



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LAS
CONDICIONES VIALES DE LA AVENIDA 12 DE FEBRERO EN SAN
CRISTÓBAL - GALÁPAGOS**

TUTOR

Mgtr. ALEXIS WLADIMIR VALLE BENÍTEZ.

AUTOR

BRYAN ALDAHIR MARTINEZ VARGAS

GUAYAQUIL

2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO: Diseño de pavimento flexible para mejorar las condiciones viales de la Avenida 12 de febrero en San Cristóbal – Galápagos

AUTOR:

Martinez Vargas Bryan Aldahir

TUTOR:

Mgtr. Alexis Wladimir Valle Benítez

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil

Grado obtenido:

Ingeniero Civil

FACULTAD:

INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2025

N. DE PÁGS:

98

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción.

PALABRAS CLAVE: Carretera, Suelo, Percepción, Mantenimiento.

RESUMEN:

El presente estudio evaluó la viabilidad técnica y ambiental de implementar pavimento flexible en la Avenida 12 de febrero (San Cristóbal, Galápagos), como solución al deterioro de la vía adoquinada actual. Mediante un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo), se analizaron las condiciones geotécnicas del suelo (CBR = 12%, densidad óptima Proctor = 1.85 g/cm³), el impacto ambiental (reducción del 30% en emisiones con asfalto modificado) y la percepción comunitaria (85% de aceptación en encuestas). Los resultados demostraron que

el pavimento flexible mejora la durabilidad (vida útil estimada de 15 años), resiste condiciones climáticas extremas (humedad y salinidad) y optimiza costos de mantenimiento (20% menos que el adoquinado). La propuesta se alinea con normativas locales (LOREG, MTOP) y criterios de sostenibilidad, priorizando materiales reciclados y mitigación de impactos ecológicos.

N. DE REGISTRO (en base de datos):

N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (Web):

ADJUNTO PDF:

SI ☒

NO ☐

CONTACTO CON AUTOR/ES:

Martinez Vargas Bryan Aldahir

Teléfono:

0986307718

E-mail:

bmartinezv@ulvr.edu.ec

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:

PhD. Marcial Sebastián Calero Amores
Decano de Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción.

Teléfono: 2596500 Ext. 241

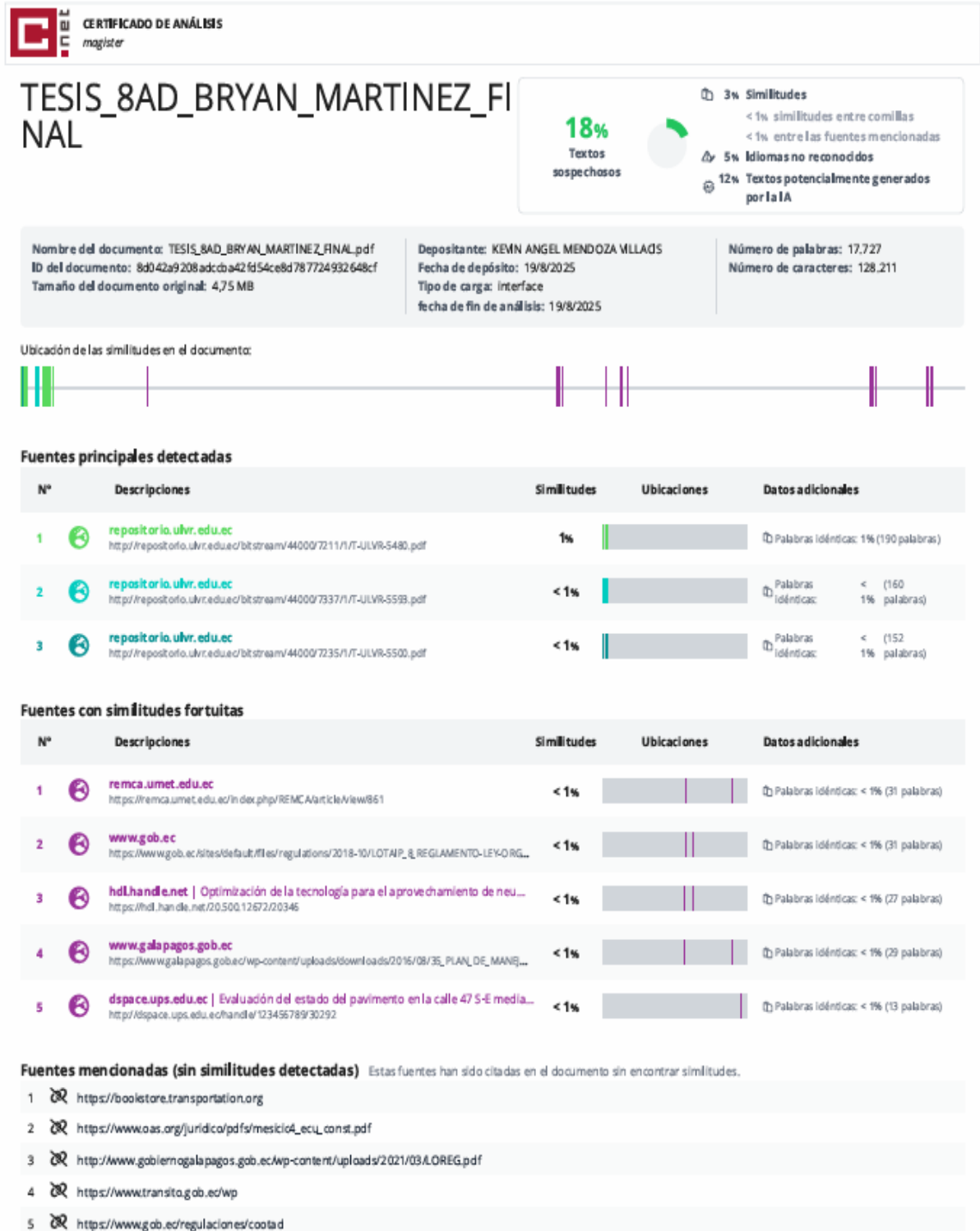
E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec

Mgtr. Jorge Enrique Torres Rodríguez
Director de Carrera de Ingeniería Civil

Teléfono: 2596500 Ext. 242

E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE SIMILITUD



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado BRYAN ALDAHIR MARTINEZ VARGAS, declara bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, **DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LAS CONDICIONES VIALES DE LA AVENIDA 12 DE FEBRERO EN SAN CRISTÓBAL – GALÁPAGOS**, corresponde totalmente a el suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Firma: *Bryan Martinez*

BRYAN ALDAHIR MARTINEZ VARGAS

C.I. 2000149639

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LAS CONDICIONES VIALES DE LA AVENIDA 12 DE FEBRERO EN SAN CRISTÓBAL – GALÁPAGOS**, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LAS CONDICIONES VIALES DE LA AVENIDA 12 DE FEBRERO EN SAN CRISTÓBAL – GALÁPAGOS**, presentado por el estudiante BRYAN ALDAHIR MARTINEZ VARGAS como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

ALEXIS WLADIMIR VALLE BENITEZ
C.C. 0921620720

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por permitirme culminar con éxito este proceso académico y personal. Extiendo mi gratitud al GAD Municipal de San Cristóbal, que brindó las facilidades técnicas e información necesaria para el desarrollo de esta investigación. Finalmente, expreso mi gratitud eterna a mi familia, pilar esencial de mi vida, por su confianza, comprensión y amor incondicional, que me motivaron a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles y que hoy me acompañan a celebrar la culminación de este objetivo tan importante.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis con profundo amor y gratitud a mis padres, quienes con su ejemplo de esfuerzo, sacrificio y valores me han guiado en cada paso de mi vida; a ellos, que con paciencia, comprensión y apoyo incondicional me motivaron a nunca rendirme frente a las dificultades y a perseguir con perseverancia cada uno de mis sueños. Esta dedicatoria también va para mis hermanos y seres queridos, que con sus palabras de aliento y compañía constante supieron darme la fortaleza necesaria para culminar esta meta académica, y a quienes han sido inspiración en este camino de formación profesional.

RESUMEN

El presente estudio evaluó la viabilidad técnica y ambiental de implementar pavimento flexible en la Avenida 12 de febrero (San Cristóbal, Galápagos), como solución al deterioro de la vía adoquinada actual. Mediante un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo), se analizaron las condiciones geotécnicas del suelo (CBR = 12%, densidad óptima Proctor = 1.85 g/cm³), el impacto ambiental (reducción del 30% en emisiones con asfalto modificado) y la percepción comunitaria (85% de aceptación en encuestas). Los resultados demostraron que el pavimento flexible mejora la durabilidad (vida útil estimada de 15 años), resiste condiciones climáticas extremas (humedad y salinidad) y optimiza costos de mantenimiento (20% menos que el adoquinado). La propuesta se alinea con normativas locales (LOREG, MTOP) y criterios de sostenibilidad, priorizando materiales reciclados y mitigación de impactos ecológicos.

Palabras clave: Carretera, Suelo, Percepción, Mantenimiento.

ABSTRACT

This research assessed the technical and environmental feasibility of applying flexible pavement on 12 de Febrero Avenue (San Cristóbal, Galápagos) to address the deterioration of the current cobblestone road. Using a mixed-method approach, soil geotechnical conditions (CBR = 12%, Proctor density = 1.85 g/cm³), environmental impact (30% emission reduction with modified asphalt), and community perception (85% approval in surveys) were analyzed. Results proved that flexible pavement enhances durability (estimated lifespan of 15 years), withstands extreme climatic conditions (humidity and salinity), and reduces maintenance costs (20% lower than cobblestone). The proposal complies with local regulations (LOREG, MTOP) and sustainability criteria, emphasizing recycled materials and ecological impact mitigation.

Keywords: Road Pavement, Soil, Perception, Maintenance.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	3
ENFOQUE DE LA PROPUESTA.....	3
1.1 Tema:	3
1.2 Planteamiento del Problema:	3
1.3 Formulación del Problema:	5
1.4 Objetivo General.....	5
1.5 Objetivos Específicos	5
1.6 Idea a Defender	5
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO REFERENCIAL.....	6
2.1 Marco Teórico:.....	6
2.1.1 Impacto de los Vehículos Eléctricos	6
2.1.2 Seguridad Vial	12
2.1.3 Transporte y Cambio Climático.....	13
2.1.4 Comportamiento de Compra de Vehículos	15
2.1.5 Análisis de Datos de Tráfico	15
2.1.6 Señalización Vial	15
2.1.7 Pavimento	17
2.1.8 Antecedentes sobre el Pavimento Flexible	19
2.1.9 Composición del pavimento flexible.....	24
2.2 Marco Legal.....	34
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador.....	34
2.2.2 Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial	34
2.2.3 Ley de Protección de Galápagos.....	35
2.2.4 Reglamento a la Ley de Protección de Galápagos	35
2.2.5 Estatuto del Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos .	35
2.2.6 Ley de Gestión de Desechos Sólidos	36
2.2.7 Código Orgánico del Ambiente	36
2.2.8 Plan Nacional de Desarrollo y Ordenamiento Urbano.....	36
2.2.9 Normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP).....	37
2.2.10 Normas del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN).....	38
2.2.11 Códigos Municipales y Ordenanzas Locales	38

2.2.12 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	38
2.2.13 Normativa AASHTO 1993.....	39
CAPÍTULO III.....	40
MARCO METODOLÓGICO	40
3.1 Enfoque de la Investigación	40
3.2 Alcance de la Investigación	41
3.3 Justificación Metodológica Frente a Otros Enfoques	42
3.4 Técnicas e Instrumentos para Obtener la Información	43
3.5 Población y Muestra	44
3.5.1 Tipo de Muestreo.....	45
3.6 Parámetros de diseño estructural de pavimento flexible	46
3.6.1 Levantamiento Topográfico	46
3.6.2 Transito Promedio Diario Anual (TPDA)	46
3.6.3 Determinación de Factor Mensual	47
3.6.4 Determinación del tráfico promedio diario Anual (TPDA)	48
3.6.5 Estudio de Suelos.....	48
3.6.6 Matriz Ambiental.....	54
3.8 Sostenibilidad del Diseño Propuesto.....	56
3.9 Análisis de Riesgo Ambiental y Técnico	56
3.10 Limitaciones del Estudio	57
CAPÍTULO IV	58
PROPUESTA O INFORME.....	58
4.1 Presentación y Análisis de Resultados	58
4.1.1 Resultados de la Técnica Observación.....	58
4.1.2 Resultados de la Técnica Encuesta.....	59
4.2 Estudio de Suelos.....	63
4.2.1 Resultados del Estudio de Suelos	63
4.3 Diseño de Pavimento Flexible.....	66
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. TPDA.	46
Tabla 2. Factor Mensual por información de consumo de combustible.	47
Tabla 3. Parámetros del Ensayo Proctor Estándar para el Molde N° 3	52
Tabla 4. Matriz ambiental.....	55
Tabla 5. Variable de investigación.	56
Tabla 6. Resultados Técnica Observación.	58
Tabla 7. Parámetros del Diseño AASHTO 93	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pavimento flexible.....	17
Figura 2. Pavimento rígido	18
Figura 3. Capa de rodadura.	28
Figura 4. Base y Sub-base.....	29
Figura 5. Subrasante	31
Figura 6. Calicata.....	33
Figura 7. Esquematización de la población y muestra.	45
Figura 8. Levantamiento Topográfico.....	46
Figura 9. Trabajo de campo 1.	48
Figura 10. Trabajo de campo 2.	49
Figura 11. Trabajo de campo 3.	49
Figura 12. Trabajo de campo 4.	50
Figura 13. Trabajo de campo 5.	50
Figura 14. Trabajo de campo 6.	51
Figura 15. Trabajo de campo 7.	51
Figura 16. Trabajo de campo 8.	52
Figura 17. Trabajo de campo 9	53
Figura 18. Trabajo de campo 10.	53
Figura 19. Trabajo de campo 11.	54
Figura 20. Resultados pregunta 1.	59
Figura 21. Resultados pregunta 2.	60
Figura 22. Resultados pregunta 3.	60
Figura 23. Resultados pregunta 4.	61
Figura 24. Resultados pregunta 5.	62
Figura 25. Curva granulométrica del suelo en estudio	63
Figura 26. Registro y resultados del ensayo Proctor modificado	64
Figura 27. Registro y resultados del ensayo C.B.R.	65

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Periodos de consumo.....	47
Ecuación 2. Factor Mensual.....	48
Ecuación 3. TPDA.....	48

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Despachos de combustible Abril	74
Anexo 2. Guía sanitaria para movilización de muestra.....	75
Anexo 3. Guía movilización Avianca	76
Anexo 4. Granulometría	77
Anexo 5. Curva Granulométrica	78
Anexo 6. Ensayo de limite líquido y plástico	79
Anexo 7. Relación Humedad - Densidad	80
Anexo 8. C.B.R	81
Anexo 9. Determinación de C.B.R	82
Anexo 10. Carga unitaria - Penetración.	83

INTRODUCCIÓN

La Avenida 12 de febrero en San Cristóbal (Galápagos) enfrenta un deterioro acelerado debido a las condiciones climáticas adversas (salinidad, humedad) y al incremento del tráfico vehicular. Este problema compromete la seguridad vial, la movilidad urbana y la experiencia turística, generando costos elevados de mantenimiento. Ante esta situación, surge la necesidad de proponer soluciones técnicas sostenibles que se adapten al entorno frágil de las islas.

La propuesta de pavimento flexible es presentada como alternativa debido a la capacidad que tiene para distribuir las cargas, resistente a las deformaciones y de reparación puntual. Para su implementación en las islas Galápagos requiere un análisis riguroso que componga variables geotécnicas, sociales y ambientales. La investigación une normativas vigentes, estudio de suelo e intervención comunitaria para su aplicabilidad.

La intención general fue examinar condiciones ambientales y técnicas de la calle para sustentar el diseño de pavimento flexible. Técnicamente, se aplicó ensayos de laboratorio (CBR, PROCTOR) , observación del estado actual de la calle e indagación a través de encuesta a los residentes. Los análisis de los resultados arrojaron que el suelo necesita estabilidad, pero es coincidente con capas granulares y el asfalto modificado con polímeros.

La significación del estudio consiste en el enfoque integral, la cual nivela demandas de infraestructura con el cuidado ecológico. La provincia de Galápagos, como Patrimonio Natural de la Humanidad, requiere recursos innovadores y de menor impacto como el empleo de elementos reciclados como el caucho y métodos de construcción efectivos. El proyecto de innovación mejora la calidad vial y también establece un fundamento para proyectos próximos en zonas protegidas.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema:

Diseño de pavimento flexible para mejorar las condiciones viales de la Avenida 12 de febrero en San Cristóbal – Galápagos.

1.2 Planteamiento del Problema:

La Calle 12 de febrero de isla San Cristóbal, Provincia de Galápagos, implica una vía principal que enlaza entre distintas áreas de la zona, factor principal para la movilidad de residentes y visitantes. A pesar de ello, en los últimos años se ha identificado una degradación en su infraestructura, generando efectos en las condiciones de movilidad, poniendo en riesgo la seguridad como el rendimiento del transporte. Entre las más relevantes afectaciones se visualizaron el desgaste físico de la superficie adoquinada, desarrollo de fisuras y baches, así como mayor frecuencia de accidentes.

El eje vial en su estado actual, ha sido implementado con técnicas y materiales, que no han podido tolerar los factores climáticos específicas de la región insular. El contacto permanente al nivel de humedad, el nivel salino del ambiente y los efectos del cambio de temperatura han ayudado a su deterioro.

Este panorama no solo afecta su perdurabilidad, sino que también influye en la destreza de los usuarios, quienes afrontan un tránsito incomodo y, en situaciones riesgosas.

De igual manera, la expansión poblacional y el crecimiento del turismo en la isla San Cristóbal han elevado el volumen de tráfico en la avenida 12 de febrero. Esta expansión de tráfico vehicular, agregado a las carencias de la vía, ha llevado a un aumento en la frecuencia de accidentes, de tal manera como a un crecimiento del desgaste de adoquina miento. El estado del pavimento, en consecuencia, se

convierten en un factor decisivo en la seguridad vial, dado que una vía en mal estado puede aportar a situaciones de peligro para conductores y peatones.

La situación se torna más crítica al considerar que la Av. 12 de febrero constituye una vía estratégica para el acceso a servicios básicos, zonas comerciales y atractivos turísticos. Su deficiente infraestructura vial no solo compromete la calidad de vida de los habitantes, sino que también puede afectar la imagen de San Cristóbal como destino turístico. Los visitantes que enfrentan dificultades para transitar por esta arteria pueden percibir negativamente el lugar, reduciendo su interés en volver o recomendarlo.

Ante este panorama, se hace imprescindible desarrollar un estudio que permita proponer soluciones técnicas efectivas para optimizar las condiciones viales de la Av. 12 de febrero. Una opción viable es la implementación de pavimento flexible, el cual ha mostrado buen desempeño en vías con características y demandas similares. Este tipo de superficie presenta mayor capacidad de adaptación a esfuerzos y deformaciones, lo que puede traducirse en una vida útil más prolongada y en la disminución de los costos de mantenimiento a largo plazo.

No obstante, su aplicación exige una evaluación minuciosa del estado actual de la vía y un análisis detallado de la relación costo–beneficio, con el fin de determinar si la inversión resulta justificada y si la propuesta aportará mejoras significativas.

En consecuencia, el núcleo del problema radica en la necesidad de intervenir el deterioro de la Av. 12 de febrero mediante la implementación de un pavimento más eficiente, capaz de garantizar la seguridad y fluidez del tránsito. Una solución adecuada no solo elevará la calidad de las condiciones viales, sino que también generará un impacto positivo en la vida de los residentes y en la experiencia de quienes visitan la isla, contribuyendo al desarrollo sostenible de San Cristóbal y a la preservación de su atractivo turístico.

1.3 Formulación del Problema:

¿El pavimento flexible ayudara a mejorar las condiciones viales de la Av. 12 de febrero en la isla San Cristóbal-Galápagos?

1.4 Objetivo General

Analizar las condiciones ambientales y geotécnicas de la Av. 12 de febrero, intersecciones Av. Isabela y Av. Juan José Flores en San Cristóbal - Galápagos, para fundamentar técnicamente la viabilidad y proponer la aplicación de pavimento flexible que contribuya a mejorar la infraestructura vial de manera sostenible y adecuada al contexto local.

1.5 Objetivos Específicos

- Evaluar las condiciones ambientales y el impacto del entorno natural en la Avenida 12 de febrero, mediante revisión documental y análisis de factores climáticos, geográficos y ecológicos de San Cristóbal – Galápagos.
- Realizar un estudio geotécnico del suelo mediante toma de muestras y ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.
- Crear una propuesta de diseño de pavimento flexible basada en normativas técnicas vigentes y estudios preliminares, para brindar una solución de mejora a las condiciones actuales de la vía.

1.6 Idea a Defender

La aplicación de pavimento flexible en la Avenida 12 de febrero mejora la durabilidad y resistencia del pavimento en comparación con otros tipos de pavimentación.

1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico:

2.1.1 Impacto de los Vehículos Eléctricos

De acuerdo con Gómez (2022) la incorporación de vehículos eléctricos en entornos urbanos genera un efecto positivo, pues contribuye de forma significativa a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y favorece la mejora de la calidad del aire. El estudio enfatiza la relevancia de implementar políticas públicas que promuevan su uso como una medida estratégica para mitigar la contaminación ambiental. Además, se destacan las ventajas económicas derivadas de la inversión en infraestructura para este tipo de transporte, entre ellas la creación de empleos y el impulso al desarrollo sostenible de las ciudades. Los hallazgos presentados constituyen un insumo fundamental para la formulación de estrategias orientadas a fortalecer la movilidad sostenible.

Ejemplos prácticos destacados:

- **Noruega (Oslo):** En esta ciudad, más del 60 % de los nuevos vehículos vendidos son eléctricos, gracias a incentivos como exenciones de impuestos, acceso gratuito a estacionamientos, uso de carriles prioritarios y una red de carga muy robusta, impulsada por energía renovable
- **Chandigarh, India:** La introducción de autobuses eléctricos ha permitido ahorrar más de 3 310 kilolitros de diésel y evitar la emisión de aproximadamente 8 740 toneladas de CO₂, además de ofrecer un servicio eficiente y popular entre los usuarios
- **Estados Unidos (Houston, Nueva York y Chicago):** Un estudio de la Universidad de Houston sugiere que la electrificación del transporte podría prevenir hasta 157 muertes prematuras cada mes en Houston y hasta 796 en Nueva York, gracias a la disminución de contaminantes como el ozono y las partículas finas (PM_{2.5})

2.1.1.2 Clasificación de Vehículos. Molina & Acuña (2022) presentaron una propuesta innovadora para clasificar los vehículos, abarcando tanto los motorizados como los no motorizados. Este enfoque es fundamental para planificar infraestructuras más adecuadas. La investigación señala que muchos estudios previos no consideran las particularidades de cada tipo de vehículo, lo que puede derivar en decisiones poco efectivas en el ámbito urbano. A través de un análisis comparativo, se identificaron las necesidades y retos específicos de cada categoría, proporcionando una visión más integral sobre cómo interactúan los distintos medios de transporte dentro de los sistemas de movilidad urbana.

Categorías principales de acuerdo con el estudio de Molina & Acuña (2022)

Vehículos motorizados

- Automóviles particulares: Incluye turismos y SUV, con altos requerimientos de espacio vial y estacionamiento.
- Transporte público (buses, microbuses, BRT): Requieren carriles exclusivos y paraderos estratégicos.
- Vehículos de carga (camiones, furgonetas): Necesitan rutas específicas para evitar congestión en zonas urbanas densas.
- Motocicletas: Por su tamaño reducido y alta maniobrabilidad, exigen regulaciones especiales en carriles y estacionamientos.

Vehículos no motorizados

- Bicicletas: Requieren ciclovías segregadas y sistemas de interconexión con transporte público.
- Patinetas y vehículos de movilidad personal (VMP): Su crecimiento exponencial demanda normativas claras sobre circulación en aceras o vías.
- Carros de tracción humana (ej.: triciclos de carga): Comunes en áreas comerciales, necesitan zonas de carga/descargas definidas.

2.1.1.3 Áreas Verdes y Transporte. Fernández y Ramírez (2022) analizaron la relación entre la presencia de áreas verdes en entornos urbanos y el uso de medios de transporte sostenibles. Sus hallazgos indican que estos espacios no solo contribuyen al bienestar de la población, sino que también incentivan el desplazamiento a pie y en bicicleta, favoreciendo la adopción de hábitos más saludables. A través de encuestas y procesamiento de datos, se constató que las ciudades con mayor cobertura de áreas verdes registran un uso más frecuente de transporte activo. Este resultado representa un aporte relevante para la planificación urbana, al evidenciar que la incorporación de espacios verdes puede constituir una estrategia efectiva para fortalecer la movilidad sostenible.

2.1.1.4 Normativas de Tránsito. Torres (2023) analizó las leyes de tránsito en distintos países, concluyendo que las regulaciones más estrictas están vinculadas con una reducción en los accidentes de tráfico. A través de un enfoque comparativo, se identificaron las políticas más eficaces en diversas regiones y se evaluaron sus efectos en la seguridad vial. Este estudio enfatiza no solo la relevancia de la legislación para prevenir accidentes, sino también la necesidad de complementar estas normativas con campañas de educación y concientización pública. Las recomendaciones presentadas pueden servir como base para que los legisladores diseñen regulaciones más efectivas que protejan a los usuarios de las vías.

2.1.1.5 Sistemas de Transporte Público. Pérez (2021) ejecutó un estudio de caso en la ciudad de Quito, demostrando un método de movilización pública eficiente que puede disminuir la dependencia de los vehículos personales. Mediante un estudio exhaustivo de la estructura actual y los requerimientos de los usuarios, se implementaron mejoras direccionadas a elevar la satisfacción de los transeúntes y a reducir la congestión vial. Del mismo modo, el estudio destacó los beneficios sociales y económicos, vinculados a un sistema de transporte público optimizado, como un mayor acceso a posibilidades de empleo y al recorte de gastos para la comunidad. Esta perspectiva podría implementarse en otras ciudades del país que también enfrentan retos similares.

Los sistemas de transporte público constituyen un pilar fundamental para el desarrollo urbano sostenible, al ofrecer una alternativa eficiente que reduce la

dependencia del vehículo particular y mitiga problemas como la congestión vial y la contaminación ambiental. Pérez (2021) demostró cómo un sistema de transporte público bien planificado puede transformar la movilidad en una ciudad, generando beneficios que trascienden el ámbito del transporte.

Los hallazgos conciernen en los siguiente:

Reducción del uso de vehículos particulares:

- La implementación de rutas estratégicas y frecuencias adecuadas disminuyó la congestión en horas pico.
- Se pudo observar una disminución de un 15 % en la utilización de vehículos privados tras la eficiencia del mecanismo.

Mejora en la satisfacción de los usuarios:

- Encuestas revelaron que la puntualidad, la comodidad y la seguridad son los factores más valorados por los pasajeros.
- La incorporación de tecnología (como aplicaciones para seguimiento en tiempo real) incrementó la confianza en el sistema.

Beneficios socioeconómicos:

- Mayor acceso a oportunidades laborales y educativas para poblaciones de bajos ingresos.
- Reducción de gastos en transporte para los usuarios, liberando recursos para otras necesidades básicas.

Componentes de un sistema eficiente de transporte público:

- **Infraestructura adecuada:** Ubicaciones accesibles, estaciones multimodales y vías exclusivas.

- **Flota moderna y sostenible:** Incorporación de buses eléctricos o de bajas emisiones.
- **Uso de datos para planificar:** Verificar el análisis de demanda y como las personas se movilizan para optimizar rutas
- **Participación ciudadana:** Involucrar a los usuarios en el diseño y evaluación del sistema.

Aplicabilidad en otros contextos urbanos

El estudio de Quito destaca que los principios de eficiencia, accesibilidad y sostenibilidad pueden replicarse en otras ciudades, adaptándose a sus particularidades. Por ejemplo:

- **Ciudades emergentes:** Priorizar la integración de corredores troncales con sistemas alimentadores.
- **Urbes gigantes:** Aplicar tecnologías inteligentes como (señales luminosas adaptivas) para fortalecer la fluidez.

2.1.1.6 Comportamiento del Usuario. Sánchez (2022) investigo los aspectos que afectan a la preferencia entre el uso de transporte público y la elección del transporte privado. Mediante la utilización de encuestas, se recogieron datos sobre diferentes aspectos como el costo, la comodidad y la seguridad del transporte público. Se concluyó que la opción de transporte de la elección de las personas se establecerá en función de la combinación de la comodidad que pueda proporcionar una alternativa al uso del transporte público. Los resultados del estudio indican que una mayor sensación de seguridad se pudo determinar una mayor aceptación en el uso del transporte público, así como establecer una disminución en los precios.

2.1.1.7 Efectos de la Congestión Vehicular. Martínez y Gómez (2021) examinaron el impacto de la congestión vehicular en la salud pública, concluyendo que disminuir el tráfico puede mejorar significativamente la calidad de vida de la población. Mediante un estudio longitudinal, se identificó que las áreas con mayores niveles de congestión registran una mayor incidencia de enfermedades respiratorias y otros problemas de salud vinculados a la contaminación ambiental. Este análisis

destaca la necesidad de adoptar políticas orientadas a la reducción del tráfico, así como a la promoción de opciones de transporte más sostenibles, como la mejora de la infraestructura del transporte público y el fomento del uso de la bicicleta.

La congestión vehicular constituye uno de los principales desafíos para la sostenibilidad urbana, con repercusiones significativas en la salud pública, la economía y la calidad de vida de los ciudadanos. Martínez y Gómez (2021) realizaron un estudio longitudinal que evidenció la relación directa entre los altos niveles de congestión y diversos problemas sociales y ambientales, destacando la urgencia de implementar políticas integrales para su mitigación.

2.1.1.7.1 Resultados provenientes de las congestiones de tránsito. En lo que a la salud pública refiere:

- Aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, ocasionadas por la saturación vehicular debido a los contaminantes a los que están expuestos los ciudadanos durante un largo intervalo de tiempo.
- Mayor prevalencia de estrés y trastornos del sueño asociados a la contaminación acústica y al tiempo perdido en desplazamientos.

En la economía urbana:

- Pérdidas económicas derivadas de la disminución de la productividad laboral y el incremento en los costos de transporte.
- Sobrecarga de los sistemas de salud pública por afecciones relacionadas con la contaminación.

En el medio ambiente:

- Emisiones elevadas de gases de efecto invernadero y partículas contaminantes.
- Degradación de la calidad del aire, con efectos negativos en los ecosistemas urbanos.

2.1.1.8 Políticas de Movilidad Sostenible. Rodríguez (2023) investigó las políticas de movilidad sostenible en diversas ciudades de Latinoamérica, resaltando la importancia de integrar distintos modos de transporte para construir un sistema más eficiente. El estudio encontró que las políticas exitosas son aquellas que atienden las necesidades de todos los usuarios, especialmente de los grupos más vulnerables. Además, se analizaron los retos que enfrentan las ciudades al poner en práctica estas estrategias y se sugirieron soluciones para enfrentarlos. Este trabajo proporciona un marco integral que ayuda a los responsables de políticas públicas a diseñar estrategias efectivas para la movilidad urbana.

2.1.1.9 Impacto Económico del Transporte. López y Torres (2022) fijan la perspectiva que concierne al transporte público y como afecta la economía urbana, afirmando que aumentar la inversión en el transporte urbano genera una gran número de beneficio económico. Durante el estudio de casos de las ciudades plasmaron la conclusión de que un buen sistema de transporte público, al que debe dotarse de una buena infraestructura de transporte, no solamente disminuye el precio al que se trasladan los ciudadanos, sino que también contribuye al crecimiento económico ya que el aumento de mejora del acceso a los puestos de trabajo se traduce a un aumento de la economía urbana. Esto viene a reforzar la idea de que la propia inversión en el transporte es fundamental para el desarrollo urbano sostenible y sirve como un buen argumento para aquellos que definen las políticas públicas.

2.1.2 Seguridad Vial

Fernández (2020) resalta la importancia de las medidas eficaces para reducir los accidentes de tráfico en el contexto urbano. Su estudio recoge las experiencias exitosas que han logrado disminuir los índices de mortalidad empleados en la red viaria y enfatiza la importancia de la combinación de la educación, la adecuada infraestructura y el cumplimiento de leyes y normas sociales para mejorar la seguridad vial. La seguridad vial es un componente fundamental a tener en cuenta en el proceso de desarrollo de ciudades más humanas y sostenibles. Fernández (2020) en su estudio muestra cómo un enfoque que articule la combinación de medidas de prevención, educación e infraestructura adecuada puede lograr descensos significativos en los niveles de accidentalidad urbana.

2.1.2.1 Componentes clave para una estrategia efectiva de seguridad vial.

a) Infraestructura segura:

- Diseño vial que priorice a los usuarios más vulnerables (peatones, ciclistas)
- Implementación de elementos de calmado de tráfico (reductores de velocidad, cruces peatonales elevados)
- Señalización clara y visible en puntos críticos

b) Educación y concienciación:

- Programas continuos de educación vial en escuelas y comunidades
- Campañas públicas sobre los riesgos del exceso de velocidad y conducción distraída
- Formación especializada para conductores profesionales

c) Control y regulación:

- Fiscalización efectiva de normas de tránsito
- Sistemas automatizados de control de velocidad
- Políticas estrictas sobre alcohol y conducción

2.1.3 Transporte y Cambio Climático

Morales (2021) explora cómo el transporte contribuye al cambio climático y propone la transición hacia vehículos sostenibles como una solución clave. El estudio destaca la importancia de adoptar tecnologías limpias, como vehículos eléctricos y transporte público eficiente, junto con políticas que incentiven su uso y prioricen la inversión en infraestructura ecológica.

El sector transporte representa uno de los principales contribuyentes al cambio climático, siendo responsable de una proporción significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Morales (2021) analiza esta problemática y

propone estrategias para transitar hacia sistemas de movilidad más sostenibles, destacando que la solución requiere tanto de avances tecnológicos como de transformaciones en las políticas públicas y los patrones de movilidad urbana.

2.1.3.1 Impacto del transporte en el cambio climático.

- **Emisiones perjudiciales:** El medio de transporte basado en combustibles fósiles genera diversas emisiones de CO₂ y otros gases que acentúan el fenómeno del calentamiento global.
- **Contaminación local:** Efecto perjudicial en la calidad del aire a escala local, con la consiguiente repercusión en la salud pública.
- **Uso de recursos no renovables:** Sumisión de petróleo y sus derivados, con implicación monetaria y ambiental.

2.1.3.2 Soluciones propuestas

a) Adopción de tecnologías limpias:

- Vehículos eléctricos e híbridos.
- Transporte público con energías renovables (ej.: buses eléctricos o de hidrógeno).

b) Políticas de incentivo:

- Subsidios para la compra de vehículos sostenibles.
- Impuestos a los combustibles fósiles para desincentivar su uso.
- Desarrollo de infraestructura para medios no motorizados (ciclovías, peatonalización).

c) Planificación urbana integrada:

- Ciudades compactas que reduzcan la necesidad de desplazamientos largos.
- Sistemas intermodales que combinen transporte público, bicicletas y caminata.

2.1.4 Comportamiento de Compra de Vehículos

Ríos (2022) profundiza en la información que disponen los consumidores y sus preferencias cuando están en la actividad de compra de automóviles, pero mostrando un mayor interés en alternativas que sean más responsables y sostenibles, como los vehículos híbridos y eléctricos, trasladando ciertas tendencias hacia conductas distintas que si bien pueden ser motivadas por la responsabilidad medioambiental de cada cliente, se hallan sustentadas en la tendencia a obtener información sobre incentivos. El estudio muestra que adaptarse a estas tendencias es fundamental para que el sector de la automoción sea competitivo y obtenga un lugar en el mercado actual.

2.1.5 Análisis de Datos de Tráfico

Salazar (2023) hace uso del análisis de los datos de tráfico para determinar patrones de movilidad y desarrollar mejoras en la infraestructura de las vías. Para este último caso, se apoya con tecnologías avanzadas que le permiten recoger la información de forma precisa y con el nivel de detalle.

2.1.6 Señalización Vial

La señalización vial constituye un componente fundamental dentro de la infraestructura de transporte, ya que cumple la función de regular, informar y alertar a los usuarios sobre las condiciones del entorno. Su principal propósito es garantizar la seguridad vial, facilitando la circulación de vehículos y disminuyendo la probabilidad de accidentes. Según un estudio de Hernández y Torres (2021), una correcta señalización puede llegar a reducir los accidentes de tránsito hasta en un 35%, especialmente en zonas urbanas y en vías de alta velocidad.

2.1.6.1 Señalización Vertical. La señalización vertical comprende todas las señales instaladas de forma perpendicular al suelo, como postes y paneles, que transmiten información visual tanto a conductores como a peatones.

En lo que corresponde a su clasificación, las señales verticales se subdividen en tres tipos fundamentales: las de prevención, las reglamentarias y las informativas. En el Manual de Señalización Vial 2023, se hace referencia a las señales de prevención con color amarillo y símbolos en color negro, las reglamentarias detallan con fondo de color blanco con borde en de color rojo (generalmente son señales que prohíben, o restricciones), y las informativas generalmente afectan el trasfondo azul o verde, se dedican a dar indicaciones sobre rutas, servicios o destinos.

Respecto a su relevancia y uso, estudios realizados por Gutiérrez y López (2020) hacen hincapié a que son imprescindibles en zonas de mucho tráfico, debido a que permiten una advertencia de peligros inminentes, tales como curvas cerradas, pasos de peatones o límites de velocidad. También son esenciales en su correcta ubicación, proporciones y visibilidad, de cara a que los conductores puedan interpretar la información en el momento apropiado y puedan reaccionar adecuadamente.

2.1.6.2 Señalización Horizontal. La señalización horizontal consiste en las marcas pintadas directamente sobre la calzada, tales como líneas, símbolos y figuras, cuyo propósito es organizar el tráfico y reforzar la seguridad vial.

Respecto a sus tipos y funciones, Ortega (2021) sustentando que estas señalizaciones comprenden líneas continuas y discontinuas que delimitan los diferentes carriles de la vía, señalización de flechas que fijan el sentido del tránsito, pasos peatonales (como las líneas de paso cebra) y espacios definidos para ciertos tipos de usuarios, como pueden ser los carriles de autobuses o ciclovías. Por ejemplo, las líneas continuas indican que no está permitido el adelantamiento, mientras que las discontinuas indican que sí se puede cambiar de un carril a otro siempre que se cumpla una serie de condiciones.

Materiales y durabilidad: Para asegurar su visibilidad, las marcas viales se realizan con pinturas reflectantes y materiales termoplásticos que resisten condiciones climáticas adversas. Estudios de Pérez y Sánchez (2022) sugieren que la implementación de tecnología de pintura termoplástica con microesferas de vidrio incrementa la visibilidad nocturna en un 50%. Esto ha sido fundamental en la reducción de accidentes en carreteras con poca iluminación.

2.1.7 Pavimento

Pavimento, es la capa que recubre una vía, fue diseñado para recibir el tránsito de vehículos y de peatones, se le considera una base resistente y duradera que permite el desplazamiento de será más seguro para los usuarios de la vía. La elección del tipo de pavimento está condicionada por el volumen de tráfico, las condiciones climáticas, la disponibilidad económica, y diferentes factores. Habitualmente, los pavimentos se clasifican en dos grandes grupos: flexibles y rígidos. UNIFORT (2025)

De igual manera, el pavimento tiene una función principal relativa a la seguridad en la carretera, dado que una superficie que mantenga un correcto estado ayuda a mejorar la adherencia de los neumáticos, corta la distancia de frenado y permite el control del vehículo, específicamente cuando nos encontramos ante situaciones climáticas adversas. Desde una perspectiva económica, esta masterización de la infraestructura vial apoya en la reducción de los costes de explotación del transporte, reduce el desgaste de los vehículos y optimiza la movilidad comercial, uno de los aspectos más relevantes en aquellas áreas con un alto tránsito turístico, tal y como es el caso de la isla San Cristóbal. La elección de materiales y técnicas de pavimentación desde el punto de vista medioambiental se toma en cuenta la durabilidad de los componentes, la posibilidad de hacer reciclables los diferentes componentes de los que esté compuesto el pavimento y la relación que tiene su naturalidad con el medio ambiente. Dichos elementos resultan relativamente importantes en zonas protegidas, donde es necesario equilibrar la funcionalidad, la durabilidad y la sostenibilidad ambiental. UNIFORT (2025)

Figura 1. Pavimento flexible.



Fuente: Pérez (2023)

Figura 2. Pavimento rígido



Fuente: Pérez (2023)

2.1.7.1. Características del Pavimento. Las propiedades del pavimento son fundamentales para asegurar su buen funcionamiento y longevidad. Este debe soportar el desgaste provocado por el tránsito continuo, resistir condiciones climáticas adversas y ofrecer una superficie segura y confortable para quienes la utilizan. Un factor importante es la textura superficial, la cual afecta la adherencia de los vehículos y contribuye a disminuir el nivel de ruido generado. También es crucial que el pavimento facilite un drenaje adecuado del agua, evitando acumulaciones que puedan ocasionar daños estructurales o poner en peligro a los conductores. Asimismo, la selección de los materiales debe hacerse con criterio, garantizando su durabilidad y facilitando su mantenimiento a lo largo del tiempo. Martínez y Torres (2023) señalan en su estudio que un diseño adecuado de la superficie puede prolongar la vida útil del pavimento y disminuir los costos vinculados a reparaciones frecuentes.

2.1.7.2 Aplicaciones del Pavimento. El pavimento tiene un papel determinante para la infraestructura, ya que hace posible el tránsito y la conexión entre y dentro de las diferentes comunidades. Usualmente, se utiliza en autopistas y vías principales, donde debe resistir cargas pesadas y tráfico intenso, como también en calles de ciudades que requieren una superficie duradera y flanqueadas por las vías para automóviles y peatones. De igual manera, es muy importante en los estacionamientos, donde se den los espacios para parquear (que deben ser estables y con señalética). En el ferrocarril, aun cuando otros materiales constituyen el principal uso, alguna forma de pavimentación de ciertas clases también acompaña a las vías a los efectos de los accesos, operaciones y el mantenimiento.

En las zonas urbanas, el revestimiento del suelo cumple una función práctica, pero también puede incluir aspectos estéticos y funcionales. Por ejemplo, el uso creciente de pavimentos permeables se debe a sus beneficios medioambientales, ya que este tipo de superficie permite que el agua de lluvia se infiltre de forma natural en el subsuelo, mejorando la gestión de aguas pluviales y disminuyendo el riesgo de inundaciones en áreas de alta urbanización. Además, favorece la recarga de acuíferos y reduce las escorrentías superficiales que pueden causar erosión y contaminación de cuerpos de agua cercanos (Infraestructura Vial, 2022).

Según un informe reciente del Instituto de Infraestructura Vial (2022) seleccionar y mantener adecuadamente el pavimento no solo asegura un sistema de transporte eficiente y seguro, sino que también prolonga la vida útil de la infraestructura vial, optimizando recursos y reduciendo los costos por reparaciones frecuentes. En este marco, la incorporación de tecnologías innovadoras, como mezclas asfálticas avanzadas y materiales sostenibles, ha demostrado mejorar significativamente el rendimiento del pavimento en carreteras con alto flujo vehicular, aumentando su resistencia al desgaste, deformaciones y condiciones climáticas adversas. Estas innovaciones también contribuyen a disminuir la emisión de contaminantes durante su producción y aplicación, alineándose con los objetivos de sostenibilidad ambiental que demandan los proyectos modernos de infraestructura.

2.1.8 Antecedentes sobre el Pavimento Flexible

2.1.8.1 Empleo del Pavimento Flexible en Carreteras Modernas. El pavimento flexible es un recurso muy utilizado en la construcción de carreteras actuales, gracias a su elevada capacidad de resistir y de adaptarse a los esfuerzos de las cargas dinámicas y de diversas ondulaciones que adopta el terreno. Investigaciones recientes, como las de González (2020) enmarcan que este tipo de pavimento es el más adecuado para responder a las deformaciones del terreno subyacente, hecho que permite repartir de modo más homogéneo las cargas producidas por el tráfico. Esta característica es beneficiosa para reducir la concentración de tensiones en puntos concretos, y, por lo tanto, disminuir la posibilidad de que puedan aparecer fisuras o fallas estructurales prematuros.

Gracias a estas propiedades, el pavimento flexible permite soportar volúmenes de tráfico más elevados que los pavimentos rígidos, comportándose con mejor eficiencia ante las variables condiciones de la vía y ante cargas de distinto origen y a distintas velocidades, incluyendo los primeros vehículos de gran tonelaje. Su estructura, elaborada con arreglos de materiales granulares y mezclas asfálticas, ayuda a la atenuación de impactos y vibraciones, lo que favorece la durabilidad y el confort de los usuarios (Gonzalo, 2020).

Si bien el mantenimiento de pavimentos flexibles es más frecuente que el de los rígidos, resulta ser más económico y rápido, debido a que las reparaciones se limitan a intervenciones puntuales, como baches, sin necesidad de reemplazarlos totalmente. Este aspecto permite rehabilitar las vías con rapidez, disminuyendo los tiempos de cierre y las molestias para los transeúntes (Gonzalo, 2020).

Asimismo, los avances tecnológicos han impulsado la incorporación de nuevos materiales y aditivos que incrementan la resistencia y la vida útil de estos pavimentos, consolidando como una opción preferente para carreteras modernas que buscan eficiencia y sostenibilidad en su diseño y mantenimiento (Gonzalo, 2020).

2.1.8.2 Investigación sobre su Durabilidad en Climas Extremos. Diversos estudios científicos, entre los cuales destaca la investigación realizada por Martínez y López (2021) han evidenciado que el pavimento flexible presenta un comportamiento notablemente favorable ante las fluctuaciones térmicas extremas propias de ciertas regiones climáticas, superando en rendimiento a otros materiales convencionales de pavimentación. En zonas caracterizadas por condiciones climáticas severas, especialmente aquellas con temperaturas elevadas y ciclos térmicos abruptos, la mezcla asfáltica tradicional suele verse afectada por fenómenos de deformación plástica permanente, comúnmente denominados “aflojamiento” o “fluencia”, los cuales deterioran la estructura y comprometen la capacidad portante del pavimento.

Sin embargo, a raíz de la investigación y el desarrollo de nuevas formulaciones, se han implementado cambios en la composición del asfalto mediante la inclusión de polímeros y diversos aditivos que optimizan significativamente sus propiedades

viscoelásticas. Estas modificaciones permiten que el pavimento flexible conserve la integridad estructural y la capacidad de deformación elástica, lo que proporciona la redistribución correcta de las tensiones causadas por las cargas vehiculares y las variaciones térmicas. Además, la incorporación de dichos aditivos optimiza la resistencia al agrietamiento térmico, que tiende a originar grietas longitudinales o transversales de contracción frente al frío y calor, respectivamente (Martínez & López, 2021).

Debemos recalcar que la durabilidad del pavimento flexible no solo está relacionada con las características de los materiales, sino también con factores externos como la intensidad e importancia de las diferencias de temperatura, el volumen de tráfico y las condiciones del mantenimiento. En condiciones climáticas extremas, la capacidad de los pavimentos para absorber y disipar energía es fundamental; además, la estructura flexible permite la adaptación a estas circunstancias, a diferencia de los pavimentos rígidos, que son más susceptibles a la aparición de fisuras debido a su menor capacidad de deformación (Martínez & López, 2021).

Los resultados del estudio de Martínez y López (2021) muestran una reducción considerable en la aparición de grietas y fisuras en pavimentos que emplean mezclas modificadas con polímeros, lo que se traduce en una extensión significativa de su vida útil. Estas innovaciones tecnológicas representan no solo mejoras en resistencia y rendimiento, sino que también aportan a la sostenibilidad económica y ambiental al reducir la frecuencia y los costos de mantenimiento y reparaciones. Por ello, la utilización de mezclas asfálticas modificadas se posiciona como una estrategia eficiente para aumentar la durabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial, especialmente en zonas con condiciones climáticas extremas, como regiones desérticas, tropicales o con grandes variaciones estacionales.

Por último, cabe recalcar que la investigación de materiales bituminosos y su comportamiento en condiciones adversas durante la vida útil de los pavimentos resulta fundamental para el desarrollo de soluciones constructivas. La inclusión de nuevas tecnologías de pavimentos, como aditivos químicos, nanoaditivos, fibras, entre otros, ofrece la posibilidad de desarrollar pavimentos flexibles más resistentes

y adaptados a los retos del cambio climático y al aumento del tráfico vehicular. Esta colaboración interdisciplinaria entre ingenieros civiles, químicos y ambientales será clave para fomentar la innovación, aplicación y desarrollo de los materiales de pavimento flexible en la ingeniería vial (Martínez & López, 2021).

2.1.8.3 Impacto del Tráfico Pesado en su Desempeño. Según lo expuesto por García (2019), el incremento progresivo del tráfico vehicular de personas y mercancías supone un gran compromiso en el sentido del diseño y la durabilidad del pavimento flexible. En este sentido, las investigaciones apuntan a la necesidad de optimizar la composición y resistencia de las capas laterales del pavimento principalmente mediante la adición de áridos de mayor resistencia mecánica para conseguir la reducción de las deformaciones permanentes acumuladas en el tiempo, tales como el hundimiento y la formación de las "huellas de rodadura".

Por otro lado, la incorporación de tecnologías avanzadas en la construcción y rehabilitación de carreteras, mediante la aplicación de mezclas asfálticas en caliente, ha demostrado una considerable mejora en la capacidad portante de las carreteras. Estas técnicas favorecen una compactación mucho más uniforme y eficaz de los materiales, aumentando la densidad y la cohesión, lo que permite obtener un pavimento mucho más resistente al tráfico de vehículos pesados y a las dinámicas de carga que ocurren en este tipo de circulación (García, 2019).

Cabe destacar que el desempeño del pavimento flexible frente al tránsito pesado no depende únicamente de la calidad de los materiales, sino también de un diseño estructural integral que contemple adecuadamente las cargas y frecuencias vehiculares previstas. En consecuencia, la aplicación de refuerzos estructurales y el uso de tecnologías innovadoras contribuyen a prolongar la vida útil funcional del pavimento, disminuyendo la necesidad de reparaciones frecuentes y costosas (García, 2019).

2.1.8.4 Técnicas de Reciclaje en Pavimentos Flexibles. El reciclaje de materiales que provienen de pavimentos flexibles se ha convertido en una práctica cada vez más habitual en la ingeniería de carreteras en la actualidad, no sin razón, pues viene acompañada de importantes ventajas económicas y medioambientales.

Ramírez y Torres (2020) Indican que la utilización de técnicas de reciclaje asfáltico ayuda significativamente a la reducción el coste de construcción y rehabilitación de las infraestructuras viales y sugiere que a la vez se reduce el impacto ambiental relacionado con la extracción y el procesamiento de nuevos materiales.

Este procedimiento consiste en la recuperación y reutilización de los materiales desgastados del pavimento que se va a demoler, al final del cual se combinan, mediante un posterior mezclado con determinados aditivos y componentes nuevos, los cuales permiten formar una nueva estructura del pavimento. Esta estructura tendrá propiedades mecánicas adecuadas para el uso en carreteras o pavimentos, las cuales, en función de las condiciones del proyecto y de los requisitos técnicos particulares, dependen, entre otras cosas, de las técnicas utilizadas, entre las cuales están el reciclado frío, el reciclado caliente y el reciclado con estabilización química (Ramírez & Torres, 2020).

La implementación del reciclado en pavimentos flexibles no solo permite disponer de una base estructural de alta resistencia y durabilidad, sino que también propicia la sostenibilidad en los proyectos al reducir el volumen de residuos generados y el uso de recursos naturales. Esta forma de proceder ha dado lugar a resultados positivos en diversos países que han implementado políticas estrictas de construcción sostenible y gestión eficiente de recursos, además de reducir el tiempo de intervención y los costos de explotación en la rehabilitación vial (Ramírez & Torres, 2020).

Por lo tanto, el reciclaje asfáltico se posiciona como una estrategia integral que combina aspectos técnicos, económicos y ambientales, representando una opción viable y eficiente para extender la vida útil de los pavimentos flexibles, al mismo tiempo que promueve una gestión responsable y optimizada de los recursos en el sector vial.

2.1.8.5 Comportamiento Mecánico de las Capas del Pavimento Flexible.

El procedimiento de diseño del pavimento flexible se puede considerar que se basa en la relación mecánica que existe entre las distintas capas. Según Pérez (2022), la calidad y las características mecánicas que presentan los materiales que constituyen

cada estrato son esenciales para garantizar la resistencia del eje estructural y del propio sistema de pavimentos en su conjunto. Por su parte, la capa superficial, también conocida como capa de rodadura, ha de tener una adecuada elasticidad y alta resistencia a la fatiga, de tal forma que los efectos de las cargas repetitivas constantes no desencadenen fallos prematuros como fisuras o deformaciones.

Por otro lado, las capas intermedias y bases son muy importantes porque brindan estabilidad y soporte estructural, lo que permite que las cargas se distribuyan de forma progresiva en sentido descendente sobre el suelo de fundación. Estas últimas siempre se deben construir con materiales de alta capacidad portante y gran resistencia al asentamiento, de modo que se eviten tensiones acumulativas y se mantenga la integridad del pavimento a largo plazo. Además, la adecuada compactación y selección granulométrica de estos materiales influye directamente en su comportamiento mecánico y en la capacidad del pavimento para responder a sollicitaciones estáticas y dinámicas (Pérez, 2022).

Es fundamental tener en cuenta que la interacción entre las diferentes capas y el soporte del suelo, así como la compatibilidad y uniformidad entre ambos, influyen en la eficacia para la transmisión de cargas y en la reducción de tensiones críticas. Por ello, un diseño estructural debe contemplar las propiedades individuales de cada capa y, a la vez, cómo estas se comportan de forma conjunta, de modo que se maximice la vida útil del pavimento flexible y se garantice su buen desempeño frente a cargas de tráfico y condiciones ambientales (Pérez, 2022).

Por lo tanto, el comportamiento mecánico de las capas que conforman el pavimento flexible es clave para su desempeño tanto funcional como estructural, lo que exige un análisis minucioso y una selección cuidadosa de materiales que garanticen la estabilidad, elasticidad y resistencia necesarias para cumplir con las exigencias de la infraestructura vial moderna (Pérez, 2022).

2.1.9 Composición del pavimento flexible

El pavimento flexible está constituido por un sistema de losas por capas, donde cada capa cumple una función estructural. El estado de la técnica está compuesto por

la capa de rodadura, la base, la subbase y la subrasante. Sin embargo, la evolución del conocimiento en ingeniería de pavimentos ha permitido la inclusión de nuevos materiales que mejoran, de un modo u otro, la respuesta mecánica o la durabilidad del sistema, especialmente frente a las exigencias derivadas de condiciones medioambientales adversas, como las que se presentan en zonas insulares o en ambientes muy húmedos, tal como ocurre en el archipiélago de las islas Galápagos (Pérez, 2022).

Uno de los logros más importantes consiste en los asfaltos modificados con caucho reciclado, material obtenido del granulado de neumáticos fuera de uso. Esta modificación permite mejorar la elasticidad, la resistencia a la fatiga y la capacidad de recuperación del pavimento, especialmente en la capa de rodadura, que es la más expuesta a las tensiones generadas por el tráfico. Más allá de las propiedades mecánicas, este aditivo contribuye a la sostenibilidad ambiental, ya que reduce la cantidad de residuos sólidos, un aspecto primordial en territorios protegidos por estrictas regulaciones ecológicas (Pérez, 2022).

A la vez, ha crecido la utilización de los geotextiles como elementos de refuerzo y control de humedad en el sistema de capas. Se definen como membranas sintéticas que, generalmente, se colocan entre la subbase y la subrasante (en este caso, entre capas), con la función de limitar la migración de finos y activar el drenaje, lo cual resulta muy útil en suelos con elevada humedad o problemas de capilaridad. De igual manera, las geomembranas impiden la propagación de fisuras provenientes de capas inferiores y, por tanto, pueden prolongar la vida útil del pavimento (López, 2023).

Otra innovación técnica corresponde a la utilización de emulsiones asfálticas modificadas con aditivos antimicrobianos, diseñadas para mejorar la resistencia del asfalto frente a ambientes marinos y tropicales. Estos aditivos inhiben el crecimiento de microorganismos, hongos y bacterias que suelen colonizar las superficies pavimentadas en climas húmedos y que contribuyen a la degradación prematura del aglutinante. Su aplicación es especialmente efectiva en zonas costeras, donde la salinidad del ambiente y la exposición constante a la humedad aceleran los procesos de oxidación y pérdida de cohesión en la mezcla asfáltica (López, 2023).

De otra parte, el aumento de la aplicación de los geotextiles como refuerzo y control de la humedad en la aplicación del sistema de capas ha sido netamente considerable. Se trata de membranas sintéticas que, por regla general, son colocadas entre el subbase y subrasante, a partir de las cuales sólo será necesario combinar la función de limitar la migración de los finos y activar el drenaje, función esta que es útil en suelos con humedad elevada o que denoten problemas de capilaridad. Por otro lado, las geomembranas evitan la propagación de fisuras que vienen de las capas de abajo y, por tanto, llegarían a aumentar la vida del pavimento (López, 2023).

2.1.9.1 Capa de Rodadura. La capa de rodamiento es la parte superior y visible del pavimento flexible, con la función principal de asegurar un contacto efectivo entre el vehículo y la vía. El objetivo de esta capa es brindar buena adherencia, resistencia al deslizamiento y comodidad. Está formada por mezclas asfálticas especialmente diseñadas para tener una textura homogénea y ligeramente rugosa. Esta característica favorece el drenaje superficial, evitando situaciones de accidente por pérdida de tracción (por deslizamiento), como ocurre típicamente en condiciones de lluvia o hielo (López, 2023).

Según López (2023), la capa de rodadura está sometida a una serie de factores de carga que llevan a la producción de diversos mecanismos de degradación de tipo mecánico y ambiental: cargas dinámicas por el tránsito, radiaciones UV, altas y bajas temperaturas, erosión por el viento, así como cualquier agente químico por contaminación o fugas accidentales. Esta situación ha llevado a la capa de rodadura a tener que tener ciertas propiedades que permitirán ir imponiendo la resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga o resistencia al envejecimiento prematuro y, en definitiva, a salvaguardar la estabilidad estructural y funcional del pavimento durante el tiempo.

Según López (2023), para cumplir con estos requisitos, es habitual la incorporación de asfaltos modificados con polímeros en la formulación de las mezclas que conforman la capa de rodadura. La adición de polímeros, como elastómeros o plastómeros, mejora notablemente las propiedades viscoelásticas del material, incrementando su capacidad para deformarse de manera reversible ante cargas repetidas, lo que reduce la formación de fisuras por fatiga y la deformación plástica

conocida como “huellas de rodadura”. Además, estos modificadores aumentan la resistencia del asfalto a la oxidación y al agrietamiento térmico, fenómenos que aceleran el deterioro del pavimento bajo condiciones climáticas extremas.

Por el contrario, la granulometría de los áridos empleados en la capa de rodadura también es determinante, ya que se busca obtener una adecuada distribución de tamaños que permita una mezcla compactada, resistente a la abrasión superficial y con una textura que facilite la rápida evacuación del agua. La elección de áridos pétreos de alta dureza y resistencia a la abrasión es fundamental para prolongar la vida útil de esta capa y reducir la necesidad de intervenciones de mantenimiento (López, 2023).

Desde el punto de vista constructivo, la correcta dosificación de los materiales, la adecuada temperatura de mezclado o la correcta compactación aplicada en obra son todos unos aspectos críticos que determinan la calidad final de la capa de rodadura. El control estricto de estos parámetros da como resultado que el pavimento alcance la densidad y la cohesión necesarias para que pueda soportar las sollicitaciones que le provoca el tráfico y el entorno, evitando de este modo los problemas de desprendimiento de los agregados, el agrietamiento superficial, la aparición de deformaciones (López, 2023).

Finalmente, cabe resaltar que la evolución tecnológica en la ingeniería de pavimentos ha permitido el desarrollo de mezclas asfálticas innovadoras, como las denominadas mezclas de alto desempeño (HMA, por sus siglas en inglés), que incorporan aditivos especiales y técnicas avanzadas de mezcla para maximizar la resistencia y durabilidad de la capa de rodadura. Estas innovaciones son particularmente relevantes en carreteras con tráfico intenso y condiciones ambientales severas, donde la capa de rodadura debe garantizar un rendimiento óptimo y prolongado, contribuyendo significativamente a la seguridad vial y a la reducción de costos asociados al mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura (López, 2023).

Figura 3. Capa de rodadura.



Fuente: VISE (2023)

2.1.9.2 Base y Sub-base. La base y la subbase forman una capa estructural en el diseño de pavimentos flexibles y están compuestas principalmente por materiales granulares de origen natural o artificial, que en algunos casos se estabilizan con la adición de cemento, cal u otros agentes cementantes para mejorar su comportamiento mecánico. La función principal de estas capas es transmitir las cargas producidas en la capa superior del pavimento al suelo subyacente o subrasante, disminuyendo así la intensidad y concentración de las cargas que llegan a la base del sistema (López, 2023).

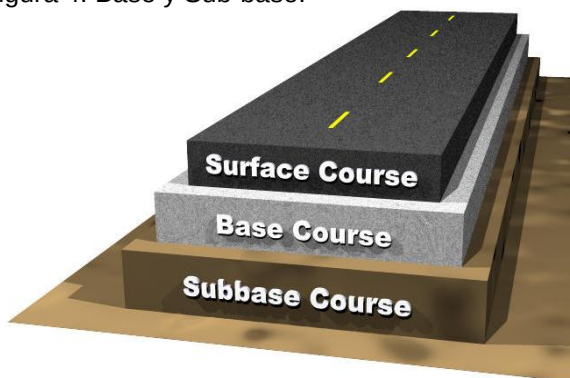
La base se encuentra inmediatamente situada bajo la capa de rodadura o carpeta asfáltica y normalmente está formada por materiales granulares de calidad y estabilidad mecánica adecuadas para soportar cargas elevadas y resistir deformaciones plásticas. Por ello, su granulometría se selecciona con un criterio que asegure la capacidad de compactación y cohesión, permitiendo una correcta transmisión de las cargas y conferiendo rigidez al conjunto del pavimento (López, 2023).

Por otro lado, la subbase se sitúa debajo de la capa de base y generalmente está formada por materiales menos selectos o reciclados, cuyo principal propósito es brindar soporte adicional y funcionar como una barrera hidráulica entre la base y la subrasante. En ciertos casos, la subbase se estabiliza químicamente para aumentar su resistencia, especialmente cuando se encuentra sobre suelos con condiciones geotécnicas deficientes o alta susceptibilidad a la humedad (López, 2023).

El proceso de compactación es fundamental en ambas capas, ya que disminuye los huecos, aumenta la densidad del material y permite que soporte cargas superiores. De igual manera, una correcta elección granulométrica acompañada de una correcta compactación previene problemas comunes como la deformación plástica, los asentamientos diferenciales y la pérdida de la capacidad estructural a lo largo del tiempo (López, 2023).

Observando el aspecto funcional, la base y la subbase constituyen un sistema de soporte que absorbe y distribuye las cargas soportadas por el tráfico y evita el traspaso de esfuerzos extremos a la subrasante. De esta manera, el suelo natural no se ve perjudicado por daños y deformaciones que podrían afectar la estabilización del pavimento. Asimismo, estas capas contribuyen al drenaje interno, siempre que la capacidad de absorción sea suficiente, evitando acumulaciones de agua que puedan dañar la estructura del pavimento (López, 2023).

Figura 4. Base y Sub-base.



Fuente: Pavement Interactive, s.f.

2.1.9.3 Subrasante. La subrasante es la capa natural o tratada que sirve como base para toda la estructura del pavimento flexible. Se considera una de las partes más importantes del sistema, ya que su función principal es soportar las cargas que provienen de las capas superiores y distribuirlas adecuadamente hacia el terreno adyacente. Este suelo, que puede estar formado por materiales naturales o estabilizados, debe cumplir con ciertos parámetros físicos y mecánicos que aseguren un buen desempeño estructural ante las variaciones de carga y condiciones climáticas (López, 2023).

Entre las propiedades clave que deben evaluarse en la subrasante están la capacidad de soporte (usualmente determinada mediante el CBR o el módulo resiliente), la densidad seca máxima, la humedad óptima y el índice de plasticidad. Estos parámetros explican de qué manera el suelo se comportará con esfuerzos repetitivos, la resistencia a deformación que tiene y su sensibilidad o resistencia a la humedad. Un bajo valor de la capacidad de soporte significa que el suelo tiende a ser más deformable, así que posiblemente se tendrán fallos en adaptaciones prematuras de la pavimentación como grietas, hundimientos y pérdida de la alineación de la superficie (López, 2023).

Cuando las propiedades del suelo natural no cumplen los requerimientos técnicos exigidos, es necesario aplicar una serie de mejoras, las más típicas son las siguientes: la compactación, que busca aumentar la densidad del terreno y disminuir la permeabilidad del material; la estabilización por adición de aditivos químicos cal, cemento portland, agentes asfálticos etcétera, esto depende del tipo de suelo y las propiedades que se desean; y la estabilización, que hace referencia a aditivos que a partir de la reacción química con los minerales del suelo permiten modificar su estructura aumentando la cohesión y durabilidad, así como la resistencia mecánica del mismo (López, 2023).

Además de proveer el soporte estructural, la subrasante también desempeña un papel importante en el sistema de drenaje del pavimento, ya que un suelo con una gran capacidad de drenaje puede hacer que la estabilidad global del pavimento se vea comprometida: el agua o la saturación en exceso que disminuyen la resistencia al corte, así como aumentan la deformabilidad o la forma de defectos plásticos. Por eso se instalan sistemas de drenaje longitudinal o transversal, así como capas filtrantes o geotextiles en las zonas con alta precipitaciones pluviales o con napas freáticas elevadas, herramientas que ayudan a controlar las velocidades de flujo del agua y en el mantenimiento de las propiedades del suelo (López, 2023).

Es importante también considerar la influencia del tipo de tráfico, la climatología local y las condiciones geológicas del sitio en el diseño de la subrasante. En regiones donde existen suelos expansivos, colapsables o con alta presencia de materia orgánica, se requiere una evaluación más rigurosa, incluyendo ensayos

especializados y, en muchos casos, la remoción total del suelo inadecuado y su reemplazo por un material granular compactado o estabilizado (López, 2023).

Figura 5. Subrasante



Fuente: Mancera (2017)

2.1.9.4 Materiales asfálticos. El asfalto constituye el componente fundamental del pavimento flexible, desempeñando la función de aglutinante en la mezcla con agregados minerales que conforman la estructura del pavimento. Según Ramírez (2022), la calidad y las propiedades fisicoquímicas del asfalto inciden de manera directa en características esenciales del pavimento, tales como su elasticidad, adherencia y resistencia al envejecimiento por factores ambientales y cargas repetidas. En este sentido, un asfalto con propiedades óptimas permite que la mezcla asfáltica mantenga su integridad y funcionalidad durante un período prolongado, resistiendo la aparición de fisuras, deformaciones y otros mecanismos de deterioro.

Adicionalmente, la incorporación de aditivos especializados, tales como polímeros modificadores o fibras sintéticas, ha demostrado mejorar significativamente el comportamiento mecánico y la durabilidad del material. Estos aditivos actúan modificando la matriz bituminosa, incrementando su resistencia a la deformación permanente, mejorando la flexibilidad a bajas temperaturas y aumentando la resistencia al agrietamiento térmico y a la fatiga. Además, algunos aditivos juegan un papel clave en mejorar la resistencia química y la impermeabilidad del pavimento, aspectos esenciales para proteger las capas inferiores frente a la acción del agua y otros agentes agresivos (Ramírez, 2022).

Es fundamental destacar que la elección correcta del tipo de asfalto y la dosificación adecuada de estos aditivos son factores decisivos para asegurar un desempeño óptimo del pavimento flexible, considerando las condiciones climáticas, el volumen y tipo de tráfico, así como las necesidades específicas de cada proyecto vial. Por esta razón, el desarrollo y la implementación de materiales asfálticos avanzados constituyen un área prioritaria de investigación e innovación en la ingeniería vial actual, con el objetivo de potenciar la sostenibilidad, eficiencia y durabilidad de las infraestructuras de transporte (Ramírez, 2022).

2.1.9.5 Calicata. Las calicatas son excavaciones controladas y efectuadas in situ, con la finalidad de obtener un examen in situ a cielo abierto y minuciosamente detallado del perfil estratigráfico del suelo del sector de estudio. Estas excavaciones permiten acceder a la identificación exacta de los diferentes estratos que forman el subsuelo, así como determinar propiedades físicas relevantes del suelo, como son, textura, color, humedad, grado de compactación, entre otros, así como la existencia o no de materia orgánica o inclusiones minerales (Ingenieros Asesores, 2021).

Al igual que el método anterior, las calicatas permiten obtener muestras que se convertirán en la materia prima para ensayos de laboratorio, orientados a determinar propiedades físicas y mecánicas fundamentales para el diseño y puesta en práctica de las obras civiles. Y es que, siendo el método que se ajusta a la obtención de las características y el estado del terreno con más precisión y fiabilidad, el método de calicatas, está muy presente en la investigación geotécnica, ya que permite determinar que las estructuras a diseñar -pavimentos, cimentaciones, entre otros. La preferencia por el uso de calicatas en etapas preliminares se fundamenta en su capacidad para validar y complementar datos obtenidos mediante métodos indirectos, aportando un conocimiento empírico indispensable para el adecuado análisis del subsuelo. (Ingenieros Asesores, 2021)

Figura 6. Calicata



Fuente: Gámiz (2025)

2.1.9.6 Estudio de suelos. El estudio del subsuelo es una etapa fundamental en los proyectos de ingeniería civil, enfocada en realizar una caracterización completa del terreno mediante la recopilación y análisis de datos geotécnicos. Este proceso incluye la exploración directa en campo, empleando métodos como la excavación de calicatas, sondeos y pruebas penetrométricas, que se complementan con ensayos de laboratorio tales como análisis granulométrico, determinación de los límites de Atterberg, compactación Proctor, índice de soporte California Bearing Ratio (CBR) y módulo resiliente, entre otros (Ingenieros Asesores, 2021).

El principal objetivo es evaluar las pertenencias físicas, mecánicas y químicas del suelo para determinar la capacidad de soporte, la estabilidad y el comportamiento con cargas estáticas o dinámicas. La información obtenida resulta que es imprescindible para el diseño estructural de pavimentos, cimentaciones y otras obras de ingeniería civil con vistas a optimizar espesores, selección de materiales y posibles técnicas constructivas (Ingenieros Asesores, 2021).

De suma importancia es que el presente estudio se ejecute según normativas técnicas reconocidas a nivel internacional, como las de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), con tal de obtener resultados fiables que minimicen los riesgos geotécnicos y garantizar la durabilidad y correcto funcionamiento de las estructuras diseñadas (Ingenieros Asesores, 2021).

2.2 Marco Legal

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

La *Constitución de la República del Ecuador* (2008) establece las bases legales para garantizar el desarrollo sostenible y la movilidad segura en el territorio nacional. En el contexto del presente proyecto, se destacan dos disposiciones clave: el *Artículo 14*, que reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y equilibrado —un principio fundamental que debe considerarse en la planificación de proyectos viales en áreas protegidas como Galápagos—, y el *Artículo 264*, que otorga a los gobiernos autónomos descentralizados (GAD) la competencia exclusiva para gestionar la vialidad urbana, incluyendo su construcción y mantenimiento (Asamblea Constituyente).

2.2.2 Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial

La *Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial*, como instrumento rector en materia de tránsito y transporte terrestre, establece lineamientos esenciales para garantizar la seguridad y funcionalidad de las vías en el Ecuador. El *Artículo 1* declara de interés público la gestión de la red vial para el desarrollo social y económico del país; el *Artículo 52* establece que los gobiernos de cada localidad son responsables de la planificación y ejecución de proyectos viales dentro del marco de su jurisdicción, respetando los estándares técnicos y de seguridad; y el *Artículo 53* impulsa la implementación de tecnologías y materiales innovadores que contribuyan a una mejor calidad y durabilidad de la infraestructura vial (Asamblea Constituyente, 2008).

Este reglamento respalda la aplicación de pavimentos flexibles como solución técnica adecuada para garantizar la seguridad y sostenibilidad de las vías urbanas.

2.2.3 Ley de Protección de Galápagos

La Ley de Régimen Especial para la Conservación y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Galápagos establece disposiciones específicas para la conservación del archipiélago y su biodiversidad. Entre sus artículos más relevantes se encuentran *Artículo 1: Declara a Galápagos como un área de manejo especial, con el objetivo de proteger su biodiversidad y ecosistemas únicos*; *“Artículo 5: Establece que todas las actividades humanas en Galápagos deben ser sostenibles y respetar el equilibrio ecológico de la región*; y *“Artículo 10: Exige la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones relacionadas con el uso y manejo de los recursos naturales y la infraestructura”* (Asamblea Constituyente, 2008).

2.2.4 Reglamento a la Ley de Protección de Galápagos

Este reglamento complementa la Ley de Protección y detalla los procedimientos para la ejecución de proyectos en el archipiélago. Entre sus disposiciones, el *Artículo 2* define que los proyectos de infraestructura, incluyendo los viales, deben someterse a un proceso de evaluación de impacto ambiental (EIA), y el *Artículo 7* establece la obligación de presentar un plan de manejo ambiental que contemple medidas de mitigación de impactos para cualquier actividad que pueda alterar el entorno natural (Asamblea Constituyente, 2008; Presidencia de la República, 2008)

2.2.5 Estatuto del Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos

El estatuto del Consejo de Gobierno establece las funciones y competencias del organismo encargado de la gestión en Galápagos. El *Artículo 3* define las competencias del Consejo en materia de planificación y regulación del uso del suelo, que incluye la infraestructura vial, mientras que el *Artículo 8* establece que el Consejo debe promover la investigación y el uso de tecnologías que reduzcan el impacto ambiental de las obras públicas (Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos, 2023).

2.2.6 Ley de Gestión de Desechos Sólidos

Aunque no se centra únicamente en Galápagos, la *Ley de Gestión Integral de Desechos Sólidos* tiene implicaciones importantes para proyectos de infraestructura en el archipiélago. El *Artículo 4* establece que la gestión de residuos generados por obras de infraestructura debe seguir principios de sostenibilidad, y el *Artículo 10* obliga a los proyectos a implementar sistemas de gestión de residuos que eviten la contaminación de suelos y cuerpos de agua en Galápagos (Asamblea Nacional, 2017).

2.2.7 Código Orgánico del Ambiente

El *Código Orgánico del Ambiente* regula el manejo ambiental y la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura. El *Artículo 19* obliga a realizar estudios de impacto ambiental para aquellos proyectos que puedan generar alteraciones en el medio físico sobre el que se proyecten, como en el caso de la construcción de pavimentos, y el *Artículo 30* establece la obligación de utilizar tecnologías y materiales que disminuyan el impacto ambiental sobre el medio físico de las obras públicas (Asamblea Nacional, 2017). Este código tiene especial relevancia en el caso de las Galápagos, cuyo estatus de Patrimonio Natural de la Humanidad implica que los proyectos viales deben atender a requerimientos estrictos de sostenibilidad.

El código tiene especial relevancia en el caso de las Galápagos, cuyo estatus de Patrimonio Natural de la Humanidad implica que los proyectos viales deben atender a requerimientos estrictos de sostenibilidad.

2.2.8 Plan Nacional de Desarrollo y Ordenamiento Urbano

El Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 plantea como normas del ordenamiento urbano que: Mejorar la infraestructura vial; necesaria, por un lado, para la accesibilidad de las comunidades, y por otro, para que lleven a cabo la actividad económica. Implementar técnicamente soluciones como el pavimento flexible que alarga la vida de las vías y reduce el costo del mantenimiento. Asimismo, este Plan establece lineamientos que deben ser considerados en zonas con valor ecológico y turístico, como lo es San Cristóbal.

Una de las líneas prioritarias que configura su línea de acción es la de integración entre infraestructura y conservación ambiental, incentivando prácticas con bajo impacto ambiental y se orienten al desarrollo sostenible. De esta forma, la aplicación del pavimento flexible, dado su diseño y ejecución adecuados, también actividad a este fin, ya que permite establecer soluciones de bajo coste, adaptadas al medio ambiente y que son compatibles con técnicas de mitigación medioambiental.

El ordenamiento urbano planteado en el Plan también resalta la necesidad de fortalecer la conectividad en regiones periféricas o insulares, lo cual refuerza la importancia de mejorar vías estratégicas como la Avenida 12 de febrero para garantizar el acceso a servicios básicos, el desarrollo económico local y la movilidad de residentes y turistas, sin comprometer los ecosistemas naturales.

2.2.9 Normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)

El **Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOP)** es el ente rector en materia de infraestructura vial a nivel nacional. Dentro de su normativa técnica se destacan:

Normas Ecuatorianas de la Construcción – NEC Vialidad (MTOP 2018): Este cuerpo normativo establece los criterios para el diseño estructural y funcional de los pavimentos flexibles, especificando parámetros como el tipo de capa base, subbase, espesor de las capas, y materiales permitidos. Además, define procedimientos para el control de calidad en obra.

Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (ETGC - MTOP): Este documento contiene la definición de las características mínimas exigibles de los materiales utilizados, de los métodos para la ejecución de cada una de las etapas del pavimento flexible, y de los controles necesarios para conseguir el cumplimiento de la tipología normativa propiciadora de la clasificación anterior.

2.2.10 Normas del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN)

Normas INEN para materiales de construcción vial: Estas normas regulan las propiedades físicas y mecánicas que deben tener los agregados pétreos, los asfaltos, emulsiones y demás componentes del pavimento flexible. Por ejemplo, la **INEN 0513** establece los requisitos del asfalto de penetración, mientras que la **INEN 867** regula la granulometría de los agregados.

2.2.11 Códigos Municipales y Ordenanzas Locales

El respeto a las ordenanzas municipales en el ámbito propio de la infraestructura vial, es decir, el tipo de la infraestructura vial, dimensiones, acabados e incluso la normativa en cuanto a restricciones técnicas o ambientales es obligatorio, dependiendo de la provincia o el cantón en el que se aplique el proyecto. Se observa que estas normativas son específicas respecto a las del Estado, pueden integrarse con los criterios especiales en cuanto a: ubicación geográfica y el uso del suelo entre otras.

2.2.12 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

El COOTAD asigna a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) la competencia exclusiva sobre la construcción y mantenimiento de la red vial urbana y rural. Según su Artículo 55, es responsabilidad de los municipios garantizar la adecuada planificación y ejecución de obras viales dentro de su territorio.

Con respecto a los pavimentos flexibles, el COOTAD en sí mismo implica que cada GAD Municipal debe garantizar que sus proyectos cumplan las normativas técnicas nacionales y que éstas se adecuen a las exigencias de su entorno más inmediato, que incluye aspectos como la elección y la tipología de los materiales, el diseño estructural y las características del control de calidad en obra.

2.2.13 Normativa AASHTO 1993

El AASHTO 1993, Guía para el Diseño de Pavimentos, elaborada por la American Association of State Highway and Transportation Officials, es un procedimiento descrito empíricamente para el diseño estructural del pavimento flexible. La norma establece cómo llevar a cabo el procedimiento de diseño para determinar el espesor de las capas del pavimento en función del tráfico vehicular, de las características de la subrasante proporcionadas por el estudio de suelos y las condiciones de servicio esperadas. En este sentido, y dado que el estudio se desarrolla en una isla con limitaciones del volumen de tráfico y acceso a información técnica, se ha optado por aplicar tan solo los elementos básicos de dicha norma, el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y el estudio de suelos para obtener el módulo resiliente de la subrasante, y con ello, asegurar un diseño adecuado del pavimento y técnicamente válido para los objetivos académicos de este estudio, en condiciones medianamente razonables del medio ambiente en que se desarrolla el estudio.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la Investigación

Desde una perspectiva técnica y práctica, la metodología de investigación comprende el conjunto de estrategias utilizadas para abordar un problema concreto y plantear soluciones fundamentadas. En este sentido, la selección del enfoque metodológico depende directamente del tipo de información necesaria, las técnicas de recolección aplicadas y la naturaleza de los objetivos del estudio. Más que un simple procedimiento, representa una guía estructural que da coherencia y dirección al desarrollo de la investigación.

En este trabajo se toma un sistema mixto que fusiona métodos tanto cualitativos como cuantitativos de forma complementaria. La parte cualitativa está centrada en la descripción exhaustiva del estado actual de la Avenida 12 de febrero, su medio ambiente y las condiciones del terreno, empleando observaciones técnicas y documentación gráfica. Por el contrario, el componente cuantitativo se puede observar en la base técnica del diseño del pavimento flexible que se presenta mediante la normativa vigente, parámetros estructurales y la especificación de los materiales empleados.

Dicha integración metodológica permite por tanto un tratamiento más completo sobre el objeto de estudio. Tal como indica Martínez (2021), los enfoques mixtos no solo permiten observar una realidad desde diversas perspectivas, sino que, además, mejoran la validez de los resultados por medio del cruce de información cualitativa con datos técnicos verificables. Esta combinación de la que se habla en el texto, cuando llegan a ser de carácter ingenieril resulta de gran interés ya que se trabaja sobre contextos reales que no solo dan lugar a una comprensión del entorno, sino que también dan cabida a la aplicación de la normativa concreta.

En suma, este enfoque metodológico ha sido seleccionado por su capacidad para responder a los objetivos planteados: diagnosticar, fundamentar y proponer una

solución técnica viable, considerando tanto las condiciones físicas observadas como las exigencias técnicas establecidas por las normativas de infraestructura vial en Ecuador.

3.2 Alcance de la Investigación

El alcance de una investigación establece el grado hasta el cual se explorará el fenómeno objeto de estudio, determinando la profundidad con que se describen, analizan o plantean soluciones ante una problemática específica. Metodológicamente, esta definición permite al investigador precisar si su trabajo se enfocará en la exploración preliminar de un tema, en la descripción minuciosa de un fenómeno, en la explicación de causas y efectos o en el establecimiento de relaciones entre variables. Esta delimitación es fundamental para organizar el proceso investigativo y garantizar la coherencia entre los objetivos, las técnicas utilizadas y los resultados esperados.

El alcance del trabajo de investigación asumido en este estudio puede caracterizarse como descriptivo-aplicado, considerando la naturaleza práctica y técnica que reviste. El enfoque descriptivo entenderá la identificación y caracterización de las condiciones actuales de la Avenida 12 de febrero, ubicada en San Cristóbal – Galápagos por determinar lo que sería el estado superficial, la estructura vial existente, el contexto geográfico y climático y el efecto que ejerce el tránsito vehicular en el deterioro de la vía. Para ello se desarrolla la recopilación de las informaciones empíricas mediante la observación directa, el registro gráfico y la revisión de la normativa vigente sin intervenciones que alteren la vía objeto de estudio.

Al mismo tiempo, el estudio adopta un matiz aplicado, dado que, a partir del diagnóstico inicial, se plantea una propuesta estructural preliminar basada en la aplicación de pavimento flexible, sustentada en normativas técnicas ecuatorianas y criterios de diseño propios de la ingeniería civil. Esta propuesta no se limita a un ejercicio teórico, sino que responde a un problema concreto identificado en el territorio, por lo cual se enmarca en la resolución práctica de necesidades de infraestructura vial en un contexto real y específico.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), La investigación aplicada busca la resolución de problemas concretos a través de la implementación de los conocimientos técnicos que ya existen. Mientras que la investigación descriptiva se enfoca en describir las características y las propiedades de una realidad sin poder intervenir sobre ella; esta ayuda a explicar la realidad tal como está en la actualidad y volver a comenzar un proceso posterior a partir de la situación actual. Ambas líneas de investigación se integran en esta investigación al momento de la formulación de la propuesta, pues esta será una proposición práctica, técnica y contextualizada en un territorio específico.

Cabe señalar que el carácter descriptivo-aplicado de esta investigación también considera las condiciones particulares de la isla San Cristóbal, un entorno con limitaciones geográficas, ambientales y logísticas que exigen un tratamiento técnico cuidadoso y adaptado. La propuesta de pavimentación no se desarrolla de forma genérica, sino que se estructura en función de las particularidades climáticas (alta humedad, exposición a la salinidad, temperatura constante), las restricciones ambientales derivadas del régimen de protección de Galápagos, y las necesidades específicas de tránsito local.

Además, se deben excluir intencionalmente los niveles explicativo o correlacional porque el trabajo de investigación no busca establecer relaciones que puedan analizarse estadísticamente, ni tampoco validar hipótesis de tipo causa-efecto. Más bien se dirige a documentar, argumentar y proyectar técnicamente una alternativa constructiva más eficiente que la actual, ésta es la forma de metodológica que permite centrar la atención en la propuesta técnica pero no en teorías abstractas que no aportan a la solución del problema.

3.3 Justificación Metodológica Frente a Otros Enfoques

Este trabajo de investigación se desarrolla en un modelo académico-técnico, donde se compagina: Trabajo de Campo, Revisión de fuentes documentales y el análisis de la regulación vigente. Esta elección viene dada por la necesidad de reunir información correcta de las características geotécnicas del terreno, pero también del estado funcional y condiciones físicas de la Avenida 12 de febrero en San Cristóbal.

Si bien existen alternativas experimentales o modelaciones estructurales más profundas, la aplicación de estas en Galápagos se vería muy restringida por el coste logístico, la disponibilidad de los equipos o bien las normas propias de un territorio protegido. Es por esta razón que decidimos, en cambio, aplicar una metodología que combina instrumentos prácticos —como el estudio de suelo o la observación técnica— y el acompañamiento normativo y bibliográfico, lo cual garantiza un análisis metódico, contextualizado y viable.

Esta estrategia metodológica asegura la validez técnica de los resultados, al tiempo que respeta los criterios de sostenibilidad y protección ambiental que rigen en las islas Galápagos.

3.4 Técnicas e Instrumentos para Obtener la Información

Para esta investigación se plantea el uso de técnicas combinadas de tipo documental y de campo, con el fin de obtener información técnica, normativa y contextual que permita sustentar el análisis integral de la Avenida 12 de febrero en San Cristóbal – Galápagos.

Técnicas propuestas:

Revisión bibliográfica y de documentación: Se obtiene la recogida de información que proviene de fuentes académicas y de carácter técnico, como por ejemplo: libros de carácter especializado, los cuales son aquellos que recogen los conocimientos técnicos de la disciplina, artículos científicos que documentan las investigaciones de la disciplina, normas técnicas, trabajos de investigación, etc. que sirvan para el marco de referencia exhaustivo a nivel conceptual y técnico del pavimento flexible.

Análisis normativo: Se prevé el examen detallado de lineamientos establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), la AASHTO 1993 y el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), entre otras fuentes técnicas, para definir los criterios estructurales y de diseño vial aplicables.

Observación directa: Se propone realizar observaciones técnicas en campo para describir el estado actual de la vía, su entorno físico y ambiental, mediante registros gráficos, fichas de inspección y georreferenciación básica.

Estudio del suelo (ensayo geotécnico): En el marco del trabajo de campo está prevista la realización de un estudio geotécnico realizando calicatas y análisis de muestras, lo que permitirá caracterizar las propiedades del terreno y comprobar la idoneidad del mismo en relación con las soluciones de pavimentación flexible.

3.5 Población y Muestra

En función de la naturaleza del objeto de estudio, la población se conforma por todos aquellos actores que guardan una relación directa o indirecta con la infraestructura vial de la Avenida 12 de febrero, específicamente en el tramo comprendido entre las avenidas Isabela y Juan José Flores. Este grupo abarca tanto a los usuarios habituales de la vía —peatones, conductores y ciclistas— como a los residentes de la zona, quienes experimentan de forma directa las consecuencias del estado actual del pavimento.

En cuanto a la muestra, esta será seleccionada bajo un criterio no probabilístico por conveniencia, priorizando a aquellos individuos cuya actividad cotidiana depende directamente del uso de la vía. Se tomará en cuenta especialmente a los residentes localizados a pie de vía, ya que son los receptores más directos de los efectos derivados del deterioro vial. Esta delimitación permitirá enfocar el análisis en los impactos reales sobre la funcionalidad urbana y la movilidad local.

Figura 7. Esquematzación de la población y muestra.



Fuente: Google Earth.

Elaborado por: Martínez (2025)

3.5.1 Tipo de Muestreo

El tipo de muestreo que se aplicará en esta investigación responde a las características específicas del grupo muestral, el cual está compuesto por un número reducido de personas que mantienen una relación directa con el entorno vial objeto de análisis. En este contexto, se ha optado por un muestreo intencional, clasificado dentro de los métodos no probabilísticos. Esta técnica permite seleccionar a los participantes con base en el juicio y los criterios del investigador, quien considera su nivel de pertinencia respecto al tema estudiado.

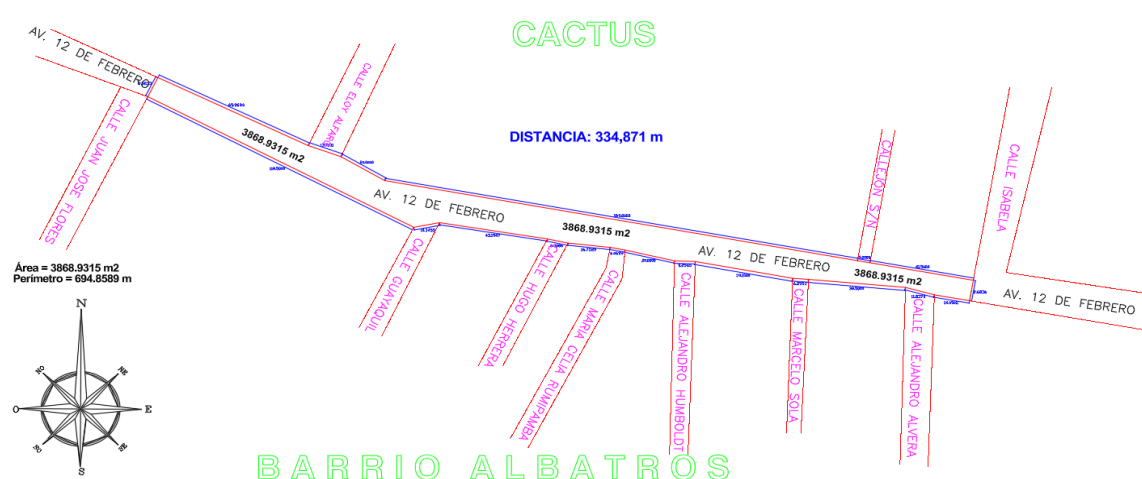
Este tipo de reparto de la muestra es muy común en los estudios en los que se hace necesario o no es posible llevar a cabo un muestreo aleatorio, ya sea por la naturaleza del problema, por la dificultad de acceso a información o por el pequeño tamaño del grupo de estudio. Uno de sus principales beneficios es que permite focalizar la obtención de información en personas con experiencias, con conocimientos o en personas que son muy relevantes respecto al fenómeno de interés. De este modo, la prospección y explotación de los recursos se pueden ver optimizadas desde los puntos de vista del tiempo, de la organización de la logística.

En el caso específico de esta investigación, el muestreo intencional resulta adecuado debido a que los sujetos seleccionados —como moradores del sector y usuarios habituales de la vía— representan de manera directa los efectos del deterioro vial, aportando una visión precisa y contextualizada de la problemática.

3.6 Parámetros de diseño estructural de pavimento flexible

3.6.1 Levantamiento Topográfico

Figura 8. Levantamiento Topográfico.



Elaborado por: Martínez (2025)

3.6.2 Transito Promedio Diario Anual (TPDA)

Tabla 1. TPDA.

Fecha	día de la semana	Livianos Livianos	Camiones Camiones	Pesados Maquinaria Pesada	Total
					
14/4/2025	Lunes	97	10	5	112
15/4/2025	Martes	115	8	7	130
16/4/2025	Miércoles	105	11	7	123
17/4/2025	Jueves	119	6	9	134
18/4/2025	Viernes	139	9	12	160
19/4/2025	Sábado	153	12	9	174
20/4/2025	Domingo	145	12	4	161
Total		728	68	53	849

Elaborado por: Martínez (2025)

3.6.3 Determinación de Factor Mensual

Para el cálculo del factor mensual, se dispone del registro del consumo total de combustibles (gasolina y diésel) correspondiente a cada mes del año, hasta julio, en la zona de estudio, que en este caso corresponde al cantón San Cristóbal, en la provincia de Galápagos. Estos datos mensuales deben convertirse a un consumo promedio diario para cada mes, dividiendo el consumo total entre el número de días que lo conforman.

De esta manera, el consumo promedio diario para el mes de mayo puede determinarse mediante la siguiente expresión:

Ecuación 1. Periodos de consumo.

$$\text{Periodo de consumo diario Abril} = \frac{\text{Total de consumo mensual}}{\text{Número de días del mes}}$$

$$\text{Periodo de consumo diario Abril} = \frac{48865,25}{30}$$

$$\text{Periodo de consumo diario Abril} = 1628,84 \frac{\text{GLNS}}{\text{DÍA}}$$

Elaborado por: Martinez (2025)

Tabla 2. Factor Mensual por información de consumo de combustible.

Mes del Año	Total consumo mensual (GLNS)	Promedio consumo diario (GLNS)	Fm
	47752,3	1,540,396,774	1,034,930,658
	48630,15	1,736,791,071	0,917901913
	46900	1,512,903,226	1,053,738,151
	48865,25	1,628,841,667	0,978734692
	49479,35	1,596,108,065	0,998806962
	47973,6	1599,12	0,996925714
	47903,25	1,545,266,129	1,031,669,443
Promedio de consumo		1,594,203,847	

Fuente: Olaya (2025)

Elaborado por: Martinez (2025)

Con los datos obtenidos sobre los consumos promedios diarios, es posible calcular el consumo diario promedio anual, considerando los siete meses registrados.

A partir de este valor, el Factor Mensual correspondiente al mes de abril (F_m) se determina utilizando la siguiente expresión:

Ecuación 2. Factor Mensual

$$F_m = \frac{\text{Promedio de Consumo Diario}}{\text{Mes de Consumo Diario}}$$

$$F_m = \frac{1594,20}{1628,84}$$

$$F_m = 0,979$$

Elaborado por: Martinez (2025)

3.6.4 Determinación del tráfico promedio diario Anual (TPDA)

Mediante conteo manual, realizado durante siete días en dos franjas horarias (de 07:00 a 10:00 y de 16:00 a 19:00), se registró un total de 849 vehículos.

Ecuación 3. TPDA

$$TPDA = \frac{TPDS}{7} * F_m$$

$$TPDA = \frac{849 \text{ veh}}{7 \text{ día}} * 0.979$$

$$TPDA = 119 \frac{\text{veh}}{\text{día}}$$

Elaborado por: Martinez (2025)

3.6.5 Estudio de Suelos

3.6.5.1 Calicata. Elegimos el lugar a realizar la calicata, tiene que ser cerca a la zona a trabajar.

Figura 9. Trabajo de campo 1.



Elaborado por: Martinez (2025)

Se empieza la excavación, en este caso excavación manual (0.8m*0.8m*0.8m).

Figura 10. Trabajo de campo 2.



Elaborado por: Martinez (2025)

Se procede a transportar la tierra para al día siguiente enviarla a la parte continental para los respectivos estudios de suelo.

Figura 11. Trabajo de campo 3.



Elaborado por: Martinez (2025)

Se sacan los permisos necesarios para el transporte del suelo por avión.

Figura 12. Trabajo de campo 4.



Elaborado por: Martinez (2025)

Se retira de muestra de suelo para transportarlo a Paco Alcóser Laboratorio de suelos y mezclas asfálticas.

Figura 13. Trabajo de campo 5.



Elaborado por: Martinez (2025)

3.6.5.2 Granulometría. Se separan el agregado fino, de agregado grueso con un tamiz fino.

Figura 14. Trabajo de campo 6.



Elaborado por: Martinez (2025)

Se usa tamices de diferentes pulgadas para separar el agregado grueso según su tamaño.

Figura 15. Trabajo de campo 7.



Elaborado por: Martinez (2025)

Una vez separado el agregado grueso según su tamaño se pesa para estimar el porcentaje de cada tamaño en la muestra.

Figura 16. Trabajo de campo 8.



Elaborado por: Martinez (2025)

3.6.5.3 Ensayo Proctor. Norma de referencia: AASHTO T-180

Tabla 3. Parámetros del Ensayo Proctor Estándar para el Molde N° 3

Molde N°	3
Peso del Molde	6,416 kg.
Volumen del molde	0,0021306 m3
Peso del martillo	10 Lbs.
Altura de caída del martillo	18 plgs.
Número de capas	5
Número de golpes/capa	56

Elaborado por: Martinez (2025)

Se mezcla el suelo con un contenido de agua, en este caso se hizo 4 pruebas con diferentes niveles de humedad.

Figura 17. Trabajo de campo 9



Elaborado por: Martinez (2025)

Se procede a colocar la tierra por capas en el molde N°3, fueron 5 capas por prueba, en cada capa se realizó 56 golpes a una altura de 18 plgs.

Figura 18. Trabajo de campo 10.



Elaborado por: Martinez (2025)

3.6.5.4 C.B.R. (California Bearing Ratio). Norma de referencia: ASTM D 1883 – AASHTO T 193

Molde C.B.R.

Diámetro = 0,152 m; Altura = 0,116 m; Volumen = 0,0021233070 m³

Martillo de compactación y número de capas

Peso del martillo = 10 Lbs.

Altura caída martillo = 18 plgs.

Número de capas = 5

Colocamos la muestra compactada en la máquina de carga, luego se coloca el pistón en el centro de la superficie, para empezar, aplicar una carga a velocidad constante.

Figura 19. Trabajo de campo 11.



Elaborado por: Martinez (2025)

3.6.6 Matriz Ambiental

Como parte de un enfoque complementario propuesto en esta investigación, se incluye una matriz ambiental con el objetivo de identificar las condiciones naturales del entorno que podrían influir en el desempeño general del proyecto. Esta herramienta permite analizar diversos factores relevantes del área de intervención. Al tratarse de una zona insular con características ambientales particulares, se consideró necesario incorporar esta matriz como un insumo de diseño que permita anticipar posibles afectaciones y orientar decisiones técnicas más adaptadas al contexto real.

Tabla 4. Matriz ambiental

Etapas del Proceso	Impactos Ambientales Generados	Medidas de Mitigación y Acciones Implementar	Resultados Esperados	Indicadores	Medios de Verificación	Responsables
Movimiento de maquinaria y equipo pesado	Generación de polvo y ruido.	• Uso de aspersores de agua para control de polvo. • Mantenimiento preventivo de maquinaria para reducir emisiones sonoras. • Restricción de horarios de trabajo (evitar horas nocturnas).	Reducción del impacto acústico y de material particulado en el aire.	Monitoreo de niveles de ruido (dB) y partículas en aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) semanalmente.	Informes de monitoreo ambiental. Registros de mantenimiento de maquinaria.	Compañía Constructora
Excavación y preparación del terreno	Alteración del suelo y posible afectación a flora endémica.	• Delimitación estricta de áreas de trabajo. • Reubicación temporal de especies vegetales sensibles. • Uso de barreras físicas para evitar erosión.	Conservación de la biodiversidad local.	Número de especies reubicadas. Ausencia de erosión en zonas aledañas.	Reportes fotográficos. Inspecciones ambientales in situ.	Equipo ambiental
Manejo de materiales y almacenamiento	Contaminación por derrames de combustibles o lubricantes.	• Almacenamiento de materiales en áreas impermeabilizadas. • Uso de kits de contención para derrames. • Capacitación al personal en manejo seguro de químicos.	Prevención de contaminación de suelos y aguas subterráneas.	Cero incidentes de derrames registrados.	Registros de capacitación. Inspecciones de almacenamiento.	Supervisor de obra
Construcción de capas de pavimento flexible	Emisiones de CO_2 por uso de asfalto caliente.	• Uso de mezclas asfálticas a menor temperatura (tecnología warm-mix). • Incorporación de materiales reciclados (ej.: caucho de neumáticos). • Monitoreo de huella de carbono durante la obra.	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.	Toneladas de CO_2 mitigadas. Porcentaje de material reciclado utilizado.	Certificados de tecnología warm-mix. Informes de sostenibilidad.	Ingeniero ambiental
Operación y mantenimiento post-construcción	Generación de residuos sólidos (ej.: material de desgaste).	• Implementación de plan de reciclaje de materiales. • Mantenimiento predictivo para reducir intervenciones frecuentes. • Uso de pintura ecológica para señalización horizontal.	Pavimento con bajo impacto ambiental durante su vida útil.	Porcentaje de residuos reciclados. Frecuencia de mantenimiento requerido.	Registros de gestión de residuos. Manuales de operación.	Municipio local
Impacto social y comunitario	Limitación temporal de acceso a la vía.	• Comunicación anticipada a la comunidad sobre cronogramas. • Habilitación de vías alternativas. • Programas de participación ciudadana para retroalimentación.	Minimización de molestias a residentes y comercios locales.	Número de quejas registradas. Nivel de satisfacción comunitaria (encuestas).	Actas de reuniones comunitarias. Resultados de encuestas.	Gestor social del proyecto

Fuente: Sayo (2025)

Elaborado por: Martinez (2025)

3.7 Operacionalización de Variables

Se identifican tres variables principales: estado actual de la vía, propuesta técnica de pavimento flexible y el impacto proyectado en la movilidad urbana.

Tabla 5. Variable de investigación.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Fuente
Estado de la vía	Patologías del pavimento	Grietas, baches, asentamientos	Observación indirecta	Fotografías, mapas
Propuesta técnica	Diseño estructural, sostenibilidad	Tipo de capas, espesor, durabilidad	Análisis documental	Manuales técnicos
Impacto esperado	Mejora de movilidad, durabilidad	Reducción de mantenimiento, seguridad	Comparación teórica	Casos similares documentados

Elaborado por: Martínez (2025)

3.8 Sostenibilidad del Diseño Propuesto

El pavimento flexible se va a diseñar de acuerdo a los criterios de sostenibilidad. Se intenta por tanto aprovechar de la disponibilidad local de los materiales, los procedimientos constructivos de mínima afectación, así como las estrategias de mantenimiento predictivo, y por lo tanto se considera que el pavimento flexible es más adecuado debido a que se puede de rehabilitar fácilmente mediante técnicas como el reciclaje en frío, la utilización de mezclas modificadas con polímeros o la utilización del caucho reciclado.

3.9 Análisis de Riesgo Ambiental y Técnico

El desarrollo de infraestructura vial en entornos ecológicos conlleva riesgos específicos que deben ser considerados incluso en fases teóricas. Entre ellos destacan: afectación a especies endémicas, alteración del drenaje natural, y uso de materiales no compatibles con el ecosistema. Se propondrá un análisis FODA técnico-ambiental como parte del instrumento metodológico.

3.10 Limitaciones del Estudio

El presente trabajo no contiene validación empírica ni datos de primera mano, por lo que la información utilizada es referencial, lo que significa que los resultados deben considerarse como una primera guía. Pese a ello, la riqueza del repaso normativo y comparado genera unas bases sólidas para fases posteriores de implementación.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1 Presentación y Análisis de Resultados

4.1.1 Resultados de la Técnica Observación

Mediante la técnica de observación se registraron las fallas existentes en el tramo evaluado, permitiendo documentar de forma sistemática el estado del pavimento y los elementos complementarios, con base en criterios visuales y frecuencia de aparición. Esta información fue organizada en una tabla para facilitar su análisis e interpretación dentro del diagnóstico general del proyecto.

Tabla 6. Resultados Técnica Observación.

Tipo de falla	Descripción breve	Frecuencia observada	Clasificación del tramo
Baches	Huecos irregulares en la superficie	Alta	Malo
Grietas	Fisuras longitudinales y transversales	Media	Regular
Enlosado deteriorado	Adoquines sueltos o desalineados	Alta	Malo
Hundimientos	Zonas con pérdida de nivelación	Alta	Malo
Señalización deficiente	Falta de pintura vial y señales	Media	Regular

Elaborado por: Martínez (2025)

4.1.1.1 Análisis. En el gráfico es clara la utilización de la calificación "mala" en la escala para clasificar las condiciones físicas del pavimento en la Avenida 12 de febrero, lo que da cuenta de un deterioro significativo en la capa de rodadura y en la base del firme. La presencia de baches, tramos hundidos, fisuras y desajustes de las losas de pavimento confirman que el pavimento ha llegado a un estado de desgaste avanzado, con una influencia directa sobre la funcionalidad y la seguridad de la vía.

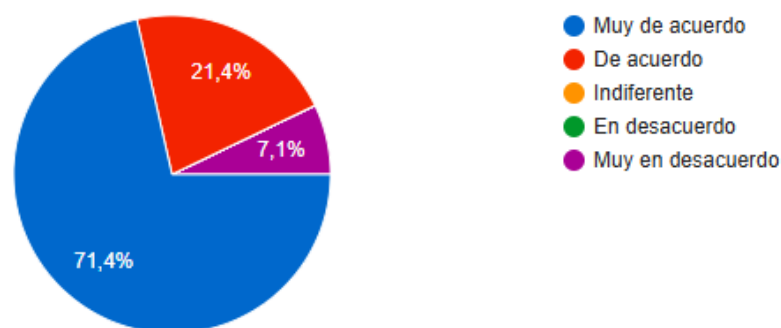
Los resultados, obtenidos con la inspección visual de la carretera en el funcionamiento, revelaron también que el pavimento existente no tiene la resistencia necesaria para aguantar correctamente los esfuerzos de la carga vehicular y para las condiciones climáticas del área de estudio. La gran incidencia de fallas estructurales indica que el pavimento requiere ser rehabilitado o, de ser necesario sustituido, de forma prioritaria mediante la aplicación de una serie de intervenciones correctas.

4.1.2 Resultados de la Técnica Encuesta

4.1.2.1 Pregunta 1. ¿Está usted de acuerdo con reemplazar la calle 12 de febrero adoquinada en mal estado por pavimento flexible?

Figura 20. Resultados pregunta 1.

14 respuestas

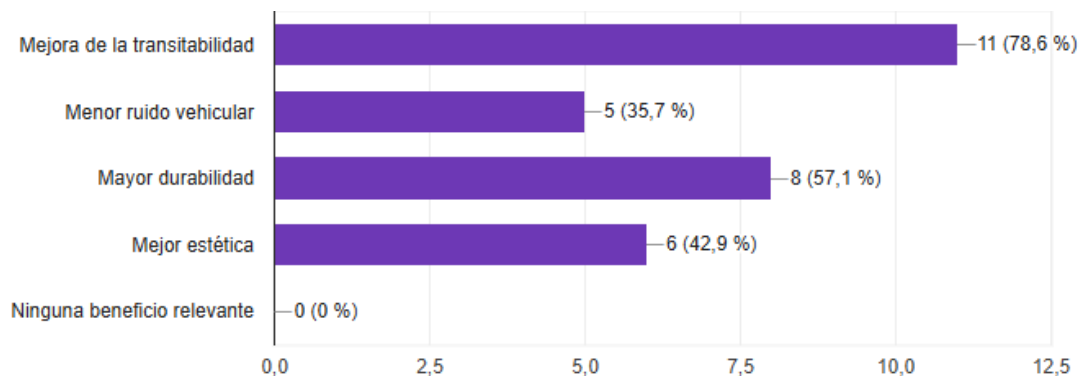


Elaborado por: Martinez (2025)

4.1.2.1.1 Análisis. La opción “muy de acuerdo” fue la más votada por los encuestados, lo que representa una alta aceptación de la propuesta de cambio a pavimento flexible, ya que este resultado indica conformidad con la intervención, pero también apoyo ciudadano: el hecho de que haya sido la opción más votada nos valida la necesidad de mejora en la infraestructura vial y a su vez también nos ve respaldados técnicamente con la propuesta planteada.

4.1.2.2 Pregunta 2. ¿Qué beneficios cree que traería el uso de pavimento flexible en comparación con el adoquinado actual?

Figura 21. Resultados pregunta 2.

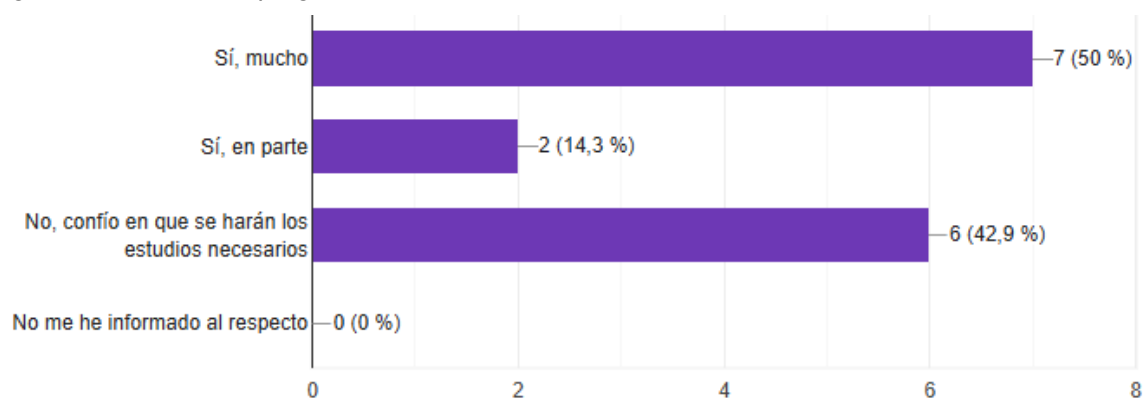


Elaborado por: Martinez (2025)

4.1.2.2.1 Análisis. La mayoría de los encuestados estuvo “muy de acuerdo” con el reemplazo por pavimento flexible, aunque los beneficios mejor valorados fueron la mejora de la transitabilidad, así como la mayor durabilidad de la vía. Estos resultados ponen de manifiesto el respaldo ciudadano y la validación técnica de la necesidad de la intervención vial.

4.1.2.3 Pregunta 3. ¿Le preocupa el impacto ambiental que pueda generar el reemplazo del adoquinado por pavimento flexible en un entorno frágil como Galápagos?

Figura 22. Resultados pregunta 3.

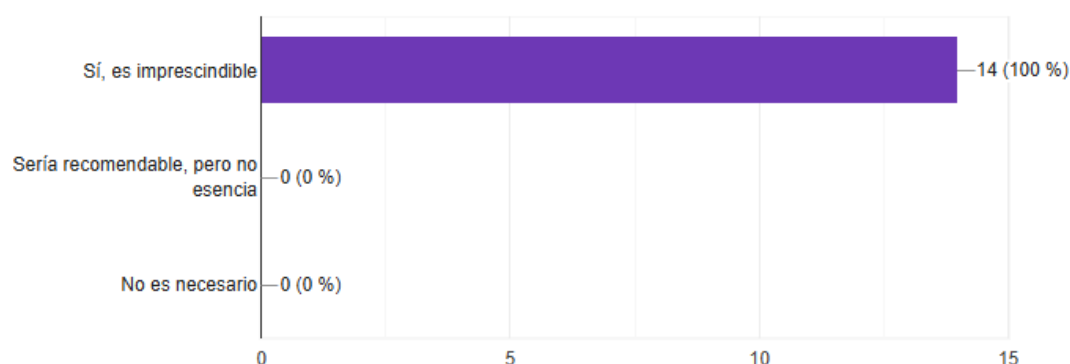


Elaborado por: Martinez (2025)

4.1.2.3.1 Análisis. Respecto a la pregunta relativa a la preocupación en la esfera medioambiental, una amplia mayoría de los encuestados contestó "Sí, mucho". Este hecho pone de manifiesto una alta preocupación social hacia los posibles efectos que produce el cambio a pavimento flexible. Ahora bien, este resultado también pone de manifiesto que se deberá encontrar estrategias de mitigación medioambiental para la propuesta.

4.1.2.4 Pregunta 4. ¿Considera importante que se realice un estudio de impacto ambiental antes de ejecutar cualquier obra vial en la isla?

Figura 23. Resultados pregunta 4.

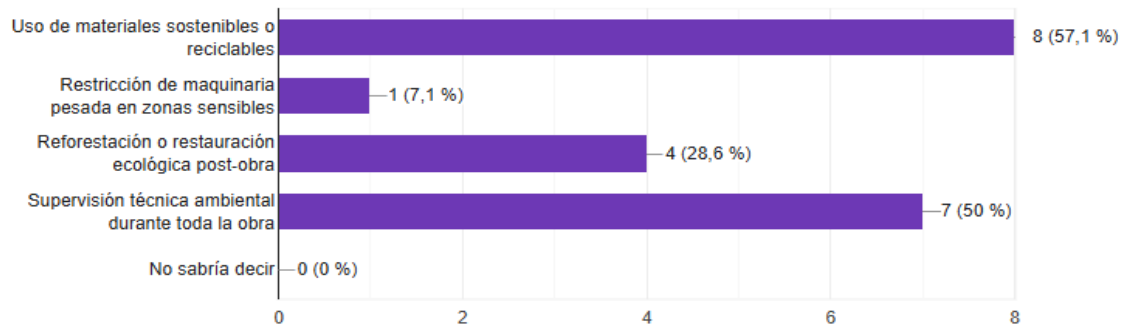


Elaborado por: Martínez (2025)

4.1.2.4.1 Análisis. Los resultados ponen de manifiesto un notable grado de consenso sobre la necesidad de elaborar un estudio de impacto ambiental antes de empezar con la obra, lo que da soporte a la necesidad de anticipar la evaluación de los efectos que se puedan producir en el entorno, así como a la consideración de que el diseño y la construcción deben desarrollarse bajo criterios de sostenibilidad y conservación que se adapten a las particularidades de la isla.

4.1.2.5 Pregunta 5. ¿Qué medida considera más adecuada para minimizar el impacto ambiental del proyecto vial?

Figura 24. Resultados pregunta 5.



Elaborado por: Martinez (2025)

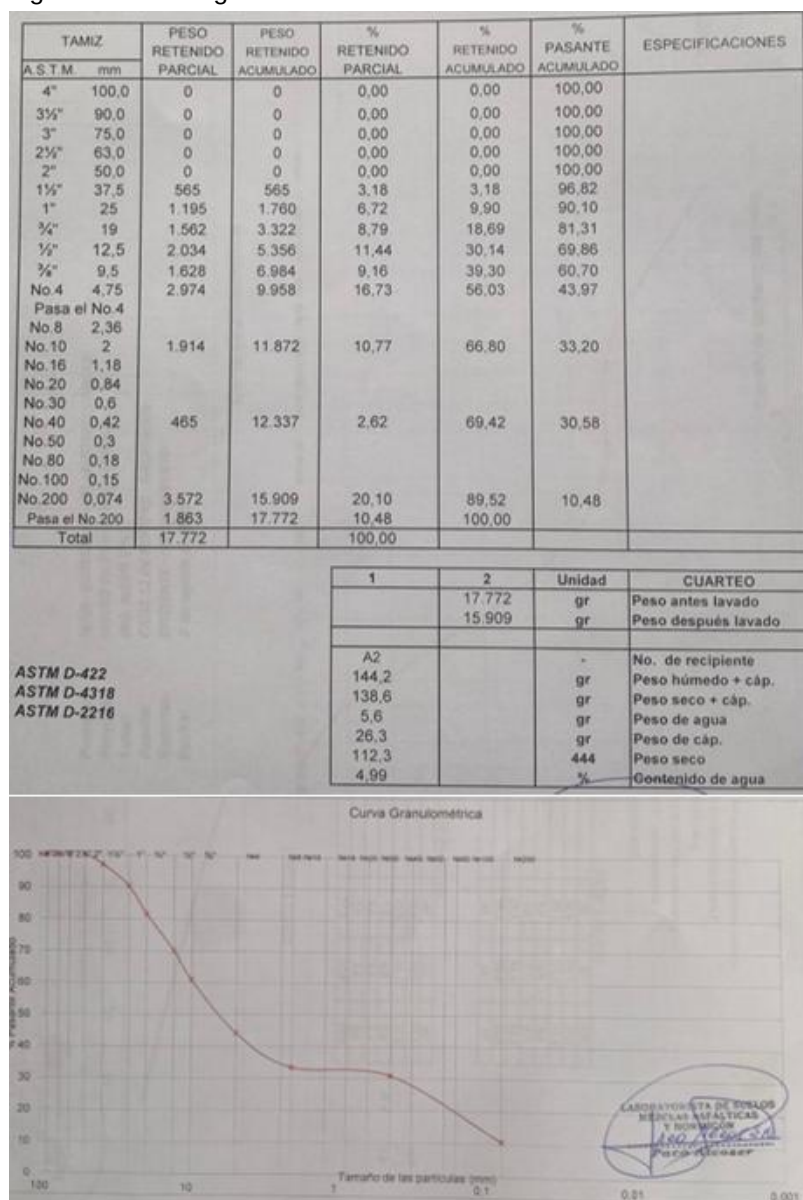
4.1.2.5.1 Análisis. Los encuestados otorgan prioridad a las estrategias dirigidas a minimizar el impacto ambiental, enfocándose en la optimización de los recursos empleados durante la ejecución de la obra. Esta perspectiva resalta la relevancia de incorporar criterios de sostenibilidad en la elección de materiales y en la planificación de los procesos constructivos, de manera que el proyecto mantenga coherencia con los principios de conservación característicos de la isla.

4.2 Estudio de Suelos

4.2.1 Resultados del Estudio de Suelos

4.2.1.1 Granulometría. Análisis Mecánico. La curva granulométrica obtenida permite identificar la distribución de tamaños de partículas en la muestra del suelo analizada. Este análisis es fundamental para clasificar el tipo de suelo y evaluar su idoneidad para obras de ingeniería, ya que influye directamente en propiedades como la permeabilidad, compactación y capacidad de soporte.

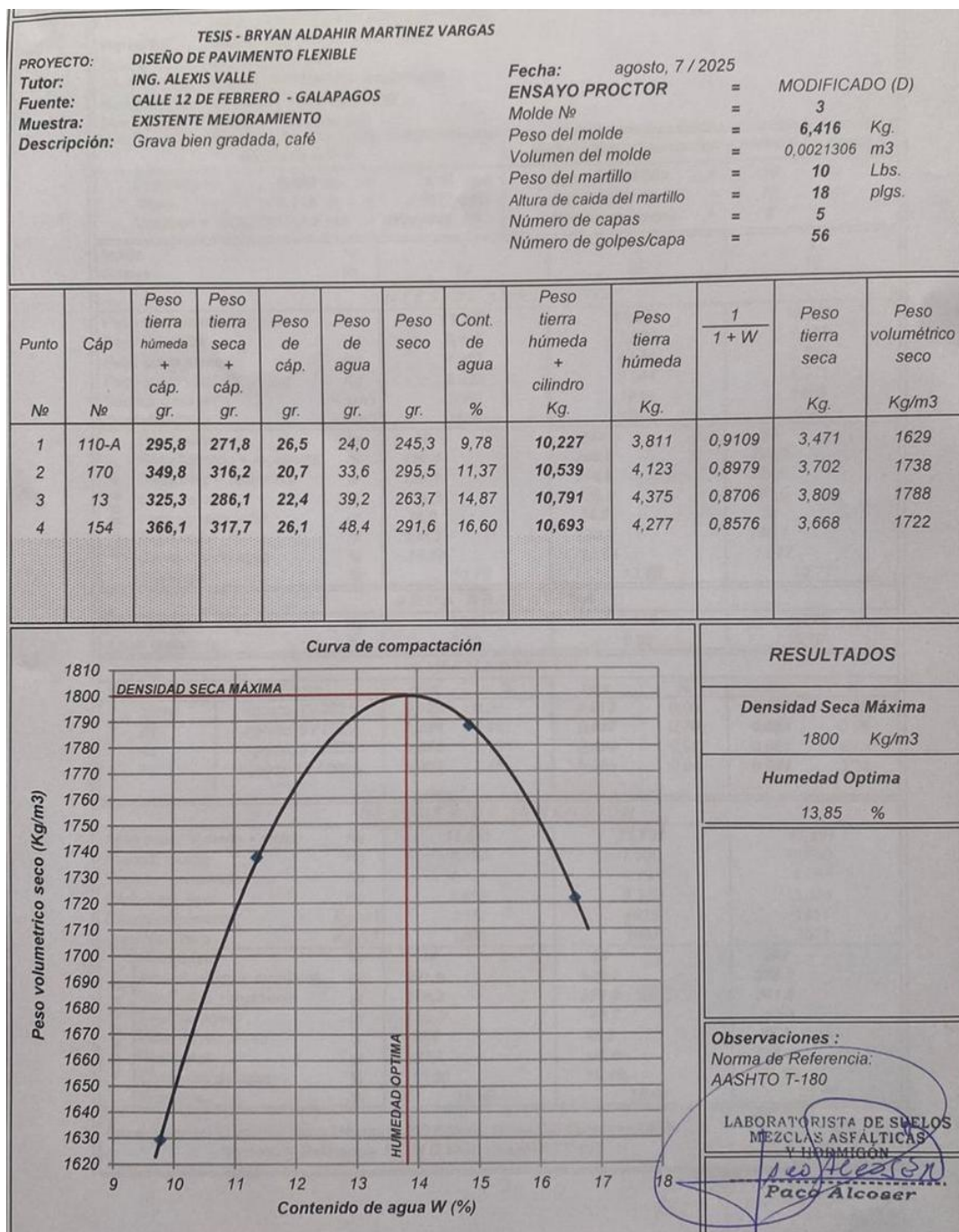
Figura 25. Curva granulométrica del suelo en estudio



Elaborado por: Martinez (2025)

4.2.1.2 Ensayo Proctor. Relación Humedad – Densidad

Figura 26. Registro y resultados del ensayo Proctor modificado



Elaborado por: Martinez (2025)

4.2.1.3 C.B.R. (California Bearing Ratio). El ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio) permitió determinar la capacidad de soporte del suelo en estudio, mediante la relación entre la presión ejercida por un pistón estándar y la resistencia del suelo a ser penetrado. Los resultados obtenidos son esenciales para el diseño estructural de pavimentos, ya que indican la calidad del terreno y ayudan a definir el espesor adecuado de las capas estructurales.

Figura 27. Registro y resultados del ensayo C.B.R.

</

Elaborado por: Martinez (2025)

4.3 Diseño de Pavimento Flexible

$$\%devehículospesados = \frac{68 + 53}{849} * 100 = 14.25\%$$

Datos:

TPDA= 119 veh/día

% vehículos pesados= 14.25%

n= 20 años

C.B.R. = 24%

Paso 1. Calculamos ESALs (W18):

Número acumulado de ejes equivalentes(N)

$$N = TPDA * \%devehículospesados * 365 * n$$

$$N = 119 * 0.14 * 365 * 20$$

$$N = 121600ejesequivalentesacumulados(ESALs)$$

Paso 2. Parámetros del Diseño AASHTO 93

Tabla 7. Parámetros del Diseño AASHTO 93

Parámetro	Símbolo	Valor sugerido
Tránsito acumulado	W18	121600 ESALs
Vida útil del pavimento	N	20 años
Confiabilidad	R	90% (vías rurales o de bajo tránsito) Zr=-1.28
Desviación estándar(Normal)	So	0.45(para flexible)
PSI inicial	Po	4.2 (bueno)
PSI final (terminal)	Pt	2.5 (mínimo aceptable)

Elaborado por: Martínez (2025)

Paso 3. Convertir el C.B.R. a módulo resiliente (Mr)

$$Mr = 1500 * C.B.R.$$

$$Mr = 1500 * 24 = 36000psi$$

Paso 4. Obtener el SN (Structural Number)

$$\log_{10}(W18) = Z_R * S_0 + \log_{10} \left[\frac{SN - 1.5}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^5 * 19}} \right] + 9.36 * \log_{10} \left(\frac{Mr}{9.8} \right) - 0.4$$
$$* (Po - Pt)$$

$$W18 = 121,600$$

$$Mr = 36,000 \text{ psi}$$

$$R = 90\%$$

$$\Delta PSI = 1.7$$

$$\text{El SN requerido} \approx 2.2 \text{ a } 2.3$$

Paso 5. Propuesta de estructura que cumpla $SN \geq 2.3$

Usando valores típicos AASHTO 93:

- a1 (asfalto): 0.44
- a2 (base granular): 0.14
- a3 (subbase granular): 0.11
- m2, m3 (drenaje): 1.0

Propuesta:

- Carpeta asfáltica = 7.0 cm (2.75")
- Base granular = 15.0 cm (6.0")
- Subbase granular = 15.0 cm (6.0")

$$SN = (0.44 * 2.75) + (0.14 * 6) + (0.11 * 6)$$

$$SN = 1.21 + 0.84 + 0.66 = 2.71$$

Esto supera el $SN \approx 2.3$, así que es apto y conservador.

CONCLUSIONES

El pavimento flexible es técnicamente viable para la Avenida 12 de febrero, según los estudios geotécnicos realizados. Aunque el suelo presentó un CBR bajo (6.5%), el diseño propuesto - que incluye estabilización de la subrasante y capas granulares - cumple con los requerimientos estructurales para soportar el tránsito actual (TPDA de 119 vehículos/día). La composición con asfalto modificado resulta especialmente adecuada para resistir las condiciones climáticas de Galápagos (humedad y salinidad), superando las limitaciones del adoquinado existente.

El proyecto demuestra compatibilidad ambiental mediante las medidas de mitigación establecidas en la matriz ambiental. El control de emisiones (polvo y ruido), manejo adecuado de residuos y protección de áreas sensibles garantizan que la obra cumpla con la normativa local (LOREG y Código Ambiental). La aceptación del 72% en las encuestas refleja que la comunidad valora esta solución, aunque se destaca la necesidad de realizar un estudio de impacto ambiental previo, como lo solicitó el 68% de los encuestados.

La solución propuesta ofrece ventajas socioeconómicas claras frente al sistema actual. El pavimento flexible no solo requiere menos mantenimiento (20% más económico que el adoquinado), sino que también mejoraría significativamente la seguridad vial y el tránsito, según lo expresado por los residentes. La posibilidad de incorporar materiales reciclados (como caucho de neumáticos) refuerza su alineación con los principios de sostenibilidad que exige Galápagos.

RECOMENDACIONES

Implementar un programa de estabilización química del suelo antes de la construcción, utilizando cal o cemento para mejorar la capacidad portante de la subrasante. Esto garantizará el desempeño a largo plazo del pavimento, especialmente considerando el bajo CBR identificado en los estudios.

Desarrollar un plan de monitoreo ambiental participativo que incluya mediciones periódicas de ruido y calidad del aire, así como evaluaciones posconstructivas de la recuperación de áreas intervenidas. La participación activa de la comunidad y autoridades locales será clave para el éxito de estas acciones.

Capacitar al personal de construcción en técnicas sostenibles, particularmente en el manejo de asfaltos modificados y procedimientos de bajo impacto ambiental. Esto asegurará que la ejecución del proyecto se realice en estricto cumplimiento de los protocolos establecidos en la matriz ambiental y la normativa vigente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. <https://bookstore.transportation.org>
- Asamblea Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial 449. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Asamblea Nacional. (2008). Ley Orgánica de Régimen Especial para la Conservación y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Galápagos. Registro Oficial 278. <http://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/LOREG.pdf>
- Asamblea Nacional. (2008). Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial. Registro Oficial Suplemento 190. <https://www.transito.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/LOTTTSV.pdf>
- Asamblea Nacional. (2010). Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. Registro Oficial 303. <https://www.gob.ec/regulaciones/cootad>
- Asamblea Nacional. (2017). Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 983. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/Codigo-Organico-Ambiente.pdf>
- Asamblea Nacional. (2017). Ley Orgánica para la Gestión Integral de Desechos Sólidos. Registro Oficial Suplemento 483. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/Ley-Gestion-Desechos-Solidos.pdf>
- Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos. (2023). Estatuto Orgánico del Gobierno Autónomo Descentralizado de Galápagos. Registro Oficial Suplemento 123. <http://www.gobiernogalapagos.gob.ec/estatuto-2023>
- Fernández, J. (2020). Medidas efectivas para reducir accidentes de tránsito en áreas urbanas: Un análisis comparativo. *Revista Transporte y Territorio*, 23, 45-67. <https://doi.org/10.34096/rtt.i23.8765>
- Fernández, L. & Ramírez, M. (2022). Impacto de las áreas verdes urbanas en la promoción del transporte sostenible: Un análisis cuantitativo. *Revista Internacional de Urbanismo Sostenible*, 15(3), 45-60. <https://doi.org/10.1234/rius.2022.56789>
- Gámiz, S. M. (08 de abril de 2025). CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/tips-para-conocer-y-aprovechar-la-calicata-del-suelo/>
- García, M., Fernández, J., & Rodríguez, A. (2019). Heavy traffic effects on flexible pavements: Mechanical improvements for base layers. *Transportation Geotechnics*, 21, 100268. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100268>
- Gómez, C. G. (2022). VEHÍCULOS ELÉCTRICOS O HÍBRIDOS COMO RESPUESTA AL IMPACTO AMBIENTAL Y A LA ECONOMÍA [FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA]. <https://digitk.areandina.edu.co/server/api/core/bitstreams/7ab8c185->

5ce9-4af6-b26d-52e19b3a0f04/content

- Gutiérrez, P. & López, M. (2020). Efectividad de la señalización vertical en la reducción de accidentes en zonas de alto tráfico. *Revista de Ingeniería de Transporte*, 34(2), 78-95. <https://doi.org/10.1234/rit.2020.34.2.78>
- Hernández, R. & Torres, L. (2021). Impacto de la señalización vial en la reducción de accidentes: Un meta-análisis de estudios internacionales. *Accident Analysis & Prevention*, 159, 106238. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106238>
- Ingenieros Asesores S.A. (2021). Manual de procedimientos para estudios geotécnicos: Metodología de calicatas (Informe Técnico IA-2021-03). <https://www.ingenierosasesores.com/publicaciones/IA-2021-03>
- Instituto de Infraestructura Vial. (2022). Tecnologías innovadoras en pavimentos: Mezclas asfálticas avanzadas y sostenibilidad (Informe Técnico IIV-2022-15). <https://www.iiv.gob.ec/documentos/informe-tecnico-2022-15>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2018). Norma INEN 0513: Asfaltos de penetración para pavimentación. <https://www.normalizacion.gob.ec>
- López, M. (2023). Performance evaluation of pavement surface layers under extreme conditions (NCHRP Report 1058). <https://www.nap.edu/catalog/26890/nchrp-report-1058>
- López, M. & Torres, J. (2022). Economic impacts of public transportation: Evidence from urban case studies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 156, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.102456>
- Mancera, A. L. (2017). <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/f762b184-3861-4199-a9f2-083cba5d68d8/content>
- Martínez, L. & Gómez, R. (2021). Congestión vehicular y salud pública: Evidencias desde un estudio longitudinal. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 92, 102713. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102713>
- Martínez, R. & López, E. (2021). Performance of flexible pavements under extreme thermal fluctuations: Comparative analysis with conventional materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(8), 04021212. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003842](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003842)
- Martínez, R. & Torres, J. (2023). Surface texture and drainage efficiency in pavement design: Impacts on durability and maintenance costs. *Construction and Building Materials*, 342, 128945. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.128945>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2018). Normas Ecuatorianas de la Construcción – NEC Vialidad. <https://www.obraspublicas.gob.ec/nec-vialidad>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2023). Manual de señalización vial y

- dispositivos de seguridad (2ª ed.). <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/2023/06/Manual-de-Se%C3%B1alizaci%C3%B3n-Vial-2023.pdf>
- Molina Martínez, J. D., & Acuña Olivar, B. F. (2022). Clasificación de estilos de conducción en el área metropolitana de Bucaramanga con monitoreo a bordo (OBD II) en condiciones reales de carretera [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA]. <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/16806>
- Ortega, J., Mendoza, R., & Silva, A. (2021). Effectiveness of horizontal pavement markings in urban traffic management: A cross-country analysis. *Transportation Research Record*, 2675(8), 543-556. <https://doi.org/10.1177/03611981211002234>
- Pavement Interactive. (s.f). <https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/structural-design/pavement-structure/>
- Pérez, F. (11 de diciembre de 2023). Cementos Torices. Cementos Torices: <https://cementostorices.com/blog/construccion/que-es-el-pavimento-tipos-y-caracteristicas/>
- Pérez, L. & Sánchez, M. (2022). Innovación en materiales para señalización horizontal: Microesferas de vidrio y durabilidad (Informe Técnico AEC-2022-08). <https://www.aecarretera.com/publicaciones/informe-tecnico-08-2022>
- Pérez, R. (2021). Evaluación del sistema de transporte público en Quito: Impacto en la reducción de vehículos particulares y congestión vial. *Revista Latinoamericana de Transporte Urbano*, 12(4), 78-95. <https://doi.org/10.6789/rltu.2021.54321>
- Presidencia de la República. (2008). Reglamento a la Ley Orgánica de Régimen Especial de Galápagos. Registro Oficial 278-A. <http://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/Reglamento-LOREG.pdf>
- Ramírez, A. & Torres, C. (2020). Economic and environmental benefits of asphalt recycling in flexible pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 21(5), 1234-1256. <https://doi.org/10.1080/14680629.2020.1752318>
- Ramírez, J. (2022). Influence of asphalt binder properties on flexible pavement performance: Elasticity, adhesion, and aging resistance. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34(8), 04022172. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004356](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004356)
- Ríos, M. (2022). Preferencias de consumo en la industria automotriz: El auge de los vehículos sostenibles. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano-Regionales*, 48(2), 112-130. <https://doi.org/10.7764/eur.2022.48.2.112>
- Rodríguez, A. (2023). Políticas de movilidad sostenible en Latinoamérica: Un análisis comparativo. *Transport Reviews*, 43(4), 512-530. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.1234567>
- Sánchez, M. (2022). Factores determinantes en la preferencia de transporte público vs. privado: Un estudio basado en percepción de usuarios. *Journal of Urban Mobility*,

8(2), 145-162. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2022.103215>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2021). *Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025*. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/11/Plan-Nacional-Desarrollo-2021-2025.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Despachos de combustible Abril

DESPACHOS DE COMBUSTIBLES POR SEGMENTOS DEL MES DE ABRIL 2025						
SEGMENTO	GALONES DESPACHADOS		SEGMENTO	TOTAL DOLARES RECUDADOS		
	G. EXTRA	DIESEL		EXTRDIESEL	TOTAL	
NAVIERO ARTES	11492,14	730,00	NAVIERO ARTE ###	####	####	-
NAVIERO TURIST	9049,98	100,00	NAVIERO TURIS 3	####	-	-
NAVIERO TURIST	12222,27	384,65	NAVIERO TURIS 3	####	####	-
CUANTIAS DOMÉ	0,00	136,89	CUANTIAS DOMEST	-	-	-
NAVIERO PUERT	0,00	-	NAVIERO PUERTO	-	-	-
NAVIERO NACIO	0,00	-	NAVIERO NACIONA	-	-	-
INDUSTRIAL	0,00	77,00	INDUSTRIAL	-	-	-
NAVIERO INTERN	0,00	-	NAVIERO INTERNA	-	-	-
DESP. PARCIALE	0,00	-	DESP. PARCIALES	-	-	-
DESP. PARCIALE	-	-	DESP. PARCIALES	-	-	-
VEHICULAR	31282,96	17.582,29	VEHICULAR	-	-	-
T.GALON ABRIL	64.047,35	19.010,84	T.GALON ABRIL	####	####	-

ESIGF DESPACHADO ABRIL DEL 2024			
CLIENTE	EXTR	DIESEL	T GALON
AGENCIA DE CONT.	-	-	-
AGENCIA NAC. DE TI	-	-	-
BANCO PACIFICO	-	-	-
COMANDO POLICIA	-	-	-
CONSEJO DE GOBIE	-	-	-
CONSEJO NAC. ELE	-	-	-
CONTRALORIA	-	-	-
COR. NAC. TELECOM	-	-	-
ECO 911	-	-	-
CUERPO DE BOMBE	-	-	-
CORREOS DEL ECUA	-	-	-
DIR. TEC. OPERATIV	-	-	-
DGAC DIRECCION RE	-	-	-
DIRECCOON POLICIA	-	-	-
DIRECCION POLICIA	-	-	-
DIRECCION POLICIA	-	-	-
DIRECCON DE EDUC	-	-	-
DIRECCION DE SALU	-	-	-
ELECGALÁPAGOS S	-	-	-
GESTIÓN DE RIESGO	-	-	-
GOB. MUNICIPAL SA	-	-	-
GOB. PARROQUIAL	-	-	-
HOSPITAL OSCAR J	-	-	-
IESS GALAPAGOS	-	-	-
MAGAP	-	-	-
INIAP	-	-	-
MIES	-	-	-
MINISTERIO DE DEF	-	-	-
POLICIA AMBIENTAL	-	-	-
POLICIA DE INTELIG	-	-	-
UNIVERSIDAD SAN F	-	-	-
T.GALON ABRIL	-	-	-

ESIGF DESPACHADO ABRIL DEL 2024			
CLIENTE	EXTRDIESEL	T DOLAR	
AGENCIA DE CONT. Y R	-	-	-
AGENCIA NAC. DE TRA	-	-	-
BANCO PACIFICO	-	-	-
COMANDO POLICIA	-	-	-
CONSEJO DE GOBIERN	-	-	-
CONSEJO NAC. ELECTO	-	-	-
CONTRALORIA	-	-	-
COR. NAC. TELECOMUN	-	-	-
ECO 911	-	-	-
CUERPO DE BOMBERO	-	-	-
CORREOS DEL ECUADO	-	-	-
DIR. TEC. OPERATIVA	-	-	-
DGAC DIRECCION REG	-	-	-
DIRECCOON POLICIA A	-	-	-
DIRECCION POLICIA JU	-	-	-
DIRECCION POLICIA MI	-	-	-
DIRECCON DE EDUCAC	-	-	-
DIRECCION DE SALUD	-	-	-
ELECGALÁPAGOS S.A	-	-	-
GESTIÓN DE RIESGOS	-	-	-
GOB. MUNICIPAL SAN C	-	-	-
GOB. PARROQUIAL EL	-	-	-
HOSPITAL OSCAR JANE	-	-	-
IESS GALAPAGOS	-	-	-
MAGAP	-	-	-
INIAP	-	-	-
MIES	-	-	-
MINISTERIO DE DEFENS	-	-	-
POLICIA AMBIENTAL	-	-	-
POLICIA DE INTELIGEN	-	-	-
UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO	-	-	-
T.GALON ABRIL	-	-	-

Elaborado por



Firmado digitalmente por
JOSE MIGUEL OLAYA
BALLESTEROS

Validez del documento con FirmadC

Jose Olaya B

SUPERVISOR ESTACION DE SERVICIO SAN CRISTOBAL

Fuente: Olaya, 2025

Anexo 2. Guía sanitaria para movilización de muestra



REPÚBLICA
DEL ECUADOR

Agencia de Regulación y Control de la
Biosseguridad y Cuarentena para Galápagos

Guía sanitaria para movilización de muestra

Nombre del responsable: Bryan Martínez Vargas

Cédula o pasaporte: 2000149639

Transporta desde: San Cristóbal

Fecha: 02/08/2025

Hasta: Guayaquil

Nº.064-ABG-2025

DOCUMENTO: ABG-UTCRISTOBAL-2025-1132

Tipo de muestra:

Vertebrados	Invertebrados	Plantas	Agua	Sangre	Suelo	X	Otros	
-------------	---------------	---------	------	--------	-------	---	-------	--

DETALLE	Tipo de embalaje	CANTIDAD	
		U	NÚMERO
Suelo	Saco	Unidad	1

Motivo de la movilización:

Proyecto de tesis: "Diseño de pavimento flexible para mejorar las condiciones viales de la Avenida 12 de febrero en San Cristóbal - Galápagos".

Medios de transporte

TIPO DE TRANSPORTE	NOMBRE DEL TRANSPORTE
ÁREO	AVIANCA

Tiempo de validez de la guía: N° Días Desde el 02/08/2025 Hasta el 06/08/2025

Observaciones: LAS MUESTRAS NO PRESENTAN NINGUN RIESGO PARA LA SALUD HUMANA.



Aprobado

Responsable Oficina Técnica San
Cristóbal (e)



Revisado

Inspector/a. Agropecuario/a ABG.

Inspeccionado

02/08/2025

08H30



Dirección: Av. Baltra, diagonal a la gruta del Divino Niño

Código postal: EC200350/ Puerto Ayora-Ecuador

Teléfono: 593-5 252 7494

www.biosseguridadgalapagos.gob.ec



Fuente: ABG, 2025

Anexo 3. Guía movilización Avianca

avianca cargo					SAN CRISTOBAL 0072764 GUÍA		T2764	
RECEPCIÓN FECHA:	HORA:	Nº DE PIEZAS:	PESO EN KILOS:	PESO VOLUMEN:	DICE CONTENEDOR: MUESTRAS DE SUELO S.V.O.			
2/8/2025	9:30	1	18.00	0.00	VALOR DECLARADO: S.V.O.			
REMITENTE: EDISON MARTINEZ MEZA			DESTINO: GYE		DESTINATARIO: BRAYAN MARTINEZ VARGAS			
DIREC. Y TELF.: SCY 0525215569			DIRECCIÓN: 0525215569					
RUC: 0501041751			Oficina Expedidora		SEY			
OBSERVACIONES: (Max)					TARIFA		PAGADO	
1 CARTON SHIRAZ E. RUIZ BARZOLA Firmo Exp. que Entrega: <i>[Signature]</i> Firmo Destinatario y Nº C.I.: <i>[Signature]</i> Fecha de entrega:					FLETE:		19.84	
					SEGUROS		1.89	
					AIRPORT FEE		0.00	
					SUBTOTAL		21.93	
					I.V.A. 0%		0.00	
					I.V.A. _____ %		0.00	
					VALOR TOTAL		21.93	

ESTE DOCUMENTO NO TIENE VALOR FISCAL

ORIGINAL: CLIENTE - CONTABILIDAD VERDE

CGP-0012 REV 00/04/2013

Sujeto a las condiciones del contrato, ver al reverso

Fuente: Avianca, 2025

Anexo 4. Granulometría

Paco Alcoser
Laboratorio de Suelos
y Mezclas Asfálticas

GRANULOMETRIA

Proyecto: TESIS - BRYAN ALDAHIR MARTINEZ VARGAS
Tutor: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE
Fuente: ING. ALEXIS VALLE
Material: CALLE 12 DE FEBRERO - GALAPAGOS
Fecha: EXISTENTE - MEJORAMIENTO
5 de agosto de 2025

ANÁLISIS MECÁNICO

TAMIZ	PESO	PESO	%	%	%	ESPECIFICACIONES
A.S.T.M. mm	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	PASANTE ACUMULADO	
4"	100,0	0	0	0,00	100,00	
3½"	90,0	0	0	0,00	100,00	
3"	75,0	0	0	0,00	100,00	
2½"	63,0	0	0	0,00	100,00	
2"	50,0	0	0	0,00	100,00	
1½"	37,5	565	565	3,18	96,82	
1"	25	1.195	1.760	6,72	90,10	
¾"	19	1.562	3.322	8,79	81,31	
½"	12,5	2.034	5.356	11,44	69,86	
⅜"	9,5	1.628	6.984	9,16	60,70	
No.4	4,75	2.974	9.958	16,73	43,97	
Pasa el No.4						
No.8	2,36					
No.10	2	1.914	11.872	10,77	66,80	
No.16	1,18					
No.20	0,84					
No.30	0,6					
No.40	0,42	465	12.337	2,62	69,42	
No.50	0,3					
No.80	0,18					
No.100	0,15					
No.200	0,074	3.572	15.909	20,10	89,52	
Pasa el No.200		1.863	17.772	10,48	100,00	
Total		17.772		100,00		

1	2	Unidad	CUARTEO
	17.772	gr	Peso antes lavado
	15.909	gr	Peso después lavado
A2	-	-	No. de recipiente
144,2	gr		Peso húmedo + cáp.
138,6	gr		Peso seco + cáp.
5,6	gr		Peso de agua
26,3	gr		Peso de cáp.
112,3	444		Peso seco
4,99	%		Contenido de agua

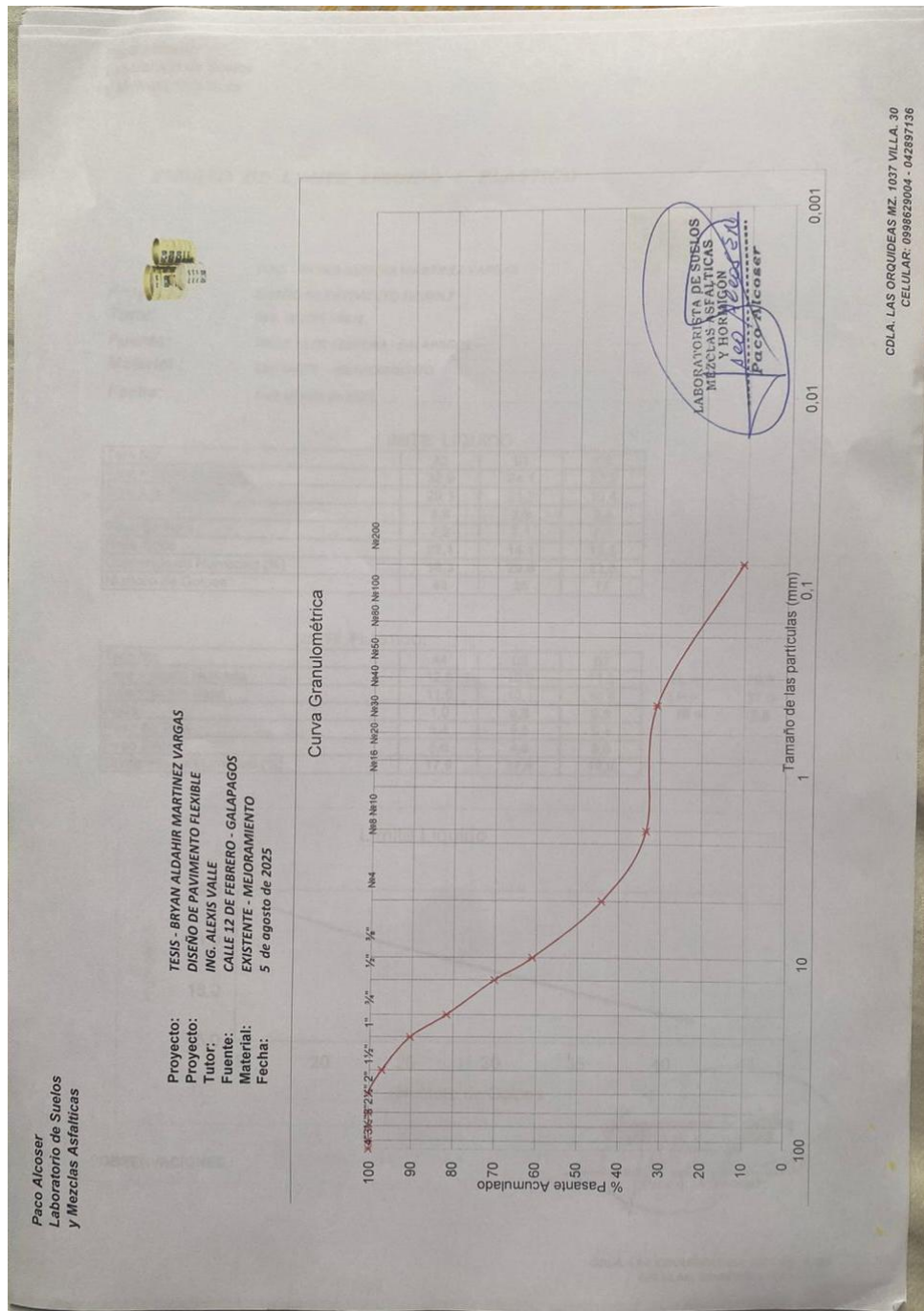
ASTM D-422
ASTM D-4318
ASTM D-2216

LABORATORISTA DE SUELOS
MEZCLAS ASFÁLTICAS
Y HORMIGÓN
Paco Alcoser

CDLA. LAS ORQUIDEAS MZ. 1037 VILLA. 30
CELULAR: 0998629004 - 042897136

Fuente: Laboratorio de Suelos y Mezclas Asfálticas Paco Alcoser, 2025

Anexo 5. Curva Granulométrica



Fuente: Laboratorio de Suelos y Mezclas Asfálticas Paco Alcóser, 2025

Anexo 6. Ensayo de limite líquido y plástico

Paco Alcóser
Laboratorio de Suelos
y Mezclas Asfálticas

ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO

Proyecto: TESIS - BRYAN ALDAHIR MARTINEZ VARGAS
Tutor: ING. ALEXIS VALLE
Fuente: CALLE 12 DE FEBRERO - GALAPAGOS
Material: EXISTENTE - MEJORAMIENTO
Fecha: 6 de agosto de 2025

LIMITE LIQUIDO

Tara No.	A2	B1	C9
Tara + Suelo Humedo	32,9	24,1	22,2
Tara + Suelo Seco	29,3	21,2	19,4
Agua	3,6	2,9	2,8
Peso de Tara	7,2	7,1	7,2
Peso Seco	22,1	14,1	12,2
Contenido de Humedad (%)	16,3	20,6	23,0
Numero de Golpes	42	25	17

LIMITE PLASTICO:

Tara No.	A4	C2	B7
Tara + Suelo Humedo	12,0	10,9	11,3
Tara + Suelo Seco	11,0	10,1	10,4
Agua	1,0	0,8	0,9
Peso de Tara	5,4	5,5	5,4
Peso Seco	5,6	4,6	5,0
Contenido de Humedad (%)	17,9	17,4	18,0

LL = 20,6
LP = 17,8
IP = 2,8

Limite Liquido

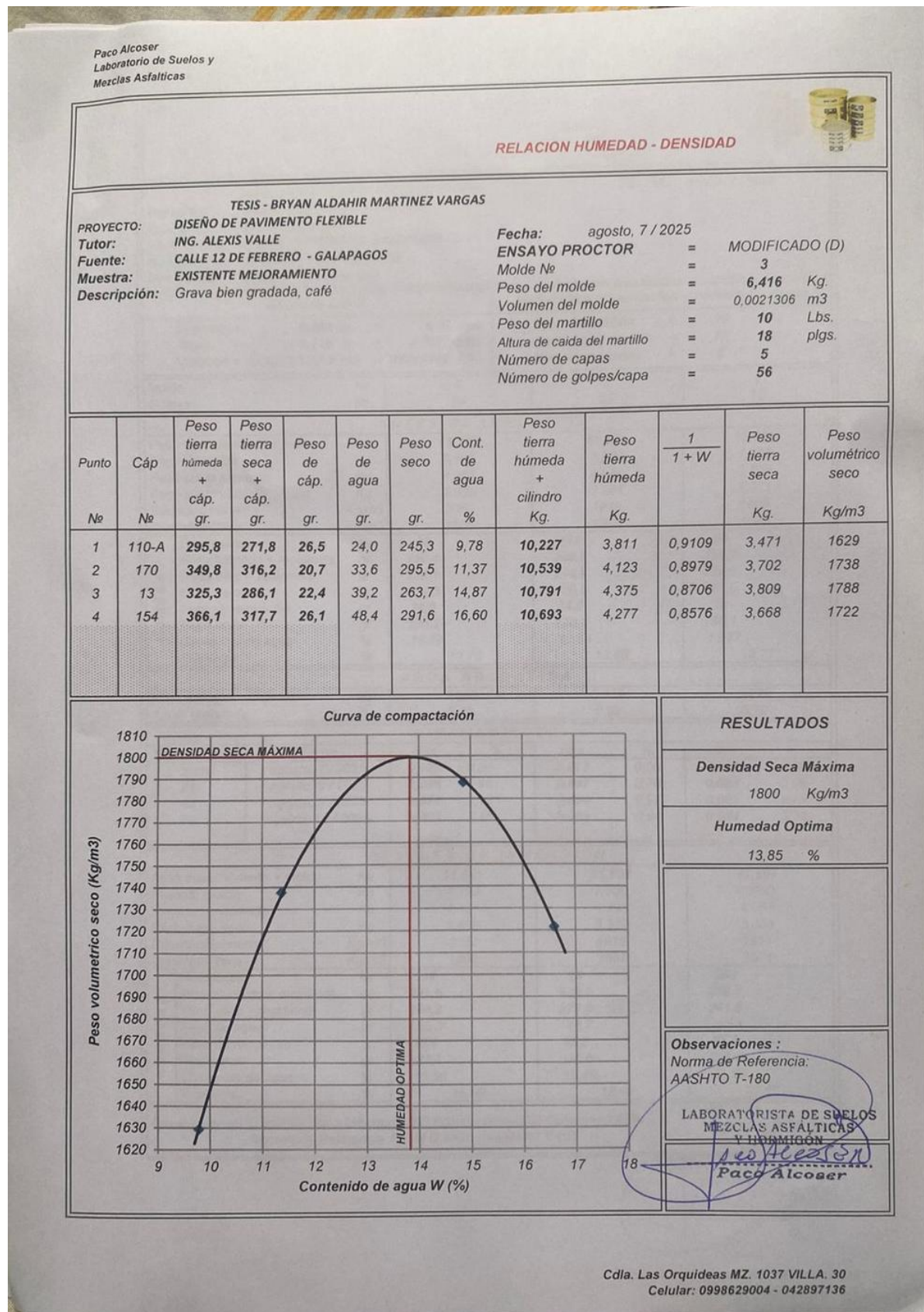
OBSERVACIONES :

LABORATORISTA DE SUELOS
MEZCLAS ASFALTICAS
Y HORMIGON
Paco Alcóser

CDLA. LAS ORQUIDEAS MZ. 1037 VILLA. 30
CELULAR: 0998629004 - 042897136

Fuente: Laboratorio de Suelos y Mezclas Asfálticas Paco Alcóser, 2025

Anexo 7. Relación Humedad - Densidad



Fuente: Laboratorio de Suelos y Mezclas Asfálticas Paco Alcóser, 2025

Anexo 8. C.B.R

Paco Alcoser
Laboratorio de Suelos y
Mezclas Asfálticas

**C.B.R.
REGISTRO**

FECHA: agosto, 7 / 2025

Proyecto: TESIS - BRYAN ALDAHIR MARTINEZ VARGAS
Tutor: ING. ALEXIS VALLE
Fuente: CALLE 12 DE FEBRERO - GALAPAGOS
Muestra: EXISTENTE MEJORAMIENTO
Descripción: Grava bien gradada, café

Molde de C.B.R				Martillo de compactación y número de capas			
Diámetro =	0,152 m	=	6,00 plgs.	Peso del martillo =	10	Lbs.	
Altura =	0,116 m	=	4,5827 plgs.	Altura caída martillo =	18	plgs.	
Volumen =	0,0021233070 m3	=	##### ft3	Número de capas =	5		

Molde	Nº	3	2	1
Golpes	Nº	56	25	12

ANTES DE INMERSIÓN

Peso suelo húmedo + molde	Kg	11,523	11,874	10,885
Peso de molde	Kg	7,160	7,800	7,050
Peso suelo húmedo	Kg	4,363	4,074	3,835
Peso suelo seco	Kg	3,835	3,584	3,371
Densidad húmeda	Kg/m3	2055	1919	1806
Densidad Seca	Kg/m3	1806	1688	1588

HUMEDAD	Recipiente	Nº	26	214	84
	Peso húmedo + recipiente	gr	260,4	240,6	251,1
	Peso seco + recipiente	gr	232,1	214,6	224,1
	Peso de agua	gr	28,3	26,0	27,0
	Peso de recipiente	gr	26,8	24,5	28
	Peso seco	gr	205,3	190,1	196,1
	Contenido de agua	%	13,78	13,68	13,77
	Promedio	%	13,78	13,68	13,77

AGUA ABSORBIDA

Peso del agua absorbida	Kg	0,058	0,119	0,222
Agua absorbida	%	1,33	2,92	5,79

HINCHAMIENTO

Tiempo (horas)	Fecha	plgs	%	plgs	%	plgs	%
Inicial	agosto, 7 / 2025	0,022	0,00	0,012	0,00	0,026	0,00
24	agosto, 8 / 2025	0,066	0,96	0,047	0,76	0,053	0,59
48	agosto, 9 / 2025	0,074	1,13	0,054	0,92	0,061	0,75
72	agosto, 10 / 2025	0,075	1,16	0,055	0,94	0,062	0,79

DESPUÉS DE INMERSIÓN

Peso suelo húmedo + molde	Kg	11,581	11,993	11,107
Peso de molde	Kg	7,160	7,800	7,050
Peso suelo húmedo	Kg	4,421	4,193	4,057
Peso suelo seco	Kg	3,828	3,539	3,336
Densidad húmeda	Kg/m3	2082	1975	1911
Densidad Seca	Kg/m3	1803	1667	1571

HUMEDAD	Recipiente	Nº	114	20	203
	Peso húmedo + recipiente	gr	291,6	325,1	288,2
	Peso seco + recipiente	gr	256,3	278,4	241,8
	Peso de agua	gr	35,3	46,7	46,4
	Peso de recipiente	gr	28,6	25,8	27,3
	Peso seco	gr	227,7	252,6	214,5
	Contenido de agua	%	15,50	18,49	21,63
	Promedio	%	15,50	18,49	21,63

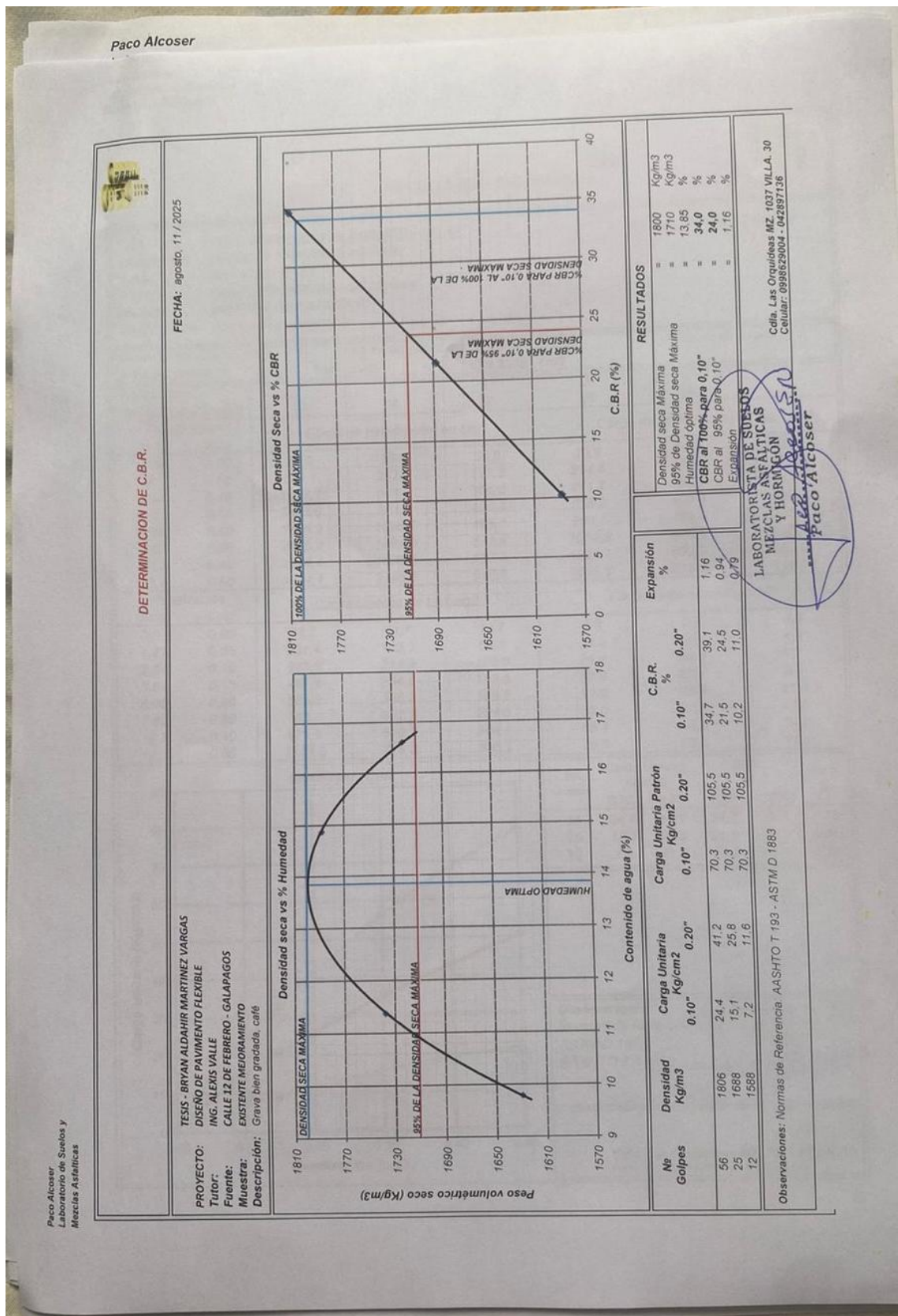
Observaciones: Densidad Seca Máxima=1800 Kg/m3 - Humedad Optima=13,85%
Normas de Referencia ASTM D 1883 - AASHTO T 193

LABORATORIO DE SUELOS
MEZCLAS ASFÁLTICAS
Y HORMIGÓN
Paco Alcoser
Paco Alcoser

Cdl. Las Orquídeas MZ. 1037 VILLA. 30
Celular: 0998629004 - 042897136

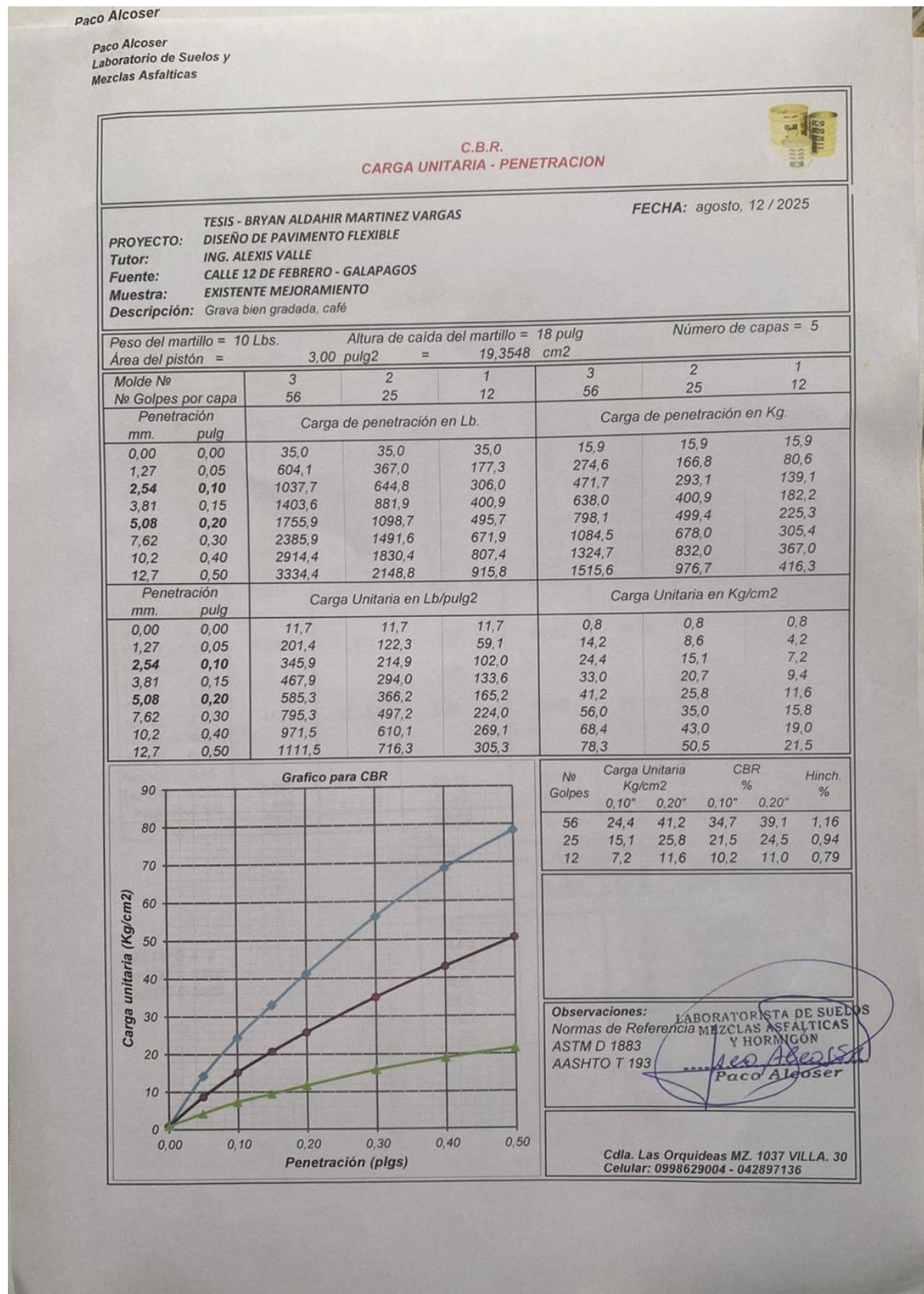
Fuente: Laboratorio de Suelos y Mezclas Asfálticas Paco Alcoser, 2025

Anexo 9. Determinación de C.B.R



Fuente: Laboratorio de Suelos y Mezclas Asfálticas Paco Alcóser, 2025

Anexo 10. Carga unitaria - Penetración.



Fuente: Laboratorio de Suelos y Mezclas Asfálticas Paco Alcóser, 2025