	8.62	
Peso del suelo seco (Kg)	4720.1	4513.8	4282	
Volumen del recipiente V(m <sup>3</sup> )	0.002196	0.002196	0.002196	DENSIDAD
C = (F+100)*0.01	6.2	6.1	6.6	
Densidad húmeda (B-A)/V (T/m <sup>3</sup> )	2282.3	21080.3	2077.9	
Densidad seca (T/m <sup>3</sup> )	2149.4	2055.5	1949.9	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

Tras el periodo de inmersión normativa de 96 horas, se cuantificó la interacción del suelo con el agua. La Tabla 10 presenta los porcentajes de absorción, donde se evidencia una relación inversa a la compactación: el espécimen más denso (56 golpes) presentó la menor absorción (1.26 %), demostrando que una correcta densificación reduce significativamente la permeabilidad del material.

**Tabla 10**

*Determinación del porcentaje de absorción de agua en los especímenes de ensayo CBR tras el periodo de inmersión*

	FINAL		
	56	25	12
<b>Golpes por capa</b>	56	25	12
<b>#Recipiente</b>	2	5	3
<b>Masa húmedo inicial + molde B (Kg)</b>	13.753	13.501	13.183
<b>Masa húmedo final + molde B (Kg)</b>	13.816	13.603	13.335
<b>Masa del molde B (Kg)</b>	8.741	8.713	8.62
<b>Masa húmedo inicial (Kg)</b>	5.012	4.788	4.563
<b>Masa de agua absorbida (gr)</b>	63	102	152
<b>% de agua absorbida</b>	1.26%	2.13%	3.33%

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

Posteriormente, se sometió a los especímenes a la fase de rotura. La Tabla 11 registra los esfuerzos generados a distintas profundidades de penetración del pistón. Estos datos se representan gráficamente en la Figura 10, donde se aprecia la clara diferenciación de rigidez entre las muestras; la curva correspondiente a 56 golpes exhibe una pendiente pronunciada, soportando esfuerzos de hasta 39.3 kg/cm<sup>3</sup> a 0.1 pulgadas de penetración, superando ampliamente a las muestras de menor energía.

**Tabla 11**

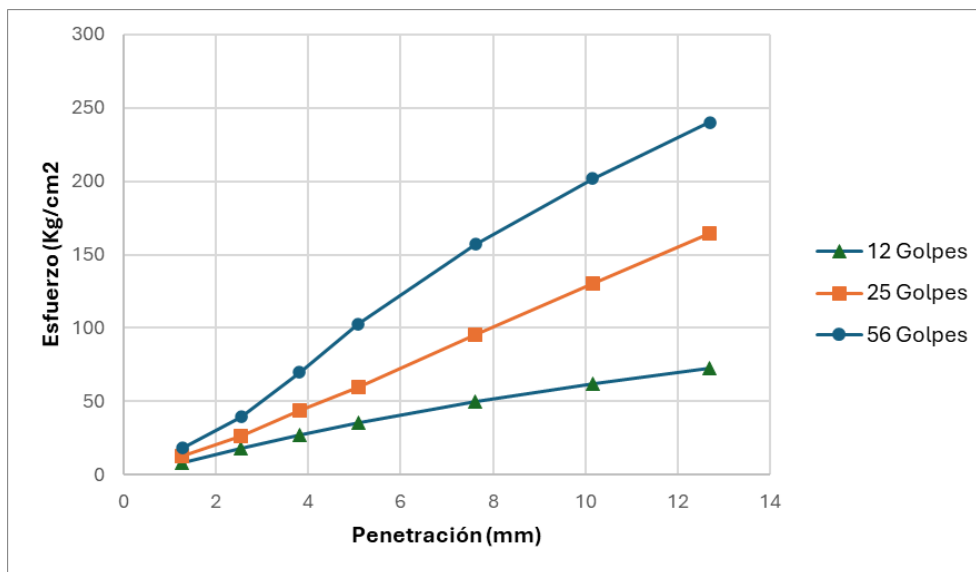
*Relación Carga-Penetración y Esfuerzos resultantes para las distintas energías de compactación del ensayo CBR*

Hincado (mm) (Referencia)	Carga (Kg)			Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )		
	56	25	12	56	25	12
1.27	350	250	150	18.1	12.9	7.8
2.54	760	510	340	39.3	26.4	17.6
3.81	1350	840	520	69.8	43.4	26.9
5.08	1990	1150	680	102.8	59.4	35.1
7.62	3041	1850	960	157.1	95.6	49.6
10.16	3910	2525	1200	202	130.5	62
12.7	4650	3180	1410	240.3	164.3	72.8

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

**Figura 10**

*Curvas de Esfuerzo-Penetración para las distintas energías de compactación del ensayo CBR*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

Un aspecto fundamental para la durabilidad del pavimento es la estabilidad volumétrica. La Tabla 12 resume los valores de hinchamiento (expansión vertical) registrados durante la saturación. El valor máximo obtenido fue de apenas 0.58% (en la muestra más suelta), cifra que se encuentra muy por debajo del umbral crítico del 3%, garantizando que el suelo no sufrirá deformaciones destructivas por expansión de arcillas.

**Tabla 12**

*Determinación del porcentaje de hinchamiento (expansión vertical) del suelo durante la fase de saturación del ensayo CBR*

<b>HINCHAMIENTO</b>			
<b>Golpes por capa</b>	56	25	12
<b>Lectura inicial (mm)</b>	0.001	0.001	0.001
<b>Lectura final (mm)</b>	0.08	0.014	0.03
<b>(%)</b>	0.14%	0.26%	0.58%

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

Finalmente, la Tabla 13 consolida los resultados obtenidos, reportando un CBR máximo del 93.59% para la energía de compactación estándar de diseño. Esta correlación entre la densidad seca y la resistencia mecánica se ilustra en la Figura 11, la cual sirve como herramienta gráfica para determinar el CBR de diseño en función del porcentaje de compactación especificado en obra. Un valor de soporte superior al 80% califica al material como excelente para su uso en capas de base o subbase granular.

**Tabla 13**

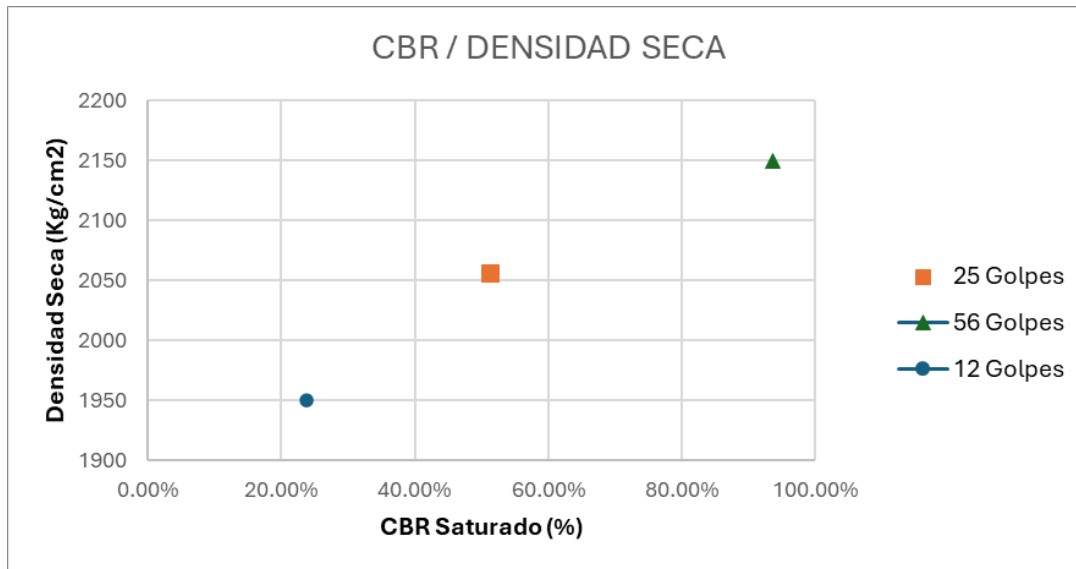
*Relación Densidad - Resistencia (CBR) obtenida para las diferentes energías de compactación*

<b>No. De Golpes</b>	<b>CBR (2.54 mm)</b>	<b>Densidad Seca (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>56</b>	93.59%	2149.4
<b>25</b>	51.33%	2055.5
<b>12</b>	23.72%	1949.9

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

### Figura 11

*Curva de relación Densidad Seca - CBR para la determinación del valor de soporte de diseño*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

#### 2.4.6 Resultado de Ensayo Proctor

Con el objetivo de determinar la relación humedad-densidad y establecer los parámetros de control para la compactación en obra, se ejecutó el ensayo de Proctor Modificado siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D1557 (equivalente a AASHTO T 180). Este método fue seleccionado sobre el estándar debido a que simula de manera más precisa las altas energías de compactación aplicadas por la maquinaria moderna en capas estructurales de pavimentos.

Las condiciones iniciales del ensayo se detallan en la Tabla 14. Se utilizó un molde de 6 pulgadas y un martillo de 4.54 kg con una caída libre de 457 mm, aplicando una energía de densificación de 56 golpes en 5 capas sucesivas. Estas especificaciones garantizan que el material alcance una trabazón mecánica máxima entre partículas.

**Tabla 14**

*Parámetros y condiciones iniciales para el ensayo de Compactación Proctor Modificado (ASTM D1557)*

Sección	Parámetro	Valor
<b>DATOS INICIALES</b>	Pasante	3/4"
	# de capas	5
	Molde	6"
	Volumen V	0.002198 m <sup>3</sup>
	Tipo de martillo	4.54kg/457mm
	Masa B (Molde)	5.976 kg
	Golpes/Capa	56

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

El desarrollo experimental consistió en la compactación de cuatro puntos con incrementos controlados de humedad. La Tabla 15 presenta el cálculo del contenido de humedad higroscópica y añadida para cada punto, mientras que la Tabla 16 registra las masas unitarias obtenidas. Posteriormente, mediante la relación de fases del suelo, se transformaron estos valores a densidades secas, tal como se desglosa en la Tabla 17, permitiendo aislar el efecto del agua y evaluar puramente la densificación de los sólidos.

**Tabla 15**

*Determinación del contenido de humedad para los diferentes puntos de la curva de compactación*

<b>HUMEDAD</b>						
<b>Id del recipiente</b>	Masa del recipiente A (g)	Masa de suelo húmeda + recipiente B (g)	Masa de suelo seco + recipiente C (g)	Masa de evaporada D =B-C (g)	Masa de suelo seco (g)	Humedad F=D/E*1000 (%)
<b>A-47</b>	55.86	299.1	290.88	8.22	235.02	3.5
<b>A-25</b>	49.71	283.68	269.07	14.61	219.36	6.66
<b>C-49</b>	47.59	261.99	245.15	16.84	197.56	8.52
<b>0</b>	55.94	344.72	317.85	26.87	261.91	10.26

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

**Tabla 16**

*Registro de masas y cálculo de la densidad húmeda de los especímenes compactados*

<b>Densidad humedad</b>		
<b># Punto</b>	Masa compactada + molde A (Kg)	Densidad húmeda (A-B)/V (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>Punto 1</b>	10.563	2086.9
<b>Punto 2</b>	10.985	2278.89
<b>Punto 3</b>	10.929	2253.41
<b>Punto 4</b>	10.851	2217.93

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

**Tabla 17**

*Determinación de la densidad seca en función del contenido de humedad por punto de ensayo*

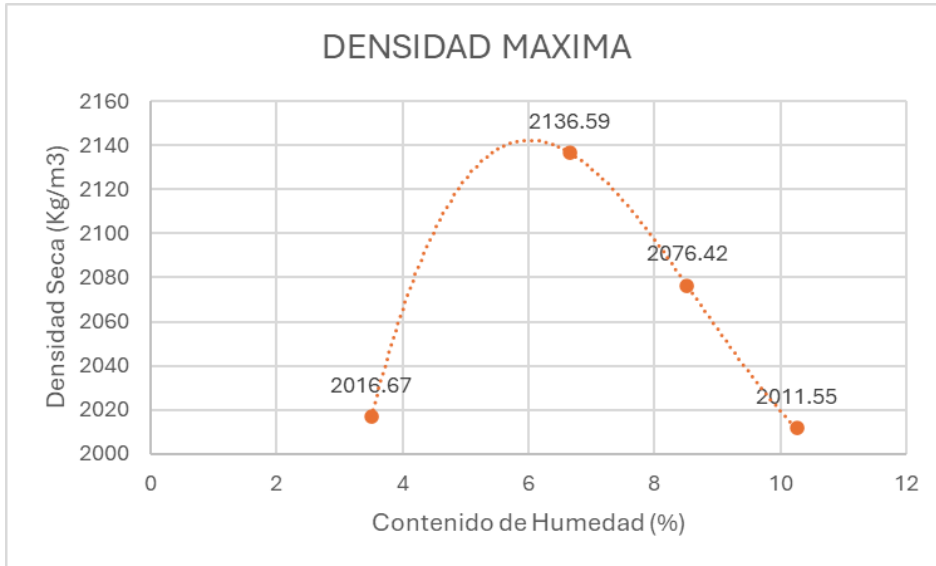
<b>Densidad seca</b>		
<b>#Punto</b>	$A=(F+100)*0.01$	Densidad seca (Kg/cm <sup>3</sup> )
<b>Punto 1</b>	1.03	2016.67
<b>Punto 2</b>	1.07	2136.59
<b>Punto 3</b>	1.09	2076.42
<b>Punto 4</b>	1.1	2011.55

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

La integración de estos datos da lugar a la Curva de Compactación presentada en la Figura 12. En esta gráfica parabólica se aprecia claramente el comportamiento del suelo: inicialmente, la adición de agua actúa como lubricante facilitando el reacomodo de las partículas (rama ascendente), hasta alcanzar un punto de inflexión donde el exceso de agua comienza a desplazar a los sólidos, reduciendo la densidad (rama descendente).

**Figura 12**

*Curva de Compactación (Relación Humedad - Densidad) para la determinación de la Densidad Seca Máxima*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

Como conclusión del ensayo, la Tabla 18 resume las coordenadas del vértice de la parábola, estableciendo los parámetros de diseño geotécnico: una Densidad Seca Máxima de 2141 kg/m<sup>3</sup> y un Contenido de Humedad Óptimo del 6.0%.

**Tabla 18**

*Resumen de resultados: Densidad Seca Máxima y Humedad Óptima del material*

<b>Humedad Óptima</b>	<b>6</b>	<b>%</b>
<b>Densidad Seca Máxima</b>	<b>2141</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Davimen (2025).

## 2.5 Análisis de alternativas

Para determinar la estrategia de intervención más idónea en la vía Pedro J. Montero – Buena Fe, se realizó un análisis comparativo multicriterio. Este proceso evaluó aspectos técnicos, económicos y ambientales, contrastando la viabilidad de tres metodologías constructivas aplicables a vías de bajo volumen de tránsito:

- **Alternativa 1: Estabilización de materiales granulares con emulsión asfáltica.**
- **Alternativa 2: Diseño convencional de pavimento flexible (Método AASHTO 93).**
- **Alternativa 3: Diseño de pavimentos multicapa con materiales de baja especificación (Road Note TRL).**

### **Alternativa 1: Estabilización de materiales granulares con emulsión asfáltica.**

Esta alternativa se fundamenta en la técnica de reciclaje de pavimentos, priorizando el reúso del material in situ mediante la incorporación de emulsión asfáltica como agente ligante. El objetivo es conformar una base estabilizada con propiedades mecánicas superiores a las capas granulares convencionales empleadas en vías de tercer orden.

Desde la perspectiva de la gestión de proyectos, la optimización de recursos in situ mitiga la necesidad de transporte y explotación de bancos de préstamo, lo que reduce los tiempos de ejecución y los costos directos. Ambientalmente, esta estrategia se alinea con los principios de economía circular, al disminuir la generación de escombros y reducir drásticamente la huella de carbono asociada a la logística de materiales pétreos.

**Alternativa 2: AASHTO 93 (Convencional).**

Esta alternativa corresponde a la metodología tradicional de diseño de pavimentos flexibles, basada en la conformación de un paquete estructural, (base, subbase y carpeta de rodadura) que cumpla con los coeficientes estructurales requeridos (SN). La implementación de esta metodología implica una alta demanda de materiales pétreos de cantera con especificaciones de calidad rigurosas para garantizar la capacidad portante.

Esto conlleva la explotación intensiva de recursos naturales (trituración y clasificación) y el transporte desde fuentes externas. En consecuencia, se genera un incremento en los costos de producción y una elevada huella de carbono derivada de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la extracción, procesamiento y acarreo de los áridos.

**Alternativa 3: Método Road Note TRL (Multicapas).**

Esta alternativa se sustenta en una metodología de diseño empírico, concebida específicamente para vías en regiones tropicales y subtropicales. Estructuralmente, guarda similitud con el método convencional al emplear un sistema multicapa para la disipación de cargas; sin embargo, se distingue por su flexibilidad en las especificaciones de materiales, permitiendo el uso de agregados con requerimientos de calidad (CBR) inferiores a los exigidos por las normas AASHTO estándar.

El principio rector de este método establece una correlación inversa entre la capacidad portante del material y el espesor del pavimento, ante la presencia de materiales granulares con bajos valores de CBR, el diseño exige un incremento en el número o espesor de las capas estructurales para garantizar la adecuada distribución de los esfuerzos inducidos por el tráfico. En el contexto de vías terciarias, esta metodología resulta técnicamente viable, dado que permite el aprovechamiento de fuentes de materiales locales que, bajo estándares tradicionales, serían descartados.

No obstante, esta ventaja aparente conlleva implicaciones constructivas y logísticas. La necesidad de compensar la baja resistencia del material mediante el aumento de espesores resulta en una estructura de pavimento más robusta, lo que incrementa significativamente los volúmenes de movimiento de tierras y excavación. Asimismo, la configuración multicapa demanda procesos de clasificación y segregación de materiales en bancos de préstamo, lo que añade complejidad operativa y extiende los cronogramas de ejecución.

Desde la perspectiva ambiental, si bien esta alternativa reduce la dependencia de agregados triturados de alta especificación en comparación con el método convencional, aún mantiene una huella de carbono considerable debido a la maquinaria pesada requerida para la explotación, transporte y conformación de los grandes volúmenes de material necesarios para alcanzar la capacidad estructural de diseño.

**Tabla 19**

*Matriz de valoración cualitativa de alternativas*

<b>Descripción</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
Costo	10	7	8
Obtención de los materiales	10	7	8
Tiempo de vida útil	8	10	8
Tiempo de ejecución	10	6	9
Trabajabilidad	10	7	8

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025). Valoración en escala de 1 a 10.

**Tabla 20***Ponderación de criterios de evaluación*

<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje</b>
Costo	25%
Obtención de los materiales y maquinaria	25%
Tiempo de vida útil	15%
Tiempo de ejecución	10%
Trabajabilidad	25%

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025). Asignación de pesos según la relevancia para el proyecto.

**Tabla 21***Matriz de decisión ponderada (Cuantificación final)*

<b>Descripción</b>	<b>A-1</b>	<b>A-2</b>	<b>A-3</b>
Costo	2.50	1.75	2.00
Obtención de materiales y maquinaria	2.50	1.75	2.00
Tiempo de vida útil	1.20	1.50	1.20
Tiempo de ejecución	1.00	0.60	0.90
Trabajabilidad	2.50	1.75	2.00
<b>Total</b>	<b>9.70</b>	<b>7.35</b>	<b>8.10</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025). La Alternativa 1 presenta la calificación técnica y económica más favorable.

## **Capítulo 3**

### 3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

#### 3.1 Análisis y estudios preliminares

##### 3.1.1 Estudio de Tráfico y Determinación de Cargas de Diseño (ESALs)

Para el diseño de la estructura del pavimento, es fundamental determinar la carga vehicular que soportará la vía durante su vida útil. Se procedió a realizar la cuantificación, clasificación y proyección del tráfico existente, siguiendo la metodología AASHTO, la cual requiere la conversación del tráfico mixto a ejes equivalente simples de 8.2 toneladas (ESALs).

Se llevó a cabo un aforo vehicular volumétrico en la intersección de estudio durante tres jornadas representativas de 7 horas, clasificando los vehículos en motos, livianos y pesados (2D, 3A, 2S2). Los resultados obtenidos en campo reflejan la variabilidad diaria del flujo vehicular, tal como se detalla en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Resumen del aforo vehicular volumétrico realizado durante tres jornadas consecutivas*

<b>RESUMEN DE CONTEO DE TRAFICO</b>						
<b>DIA</b>	<b>Motos</b>	<b>Livianos</b>	<b>Pesados</b>			
			<b>2D</b>	<b>3A</b>	<b>2S2</b>	
1	94	21	13	26	5	
2	95	17	12	21	7	
3	83	20	17	28	6	
<b>Totales</b>	<b>272</b>	<b>58</b>	<b>42</b>	<b>75</b>	<b>18</b>	
Promedio	91	19	14	25	6	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

Cálculo de Trafico Promedio Diario (Ejemplo para Motos):

$$TPD = \frac{N^{\circ} \text{ Total de Vehículos}}{N^{\circ} \text{ días de conteo}} \quad (3.1)$$

$$TPD = \frac{272}{3} = 91 \left[ \frac{\text{vehículos}}{\text{día}} \right]$$

Posteriormente, se determinó el promedio aritmético de los volúmenes diarios para cada tipología vehicular. Es importante mencionar que, para efectos de capacidad, se consideró que el 50% de las motocicletas actúan como vehículos livianos, integrándose a dicha categoría. Los valores base de tráfico resultantes, sin corrección estacional, se presentan en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Promedio diario de tráfico vehicular clasificado por tipología (sin ajuste estacional)*

<b>RESUMEN (corrección motos)</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Livianos</b>	<b>Pesados</b>		
		<b>2D</b>	<b>3A</b>	<b>2S2</b>
<b>Promedio</b>	65	14	25	6

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

Debido a que el aforo representa una muestra temporal limitada, es necesario aplicar factores de corrección estacional para obtener un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) representativo. Se adoptaron los coeficientes correspondientes al mes de medición (Noviembre), obtenidos del Proyecto de Inventario de la Red Vial Estatal realizado por el Consorcio Geoplades para el MTOP (2012), tal como se detalla a continuación:

**Tabla 24**

*Factores de ajuste estacional para vehículos livianos y pesados (Mes de Noviembre)*

<b>Factores Noviembre</b>	
<b>Livianos</b>	<b>Pesados</b>
1.00082	0.9702

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025) a partir de datos del MTOP – Consorcio Geoplades (2012).

Aplicando los factores de la Tabla 24 a los promedios obtenidos, se calculó el TPDA final y la composición porcentual del tráfico mixto, donde se observa la predominancia de vehículos livianos, seguido de la carga pesada que incidirá directamente en el diseño estructural.

**Tabla 25**

*Determinación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) con ajuste mensual y composición porcentual*

	Ajuste Mensual				Total
	Livianos	Pesados			
		2D	3A	2S2	
<b>TPDA</b>	65	14	24	6	109
%	59.63	12.84	22.02	5.50	100.00

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

Ajuste mensual con factores estacionales:

$$TPDA = \text{vehículos} * \text{factor estacional} \quad (3.2)$$

$$TPDA = 65 * 1.00082 = 65.0533 \cong 65 \left[ \frac{\text{vehículos}}{\text{día}} \right]$$

Porcentaje de TPDA:

$$\% = \frac{\text{vehículos}}{\text{total de vehículos}} * 100 \quad (3.3)$$

$$\% = \frac{65}{109} * 100 = 59.63\%$$

Para estimar la demanda futura durante la vida útil del proyecto, es indispensable aplicar tasas de crecimiento anual que reflejen la tendencia del parque automotor en la zona de influencia. Se adoptaron las tasas oficiales establecidas por el Departamento de Factibilidad del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), seleccionando específicamente los valores correspondientes a la provincia del Guayas.

Estas tasas, detalladas en la Tabla 26, se aplican de manera diferenciada para vehículos livianos, buses y camiones a lo largo de los periodos quinquenales comprendidos entre el año 2015 y 2035, permitiendo una proyección escalonada de la carga vehicular.

**Tabla 26**

*Tasas de crecimiento vehicular anual - Provincia del Guayas (Periodo 2015-2035)*

<b>Tasa de Crecimiento Anual de Tráfico Vehicular</b>				
<b>Provincia</b>	<b>Periodo</b>	<b>Tasas de Crecimiento (%)</b>		
		<b>Livianos</b>	<b>Bus</b>	<b>Camión</b>
Guayas	2015-2020	5.56	3.00	3.33
	2020-2025	4.95	2.67	2.96
	2025-2030	4.45	2.40	2.67
	2030-2035	4.04	2.18	2.43

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025) a partir de datos del (MTO, 2015).

Para normalizar la heterogeneidad del tráfico mixto, se calcularon los Factores de Equivalencia de Carga (LEF) y el “Factor Camión” para cada tipología. Estos coeficientes cuantifican el daño relativo generado por cada vehículo según las cargas máximas permitidas.

**Tabla 27**

*Cálculo de Factores de Equivalencia (LEF) y Factor Camión según configuración de ejes*

<b>Vehículo</b>	<b>TPDA actual</b>	<b>Tipo de eje</b>	<b>Carga Permissible (Ton)</b>	<b>Factor Equivalencia</b>	<b>Factor Camión</b>
<b>Liviano</b>	65	Eje Simple/ Rueda simple	0.5	3.2939E-05	0.0002488
		Eje Simple/ Rueda simple	0.8	0.00021587	
<b>2D</b>	14	Eje Simple/ Rueda simple	3	0.04268834	0.17760458
		Eje Simple/ Rueda simple	4	0.13491624	
<b>3A</b>	24	Eje Simple/ Rueda simple	7	1.26536675	4.34296689
		Eje Tándem/ Rueda doble	20	3.07760014	
<b>2S2</b>	6	Eje Simple/ Rueda simple	7	1.26536675	7.58125385
		Eje Simple/ Rueda doble	11	3.23828696	
		Eje Tándem/ Rueda doble	20	3.07760014	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025) a partir de la Clasificación vehicular establecida por (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTO], 2013).

El Factor Camión se determina mediante la sumatoria de los Factores de Equivalencia de Carga (LEF) correspondientes a cada uno de los ejes que componen la tipología vehicular. A continuación, se presenta el cálculo demostrativo para el vehículo tipo 2D, utilizando los valores detallados en la Tabla 27.

Cálculo del Factor Camión (Ejemplo para Vehículo 2D):

$$FC = \sum_{i=1}^n LEF_i \quad (3.4)$$

Donde:

$FC$ : Factor Camión (Daño total del vehículo).

$LEF_i$ : Factor de Equivalencia de Carga de cada eje.

$$FC_{2D} = LEF_{EjeDelantero} + LEF_{EjeTrasero} \quad (3.5)$$

$$FC_{2D} = 0.0427 + 0.1349 = 0.1776$$

Previo al cálculo de los ejes equivalentes acumulados, es necesario definir el periodo de diseño, entendido como el tiempo durante el cual la estructura del pavimento prestará servicio antes de requerir una rehabilitación mayor.

Para la selección de este parámetro, se tomaron como referencia los lineamientos de la AASHTO (Guide for Design of Pavement Structures) y la normativa actual vial vigente. Como se aprecia en la Tabla 28 y Tabla 29, para vías de baja intensidad de tránsito o pavimentadas con grava/tratamientos superficiales, el rango recomendado oscila entre 10 y 20 años.

**Tabla 28**

*Periodos de diseño recomendados según el tipo de carretera (AASHTO)*

<b>Tipo de Carretera</b>	<b>Periodo de Diseño (Años)</b>
Urbana de Tránsito elevado.	30-50
Interurbana de tránsito elevado	20-50
Pavimento de baja intensidad de tránsito	15-20
<b>De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava</b>	<b>10-20</b>

*Nota.* Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), basada en metodología (AASHTO, 1993).

**Tabla 29**

*Rango de periodos de diseño según volumen de tránsito*

<b>Tipo de Carretera</b>	<b>Tránsito promedio diario inicial</b>	<b>Periodo de diseño Rango recomendado (Años)</b>
Autopistas y otras carreteras interurbanas principales	>5000	20 - 25
Colectoras interurbanas y vías rurales principales	1000 - 10000	15 - 20
<b>Caminos rurales de tránsito medio</b>	<b>&lt;1000</b>	<b>10-15</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los criterios de (Sánchez Sabogal y Campagnoli Martínez, 2016).

Considerando la clasificación funcional de la vía y las recomendaciones expuestas, se adoptó un periodo de diseño de 10 años (2025-2035). Integrando este parámetro con el TPDA proyectado, las tasas de crecimiento y los factores de equivalencia previamente calculados, se procedió a la determinación de los Ejes Equivalentes Acumulados.

La Tabla 30 resume la proyección año a año y el valor final de diseño (CUMESAL), el cual constituye la carga solicitante crítica para el dimensionamiento de la mezcla estabilizada.

**Tabla 30**

*Cálculo de Factores de Equivalencia de Carga (LEF) y Factor Camión según configuración de ejes*

Tiempo Años	Año	Livianos	2D	3-A	2 S 2	TPDA Proyectado	Tráfico Anual Total Proyectado	ESAL	CUMESAL
-	2025	65	14	24	6	109	39,785	27,772	27,772
1	2026	68	14	25	6	113	41,270	28,513	56,285
2	2027	71	15	25	6	117	42,813	29,274	85,559
3	2028	74	15	26	6	122	44,416	30,056	115,615
4	2029	77	16	27	7	126	46,084	30,859	146,474
5	2030	80	16	27	7	131	47,658	31,609	178,083
6	2031	84	16	28	7	135	49,289	32,377	210,459
7	2032	87	17	29	7	140	50,979	33,164	243,623
8	2033	91	17	29	7	144	52,730	33,969	277,592
9	2034	94	18	30	8	149	54,544	34,795	312,387
10	2035	98	18	31	8	155	56,423	35,641	348,028

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

El número de ejes equivalentes anuales ( $ESAL_i$ ) se obtiene sumando el daño generado por cada tipología vehicular, proyectado a lo largo de los 365 días del año. Para este cálculo se aplican dos factores de corrección geométrica según la normativa AASHTO. En primer lugar, se utiliza un Factor de Distribución Direccional ( $F_d$ ) de 0.50, dado que la vía opera en dos sentidos y se asume una distribución equitativa del tráfico. Adicionalmente, se considera un Factor de Distribución Carril ( $F_c$ ) de 1.00, debido a que la sección transversal del proyecto contempla únicamente un carril por sentido de circulación.

La ecuación empleada y el cálculo demostrativo para el primer año de servicio (2025) se detallan a continuación:

$$ESAL_i = 365 * F_d * F_c * \sum_{j=1}^n (N_j * FC_j) \quad (3.6)$$

Donde:

- 365: Días del año.
- $F_d$ : Factor de distribución direccional (0.50).
- $F_c$ : Factor de distribución de carril (1.00).
- $N_j$ : Número diario de vehículos del tipo  $j$  (Livianos, 2D, 3A, 2S2).
- $FC_j$ : Factor Camión del vehículo tipo  $j$ .

Aplicando los valores del año 2025:

$$ESAL_{2025} = 365 * 0.50 * [(65 * 0.0002) + (14 * 0.1776) + (24 * 4.3430) + (6 * 7.5812)]$$

$$ESAL_{2025} = 182.5 * [0.013 + 2.486 + 104.232 + 45.487]$$

$$ESAL_{2025} = 182.5 * 152.218 = 27.779 \approx 27.772$$

### 3.1.2 Características del Suelo

El material de la subrasante, extraído a lo largo del trazado de la vía, fue clasificado mediante el sistema SUCS como una grava bien graduada con limo y arena (GW-GM). Este material presenta un Índice de Plasticidad (IP) del 3%, un valor bajo que indica una estabilidad natural satisfactoria y reduce la necesidad de emplear estabilizantes químicos activos (como cemento o cal), favoreciendo en su lugar el uso de una estabilización bituminosa.

En cuanto a su comportamiento volumétrico, los valores de hinchamiento presentados en la Tabla 12 (máx. 0.58%) evidencian un bajo potencial de expansión, lo cual contribuye a la durabilidad de la estructura y proyecta menores costos de mantenimiento.

Asimismo, la humedad óptima detallada en la Tabla 18 facilita la trabajabilidad del material y la gestión del recurso hídrico durante la compactación. Finalmente, el bajo porcentaje de finos pasantes del tamiz No. 200, confirma que la granulometría es adecuada para generar la fricción interna necesaria, mejorando la capacidad portante frente a las cargas de diseño y condiciones ambientales.

## **3.2 Diseño definitivo**

### **3.2.1 Análisis de Resultados del Ensayo Marshall**

Para determinar las propiedades mecánicas y el comportamiento de la base estabilizada, se empleó el método Marshall modificado para mezclas en frío. El procedimiento experimental contempló una energía de compactación de 50 golpes por cara, simulando una condición de tráfico medio. Posteriormente, las briquetas fueron sometidas a un periodo de curado controlado de seis días para garantizar la evaporación de los volátiles y la correcta formación de la cohesión bituminosa entre los agregados.

A continuación, se presentan los resultados de estabilidad y flujo tanto en condición seca como tras inmersión, parámetros determinantes para evaluar la susceptibilidad hídrica de la estructura propuesta.

**Tabla 31**

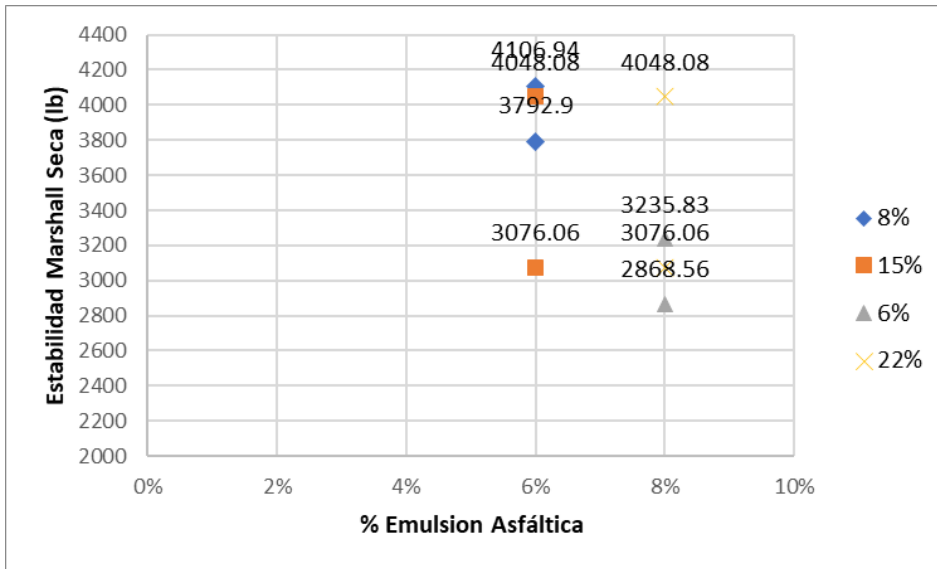
*Resultados de Estabilidad Marshall (Seca y Sumergida) y determinación del porcentaje de Resistencia Retenida*

<b>% de emulsión:</b>	<b># Briqueta</b>	<b>Estabilidad Marshall Seca (lb)</b>	<b>Humedad de rotura (%)</b>	<b>Densidad bulk (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Pérdida de estabilidad/Resistencia retenida</b>
6%	161	4106.94	2.40%	2.18	8%
	162	3792.9	2.00%	2.15	
8%	181	2868.56	2.20%	2.13	6%
	182	3235.83	0.50%	2.14	
	<b># Briqueta</b>	<b>Estabilidad Marshall Húmeda (lb)</b>	<b>Humedad de rotura (%)</b>	<b>Densidad bulk (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Pérdida de estabilidad/Resistencia retenida</b>
6%	163	3999.03	1.00%	2.1	8%
	164	3262.23	1.20%	2.18	
8%	183	2710.95	1.10%	2.05	6%
	184	2706.54	1.40%	2.01	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Emulpac S.A. (2025).

**Figura 13**

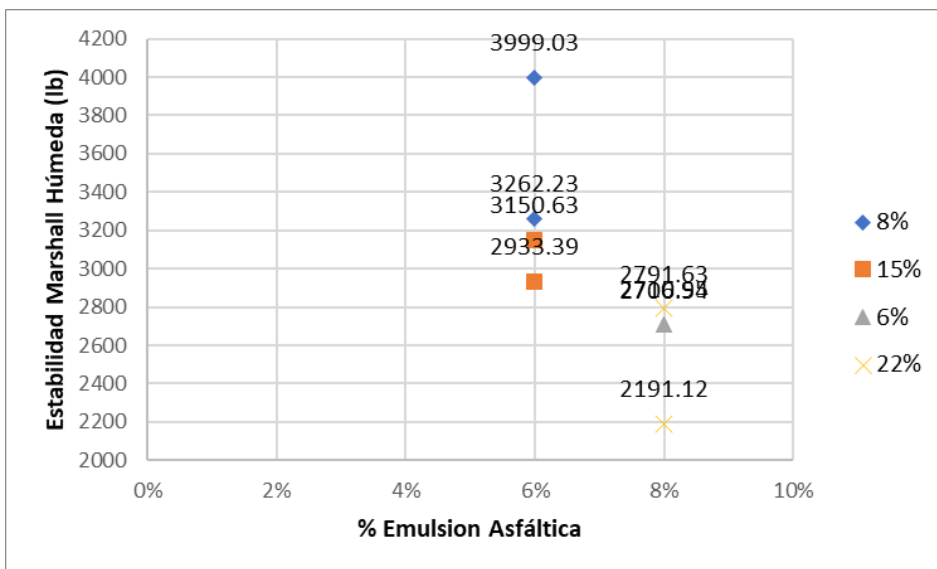
*Variación de la Estabilidad Marshall en condición seca en función del porcentaje de emulsión asfáltica*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Emulpac S.A. (2025).

**Figura 14**

*Comportamiento de la Estabilidad Marshall en condición sumergida (Húmeda) y su sensibilidad ante la variación de emulsión*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Emulpac S.A. (2025).

El análisis de la Figura 13 revela una respuesta mecánica satisfactoria del material granular estabilizado. Se observa que la adición de un 6% de emulsión asfáltica maximiza la capacidad de soporte, alcanzando una estabilidad seca pico de 4106.94 lb, valor que supera holgadamente los requerimientos típicos para bases estabilizadas en proyectos viales.

No obstante, el parámetro crítico que define el diseño final es la durabilidad del pavimento frente a la acción del agua, comportamiento representado en la Figura 14. Al contrastar el desempeño de ambas dosificaciones, se evidencia que la mezcla con 6% de emulsión ofrece la respuesta más equilibrada y confiable. Esta dosificación exhibe una alta cohesión, manteniendo una resistencia retenida del 92% (con una pérdida de estabilidad de apenas el 8%), lo cual denota una impermeabilización efectiva y una fuerte adhesión árido-ligante.

Por el contrario, el comportamiento de la mezcla al 8% mostró inconsistencias significativas entre las series de prueba. Aunque en ciertos muestreos alcanzó densidades altas (hasta 2.31 kg/m<sup>3</sup>), en la verificación de parámetros (Tabla 32) registró una caída drástica en su resistencia tras la inmersión, con pérdidas de estabilidad que alcanzaron el 22%. Técnicamente, este descenso confirma que el exceso de ligante genera una lubricación entre partículas susceptible a la presión de poros, validando así el descarte del 8% y la selección del 6% como la fórmula óptima de trabajo.

**Tabla 32**

*Verificación de parámetros de Estabilidad, Densidad Bulk y Susceptibilidad Hidrica de la mezcla estabilizada*

<b>% de emulsión:</b>	<b># Briqueta</b>	<b>Estabilidad Marshall Seca (lb)</b>	<b>Humedad de rotura (%)</b>	<b>Densidad bulk (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Pérdida de estabilidad/Resistencia retenida</b>
6%	261	3076.06	2.00%	2.24	15%
	262	4048.08	2.20%	2.27	
8%	281	3509.19	2.40%	2.31	22%
	282	3235.83	2.30%	2.23	

	<b># Briqueta</b>	<b>Estabilidad Marshall Húmeda (lb)</b>	<b>Humedad de rotura (%)</b>	<b>Densidad bulk (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Pérdida de estabilidad/Resistencia retenida</b>
6%	263	3150.63	3.00%	2.26	15%
	264	2933.39	3.20%	2.26	
8%	283	2791.63	3.00%	2.26	22%
	284	2191.12	2.80%	2.23	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Emulpac S.A. (2025).

### 3.2.2 Selección de la Fórmula de Trabajo

Con base en el análisis anterior, se establece como objetivo de diseño maximizar las propiedades mecánicas manteniendo la durabilidad de la grava bien graduada. La implementación de la fase bituminosa ha logrado reducir la permeabilidad, aumentar la cohesión y garantizar la estabilidad estructural ante condiciones climáticas adversas.

Por consiguiente, se selecciona la dosificación con 6% de emulsión como la fórmula de trabajo definitiva. Los parámetros técnicos y especificaciones finales que regirán la construcción de la capa estabilizada se detallan en la Tabla 33.

**Tabla 33***Especificaciones técnicas de los componentes para la mezcla estabilizada*

<b>Tipo de Emulsión Asfáltica</b>	<b>Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta CSS-1h</b>
<b>% Óptimo de Humedad</b>	10.00%
<b>Fuente del Filler</b>	N/A

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Laboratorio Emulpac S.A. (2025).

### 3.2.3 Parámetros de Diseño del Método AASHTO 93

Para el dimensionamiento de la estructura del pavimento, se aplicó la metodología empírica AASHTO 93, la cual requiere la definición de variables estadísticas, funcionales y materiales. A continuación se detallan los parámetros adoptados para el proyecto.

#### 3.2.3.1 Nivel de Confiabilidad (R)

Este parámetro introduce un factor de seguridad estadístico que representa la probabilidad de que la estructura del pavimento cumpla su función durante el periodo de diseño sin fallas prematuras. Considerando la clasificación funcional de la vía como un camino local o de bajo volumen, se seleccionó una confiabilidad acorde a los rangos recomendados por la normativa.

**Tabla 34***Niveles de confiabilidad recomendados según clasificación funcional*

<b>Tipo de camino</b>	<b>Confiabilidad en Zona Urbana (%)</b>	<b>Confiabilidad en Zona Rural (%)</b>
Rutas interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025) a partir de (AASHTO, 1993).

### 3.2.3.2 Variabilidad del Sistema ( $S_o$ )

La desviación estándar combinada ( $S_o$ ) cuantifica la incertidumbre asociada a la construcción, variabilidad de materiales y predicción del tráfico. Para pavimentos flexibles, la guía AASHTO recomienda valores entre 0.40 y 0.50. Para este diseño, se adoptó un valor conservador que cubra las variaciones constructivas típicas.

**Tabla 35**

*Valores recomendados de Desviación Estándar ( $S_o$ )*

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: Elaboración propia (2025) a partir de (AASHTO, 1993).

### 3.2.3.3 Índice de Serviciabilidad (PSI)

El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) constituye un parámetro funcional que califica la calidad de la rodadura y el confort percibido por el usuario dentro de una escala estandarizada de 0 a 5. Para la configuración de este diseño, se establecieron los umbrales de desempeño considerando la tipología del pavimento y la jerarquía de la vía. Se adoptó una serviciabilidad final o terminal ( $p_t$ ) de 2.0, cifra aceptada normativamente como el límite mínimo de servicio para vías de bajo volumen de tránsito antes de requerir intervenciones de rehabilitación. En consecuencia, la pérdida de serviciabilidad de diseño (PSI) queda determinada por la diferencia aritmética entre estas dos condiciones límite.

### 3.2.3.4 Coeficientes de Drenaje ( $m_1$ )

La capacidad de la estructura para evacuar el agua infiltrada incide directamente en su resistencia. Se evaluó la calidad del drenaje mediante el tiempo requerido para remover el 50% del agua de saturación, clasificándolo como “Regular” (una semana). Con base en las condiciones climáticas de la zona y el tiempo de exposición a niveles de humedad próximos a la saturación, se determinaron los coeficientes de drenaje para las capas granulares no estabilizadas.

**Tabla 36**

*Clasificación de la calidad de drenaje*

<b>Calidad de drenaje</b>	<b>50% de saturación en:</b>	<b>85% de saturación en:</b>
<b>Excelente</b>	2 horas	2 horas
<b>Bueno</b>	1 día	2 a 5 horas
<b>Regular</b>	1 semana	5 a 10 horas
<b>Pobre</b>	1 mes	Más de 10 horas
<b>Muy pobre</b>	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025) a partir de (AASHTO, 1993).

**Tabla 37**

*Valores recomendados para el coeficiente de drenaje ( $m_1$ )*

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

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025) a partir de (AASHTO, 1993).

### 3.2.4 Caracterización de la Rigidez de los Materiales ( $M_R$ )

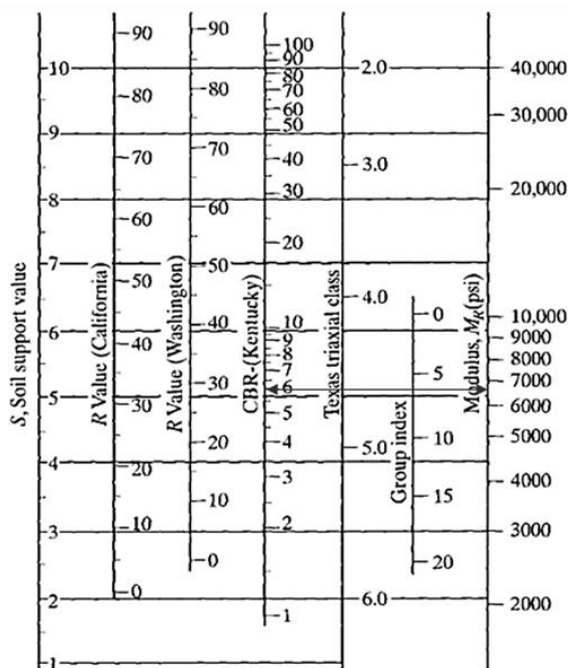
La metodología AASHTO 93 fundamenta el diseño estructural en la rigidez de las capas, cuantificada a través del Módulo Resiliente ( $M_R$ ). Dado que la campaña de exploración geotécnica proporcionó valores de capacidad de soporte (CBR), se procedió a la estimación de los módulos elásticos mediante las correlaciones empíricas validadas por la normativa.

#### 3.2.4.1 Subrasante

Para la subrasante existente a lo largo del trazado, se determinó un valor promedio de CBR del 6%, cifra que categoriza al suelo de fundación con una capacidad portante baja a media. Al proyectar este valor en el nomograma de correlación estandarizado por la AASHTO, como se observa en la Figura 15, se obtuvo un Módulo Resiliente ( $M_R$ ) de 6500 psi. Este parámetro representa la rigidez del suelo natural sobre el cual se apoyará la estructura del pavimento y es determinante para el cálculo del número estructural requerido.

**Figura 15**

*Correlación de CBR a Módulo Resiliente para la Subrasante*



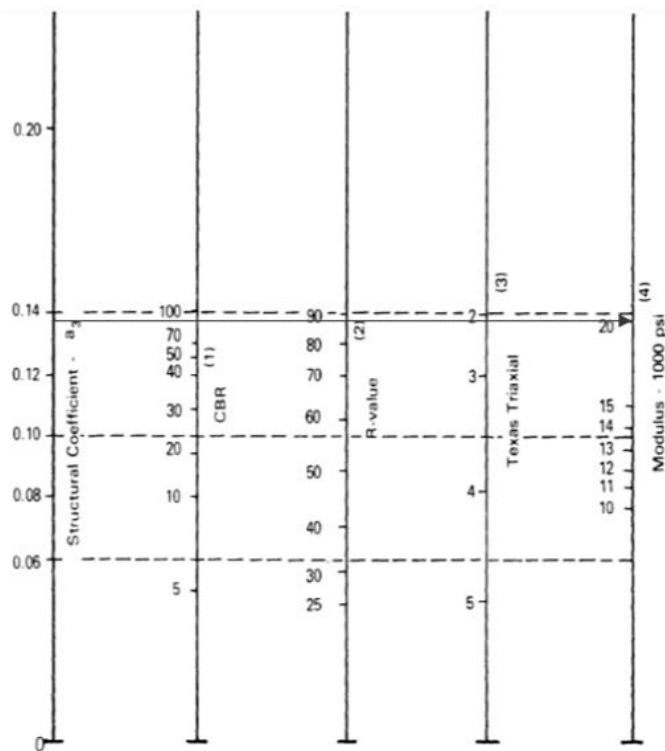
*Nota.* Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, (AASHTO, 1993).

### 3.2.4.2 Material Granular

Respecto al material granular destinado al mejoramiento o conformación de la subbase, los ensayos de laboratorio reportaron un CBR del 88%, lo cual evidencia una alta capacidad de soporte y una adecuada competencia estructural. Aplicando el mismo procedimiento gráfico de correlación, se obtuvo un Módulo Resiliente de 20000 psi, tal como se detalla en la Figura 16. Este valor confirma la idoneidad del material para distribuir las cargas vehiculares y reducir los esfuerzos sobre la subrasante.

**Figura 16**

*Correlación de CBR a Módulo Resiliente para el Material Granular*



*Nota.* Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, (AASHTO, 1993).

### 3.2.5 Cálculo del Número Estructural y Determinación de Espesores

La fase culminante del diseño estructural consistió en la determinación del Número Estructural (SN) requerido, parámetro adimensional que representa la resistencia necesaria del pavimento para soportar las cargas de tráfico proyectadas sobre la subrasante. Para la resolución de la ecuación fundamental de la metodología AASHTO 93, se empleó la herramienta computacional “Ecuación AASHTO 93”, la cual permite sistematizar el cálculo iterativo minimizando la incertidumbre operativa. Previo a la ejecución del cálculo, se consolidaron las variables de diseño y carga vehicular requeridas por la metodología; estos parámetros de entrada se presentan sistematizados en la Tabla 38.

**Tabla 38**

*Resumen de parámetros de entrada para el diseño estructural (AASHTO 93)*

<b>Parámetro de Diseño</b>	<b>Valor</b>
Confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar	0.49
Serviciabilidad inicial	4.2
Serviciabilidad final	2
Ejes equivalentes	$3.5 \times 10^5$
Módulo resiliente capa subrasante	6,500 psi
Módulo resiliente capa material granular	20000 psi

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

El procedimiento de diseño se ejecutó en dos etapas para garantizar la protección de cada capa de la estructura. En primera instancia, se procedió al cálculo del número estructural necesario para proteger el suelo de fundación (subrasante). Al introducir en el software el Módulo Resiliente de la subrasante de 6500 psi junto con los parámetros estadísticos y de tráfico previamente citados, el algoritmo determinó un Número Estructural requerido ( $SN_{req}$ ) de 2.91. Este valor constituye el requerimiento total que debe aportar el paquete estructural conformado por la base estabilizada y el material de mejoramiento para evitar la falla por deformación de la subrasante, tal como se evidencia en la interfaz de cálculo presentada a continuación.

### Figura 17

*Determinación computacional del Número Estructural requerido para la subrasante*

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '85 % Zr=-1.037' and a text box for 'So' with the value '0.49'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2).
- Módulo resiliente de la subrasante:** Text box for 'Mr' with the value '6500 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - E<sub>c</sub> (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - S<sub>c</sub> (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. A text box shows 'W18 = 348028'.
- Número Estructural:** A text box shows 'SN = 2.91'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

*Nota.* Cálculo realizado mediante software libre Ecuación AASHTO 93. Fuente: Elaboración propia (2025).

Posteriormente, se realizó el cálculo para la capa intermedia, correspondiente al material granular existente que actuará como subbase. Dado que este material presenta mejores propiedades mecánicas, con un Módulo Resiliente de 20000 psi, el espesor requerido para protegerlo es menor. Al ingresar este nuevo módulo en la herramienta de cálculo manteniendo constantes las demás variables de diseño, se obtuvo un Número Estructural de 1.93. La diferencia entre el requerimiento total (2.91) y este valor (1.93) representa el aporte estructural mínimo que debe proveer la capa superior de rodadura, es decir, la base estabilizada con emulsión asfáltica.

### Figura 18

*Determinación del Número Estructural requerido sobre la capa granular*

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '85 % Zr=-1.037' and a text box for 'So' with the value '0.49'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '20000 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - E<sub>c</sub> (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - S<sub>c</sub> (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. A text box shows 'W18 = 348028'.
- Número Estructural:** A text box shows 'SN = 1.93'.

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

*Nota.* Cálculo realizado mediante software libre Ecuación AASHTO 93. Fuente: Elaboración propia (2025).

Una vez obtenidos los requerimientos estructurales, se procedió a la definición de los espesores constructivos mediante una hoja de cálculo estructurada que integra la ecuación de aporte estructural ( $SN = a_1 D_1 m_1 + a_2 D_2 m_2$ ). Para la configuración propuesta, se asignó un coeficiente estructural ( $a_1$ ) de 0.35 a la base estabilizada con emulsión y un coeficiente ( $a_2$ ) de 0.13 al material granular de mejoramiento, afectados por sus respectivos coeficientes de drenaje ( $m_i$ ). Tras el proceso de iteración de espesores, se definió una estructura compuesta por 15.0 cm de Base Estabilizada y 30.0 cm de Material Granular Existente. Como se detalla en la tabla de resumen, esta configuración aporta un Número Estructural efectivo de 3.41, valor que supera el requerimiento del diseño de 2.91, validando técnicamente la suficiencia estructural de la propuesta.

**Tabla 39**

*Memoria de cálculo y verificación de espesores del pavimento propuesto*

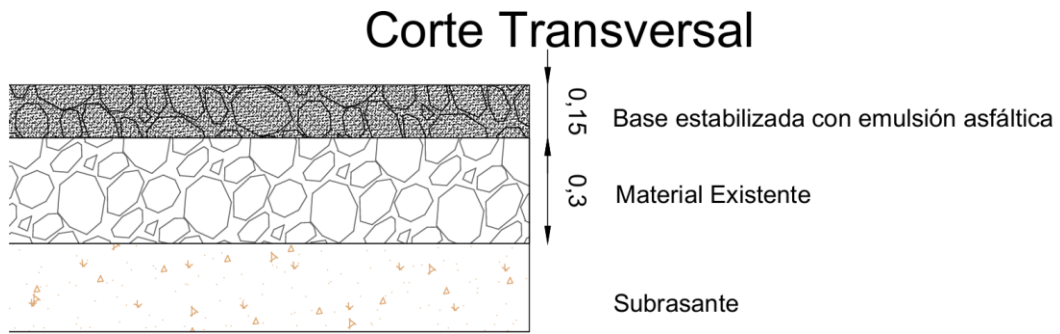
<b>Estructura Propuesta</b>	<b>Factor de Drenaje (m)</b>	<b>Coefficiente Estructural</b>	<b>SN req i</b>	<b>Espesor a Iterar (pulg)</b>	<b>Espesor a Iterar (cm)</b>	<b>Espesor Diseño (pulg)</b>	<b>Espesor Propuesto a Construir (cm)</b>	<b>SN i efectivo</b>
<b>Base Estabilizada Emulsión</b>	1,0	0,35	<b>1,93</b>	5,5	14	6	15,0	2,10
<b>Material Existente</b>	0,85	0,13	<b>0,98</b>	8,9	23	12	30,0	1,31
<b>Número Estructural Requerido SN:</b>			<b>2,91</b>					<b>3,41</b>

*Nota.* Verificación de cumplimiento:  $SN_{prop} > SN_{req}$ . Fuente: Elaboración propia (2025).

Finalmente, la configuración geométrica resultante se esquematiza en la sección transversal del diseño, donde se aprecia la disposición de la capa de rodadura estabilizada sobre el material de mejoramiento, garantizando la correcta transmisión de esfuerzos hacia el terreno natural.

**Figura 19**

*Sección transversal típica de la estructura de pavimento propuesta*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

# Capítulo 4

## **4. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL**

### **4.1 Descripción del proyecto**

El presente estudio de impacto ambiental delimita su alcance a la evaluación de las iniciativas de rehabilitación del tramo vial Pedro J. Montero – Buena Fe, con una longitud de 3.66 km, ubicado geográficamente en el cantón Yaguachi (ver Figura 2). La investigación se alinea estratégicamente con la Agenda 2030, aportando directamente al ODS 9 mediante el diseño de pavimentos resilientes; al ODS 11, al garantizar la conectividad rural; y al ODS 12, al priorizar la gestión eficiente de los recursos naturales.

Desde la perspectiva técnica-ambiental, el proyecto implementa la tecnología de estabilización de materiales granulares con emulsión asfáltica. Esta metodología minimiza la demanda de recursos naturales no renovables al aprovechar las propiedades mecánicas del material in situ, reduciendo drásticamente la necesidad de explotación de bancos de préstamo y el transporte de áridos vírgenes. En consecuencia, la evaluación se centra en correlacionar esta optimización y la mitigación de pasivos ambientales actuales –específicamente la supresión de emisiones de material particulado (polvo)– con beneficios sociales directos, tales como la mejora sustancial en la salud respiratoria de la comunidad y la eficiencia de la logística agrícola.

Se propone mitigar la huella de carbono mediante la eliminación de procesos térmicos (aplicación en frío) y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la logística de materiales. Asimismo, se incorpora como variable crítica la supresión de emisiones de material particulado (polvo), mejorando sustancialmente la calidad del aire y la salud comunitaria.

## 4.2 Línea base ambiental

La caracterización del estado actual del área de influencia directa se fundamenta en el reconocimiento visual en sitio y la información secundaria disponible, revelando condiciones críticas derivadas de las características físicas y operativas del entorno. Ubicada sobre una llanura aluvial antigua de relieve plano, la zona se encuentra bajo un régimen climático tropical mega térmico semi-húmedo, caracterizado por temperaturas medias entre 24.5 °C y 26 °C y una humedad relativa cercana al 80%. Esta configuración climática interactúa directamente con la infraestructura vial, exacerbando su deterioro.

En lo referente al componente atmosférico, se constató visualmente durante los recorridos de campo que la superficie de rodadura actual, constituida por material granular con mantenimiento deficiente, actúa como una fuente constante de material particulado en suspensión, especialmente crítico durante la época seca. Esta condición observada degrada la calidad del aire local, afectando potencialmente la salud respiratoria de los habitantes y depositándose sobre los cultivos adyacentes de caña y banano.

Simultáneamente, los componentes hídrico y edafológico se ven comprometidos por la inexistencia de un sistema de drenaje efectivo. Se evidenció en sitio que estas deficiencias, sumadas a las precipitaciones intensas de la época invernal (con rangos entre 750 mm y 1342 mm anuales), provocan la saturación de la subrasante y encharcamientos prolongados. Estos fenómenos desencadenan procesos de erosión laminar y transporte de sedimentos que representan un riesgo para el río Taura, cuerpo hídrico colindante al trazado.

Finalmente, el análisis del componente socioeconómico evidencia una fuerte dependencia de la infraestructura vial para el desarrollo local. La parroquia Pedro J. Montero, con una población aproximada de 8.195 habitantes (según proyección censal del INEC), sustenta su dinámica productiva eminentemente en la agricultura, destacándose el cultivo intensivo de caña de azúcar, arroz y banano, así como una incipiente actividad comercial que representa cerca del 8% de su economía.

Asimismo, la zona alberga infraestructura educativa crítica, como la Escuela de Educación Básica Pedro J. Montero y unidades aledañas, cuya comunidad estudiantil requiere acceso seguro y permanente. Sin embargo, la infraestructura vial deteriorada restringe severamente la movilidad y el acceso a estos servicios básicos, incrementando los tiempos de traslado y los costos operativos del transporte agrícola, lo cual incomoda el desarrollo económico local y perpetúa brechas de desigualdad.

### **4.3 Actividades del proyecto**

Para la evaluación ambiental del proyecto de rehabilitación con emulsión asfáltica, se han desglosado las actividades en función del cronograma de ejecución y la vida útil de la vía. A continuación, se detallan las acciones específicas de cada fase, diferenciando entre las laborales constructivas temporales y las actividades operativas permanentes, las cuales servirán de base para la identificación de impactos.

**Tabla 40***Desglose de actividades y acciones del proyecto por fases de ejecución*

<b>FASE</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>ACCIÓN</b>
Construcción	Preparación del área	Transporte de maquinaria pesada al sector del proyecto
		Limpieza y desbroce de vegetación presente alrededor del proyecto
		Instalación de señalética temporal
	Estabilización de la base	Obtención de asfalto (Proceso presente previo a la realización del proyecto, actividad involucrada en la refinería pertinente)
		Transporte de material superficial
		Riego de agua para evitar la suspensión de partículas
		Fresado los primeros 15 cm de base granular
		Preparación de la base existente junto con la emulsión asfáltica.
		Mezclado del material para la estabilización.
		Compactación de la base granular con emulsión asfáltica
	Acabado superficial	Sellado de la base estabilizada
		Tendido de material granular
	Señalización vial	Retiro de señalización temporal
Implementación de señalización vertical de seguridad vial		
Operación	Mantenimiento periódico	Recolección y limpieza de basura

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

#### 4.4 Identificación de impactos ambientales

Mediante la aplicación del método de matrices de interacción, se han identificado impactos de diversa naturaleza. Los impactos negativos detectados son de carácter temporal y mitigable.

**Tabla 41**

*Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales (Método de Leopold)*

	Aire	Suelo	Agua	Ruido	Vegetación	Socioeconómico
Incorporación de materiales nuevos	-5	-6	-4	-5	-6	5
	4	5	5	4	2	5
Impacto social	9	-5	-4	-5	0	9
	6	3	5	4	0	9
Reducción de emisiones de polvo fugitivo	10	-5	0	0	0	9
	6	4	0	0	0	6
Reúso de materiales	0	-2	0	-1	9	2
	0	2	0	1	6	3
Optimización de la infraestructura vial	9	-2	-1	0	0	10
	6	1	1	0	0	9

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

En este proceso se identifican los impactos ambientales, se realiza la valoración de aspectos positivos como negativos de nuestro proyecto hacia el medio ambiente. Esto nos permite analizar y anticipar los riesgos ambientales que se desarrollaran posiblemente. Se utiliza la valoración según la magnitud y la importancia.

A la magnitud se le otorga un número del 1 al 10 en donde el 10 es la alteración máxima provocada sobre el factor ambiental. Teniendo como observación que tipo de alteración provoca ya sea negativa o positiva y representándola mediante + y -. A la importancia se la representada con el peso relativo que cada uno de los factores ambientales tiene dentro del proyecto.

**Tabla 42**

*Matriz de referencia para la calificación cualitativa y cuantitativa de impactos positivos*

<b>Impactos positivos</b>					
<b>Magnitud</b>			<b>Importancia</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Afectación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Duración</b>	<b>Influencia</b>	<b>Calificación</b>
Baja	Baja	1	Temporal	Puntal	1
Baja	Media	2	Media	Puntal	2
Baja	Alta	3	Permanente	Puntal	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	Alta	10	Permanente	Nacional	10

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

**Tabla 43**

*Matriz de referencia para la calificación cualitativa y cuantitativa de impactos negativos*

<b>Impactos negativos</b>					
<b>Magnitud</b>			<b>Importancia</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Afectación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Duración</b>	<b>Influencia</b>	<b>Calificación</b>
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntal	1
Baja	Media	-2	Media	Puntal	2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntal	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	Alta	-10	Permanente	Nacional	10

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

Para determinar el nivel de impacto de los puntos evaluados, se realiza la multiplicación de la magnitud y de la importancia, para sumar los valores obtenidos de manera vertical y horizontal, esto permite identificar los impactos con mayor significancia negativa y positiva, para darles mayor atención dentro del análisis ambiental.

Se obtienen los siguientes resultados de manera horizontal:

**Tabla 44**

*Resumen cuantitativo de interacciones ambientales y balance neto de importancia (Evaluación Horizontal)*

Afectaciones		Importancia
+	-	
1	4	-77
2	3	80
2	1	94
2	2	55
2	2	141
9	12	293

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

Y los siguientes resultados de manera vertical:

**Tabla 45**

*Resumen de valoración cuantitativa vertical por componente ambiental*

Afectaciones	+	3	0	0	0	1	5	9
	-	1	5	3	3	1	0	13
<b>Importancia</b>		148	-71	-41	-41	42	256	293

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

**Tabla 46***Escala de significancia y rangos para la categorización del impacto ambiental*

<b>Rango del valor</b>	<b>Clasificación del impacto</b>
0 – 50	Impacto compatible o irrelevante
51 – 100	Impacto leve
101 – 200	Impacto moderado
201 – 300	Impacto severo
> 300	Impacto crítico

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

**Tabla 47***Jerarquización y categorización final de los impactos ambientales del proyecto*

<b>Importancia</b>	<b>Valoración</b>	<b>Importancia</b>	
-77	Impacto leve	148	Impacto moderado
80	Impacto leve	-71	Impacto leve
94	Impacto leve	-41	Impacto compatible o irrelevante
55	Impacto leve	-41	Impacto compatible o irrelevante
141	Impacto moderado	42	Impacto compatible o irrelevante
		256	Impacto severo

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

#### 4.5 Valoración de impactos ambientales

La valoración de impactos ambientales, definida como el proceso de identificación y evaluación de efectos significativos para anticipar posibles riesgos, se ejecutó mediante el método de Matriz de Importancia Ponderada fundamentado en los lineamientos metodológicos de (Viloria Villegas, Cadavid, & Awad, 2018). Bajo este enfoque, se adaptó la fórmula de cálculo del Valor de Importancia (Imp), tal como se detalla en la Ecuación 4.1:

$$Imp = We * E + Wd * D + Wr * R \quad (4.1)$$

Donde:

Imp = Valor de importancia del impacto ambiental

E = Valor de Extensión

We = Peso de extensión

D = Valor de duración y Wd = Peso de duración

R = Valor de reversibilidad y Wr = Peso de reversibilidad

We = 0.4

Wd = 0.35

Wr = 0.25

#### Tabla 48

*Criterios de ponderación y escala de valoración para las variables de la ecuación de impacto ambiental*

Características	Puntaje				
	1	2.5	5	7.5	10
Extensión	Puntual	Particular	Local	Generalizada	Regional
Duración	Esporádica	Temporal	Periódica	Recurrente	Permanente
Reversibilidad	Completamente reversible	Medianamente reversible	Parcialmente reversible	Medianamente irreversible	Completamente irreversible
Magnitud	Poca incidencia		Mediana Incidencia	Alta Incidencia	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

Considerando la magnitud + si es beneficioso y – si es perjudicial. Seleccionamos los siguientes valores:

**Tabla 49**





*Matriz de asignación de valores paramétricos por actividad y factor ambiental*

		Aire	Suelo	Agua	Ruido	Vegetación	Socioeconómico	
<b>Incorporación de materiales nuevos</b>	E	5	E	2.5	E	2.5	E	5
	D	2.5	D	7.5	D	2.5	D	2.5
	R	1	R	5	R	1	R	1
<b>Impacto social</b>	E	5	E	2.5	E	2.5	E	5
	D	2.5	D	2.5	D	2.5	D	7.5
	R	1	R	1	R	1	R	1
<b>Reducción de emisiones de polvo fugitivo</b>	E	7.5	E	2.5	E	1	E	1
	D	7.5	D	2.5	D	1	D	1
	R	1	R	1	R	1	R	1
<b>Reúso de materiales</b>	E	1	E	5	E	1	E	2.5
	D	1	D	7.5	D	1	D	2.5
	R	1	R	5	R	1	R	1
<b>Optimización de la infraestructura vial</b>	E	7.5	E	5	E	2.5	E	5
	D	10	D	10	D	7.5	D	7.5
	R	1	R	5	R	5	R	1

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

**Tabla 50**

*Escala de categorización del Índice de Impacto Ambiental (IA) y semaforización de severidad*

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

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

Aplicando la fórmula obtuvimos:

**Tabla 51**

*Matriz de resultados cuantitativos del Índice de Impacto Ambiental (IA) y mapa de calor de significancia*

	Aire	Suelo	Agua	Ruido	Vegetación	Socioeconómico
<b>Incorporación de materiales nuevos</b>	-3.13	-4.88	-2.13	-3.13	-6.38	4.88
<b>Impacto social</b>	3.13	-2.13	-2.13	-4.88	1.00	10.00
<b>Reducción de emisiones de polvo fugitivo</b>	5.88	-2.13	1.00	1.00	1.00	4.88
<b>Reúso de materiales</b>	1.00	-5.88	1.00	-2.13	7.38	4.88
<b>Optimización de la infraestructura vial</b>	6.75	-6.75	-4.88	4.88	6.38	10.00

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

Esto indica que los factores ambientales negativos se concentran predominantemente en la fase constructiva. Las afectaciones principales no se limitan únicamente a la calidad del aire por el levantamiento de polvo y las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) debido al transporte de maquinaria y la aplicación de la emulsión asfáltica; el análisis destaca también un impacto significativo sobre el componente suelo y vegetación. Se observa una alteración notable en la estructura edáfica (con valores de impacto de hasta -6.75) derivada de la incorporación de nuevos materiales y las maniobras de optimización vial, así como un incremento temporal en los niveles de ruido que afecta el entorno inmediato.

#### 4.6 Propuestas de medidas de prevención/mitigación

Con el objetivo de asegurar la viabilidad ambiental del proyecto, se establecieron protocolos de actuación específicos para cada recurso afectado. La siguiente matriz sistematiza las estrategias de intervención, priorizando medidas preventivas como el control de emisiones y protocolos contra derrames y medidas correctivas, incluyendo la restauración vegetal compensatoria. Estas acciones buscan reducir la magnitud de las alteraciones en el área de influencia directa.

**Tabla 52**

*Programa de medidas de prevención, mitigación y control para los componentes ambientales afectados*

<b>Aire</b>	Riego periódico de agua en las áreas de trabajo para controlar la emisión de polvo
	Uso de emulsión asfáltica
	Mantenimiento preventivo de maquinaria para mantener la combustión eficiente
<b>Suelo</b>	Limitación de velocidades de circulación
	Delimitación del área de intervención
	Protocolo de prevención contra derrames de emulsión asfáltica
<b>Agua</b>	Prohibición de mantenimiento de maquinaria sobre el suelo natural sin protección
	Prohibición de descarga de residuos en cuerpos de agua
<b>Ruido</b>	Almacenamiento de emulsión asfáltica
	Mantenimiento de la maquinaria
	Uso de EPP para personal expuesto
	Comunicación previa con la comunidad
<b>Vegetación</b>	Restricción de actividades ruidosas a horarios diurnos
	Desbroce del área vegetal en solo el área necesaria
<b>Socioeconómico</b>	Restauración de árboles afectados (10 árboles de restauración por 1 talado)
	Implementación de señalización temporal clara y visible
	Plan de manejo de tráfico durante la construcción

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

#### 4.7 Resultados de medidas

El análisis de impacto ambiental concluye que la rehabilitación mediante estabilización con emulsión asfáltica constituye una intervención técnicamente viable y ambientalmente responsable. Se destaca la existencia de una sinergia social-ambiental, donde la supresión definitiva del polvo en la fase operativa genera un doble beneficio: restaura la calidad del aire y reduce la incidencia de enfermedades respiratorias en la población, alineándose directamente con los objetivos de comunidades sostenibles.

Desde la perspectiva de la eficiencia económica, la mejora de la superficie de rodadura reduce los tiempos de traslado y minimiza los daños a los productos agrícolas durante el transporte, potenciando la competitividad del sector sin comprometer recursos naturales futuros. En consecuencia, se valida la alternativa propuesta como la opción de menor impacto ambiental negativo y mayor retorno social, recomendándose su implementación bajo un estricto cumplimiento de los tiempos de curado para asegurar la longevidad de estos beneficios.

Es decir que la propuesta presenta el menor nivel de impacto ambiental negativo y un mayor retorno social, recordando que la ejecución se realice con un estricto cumplimiento de especificaciones técnicas relaciones a la ingeniería ambiental, como los tiempos de curado y el control de calidad de la emulsión asfáltica. También se puede implementar un seguimiento ambiental periódico lo que permita identificar los beneficios de manera permanente y siga un buen desempeño ambiental a lo largo de su vida útil.

# Capítulo 5

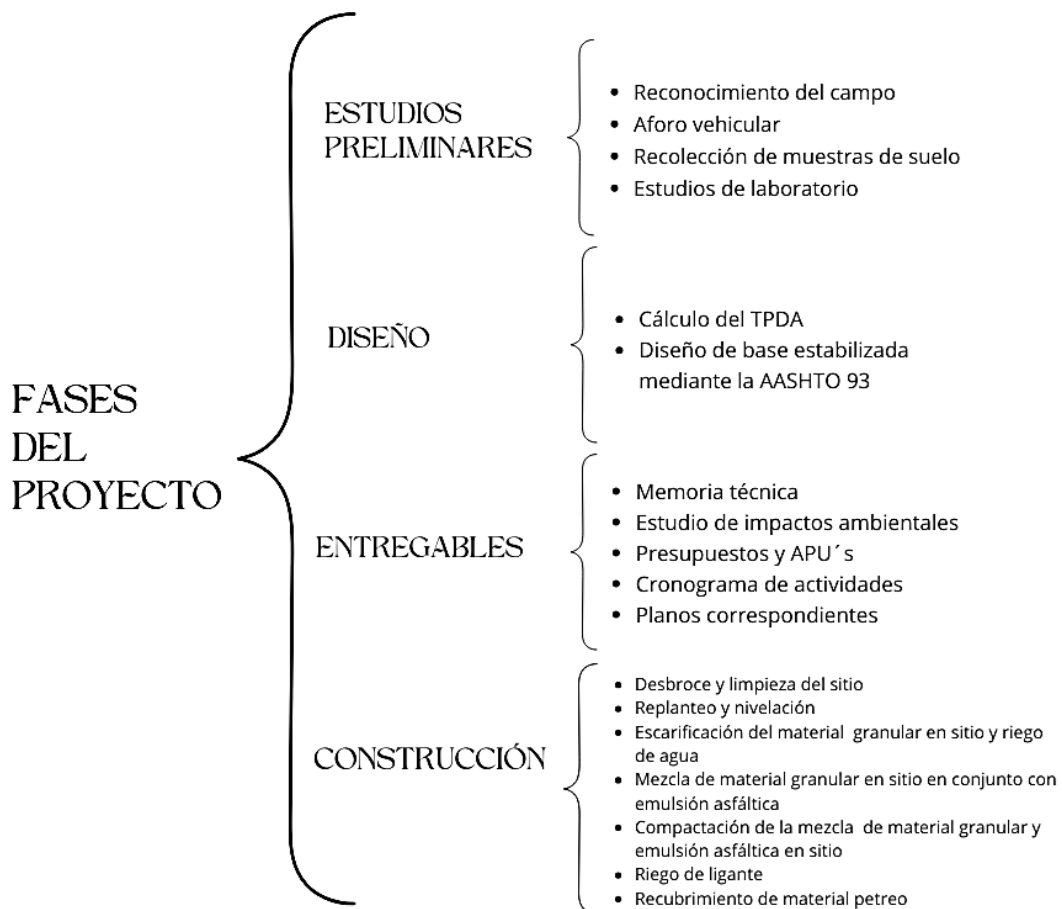
## 5. PRESUPUESTO

### 5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

Para la gestión del alcance y la organización operativa del proyecto, se desarrolló la Estructura de Desglose de Trabajo. Esta representación gráfica jerarquiza los entregables y paquetes de trabajo en niveles lógicos, descomponiendo las fases de estudios preliminares, diseño, documentación y construcción. Esta sistematización permite identificar con claridad las dependencias entre actividades y facilita la asignación de recursos para cada etapa del cronograma.

**Figura 20**

*Estructura de Desglose de Trabajo del proyecto*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

## **5.2 Especificaciones Técnicas**

Las especificaciones técnicas constituyen el conjunto de normas exigencias y procedimientos que regulan la ejecución de los rubros constructivos, garantizando que los materiales, equipos y procesos cumplan con los estándares de calidad requeridos por los diseños. En este apartado se detallan los lineamientos técnicos para la conformación de la capa de rodadura mediante la estabilización del material existente. La definición precisa de estos parámetros técnicos es indispensable para la correcta determinación de los costos directos y la elaboración del presupuesto referencial.

### **5.2.1 Nivelación topográfica**

#### **Descripción**

Este trabajo consiste en los levantamientos topográficos necesarios para el replanteo, nivelación y referencia de la vía existente, asegurando que la estabilización y la estructura del pavimento se ajusten a los alineamientos y pendientes del diseño. Incluye la colocación de estacas, puntos de referencia y control de niveles durante la ejecución de las fases de movimiento de tierra y estabilización.

#### **Procedimiento**

1. Localización: El constructor localizará el eje de la vía y los límites de la faja de trabajo basándose en los planos del proyecto.
2. Referenciación: Se establecerán puntos de control (BM) permanentes fuera del área de movimiento de tierras para verificar niveles de constantemente.
3. Replanteo continuo: Se mantendrá el replanteo durante la escarificación, estabilización y conformación de la capa de rodadura.
4. Secciones transversales: Se tomarán niveles antes y después de la limpieza y después de la estabilización para el cálculo de cantidades de obra.

**Normas y especificaciones**

Se regirá conforme a la Sección 202 (Topografía y Georreferenciación) de la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12.

**Equipo mínimo**

- Estación Total o Teodolito
- Nivel de precisión
- Miras, jalones y cinta métrica
- Vehículo liviano para transporte de cuadrilla

**Mano de obra**

- Topógrafo
- Cadeneros

**Materiales**

- Estacas de madera
- Pintura
- Clavos y elementos de señalización

**Medición**

La unidad de medida será el Kilómetro (Km) medido en el eje central de la vía.

**Rendimiento diario con cuadrilla**

3.3129 Km/día.

**Forma de pago**

Se pagará el precio unitario contractual por Kilómetro (Km). Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

**5.2.2 Limpieza de espaldones****Descripción**

Consiste en el despeje, desbroce y limpieza de la vegetación, maleza y escombros ubicados en los espaldones de la vía, necesarios para asegurar el ancho operativo para la maquinaria de reciclaje/estabilización y mejorar el drenaje lateral.

**Procedimiento**

1. Delimitación: Se marcarán las zonas laterales (espaldones) a intervenir.
2. Corte y retiro: Se procederá al corte de vegetación y retiro de materiales indeseables manualmente o con maquinaria ligera, cuidando no dañar cunetas existentes.
3. Disposición final: El material resultante se transportará a los sitios de botadero autorizados según el Plan de Manejo Ambiental.

**Normas y especificaciones**

Se observará lo dispuesto en la Sección 201 (Desbroce y Limpieza) de la NEVI-12 y las normas ambientales vigentes.

**Equipo mínimo**

- Herramienta menor (machetes, palas, rastrillos)
- Motosierra (si aplica)
- Volqueta (para desalojo) o carretillas

**Mano de obra**

- Peones/Ayudantes
- Capataz

**Medición**

La unidad de medida será la Hectárea (Ha) de superficie limpiada en proyección horizontal.

**Rendimiento diario con cuadrilla**

1.00 Ha/día.

**Forma de pago**

Se pagará al precio unitario contractual por Hectárea (Ha). Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

**5.2.3 Transporte de material enrocado-piedra, longitud de acarreo de 35 - 75 km****Descripción**

Comprende el transporte autorizado de material pétreo (enrocado/piedra) desde las fuentes de materiales (canteras) hasta el sitio de la obra para su utilización en la estructura del pavimento o mejoramiento. La distancia de acarreo considerada es entre 35 y 75 km.

**Procedimiento**

1. Carga: El material será cargado en las canteras autorizadas cuidando no exceder la capacidad de los vehículos.

2. Transporte: Los vehículos transitarán por las rutas establecidas cubriendo la carga con lonas para evitar derrames y polvo, cumpliendo leyes de tránsito.
3. Descarga: Se realizará en los puntos indicados por el fiscalizador, evitando la segregación del material.

### **Normas y especificaciones**

Se regirá conforme a la Sección 301 (Transporte de Materiales) de la NEVI-12.

### **Equipo mínimo**

- Volquetas de capacidad adecuada (8 m<sup>3</sup> – 12 m<sup>3</sup>)

### **Mano de obra**

- Conductor

### **Materiales**

- Combustibles y lubricantes (incluidos en costo de equipo)

### **Medición**

La unidad de medida será el Metro cúbico – Kilómetro (m<sup>3</sup>-km). Se calculará multiplicando el volumen transportado por la distancia recorrida.

### **Rendimiento diario con cuadrilla**

816 m<sup>3</sup>-km/día (Flota estimada).

### **Forma de pago**

Se pagará al precio unitario contractual por m<sup>3</sup>-km. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

#### **5.2.4 Estabilización de material existente con emulsión asfáltica**

##### **Descripción**

Este trabajo consiste en la disgregación, pulverización y mezcla del material granular existente en la vía, incorporando emulsión asfáltica (tipo CSS-1h o según diseño) y agua, para conformar una base estabilizada homogénea y resistente. Es el rubro principal de la estructura del pavimento en el tramo de vía.

##### **Procedimiento**

1. Escarificación: Disgregar el material existente a la profundidad de diseño.
2. Incorporación de Emulsión: Inyección controlada de emulsión asfáltica (dosificación estimada) y agua mediante equipo reciclador o distribuidor.
3. Mezclado: Homogeneización de la mezcla in-situ asegurando el recubrimiento de los agregados.
4. Compactación: Conformación y compactación inicial con rodillo “pata de cabra” (si se requiere) y final con rodillo liso vibratorio y neumático hasta alcanzar la densidad especificada.
5. Curado: Protección de la capa estabilizada hasta que la emulsión rompa y cure adecuadamente.

##### **Normas y especificaciones**

Se regirá por la Sección 405-5 (Estabilización de Suelos con Emulsión Asfáltica) de la NEVI-12 y las dosificaciones estipuladas del proyecto.

##### **Equipo mínimo**

- Recicladora / Estabilizadora de suelos (Reclaimer) o Motoniveladora (si es mezcla manual)
- Camión Tanquero de Emulsión

- Camión Cisterna de Agua
- Rodillo Vibratorio Liso
- Rodillo Neumático

**Mano de obra**

- Operadores de equipo pesado
- Ayudantes de maquinaria
- Capataz

**Materiales**

- Emulsión asfáltica (Catiónica de rotura lenta o controlada)
- Agua

**Medición**

La unidad de medida será el Metro Cúbico (m<sup>3</sup>) de material estabilizado y compactado.

**Rendimiento diario con cuadrilla**

733 m<sup>3</sup>/día.

**Forma de pago**

Se pagará al precio unitario contractual por Metro Cúbico (m<sup>3</sup>). Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

### **5.2.5 Tratamiento superficial bituminoso tipo 2B**

#### **Descripción**

Consiste en la aplicación de dos riegos sucesivos de material bituminoso alternados con la extensión y compactación de agregados pétreos sobre la base estabilizada previamente imprimada. El Tipo 2B garantiza la impermeabilización y superficie de rodadura final.

#### **Procedimiento**

1. Limpieza: Barrido enérgico de la superficie estabilizada.
2. Primer riego: Aplicación de asfalto/emulsión y distribución inmediata del agregado grueso (1era capa).
3. Compactación inicial: Pase de rodillo neumático.
4. Segundo riego: Aplicación de asfalto/emulsión y distribución del agregado fino (2da capa) trabando los vacíos de la anterior.
5. Compactación final: Compactación con rodillo neumático para asegurar el acomodo de las partículas.

#### **Normas y especificaciones**

Será conforme a la Sección 406 (Tratamientos Superficiales) de la NEVI-12.

#### **Equipo mínimo**

- Distribuidor de Asfalto
- Esparcidora de Agregados (Gravilladora)
- Rodillo Neumático
- Barredora mecánica

#### **Mano de obra**

- Operadores

- Rastrilleros y Ayudantes

**Materiales**

- Ligante bituminoso
- Agregados pétreos triturados (Tipo 2B según granulometría NEVI)

**Medición**

La unidad de medida será el Metro Cuadrado (m<sup>2</sup>).

**Rendimiento diario con cuadrilla**

3076 m<sup>2</sup>/día.

**Forma de pago**

Se pagará al precio unitario contractual por Metro Cuadrado (m<sup>2</sup>). Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

**5.2.6 Agua para control de polvo****Descripción**

Consiste en el riego de agua sobre superficies expuestas para mitigar la emisión de partículas de polvo durante el tráfico de obra y trabajos de estabilización.

**Procedimiento**

Riego periódico con tanquero, especialmente en zonas cercanas a viviendas y en días secos.

**Normas y especificaciones**

Se regirá por el Plan de Manejo Ambiental del proyecto.

**Equipo mínimo**

- Camión cisterna con barra regadora

**Mano de obra**

- Conductor

**Materiales**

- Agua

**Medición**

La unidad de medida será el Metro Cúbico (m<sup>3</sup>).

**Rendimiento diario con cuadrilla**

952 m<sup>3</sup>/día.

**Forma de pago**

Se pagará al precio unitario contractual por Metro Cúbico (m<sup>3</sup>). Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

**5.2.7 Monitoreo de ruido****Descripción**

Consiste en la medición de niveles de presión sonora (decibeles) generados por la maquinaria para asegurar el cumplimiento de límites permisibles.

**Procedimiento**

Se realizarán mediciones puntuales en receptores sensibles (viviendas) con sonómetro calibrado.

**Normas y especificaciones**

Debe cumplir con el TULSMA Anexo 5 y el Plan de Manejo Ambiental del proyecto.

**Equipo mínimo**

- Sonómetro integrador clase 1 o 2

**Medición**

La unidad de medida será un Informe/Unidad.

**Rendimiento diario con cuadrilla**

1 Informe/Monitoreo.

**Forma de pago**

El pago se realizará de manera Global o por Informe. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

**5.2.8 Material particulado (Estación de medición de polvo)****Descripción**

Comprende la instalación y operación de equipos para monitorear material particulado (PM10) en el aire ambiente.

**Procedimiento**

Se ejecutará toma de muestras en puntos estratégicos del tramo vial.

**Normas y especificaciones**

Debe cumplir con el TULSMA Anexo 3 y el Plan de Manejo Ambiental del proyecto.

**Equipo mínimo**

- Muestreador de alto o bajo volumen.

**Medición**

La unidad de medida será un Informe/Unidad.

**Rendimiento diario con cuadrilla**

1 Informe/Monitoreo.

**Forma de pago**

El pago se realizará de manera Global o por Informe. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

**5.2.9 Batería sanitaria portátil****Descripción**

Comprende la provisión, mantenimiento y limpieza de baños portátiles para el personal de obra.

**Procedimiento**

Ubicación en campamentos o frentes de trabajo, con limpieza periódica certificada por gestor ambiental.

**Equipo mínimo**

- Cabinas sanitarias portátiles

**Medición**

La unidad de medida será el Mes (o unidad global según presupuesto).

**Forma de pago**

El pago se realizará de manera Mensual. Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

**5.2.10 Conos reflectivos****Descripción**

Dispositivos móviles de canalización de tráfico. Conos reflectivos de 70 - 90 cm y barreras plásticas tipo New Jersey o caballetes.

**Normas y especificaciones**

Será conforme a la Sección 801 (Mantenimiento de Tránsito y Seguridad) de la NEVI-12.

**Medición**

La unidad de medida será la Unidad (u) o Unidad-Día.

**Forma de pago**

Se pagará al precio unitario contractual por Unidad (u). Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

### **5.2.11 Señalización vertical: Informativa**

#### **Descripción**

Suministro e instalación de señales de tránsito metálicas con lámina reflectiva de alta intensidad para regular el tránsito durante y después de la obra.

#### **Procedimiento**

Excavación, colocación de poste de fijación (hormigón o metálico) e instalación del tablero según altura y ubicación de planos.

#### **Normas y especificaciones**

Será conforme a la Sección 601 (Señalización Vertical) de la NEVI-12 y en base a la INEN 4.

#### **Materiales**

- Lámina retroreflectiva
- Sustrato metálico
- Poste
- Hormigón

#### **Medición**

La unidad de medida será la Unidad (u).

#### **Rendimiento**

10 a 15 señales/día.

**Forma de pago**

Se pagará al precio unitario contractual por Unidad (u). Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

**5.2.12 Señalización vertical: Preventiva****Descripción**

Suministro e instalación de señales de tránsito metálicas con lámina reflectiva de alta intensidad para regular el tránsito durante y después de la obra.

**Procedimiento**

Excavación, colocación de poste de fijación (hormigón o metálico) e instalación del tablero según altura y ubicación de planos.

**Normas y especificaciones**

Será conforme a la Sección 601 (Señalización Vertical) de la NEVI-12 y en base a la INEN 4.

**Materiales**

- Lámina retroreflectiva
- Sustrato metálico
- Poste
- Hormigón

**Medición**

La unidad de medida será la Unidad (u).

**Rendimiento**

10 a 15 señales/día.

**Forma de pago**

Se pagará al precio unitario contractual por Unidad (u). Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

**5.2.13 Cinta plástica de peligro****Descripción**

Cinta de polietileno de alta visibilidad (amarillo/negro o rojo) para delimitar áreas de trabajo inmediatas.

**Normas y especificaciones**

Será conforme al Manual de Seguridad Vial para Obras.

**Medición**

La unidad de medida será el Metro (m) o rollo.

**Forma de pago**

Se pagará al precio unitario contractual por Metro (m). Estos precios constituirán la compensación total por la mano de obra, equipo, herramientas, transporte, materiales y dispositivos auxiliares, así como todas las operaciones conexas necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

### 5.3 Rubros y análisis de precios unitarios

La materialización del diseño vial propuesto requiere la ejecución de una serie de actividades específicas. La Tabla 53 resume los rubros técnicos aprobados para el proyecto, organizados por capítulos según su fase constructiva.

**Tabla 53**

*Rubros y precios unitarios del proyecto*

ITEM	RUBRO	UNID	COST UNIT
<b>1.00</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>		
1.01	Nivelación topográfica	Km	\$ 102.04
<b>2.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>		
2.01	Limpieza de espaldones	Ha	\$ 689.38
<b>3.00</b>	<b>ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</b>		
3.01	Transporte de material enrocado-piedra, longitud de acarreo de 35 - 75 km	m3-km	\$ 0.40
3.02	Estabilización de material existente con emulsión asfáltica	m3	\$ 37.29
3.03	Tratamiento superficial bituminoso tipo 2B	m2	\$ 3.31
<b>4.00</b>	<b>PLAN DE MANEJO AMBIENTAL</b>		
4.01	Agua para control de polvo	m3	\$ 1.94
4.02	Monitoreo de ruido	unidad	\$ 47.43
4.03	Material particulado (Estación de medición de polvo)	unidad	\$ 231.24
4.04	Batería sanitaria portátil	unidad	\$ 257.40
<b>5.00</b>	<b>SEGURIDAD VIAL</b>		
5.01	Conos reflectivos	unidad	\$ 18.45
5.02	Señalización vertical: Informativa	unidad	\$ 174.80
5.03	Señalización vertical: Preventiva	unidad	\$ 284.98
5.04	Cinta plástica de peligro	m	\$ 0.12

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

#### 5.4 Cantidades de obra

Con base en el diseño geométrico y estructural de la vía, se realizó el cómputo métrico de los volúmenes necesarios para ejecución del proyecto. La Tabla 54 detalla las cantidades de obra estimadas para cada uno de los rubros técnicos definidos anteriormente.

**Tabla 54**

*Resumen de cantidades de obra estimadas por rubro*

ITEM	RUBRO	UNID	CANT.	COST UNIT
<b>1.00</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>			
1.01	Nivelación topográfica	Km	3.67	\$ 102.04
<b>2.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>			
2.01	Limpieza de espaldones	Ha	0.96	\$ 689.38
<b>3.00</b>	<b>ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</b>			
3.01	Transporte de material enrocado-piedra, longitud de acarreo de 35 - 75 km	m3-km	43,628.16	\$ 0.40
3.02	Estabilización de material existente con emulsión asfáltica	m3	3,298.50	\$ 37.29
3.03	Tratamiento superficial bituminoso tipo 2B	m2	21,990.00	\$ 3.31
<b>4.00</b>	<b>PLAN DE MANEJO AMBIENTAL</b>			
4.01	Agua para control de polvo	m3	500.00	\$ 1.94
4.02	Monitoreo de ruido	unidad	3.00	\$ 47.43
4.03	Material particulado (Estación de medición de polvo)	unidad	3.00	\$ 231.24
4.04	Batería sanitaria portátil	unidad	1.00	\$ 257.40
<b>5.00</b>	<b>SEGURIDAD VIAL</b>			
5.01	Conos reflectivos	unidad	20.00	\$ 18.45
5.02	Señalización vertical: Informativa	unidad	4.00	\$ 174.80
5.03	Señalización vertical: Preventiva	unidad	4.00	\$ 284.98
5.04	Cinta plástica de peligro	m	200.00	\$ 0.12

*Nota.* Fuente: Elaboración propia (2025).

## 5.5 Costo del proyecto

El presupuesto se obtuvo mediante la valoración de las cantidades de obra calculadas, aplicando los precios unitarios establecidos en el análisis previo. La Tabla 55 presenta el costo total de la inversión requerida, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

**Tabla 55**

*Presupuesto referencial detallado del proyecto*

Ítem	Rubro	Unid	Cant.	Cost unit.	Total
<b>1.00</b>	<b>Obras preliminares</b>				
1.01	Nivelación topográfica	Km	3.67	\$ 102.04	\$ 374.47
				<b>Subtotal 1</b>	<b>374.47</b>
<b>2.00</b>	<b>Movimiento de tierra</b>				
2.01	Limpieza de espaldones	Ha	0.96	\$ 689.38	\$ 659.73
				<b>Subtotal 2</b>	<b>659.73</b>
<b>3.00</b>	<b>Estructura de pavimento</b>				
3.01	Transporte de material enrocado-piedra, longitud de acarreo de 35 - 75 km	m3-km	43,628.16	\$ 0.40	\$17,364.01
3.02	Estabilización de material existente con emulsión asfáltica	m3	3,298.50	\$ 37.29	\$ 122,994.47
3.03	Tratamiento superficial bituminoso tipo 2B	m2	21,990.00	\$ 3.31	\$ 72,808.89
				<b>Subtotal 3</b>	<b>213,167.37</b>
<b>4.00</b>	<b>Plan de manejo ambiental</b>				
4.01	Agua para control de polvo	m3	500.00	\$ 1.94	\$ 971.00
4.02	Monitoreo de ruido	u	3.00	\$ 47.43	\$ 142.30
4.03	Material particulado (Estación de medición de polvo)	u	3.00	\$ 231.24	\$ 693.72
4.04	Batería sanitaria portátil	u	1.00	\$ 257.40	\$ 257.40
				<b>Subtotal 4</b>	<b>2,064.42</b>
<b>5.00</b>	<b>Seguridad vial</b>				
5.01	Conos reflectivos	u	20.00	\$ 18.45	\$ 369.02
5.02	Señalización vertical: Informativa	u	4.00	\$ 174.80	\$ 699.19
5.03	Señalización vertical: Preventiva	u	4.00	\$ 284.98	\$ 1,139.90
5.04	Cinta plástica de peligro	m	200.00	\$ 0.12	\$ 23.40
				<b>Subtotal 5</b>	<b>2,231.51</b>
				<b>Subtotal final</b>	<b>\$ 218,497.50</b>
				<b>IVA 15%</b>	<b>\$32,774.63</b>
				<b>Total del presupuesto</b>	<b>\$ 251,272.13</b>

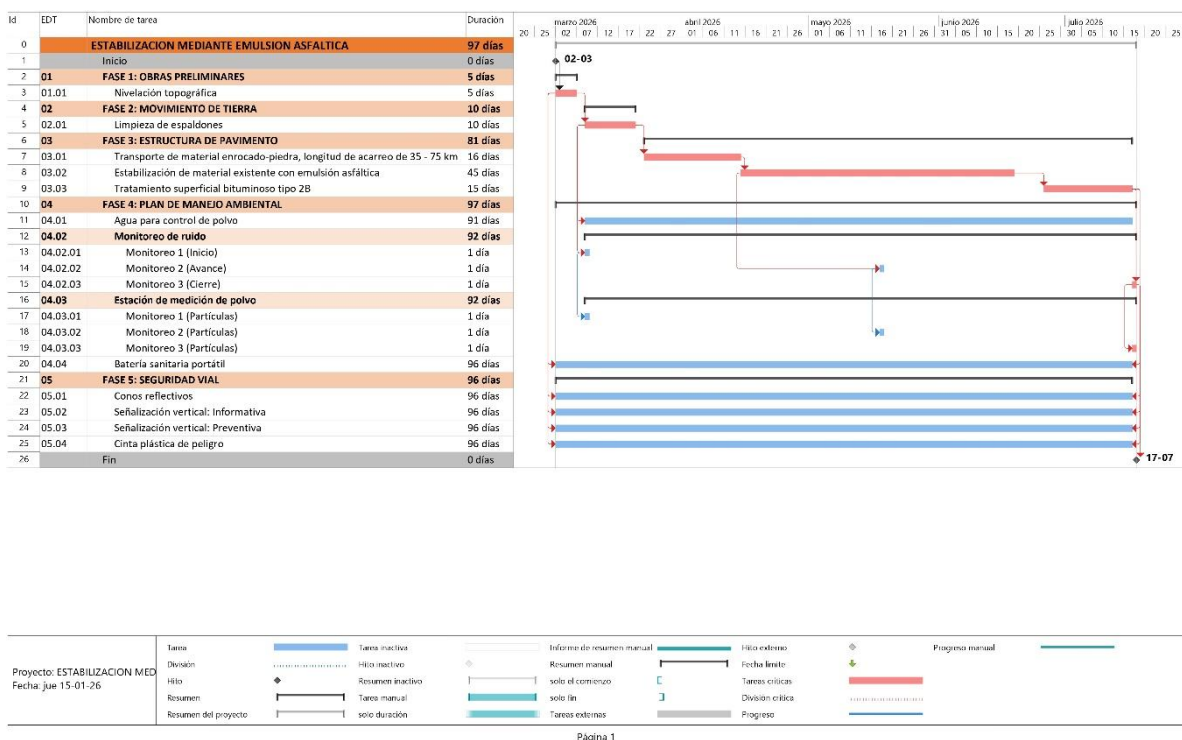
Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

### 5.6 Cronograma de obra

Para la planificación temporal del proyecto, se elaboró el cronograma de ejecución física utilizando una herramienta informática de gestión de proyectos. Esto permitió establecer la secuencia lógica de las actividades constructivas, definir la ruta crítica y estimar los rendimientos de trabajo para cada rubro. Como se observa en la Figura 21, se ha determinado una duración total del proyecto de 97 días, organizando las fases de manera secuencial desde las obras preliminares hasta la implementación de la seguridad vial final.

Figura 21

Diagrama de Gantt y cronograma de ejecución física del proyecto



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

# Capítulo 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

En respuesta al primer objetivo específico, la caracterización geotécnica definió al material in situ como una Grava bien graduada con limo (GW-GM), con un índice de plasticidad del 3.4% y un coeficiente de uniformidad de 107.15. Estos parámetros validaron la aptitud mecánica del suelo para ser estabilizado, consolidando un modelo de economía circular que transforma el material existente en recurso estructural competente, eliminando la dependencia de bancos de préstamo externos.

Respecto a la determinación del porcentaje óptimo de ligante, el diseño experimental mediante el método Marshall modificado estableció como dosificación ideal la incorporación del 6% de emulsión asfáltica CSS-1H. Esta mezcla alcanzó una estabilidad en seco de 4106.94 lb y una resistencia retenida del 92%, superando los estándares de diseño. Se descartó la dosificación del 8% debido a la pérdida de estabilidad por exceso de lubricación. Estos resultados garantizan la impermeabilidad y cohesión necesarias para la durabilidad de la vía.

En cuanto al diseño estructural del pavimento, la metodología AASHTO 93 determinó una estructura compuesta por 15 cm de base estabilizada sobre 30 cm de material existente mejorado, aportando un Número Estructural (SN) efectivo de 3.41. Este valor supera el requerimiento de diseño ( $SN_{req} = 2.91$ ) asegurando la capacidad de soporte para los  $3.5 \times 10^5$  ejes equivalentes proyectados y validando la eficiencia técnica de la solución frente a alternativas convencionales que demandarían mayores espesores.

En relación con el análisis económico, se determinó que la inversión total para la rehabilitación de los 3.66 km de la vía asciende a \$251272.13 (incluido IVA). Este presupuesto referencial demuestra la viabilidad financiera del proyecto al optimizar los costos directos mediante la reducción de transporte de materiales y movimiento de tierras, rubros que suelen encarecer significativamente los métodos tradicionales de pavimentación.

Finalmente, desde la perspectiva de sostenibilidad, se concluye que la estabilización en frío mitiga considerablemente el impacto ambiental. Al suprimir la emisión de vapores, controlar el material particulado (polvo) y reutilizar el material in situ, se logra una reducción significativa en la huella de carbono y se mejora la calidad del aire del sector, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados al inicio de la investigación.

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda implementar un control de calidad riguroso durante la fase constructiva, vigilando estrictamente que la dosificación de emulsión se mantenga al 6% y controlando la humedad para prevenir la lubricación excesiva de las partículas. Asimismo, es imperativo verificar que el material pétreo no exceda las 2 pulgadas de tamaño máximo nominal, asegurando así la homogeneidad y la cohesión estructural de la mezcla final.

Es fundamental establecer protocolos de curado que permitan verificar el rompimiento total de la emulsión asfáltica, garantizando la resistencia inicial y evitando el ahuellamiento prematuro. Se sugiere la ejecución de tramos de prueba in situ para determinar los tiempos de curado exactos en función de las condiciones microclimáticas específicas de la vía.

Para asegurar la durabilidad del proyecto durante su periodo de diseño de 10 años, se debe ejecutar un plan de mantenimiento preventivo enfocado en el sistema de drenaje. Esto evitará la saturación de la subrasante y preservará la capacidad portante de la estructura vial estabilizada.

Finalmente, se sugiere realizar un seguimiento y monitoreo del desempeño de la vía durante los primeros 2 a 3 años de operación. Esto permitirá evaluar la respuesta a la fatiga bajo cargas reales y validar empíricamente los coeficientes de diseño AASHTO 93 utilizados, generando una base de datos local para futuras aplicaciones de esta metodología en la red vial provincial.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2006). *AASHTO T96: Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. <https://transportation.org/>
- AASHTO. (2015). *AASHTO T99: Standard Method of Test for Moisture–Density Relations of Soils Using a 2.5-kg Rammer and a 305-mm Drop (Standard Proctor)*. AASHTO, Washington, D.C. [https://www.intertekinform.com/en-gb/standards/aashto-t-99-2015-1528\\_saig\\_aashto\\_aashto\\_4104/?srsltid=AfmBOop4QPKtYE44ZUy1-GvTsXtsiEV1KR0jAys5c8bkylGcb2fQIT4N](https://www.intertekinform.com/en-gb/standards/aashto-t-99-2015-1528_saig_aashto_aashto_4104/?srsltid=AfmBOop4QPKtYE44ZUy1-GvTsXtsiEV1KR0jAys5c8bkylGcb2fQIT4N)
- Acuña Vásquez, D. L. (2024). *Validación de los resultados para la obtención del tráfico promedio diario anual (TPDA) mediante el conteo automático y conteo manual, en la vía “Camino a la Rincinada”, barrio Jardines del Occidente, parroquia Chillogallo, cantón Quito*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28367/1/TTS1974.pdf>
- Arias Montenegro, F., & Idrobo García, D. (2022). *Análisis comparativo del costo - beneficio generado por la inclusión de bases estabilizadas con cemento o con emulsión asfáltica en la estructura de pavimentos flexibles*. Quito.
- ASTM International. (2017). *ASTM D6913/D6913M-17: Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. West Conshohocken: ASTM International. [https://doi.org/https://doi.org/10.1520/D6913\\_D6913M-17](https://doi.org/https://doi.org/10.1520/D6913_D6913M-17)
- ASTM International. (2020). *ASTM D2216-19: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. ASTM International, West Conshohocken, PA. <https://doi.org/https://doi.org/10.1520/D2216-19>
- ASTM International. (2020b). *ASTM C131/C131M-20: Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. ASTM International, West Conshohocken, PA.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1520/C0131\\_C0131M-20](https://doi.org/https://doi.org/10.1520/C0131_C0131M-20)

- ASTM International. (2021). *ASTM D1883-21: Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA. <https://doi.org/https://doi.org/10.1520/D1883-21>
- British Standards Institution [BSI]. (2015). *BS 5930:2015 — Code of practice for ground investigations*. Autor. <https://knowledge.bsigroup.com/products/code-of-practice-for-ground-investigations>
- California Department of Transportation [Caltrans]. (1995). *California Test Method CTM-211: Method of Test for Abrasion of Coarse Aggregate Using the Los Angeles Machine*. California Department of Transportation, Sacramento, CA. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/engineering/documents/californiatestmethods-ctm/ctm-211-dec1995-a11y.pdf>
- California Department of Transportation [Caltrans]. (2000). *California Test Method 301: Method of Test for Determining the Resistance R Value of Treated and Untreated Bases, Sub-bases, and Basement Soils by the Stabilometer*. California Department of Transportation, Sacramento, CA. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/engineering/documents/californiatestmethods-ctm/ctm-301-a11y.pdf>
- Castillo Alcázar, A. S. (2021). *Comportamiento físico-mecánico de base estabilizada con emulsión asfáltica de las canteras Río Tambo y Talamolle de la provincia General Sánchez Cerro – Moquegua*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Chakravarthi, S., Galipelli, R., & Sabavath, S. (2022). A review on design, evaluation, and performance of emulsified asphalt-treated bases using recycled aggregates. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 46570–46586.
- Coelho, T. S., Motta, L. M., & Babadopulos, L. (2024). Permanent deformation assessment of cold recycled asphalt mixtures using emulsion. *Construction and Building Materials*, 415.
- Cubas Armas, J. A. (2018). *Estabilización de la subrasante con emulsión asfáltica en la carretera Huánuco – La Unión*. Universidad de Huánuco, Huánuco.
- Federal Highway Administration [FHWA]. (2024). *FHWA-HRT-25-023: Selection and Characterization of the Foundation Materials for the Third-Generation FHWA Pavement Test Facility*. U.S. Department of Transportation — Federal Highway Administration,

- Washington, D.C. <https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/FHWA-HRT-25-023.pdf>
- Federal Highway Administration. (1992). *Soil and Base Stabilization and Associated Drainage Considerations. Volume I: Pavement Design and Construction Considerations*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation.
- Finn, F. N. (1963). Factors influencing pavement performance. *Proceedings of the International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*. Ann Arbor: University of Michigan.
- GAD Municipal de San Jacinto de Yaguachi. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012–2019 del Cantón San Jacinto de Yaguachi*. San Jacinto de Yaguachi: Fundación Santiago de Guayaquil. <https://municipiodeyaguachi.gob.ec/wp-content/uploads/2018/09/PDOT-2012-2019.pdf>
- GAD Provincial del Guayas. (2024). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia del Guayas 2024–2027*. Guayaquil. <https://www.guayas.gob.ec/>
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 17892-12: Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 12: Determination of Atterberg limits*. Ginebra: ISO. [https://webstore.ansi.org/preview-pages/bsi/preview\\_30437680.pdf](https://webstore.ansi.org/preview-pages/bsi/preview_30437680.pdf)
- INVIAS. (2012). *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías.
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [Lanamme-UCR]. (2018). *Procedimiento LM-5.04: Contenido de humedad de suelos*. Universidad de Costa Rica, San José. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/5-geotecnia/5.04.pdf>
- Lamanna, J. (2020). *Manual de ensayos de mecánica de suelos*. Universidad Tecnológica Nacional – Pressbooks: <https://uta.pressbooks.pub/soilmechanics>
- Ministerio de Obras Públicas [MOP]. (2020). *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes – MOP 404*. (Autor, Ed.) Quito, Ecuador. <https://www.obraspublicas.gob.ec>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOPE]. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 – Volumen 2A: Norma para estudios y diseños viales*. Quito: Autor.

- [https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_2A.pdf](https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf)
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen 2A: Estudios y Diseños Viales*. Quito: MTOP.
- MTOP. (2015). *Tasas de Crecimiento Anual de Tráfico Vehicular (Dirección de Estudios del Transporte)*. Quito: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- Oke, O. (2010). Investigation on emulsion-bound mixtures incorporating recycled asphalt. En O. Oke, *Principles of Pavement Engineering*.
- Perca Quispe, L. A. (2024). *Estabilización de la subrasante con emulsión asfáltica para mejorar la transitabilidad en carreteras rurales*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Pérez, M. A., Raposeiras, A. C., Movilla-Quesada, D., & Arenas, J. P. (2013). Estudio del comportamiento reológico de mezclas y ligantes asfálticos utilizando modelos de viscoelasticidad fraccionaria. *Revista de Ingeniería Vial*.
- Pi, Y. (2019). Fatigue performance of cold recycled asphalt mixtures with emulsified asphalt. *Construction and Building Materials*, 212, 467–475.
- Sánchez Sabogal, F., & Campagnoli Martínez, S. X. (2016). *Pavimentos asfálticos de carreteras: guía práctica para los estudios y diseños*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Thakur, S., Naveen, B., & Tegar, J. (2020). Improvement in CBR value of soil reinforced with nonwoven geotextile sheets. *International Journal of Geo-Engineering*, 12(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40703-020-00138-9>
- Viloria Villegas, M. I., Cadavid, L., & Awad, G. (2018). Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(2), 121-156. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.2941>
- Zambrano Vera, C. A., & Zavala Guanoluisa, D. E. (2019). *Estudio de suelo y estabilización del material granular existente con emulsión asfáltica para el diseño de pavimento flexible, en la vía Libertador Bolívar-Sitio Nuevo de longitud 5 km, del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena*. Tesis de Grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad.

# **PLANOS Y ANEXOS**

## 8. PLANOS Y ANEXOS

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROPONENTE : JOSE MERINO & JORGE VILLON  
 OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 1.01  
 DETALLE: Nivelación topográfica

UNIDAD: Km

#### M.- EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTA MENOR (5% M.O.)	5%MO		0.000		3.620	
NIVEL, TRIPODE Y MIRA	1.00	2.500	2.500	3.31290	8.280	
<b>PARCIAL M =</b>					11.900	<b>13.65%</b>

#### N.- MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
TOPOGRAFO 2: título y experiencia mayor a 5 años (E.O.C1)	1.00	4.75	4.750	3.31290	15.740	
CADENERO (E.O.D2)	4.00	4.28	17.120	3.31290	56.720	
<b>PARCIAL N =</b>					72.460	<b>83.09%</b>

#### O.- MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
PINTURA DE ESMALTE	gln	0.10	28.45000	2.850	
<b>PARCIAL O =</b>				2.850	3.27%

#### P.- TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL P =</b>				0.000	0.00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%

OTROS INDIRECTOS 7%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

87.21	100.00%
8.721	
6.105	
102.036	
<b>102.04</b>	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

PROPONENTE : JOSE MERINO & JORGE VILLON

OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 2.01

DETALLE: Limpieza de espaldones

UNIDAD: Ha

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTA MENOR (5% M.O.)	5%MO		0.000		3.610	
MOTONIVELADORA 135 HP	1.00	64.170	64.170	8.00000	513.360	
<b>PARCIAL M =</b>					516.970	<b>87.74%</b>

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE (E.O.D2)	1.00	4.280	4.280	8.00000	34.240	
OP. MOTONIVELADORA (E.O.C1) (GRUPO I)	1.00	4.750	4.750	8.00000	38.000	
<b>PARCIAL N =</b>					72.240	<b>12.26%</b>

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL O =</b>				0.000	0.00%

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL P =</b>				0.000	0.00%

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)</b>	<b>589.21</b>	<b>100.00%</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%</b>	58.921	
<b>OTROS INDIRECTOS 7%</b>	41.245	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	689.376	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>689.38</b>	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

PROPONENTE : JOSE MERINO & JORGE VILLON  
 OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 3.01

DETALLE: Transporte de material enrocado-piedra, longitud de acarreo de 35 - 75 km

UNIDAD: m3-km

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
VOLQUETA (12Ton)	1.00	28.730	28.730	0.00980	0.280	
<b>PARCIAL M =</b>					0.280	<b>82.35%</b>

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
CHOFER: Volquetas (E.O.C1)	1.00	6.220	6.220	0.00980	0.060	
<b>PARCIAL N =</b>					0.060	<b>17.65%</b>

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL O =</b>				0.00	0.00%

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL P =</b>				0.000	0.00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)	0.34	100.00%
INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%	0.034	
OTROS INDIRECTOS 7%	0.024	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0.398	
VALOR PROPUESTO	<b>0.40</b>	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**PROPONENTE :** JOSE MERINO & JORGE VILLON  
**OBRA :** VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

**PROYECTO:** DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

**RUBRO:** 3.02

**DETALLE:** Estabilización de material existente con emulsión asfáltica

**UNIDAD:** m3

**M. - EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTA MENOR (5% M.O.)	5%MO		0.000		0.030	
MOTONIVELADORA 135 HP	1.00	64.170	64.170	0.01090	0.700	
TANQUERO 8TN	1.00	30.000	30.000	0.01090	0.330	
RODILLO VIBRATORIO LISO 142 HP	1.00	42.060	42.060	0.01090	0.460	
RODILLO NEUMATICO 96 HP	1.00	48.000	48.000	0.01090	0.520	
					2.040	6.40%

**N. - MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE (E.O.D2)	1.00	4.280	4.280	0.01090	0.050	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, fierro, plomero) (E.O.E2)	5.00	4.230	21.150	0.01090	0.230	
OP. MOTONIVELADORA (E.O.C1) (GRUPO I)	1.00	4.750	4.750	0.01090	0.050	
OP. RODILLO AUTOPROPULSADO (E.O.C2)	2.00	4.520	9.040	0.01090	0.100	
CHOFER: Tanqueros (E.O.C1)	1.00	6.220	6.220	0.01090	0.070	
					PARCIAL N = 0.500	1.57%

**O. - MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
EMULSION ASFALTICA	I	61.11	0.48000	29.330	
				PARCIAL O = 29.33	92.03%

**P. - TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
				PARCIAL P = 0.000	0.00%

**TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)**

**INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%**

**OTROS INDIRECTOS 7%**

**COSTO TOTAL DEL RUBRO**

**VALOR PROPUESTO**

31.87	100.00%
3.187	
2.231	
37.288	
37.29	

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**PROPONENTE :** JOSE MERINO & JORGE VILLON

**OBRA :** VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

**PROYECTO:** DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

**RUBRO:** 3.03

**DETALLE:** Tratamiento superficial bituminoso tipo 2B

**UNIDAD:** m2

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTA MENOR (5% M.O.)	5%MO		0.000		0.010	
ESCOBA AUTOPROPULSADA	1.00	25.000	25.000	0.00260	0.065	
DISTRIBUIDOR DE ASFALTO 6TN	1.00	70.000	70.000	0.00260	0.182	
DISTRIBUIDOR DE AGREGADOS	1.00	35.000	35.000	0.00260	0.091	
RODILLO NEUMATICO 96 HP	1.00	48.000	48.000	0.00260	0.125	
RODILLO TANDEM 119 HP	1.00	45.000	45.000	0.00260	0.117	
<b>PARCIAL M =</b>					<b>0.590</b>	<b>20.85%</b>

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE (E.O.D2)	1.00	4.28	4.280	0.00260	0.010	
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, fierrero, plomero) (E.O.E2)	6.00	4.23	25.380	0.00260	0.070	
OP. RODILLO AUTOPROPULSADO (E.O.C2)	2.00	4.52	9.040	0.00260	0.020	
OP. DISTRIBUIDOR DE ASFALTO (E.O.C2) (GRUPO II)	1.00	4.52	4.520	0.00260	0.010	
OP. DISTRIBUIDOR DE AGREGADOS (E.O.C2) (GRUPO II)	1.00	4.52	4.520	0.00260	0.010	
OP. DE BARREDORA AUTOPROPULSADA (E.O.C2) (GRUPO II)	1.00	4.52	4.520	0.00260	0.010	
<b>PARCIAL N =</b>					<b>0.130</b>	<b>4.59%</b>

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
ASFALTO RC 250	l	3.15	0.48000	1.510	
MAT. TRITURADO 3/8" (9,5 mm)	m3	0.01	13.25000	0.130	
MAT. TRITURADO 3/4" (19,0 mm)	m3	0.02	13.00000	0.260	
ADITIVO DE ADHERENCIA	l	0.16	1.33000	0.210	
<b>PARCIAL O =</b>				<b>2.11</b>	<b>74.56%</b>

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL P =</b>				<b>0.000</b>	<b>0.00%</b>

**TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)**

**INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%**

**OTROS INDIRECTOS 7%**

**COSTO TOTAL DEL RUBRO**

**VALOR PROPUESTO**

<b>2.83</b>	<b>100.00%</b>
<b>0.283</b>	
<b>0.198</b>	
<b>3.311</b>	
<b>3.31</b>	

OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 4.01

DETALLE: Agua para control de polvo

UNIDAD: m3

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
TANQUERO 14TN	1.00	39.43	39.430	0.00840	0.330	
<b>PARCIAL M =</b>					0.330	<b>19.88%</b>

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, fierro, plomero) (E.O.E2)	1.00	4.23	4.230	0.00840	0.040	
CHOFER: Tanqueros (E.O.C1)	1.00	6.22	6.220	0.00840	0.050	
<b>PARCIAL N =</b>					0.090	<b>5.42%</b>

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
AGUA	m3	1.00	1.24000	1.240	
<b>PARCIAL O =</b>				1.24	<b>74.70%</b>

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL P =</b>				0.000	0.00%

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)</b>	<b>1.66</b>	<b>100.00%</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%</b>	0.166	
<b>OTROS INDIRECTOS 7%</b>	0.116	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	1.942	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>1.94</b>	

OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 4.02

DETALLE: Monitoreo de ruido

UNIDAD: unidad

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
					0.000	0.00%
<b>PARCIAL M =</b>						

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
					0.000	0.00%
<b>PARCIAL N =</b>						

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
TOMA DE MUESTRA CON SONOMETRO (MUESTREO POR DIA)	u	1.00	40.54000	40.540	
<b>PARCIAL O =</b>				40.54	100.00%

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
					0.000	0.00%
<b>PARCIAL P =</b>						

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)</b>	<b>40.54</b>	100.00%
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%</b>	4.054	
<b>OTROS INDIRECTOS 7%</b>	2.838	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	47.432	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>47.43</b>	

OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 4.03

DETALLE: Material particulado (Estación de medición de polvo)

UNIDAD: unidad

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
<b>PARCIAL M =</b>					0.000	0.00%

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
<b>PARCIAL N =</b>					0.000	0.00%

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
TOMA DE MUESTRA CON ESTACION DE MEDICION	u	1.00	197.64000	197.640	
<b>PARCIAL O =</b>				197.64	100.00%

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL P =</b>				0.000	0.00%

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)</b>	<b>197.64</b>	<b>100.00%</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%</b>	19.764	
<b>OTROS INDIRECTOS 7%</b>	13.835	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	231.239	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>231.24</b>	

OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 4.04

DETALLE: Bateria sanitaria portatil

UNIDAD: unidad

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
					0.000	0.00%
<b>PARCIAL M =</b>						

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
					0.000	0.00%
<b>PARCIAL N =</b>						

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
CABINA SANITARIA PORTATIL	mes	1.00	220.00000	220.000	
<b>PARCIAL O =</b>				220.00	100.00%

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
					0.000	0.00%
<b>PARCIAL P =</b>						

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%

OTROS INDIRECTOS 7%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

220.00	100.00%
22.000	
15.400	
257.400	
257.40	

OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 5.01

DETALLE: Conos reflectivos

UNIDAD: unidad

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
<b>PARCIAL M =</b>					0.000	0.00%

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
<b>PARCIAL N =</b>					0.000	0.00%

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
CONOS REFLECTIVOS (H=60 CM)	u	1.00	15.77000	15.770	
<b>PARCIAL O =</b>				15.77	100.00%

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL P =</b>				0.000	0.00%

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)</b>	<b>15.77</b>	<b>100.00%</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%</b>	1.577	
<b>OTROS INDIRECTOS 7%</b>	1.104	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	18.451	
<b>VALOR PROPUESTO</b>	<b>18.45</b>	

OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 5.02

DETALLE: Señalización vertical: Informativa

UNIDAD: unidad

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
HERRAMIENTA MENOR (5% M.O.)	5%MO		0.000		4.620	
<b>PARCIAL M =</b>					4.620	<b>3.09%</b>

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, fierro, plomero) (E.O.E2)	1.00	4.23	4.230	5.26320	22.260	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES (E.O.C1)	1.00	4.75	4.750	5.26320	25.000	
ALBAÑIL (E.O.D2)	2.00	4.28	4.280	5.26320	45.050	
<b>PARCIAL N =</b>					92.310	<b>61.79%</b>

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
CUARTON SEMIDURO (ENCOFRADO)	u	1.000	3.24000	3.240		
TIRA ENCOFRADO SEMIDURA	u	2.250	1.88000	4.230		
TABLERO DE PLYWOOD DE 12 mm	m2	1.680	17.98000	30.210		
DADO DE HS (25x25x60cm) Fc=210kg/cm2	u	1.000	8.76000	8.760		
PINTURA REFLECTIVA ( con perlas )	gln	0.220	22.73000	5.000		
VARIOS	Gbl	1.000	1.03000	1.030		
<b>PARCIAL O =</b>					52.47	<b>35.12%</b>

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%	
<b>PARCIAL P =</b>					0.000	0.00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%

OTROS INDIRECTOS 7%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

<b>149.40</b>	100.00%
14.940	
10.458	
174.798	
<b>174.80</b>	

OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 5.03

DETALLE: Señalización vertical: Preventiva

UNIDAD: unidad

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
SOLDADORA	1.00	2.20	2.200	2.53846	5.580	
COMPRESOR DE AIRE	1.00	28.45	28.450	2.53846	72.219	
MARTILLO NEUMATICO	1.00	17.50	17.500	2.53846	44.423	
<b>PARCIAL M =</b>					122.222	<b>50.18%</b>

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
PEON/ AYUDANTE (albañil, carpintero, electricista, herrero, plomero) (E.O.E2)	2.00	4.23	8.460	2.53846	21.475	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES (E.O.C1)	1.00	4.75	4.750	2.53846	12.060	
ALBAÑIL (E.O.D2)	1.00	4.28	4.280	2.53846	10.860	
TECNICO ELECTROMECHANICO DE CONSTRUCCION (E.O.D2)	1.00	4.28	4.280	2.53846	10.860	
PINTOR (E.O.D2)	1.00	4.28	4.280	2.53846	10.860	
<b>PARCIAL N =</b>					66.115	<b>27.14%</b>

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
BASE/SOP. PLANCHA 1.22X2 44X3mm	u	0.010	62.14000	0.621	
REMACHES	u	20.000	0.03000	0.600	
PINTURA PRIMER GRIS	gal	0.120	26.59000	3.191	
DADO DE HS (25x25x60cm) F'c=210kg/cm2	u	1.000	8.76000	8.760	
PINTURA REFLECTIVA ( con perlas )	gln	0.120	22.73000	2.728	
TUBO HG (2'X2 mm )	u	0.580	45.97000	26.663	
LAMINA GALVANIZADA 1/16"	m2	0.720	13.61000	9.799	
PLATINA REF H.G. 3/4"X1/8"	M	5.700	0.42000	2.394	
PERNO DE REFUERZO	u	4.000	0.03000	0.120	
SOLDADURA 6011, 1/8" ( 1 kg = 38.0 palillos )	kg	0.100	3.56000	0.356	
<b>PARCIAL O =</b>				55.23	<b>22.68%</b>

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL P =</b>				0.000	0.00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%

OTROS INDIRECTOS 7%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

243.57	100.00%
24.357	
17.050	
284.976	
<b>284.98</b>	

OBRA : VIA PEDRO J. MONTERO - BUENA FE

PROYECTO: DISEÑO VIAL MEDIANTE ESTABILIZACION DE MATERIALES CON EMULSION ASFALTICA

RUBRO: 5.04

DETALLE: Cinta plástica de peligro

UNIDAD: m

**M.- EQUIPOS**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
<b>PARCIAL M =</b>					0.000	0.00%

**N.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD	JORNAL/HR.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNIT.	%
<b>PARCIAL N =</b>					0.000	0.00%

**O.- MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
CINTA PELIGRO	m	1.00	0.10000	0.100	
<b>PARCIAL O =</b>				0.10	100.00%

**P.- TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	%
<b>PARCIAL P =</b>				0.000	0.00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)

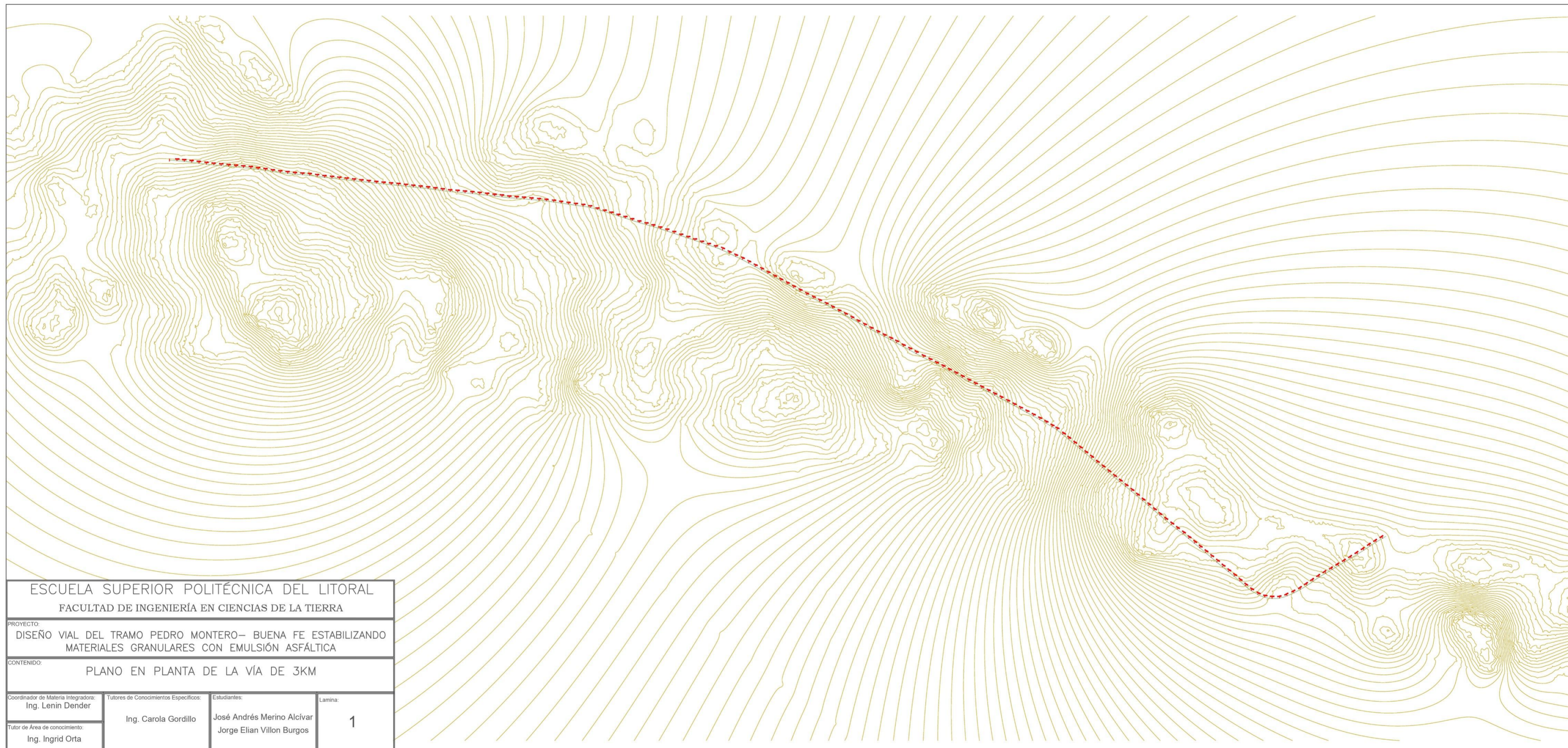
INDIRECTOS Y UTILIDADES 10%

OTROS INDIRECTOS 7%

COSTO TOTAL DEL RUBRO

VALOR PROPUESTO

0.10	100.00%
0.010	
0.007	
0.117	
0.12	



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:  
DISEÑO VIAL DEL TRAMO PEDRO MONTERO- BUENA FE ESTABILIZANDO  
MATERIALES GRANULARES CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

CONTENIDO:  
PLANO EN PLANTA DE LA VÍA DE 3KM

Coordinador de Materia Integradora: Ing. Lenin Dender	Tutores de Conocimientos Específicos: Ing. Carola Gordillo	Estudiantes: José Andrés Merino Alcívar Jorge Elian Villon Burgos	Lamina: 1
Tutor de Área de conocimiento: Ing. Ingrid Orta			