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 ESTRUCTURA DE LA VÍA PERIMETRAL CON PAVIMENTO FOTOCATALÍTICO PARA TRANSPORTE DE CARGA PESADA EN MARCELINO MARIDUEÑA".

TUTOR

Ing. TEÓFILO FERNANDO VALLEJO REMACHE

AUTORES

HÉCTOR AGUSTÍN HINOJOSA ALVARADO

ANGIE NICOLE MÁRQUEZ TACURI

GUAYAQUIL

AÑO 2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: "Diseño de Estructura de la Vía Perimetral con pavimento fotocatalítico para transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña".	
AUTOR/ES: HINOJOSA ALVARADO HÉCTOR AGUSTÍN MÁRQUEZ TACURI ANGIE NICOLE	**TUTOR:** VALLEJO REMACHE TEÓFILO FERNANDO
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:** 168
ÁREAS TEMÁTICAS: ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN.	
PALABRAS CLAVE: Producto petrolífero, Contaminación ambiental, Suelo.	
RESUMEN: El presente estudio tiene como objetivo el diseño de una estructura para la Vía Perimetral de Marcelino Maridueña, utilizando pavimento fotocatalítico flexible, con el fin de garantizar su resistencia y durabilidad para el transporte de carga pesada. Se empleó una metodología mixta que combinó investigación bibliográfica con la recolección de datos de campo, mediante encuestas a residentes sobre el estado de la vía y su impacto en el tránsito pesado. Además, se realizaron estudios geotécnicos, incluyendo excavaciones de calicatas para analizar las características del suelo, y se efectuaron ensayos de laboratorio como granulometría, límites de Atterberg, Proctor, CBR y estabilidad Marshall. Los resultados del análisis del tráfico proyectado muestran un incremento anual del 3,18%, lo que indica un volumen vehicular considerable para los próximos 20 años. El diseño estructural, basado en la metodología AASHTO 93, incluye una base y subbase granular de clase 1, con una carpeta asfáltica de 10 cm. El estudio geotécnico reveló una alta capacidad portante, aunque se detectó hinchamiento en una calicata, lo que requiere medidas de mitigación. Las conclusiones indicaron que el diseño propuesto asegura la durabilidad y funcionalidad de la vía, optimizando su desempeño mediante la selección adecuada de materiales y medidas preventivas para el control del hinchamiento del suelo.	
N. DE REGISTRO (en base de datos):	**N. DE CLASIFICACIÓN:**

DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	**SI** [X]	**NO** [ ]
CONTACTO CON AUTOR/ES: Hinojosa Alvarado Héctor Agustín Márquez Tacuri Angie Nicole	**Teléfono:** # 0996176645 # 0961657478	**E-mail:** hhinojosaa@ulvr.edu.ec amarquezt@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	PhD. Marcial Calero Amores **Teléfono:** (04) 2596500 **Ext.** 241 **E-mail:** mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgtr. Jorge Enrique Torres Rodríguez **Teléfono:** (04) 2596500 **Ext.** 242 **E-mail:** etorresr@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE SIMILITUD

TESIS - HINOJOSA & MARQUÉZ - TERMINADA

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%	7%	0%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	5%
2	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	2%

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 2%
Excluir bibliografía	Activo		

Firmado electrónicamente por:
TEOFILO FERNANDO VALLEJO REMACHE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El(Los) estudiante(s) egresado(s) ANGIE NICOLE MÁRQUEZ TACURI y HÉCTOR AGUSTÍN HINOJOSA ALVARADO , declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, "Diseño de Estructura de la Vía Perimetral con pavimento fotocatalítico para transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña"., corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

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

Autor(es)

Firma:
ANGIE NICOLE MÁRQUEZ TACURI

C.I. 0952425494

Firma:
HÉCTOR AGUSTÍN HINOJOSA ALVARADO

C.I. 0921655940

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación, “Diseño de Estructura de la Vía Perimetral con pavimento fotocatalítico para transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña”., 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 Estructura de la Vía Perimetral con pavimento fotocatalítico para transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña”., presentado por el (los) estudiante (s) ANGIE NICOLE MÁRQUEZ TACURI y HÉCTOR AGUSTÍN HINOJOSA ALVARADO como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

TEÓFILO FERNANDO VALLEJO REMACHE
C.C. 1204919227

AGRADECIMIENTO

He llegado a un instante excepcional en mi existencia y quiero expresar mi gratitud a Dios por cada día que me brindó hasta llegar a este punto. Aprecio la fortaleza y la sabiduría que me otorgó, fundamentales para alcanzar la meta más significativa de mi vida.

Agradezco profundamente a mis padres Dolores y Sandro, quienes han sido mi inspiración constante desde el inicio de este difícil camino hasta el presente. Sin lugar a duda, son las personas a través de las cuales hoy puedo hacer realidad este bello sueño. Al mirar atrás, cada sacrificio se traduce en la increíble mujer que me he convertido.

A mis hermanas Sandra y Grace, a mis queridas sobrinas Leslie y Kate que siempre estuvieron a mi lado ofreciendo palabras de aliento y acompañándome en numerosas noches de estudio para lograr este avance.

A mis abuelos Carmen, Elida y Wilson cuyo amor y apoyo incondicional me han acompañado en cada paso que he dado y siempre creyeron en mi capacidad para llegar a este día.

A mi compañero Héctor, a mi querido Joelito con quienes he compartido este hermoso sueño, apoyándonos mutuamente en cada instante, celebrando cada éxito. Sin ustedes, esto no habría sido factible, así que gracias por todo lo que han hecho por mí.

A mis queridos amigos Gregori, Jessica y Daniela, que estuvieron a mi lado sin condiciones en cada momento, convirtiéndose en esa segunda familia que me ofreció refugio y me impidió sentirme sola.

Hoy, le pido a Dios por todos ustedes, para que continúen formando parte de mi vida.

Me sobran las palabras para plasmar este torrente de emociones en mi corazón, así que solo puedo concluir diciendo “Gracias con el corazón”.

Angie Nicole Márquez Tacuri.

DEDICATORIA

Este maravilloso anhelo lo ofrezco a Dios por su constante compañía y, de manera especial, a mi familia que nunca vaciló en su fe en mí y fue ese respaldo inquebrantable en cada avance que daba. Este éxito sin duda es más de ellos que mío y me llena de alegría poder afirmar que lo conseguimos.

Angie Nicole Márquez Tacuri.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo el diseño de una estructura para la Vía Perimetral de Marcelino Maridueña, utilizando pavimento fotocatalítico flexible, con el fin de garantizar su resistencia y durabilidad para el transporte de carga pesada. Se empleó una metodología mixta que combinó investigación bibliográfica con la recolección de datos de campo, mediante encuestas a residentes sobre el estado de la vía y su impacto en el tránsito pesado. Además, se realizaron estudios geotécnicos, incluyendo excavaciones de calicatas para analizar las características del suelo, y se efectuaron ensayos de laboratorio como granulometría, límites de Atterberg, Proctor, CBR y estabilidad Marshall. Los resultados del análisis del tráfico proyectado muestran un incremento anual del 3,18%, lo que indica un volumen vehicular considerable para los próximos 20 años. El diseño estructural, basado en la metodología AASHTO 93, incluye una base y subbase granular de clase 1, con una carpeta asfáltica de 10 cm. El estudio geotécnico reveló una alta capacidad portante, aunque se detectó hinchamiento en una calicata, lo que requiere medidas de mitigación. Las conclusiones indicaron que el diseño propuesto asegura la durabilidad y funcionalidad de la vía, optimizando su desempeño mediante la selección adecuada de materiales y medidas preventivas para el control del hinchamiento del suelo.

Palabras Claves: Producto Petrolífero, Contaminación Ambiental, Productos Químicos.

ABSTRACT

The present study aims at the design of a structure for the Marcelino Maridueña Perimetral Road, using flexible photocatalytic pavement, in order to ensure its strength and durability for heavy load transport. A mixed methodology was used that combined bibliographic research with the collection of field data, through surveys to residents about the state of the road and its impact on heavy traffic. In addition, geotechnical studies were carried out, including excavations of test pits to analyze the characteristics of the soil, and laboratory tests were performed such as granulometry, Atterberg limits, Proctor, CBR and Marshall stability. The results of the projected traffic analysis show an annual increase of 3.18%, indicating a considerable vehicular volume for the next 20 years. The structural design, based on the AASHTO 93 methodology, includes a class 1 granular base and subbase, with a 10 cm asphalt layer. The geotechnical study revealed a high load-bearing capacity, although swelling was detected in a pit, which requires mitigation measures. The conclusions indicated that the proposed design ensures the durability and functionality of the road, optimizing its performance through the appropriate selection of materials and preventive measures to control soil swelling.

Keywords: Perimetral Road, Flexible Photocatalytic Pavement, Durability, Resistance, Load Transport.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO I: ENFOQUE DE LA PROPUESTA.....3

1.1 Tema:.....3

1.2 Planteamiento del Problema: 3

1.3 Formulación del Problema: 5

1.4. Sistematización del Problema 5

1.5. Objetivo General 5

1.6. Objetivos Específicos 5

1.7. Idea a Defender 6

1.8. Línea de Investigación Institucional / Facultad.....6

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....7

2.1. Marco Teórico:.....7

2.1.1. Antecedentes 7

2.1.2. Pavimento Fotocatalítico 9

2.1.3. Semiconductor 10

2.1.4. Fotocatalizador 11

2.1.5. Dióxido de Titanio 12

2.1.6. Actividad Fotocatalítica 13

2.1.7. Propiedades Fotocatalíticas.....14

2.1.8. Factores que Influyen en el Efecto Fotocatalítico 16

2.1.9. Propiedades del Sistema Cemento-TiO2.....17

2.1.10. Definición de Pavimento Fotocatalítico 17

2.1.10.1. Composición.....17

2.1.11. Principios de Funcionamiento 17
2.1.12. Beneficios ambientales (reducción de contaminación). 18
2.1.13. Transporte de carga pesada 19
2.1.14. Impacto del Pavimento Actual en el Transporte de Carga 20
2.1.15. Pavimento 21
2.1.15.1. Pavimento Flexible 22
2.1.15.2. Capa de Rodadura 22
2.1.15.3. Capa Base 23
2.1.15.4. Capa Sub-base 23
2.1.15.5. Subrasante 23
2.1.15.6. Concreto Asfáltico 24
2.1.15.7. Diseño de Mezclas Asfálticas Densas en Caliente 24
2.1.15.8. Diseño Marshall 25
2.1.15.9. Tipo de mezcla asfáltica 26
2.1.15.10. Fabricación de las briquetas Marshall 27
2.1.15.11. Determinación de los parámetros de resistencia mecánica:estabilidad y lujo Marshall.....27
2.1.15.12. Diseño de mezcla asfáltica 28
2.1.15.13. Determinación del agregado pétreo. 28
2.2. Marco Legal 29
2.2.1. Normativa Nacional 29
2.2.2. Reglamento de Titulación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. 29
2.2.3. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida 30
2.2.4. Ley Orgánica del Ambiente 31

2.2.5. Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (COOTAD) 31
2.2.6. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 32
2.2.7. Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) 32
2.2.8. Normas Internacionales 32
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO 33
3.1. Enfoque de la Investigación 33
3.2. Alcance de la Investigación 33
3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos 34
3.3.1. Muestra de suelo 35
3.3.2. Población y muestra 36
3.3.3. Población 36
3.3.4. Muestra 36
3.3.5. Muestreo de Conveniencia 37
CAPÍTULO IV: PROPUESTA O INFORME 38
4.1 Presentación y análisis de resultados 38
4.1.1. Estudio de Tráfico Vehicular 46
4.1.1.1. Localización geográfica de la vía 46
4.1.2. Tráfico actual 49
4.1.3. Obtención del Trafico Promedio Diario Semanal (T.P.D.S.) 50
4.1.4. Obtención del Trafico Promedio Diario Anual (T.P.D.A.) en base de la Desviación Estándar de Conteos y al Error Estándar de la Media 52
4.1.5. Tasa de crecimiento a utilizar. 58
4.1.5.1. Tráfico actual 71
4.1.5.2. Volumen de tráfico TPDS 71

4.1.5.3. Volumen de tráfico TPDA a 20 años. 72
4.1.6. Estado Actual 74
4.1.7. Estudios de Suelos 76
4.1.8. Metodología Aplicada 78
4.1.8.1. CBR de diseño - Módulo Resiliente de la Subrasante 78
4.1.8.2. Parámetros de Materiales del Diseño de Pavimento. 80
4.1.8.3. Hormigón Asfáltico 81
4.1.8.4. Base de Agregados Triturados (Clase 1). 82
4.1.8.5. Sub base de agregados triturados (Clase 1). 83
4.1.8.6. Material de Mejoramiento. 84
4.1.8.7. Material de préstamo importado. 84
4.2. Propuesta 85
4.2.1. Diseño de la Estructura del Pavimento Flexible Fotocatalítico 85
4.2.1.1. Número Estructural Requerido. 85
4.2.1.2. Confiabilidad R (%). 86
4.2.1.3. Desviación Estándar (So) 86
4.2.1.4. Índice de Servicio o Índice de Suficiencia. 87
4.2.1.5. Determinación de Número Estructural Requerido (Sn) 88
4.2.1.6. Coeficiente de Drenaje (m) 88
4.2.1.7. Módulos Elásticos de los Materiales de las Capas de la Estructura del Pavimento. 90
4.2.2. Pavimento Propuesto 92
4.2.2.1. Asfalto Fotocatalítico 96
4.2.3. Medición de temperatura CO_2 103

4.2.3.1. Radiación Térmica. 103
4.2.3.2. Temperatura Superficial. 104
4.2.3.3. Partículas Contaminantes (PM2.5 y PM10). 104
4.2.3.4. CO2. 104
4.2.3.5. Fotocatálisis 105
CONCLUSIONES 110
RECOMENDACIONES 112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 113
ANEXOS 118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades físicas del Dióxido de Titanio 12
Tabla 2 Beneficios ambientales del pavimento fotocatalítico.....19
Tabla 3 El estado actual de la vía perimetral.....38
Tabla 4 Los baches y daños de la vía afectan la seguridad 39
Tabla 5 Es necesario mejorar la pavimentación para tránsito.....40
Tabla 6 El pavimento flexible mejora la calidad de vida 41
Tabla 7 El uso de pavimento reducirá la contaminación del aire.....42
Tabla 8 Se utilicen nuevas técnicas como pavimento flexible.....43
Tabla 9 La pavimentación mejorará la seguridad 44
Tabla 10 La pavimentación traerá beneficios económicos a la comunidad.....45
Tabla 11 Cuadro de COORDENADAS UTM WGS 84 ZONA 17 S.....47
Tabla 12 Aforo vehicular 49
Tabla 13 Resumen de conteo vehicular en estación E1 sentido Suroeste-Sureste (vía Perimetral Sur Marcelino Maridueña) de 07:00 -19:00 horas.....50
Tabla 14 Cálculo de TPDS de estación 1. 51
Tabla 15 Cálculo de TPDA de estación 1-AB flujo ambos sentidos, sin motos 54
Tabla 16 Valores y coeficientes 55
Tabla 17 Hora de volumen de máximo tráfico en estación E1AB.....56
Tabla 18 Peso ponderado según el tipo de vehículo 57
Tabla 19 Cálculo de TDPA equivalente de estación 58
Tabla 20 Histórico de vehículos matriculados en la provincia del Guayas por clase.....59
Tabla 21 Agrupación de históricos de vehículos matriculados de la provincia del Guayas por vehículos objeto a estudio.....60
Tabla 22 Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Moto y tricimotos.....61
Tabla 23 Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Automóviles, Jeeps, Camionetas y Van.....62
Tabla 24 Ecuación Lineal de Buses y Busetas en la Provincia del Guayas: Impacto de la Implementación del Sistema Metro Vía desde 2006 64

Tabla 25 Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Camiones.....65
Tabla 26 Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Camiones.....67
Tabla 27 Proyección 2022-2042 de los vehículos matriculados en la provincia del Guayas.....69
Tabla 28 Tasas de Crecimiento Anual de Tráfico Vehicular (Guayas).....70
Tabla 29 Proyección del tráfico hasta el año 2042 cada 5 años, en Estacion-1 (vía Perimetral Marcelino Maridueña Intersección con Vía La Lidia).....70
Tabla 30 Porcentaje de vehículos.....72
Tabla 31 Ajuste de proyección de tráfico conforme porcentaje de TPDA de tipo de vehículos en Estación 1. 72
Tabla 32 Proyección del tráfico hasta el año 2042 cada año, en estación 1.....73
Tabla 33 Ubicación de calicatas.....77
Tabla 34 Resultado de las calicatas.....77
Tabla 35 Granulometría de la Base granular.....82
Tabla 36 Granulometría de la Sub-Base granular Clase 1 83
Tabla 37 Niveles de confiabilidad recomendados en función de la clasificación funcional de la vía.....86
Tabla 38 Índice de Suficiencia (Pt) en función de la condición física del pavimento.....87
Tabla 39 Coeficiente de drenaje 89
Tabla 40 Coeficiente de drenaje 89
Tabla 41 Propuesta de diseño 93
Tabla 42 Determinación de espesores para la construcción.....94
Tabla 43 Estructura de pavimento obtenida.....94
Tabla 44 Resultado de las briquetas 101
Tabla 45 Porcentaje de actividades.....103
Tabla 46 Análisis de valores de medición 105

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Reacción de un catalizador. 10
Figura 2**.** Bandas de energía de un semiconductor.....11
Figura 3**.** Proceso de la fotocatálisis 13
Figura 4**.** Ángulos de adhesión de las gotas de agua a una superficie. 14
Figura 5**.** Ángulo de adhesión en relación con el tiempo de exposición a la radiación UV. 15
Figura 6**.** Diagrama de Fotocatálisis en una Superficie con Dióxido de Titanio. 16
Figura 7. Estructura de un pavimento flexible.....22
Figura 8**.** Ensayo de briqueta.....27
Figura 9**.** Ensayo Marshall.....28
Figura 10. Excavación de calicata para muestra de suelo.....35
Figura 11. El estado actual de la vía perimetral.....38
Figura 12. Los baches y daños de la vía afectan la seguridad.....39
Figura 13. Es necesario mejorar la pavimentación para tránsito.....40
Figura 14. El pavimento flexible mejora la calidad de vida. 41
Figura 15**.** *El uso de pavimento reducirá la contaminación del aire.* 42
Figura 16**.** Se utilicen nuevas técnicas como pavimento flexible.....43
Figura 17**.** La pavimentación mejorará la seguridad. 44
Figura 18**.** La pavimentación traerá beneficios económicos a la comunidad.....45
Figura 19. Ubicación de la vía Perimetral. 47
Figura 20. Ubicación de la vía Perimetral. 48
Figura 21. Formato De Campo Para Mediciones Vehiculares (Aforo De Campo Del Volumen De Tráfico*)* 49
Figura 22. Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Moto y tricitomos 62
Figura 23. Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Automóviles, Jeeps, Camionetas y Van.....63
Figura 24. Ecuación Lineal de Buses y Busetas en la Provincia del Guayas: Impacto de la Implementación del Sistema Metro Vía desde 2006.....65

Figura 25. Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Camiones. 66
Figura 26. Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Camiones. 68
Figura 27. Conteo vehicular en estación E1. 71
Figura 28. Cálculo del TPDS. 71
Figura 29. Clasificación del MOP de carreteras en función del tráfico proyectado 74
Figura 30. Estado actual de la vía. 75
Figura 31. Estado actual de la vía. 75
Figura 32. Estado actual de la vía. 75
Figura 33. Estado actual de la vía. 76
Figura 34. Resultado del CBR al 95%. 79
Figura 35. Resultado del CBR (Hinchamiento %). 79
Figura 36. Resultado del Proctor modificado. 80
Figura 37. Gráfica para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas. 90
Figura 38. Gráfica de la relación entre el coeficiente estructural de la base y distintos parámetros. 91
Figura 39. Gráfica de la relación entre el coeficiente estructural de la base tratada con asfalto y distintos parámetros. 91
Figura 40. Gráfica de la relación entre el coeficiente estructural de subbase y distintos parámetros. 92
Figura 41. Esquema de la estructura de pavimento obtenida. 95
Figura 42. Sección de la Vía Perimetral. 95
Figura 43. Peso del agregado 96
Figura 44. Mezcla de agregados. 97
Figura 45. Peso del Dióxido de Titanio al 7%. 97
Figura 46. Peso del Dióxido de Titanio al 9%. 98
Figura 47. Peso del Dióxido de Titanio al 10%. 98
Figura 48. Pruebas de laboratorio. 99
Figura 49. Ensayo de estabilidad y flujo. 99
Figura 50. Ensayo de estabilidad y flujo. 100

Figura 51. Briquetas 10%, 9% & 7%..... 100
Figura 52. Briquetas finales..... 101
Figura 53. Cronograma de actividades. 102
Figura 54. Cronograma de actividades. 102
Figura 55. Pruebas de medición de radiación y CO2. 106
Figura 56. Pruebas de medición de radiación y CO2. 106
Figura 57. Pruebas de medición de radiación y CO2. 107
Figura 58. Pruebas de medición de radiación y CO2. 107
Figura 59. Pruebas de medición de radiación y CO2. 108
Figura 60. Pruebas de medición de radiación y CO2. 108
Figura 61. Pruebas de medición de radiación y CO2. 109

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario dirigido a los habitantes de las ciudadelas del cantón 118
Anexo 2. Plantilla de estudio del suelo. 121
Anexo 3. Resultados de Ensayo Catalítico, C-1. 122
Anexo 4. Resultados de Ensayo Catalítico, C-2. 123
Anexo 5. Resultados de Ensayo Catalítico, C-3. 124
Anexo 6. Resultados de análisis granulométrico. 125
Anexo 7. Resultados de análisis granulométrico. 126
Anexo 8. Resultados de análisis granulométrico. 127
Anexo 9. Resultados del ensayo de compactación Proctor modificado. 128
Anexo 10. Resultados del ensayo de compactación Proctor modificado. 129
Anexo 11. Resultados del ensayo de compactación Proctor modificado. 130
Anexo 12. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R). 131
Anexo 13. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R). 132
Anexo 14. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R). 133
Anexo 15. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R). 134
Anexo 16. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R). 135
Anexo 17. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R). 136
Anexo 18. Resultados del análisis Granulométrico. 137
Anexo 19. Resultados de la Gravedad Específica de Agregado Finos. 138
Anexo 20. Resultados de la Gravedad Específica de los Sólidos de un Suelo. 139
Anexo 21. Resultados del ensayo de Masa Unitaria Suelta. 140
Anexo 22. Resultados del Control de calidad de Mezclas Asfálticas. 141
Anexo 23. Diseño estructural de la Vía Perimetral. 132
Anexo 24. Diseño estructural de la Vía Perimetral. 133
Anexo 25. Diseño estructural de la Vía Perimetral. 134
Anexo 26. Diseño estructural de la Vía Perimetral. 135
Anexo 27. Diseño estructural de la Vía Perimetral. 136
Anexo 28. Presupuesto Referencial. 137

INTRODUCCIÓN

El incremento sostenido del tránsito de carga pesada en la Vía Perimetral de Marcelino Maridueña ha generado una acelerada degradación de la infraestructura vial, evidenciada en fallas estructurales del pavimento que comprometen la seguridad y eficiencia del flujo vehicular. La ausencia de un mantenimiento adecuado ha agravado estas patologías, afectando la funcionalidad de la vía y aumentando los costos de rehabilitación. En este contexto, la presente investigación propone el diseño estructural de la vía mediante la implementación de pavimento fotocatalítico, una tecnología innovadora que mejora la durabilidad de la carpeta de rodadura y contribuye a la mitigación del impacto ambiental asociado a las emisiones vehiculares.

El estudio se plantea como eje central la formulación de una solución de ingeniería que optimice la resistencia estructural y la vida útil del pavimento, considerando las cargas dinámicas inducidas por el tráfico pesado y las condiciones geotécnicas del sitio. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis integral de la capacidad portante del suelo, las propiedades mecánicas de los materiales empleados y la aplicabilidad de la tecnología fotocatalítica en entornos de alta exigencia estructural. La incorporación de este tipo de pavimento no solo incrementa la longevidad de la infraestructura, sino que también contribuye a la descontaminación del aire, alineándose con los principios de desarrollo sostenible en el ámbito de la ingeniería civil.

La pertinencia de este trabajo radica en la necesidad de desarrollar soluciones estructurales innovadoras para la red vial, en respuesta al incremento de la demanda vehicular y los desafíos ambientales que enfrenta la infraestructura de transporte. En comparación con los métodos convencionales de pavimentación, el uso de materiales fotocatalíticos representa una alternativa con beneficios técnicos y ambientales, mejorando la calidad del aire y reduciendo los costos de mantenimiento a largo plazo. Además, este estudio amplía el conocimiento sobre la aplicación de tecnologías avanzadas en la ingeniería de pavimentos, contribuyendo a la evolución de los criterios de diseño y gestión de infraestructuras resilientes.

El documento se estructura en cuatro capítulos:

El Capítulo 1, aborda el planteamiento del problema, la formulación de la problemática, los objetivos del estudio, la justificación y la línea de investigación en la que se enmarca.

En el Capítulo 2, se desarrolla el marco referencial, conceptual y legal, proporcionando el fundamento teórico y normativo que sustenta la propuesta de diseño vial.

El Capítulo 3 describe la metodología empleada, incluyendo el diseño de la investigación, el tipo de estudio, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, la caracterización de la población y muestra, así como el procedimiento de análisis de la información.

El Capítulo 4 presenta la interpretación de los resultados obtenidos, la propuesta de diseño estructural de la vía, así como las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

Este trabajo constituye un aporte significativo al campo de la ingeniería civil, al integrar criterios estructurales y de sostenibilidad en el diseño de pavimentos destinados a tráfico pesado. Los hallazgos y metodologías planteadas servirán como referencia para futuras investigaciones y proyectos de infraestructura vial que requieran soluciones innovadoras y de alto rendimiento.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema:

"Diseño de Estructura de la Vía Perimetral con pavimento fotocatalítico para transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña".

1.2 Planteamiento del Problema:

En los últimos años, los administradores viales han centrado su atención en prolongar la vida útil de los materiales que componen las carreteras. La construcción de nuevas vías y la mejora de las existentes se realizan mayoritariamente con nuevos agregados y ligantes para las capas superficiales. Estas iniciativas no solo buscan mejorar la durabilidad de las carreteras, sino también desarrollar vías principales adecuadas para transportistas y comunidades cercanas (Aguilar & Infanzón, 2020).

Según el Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe (CAF), (2024) describe que uno de los grandes desafíos mundiales es reducir en un 50% las víctimas de accidentes de tráfico. La ONU incluyó en sus Objetivos de Desarrollo Sostenible la meta de reducir a la mitad las muertes y lesiones por siniestros de tráfico para 2020, con cinco pilares clave: gestión de la seguridad vial, vías y movilidad más seguras, vehículos más seguros, usuarios más seguros y respuesta efectiva tras accidentes. Pocos países han alcanzado esta meta, pero la adecuada aplicación de asfalto y una estructura vial apropiada pueden mejorar la seguridad y reducir accidentes.

En 2017, Ecuador registró 2.153 muertes y 22.018 lesionados por accidentes de tráfico, destacando la necesidad de mejorar la seguridad vial. En respuesta, el Gobierno lanzó el Pacto Nacional por la Seguridad Vial para prevenir accidentes. El Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF) apoya esta iniciativa y promueve la formación de especialistas en seguridad vial. Estos esfuerzos buscan implementar medidas efectivas para reducir los riesgos en las carreteras del país (CAF, 2024).

El estudio de Buenaño (2024) destaca que la movilidad urbana es esencial para el progreso de las ciudades, pero también trae problemas como la congestión del tráfico, que provoca tiempos de viaje prolongados, estrés y emisiones contaminantes. Además, la falta de infraestructura para transporte sostenible, como ciclovías y aceras, limita las opciones de movilidad y aumenta la dependencia de vehículos a motor. La carencia de planificación urbana y políticas de transporte eficaces contribuye a un diseño deficiente de las vías, falta de accesibilidad para personas con movilidad reducida e inseguridad vial.

Estos problemas afectan la seguridad de los conductores, la eficiencia del transporte, el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental. Es importante un enfoque integral en el diseño de pavimentos que considere resistencia, durabilidad y las necesidades específicas de camiones de carga pesada. Según Pereda & Cubas (2015), el asfalto, un material termoplástico de complejas cadenas de hidrocarburos, se divide en máltenos y asfáltenos. Aunque el asfalto tiene características valiosas como resistencia, durabilidad y flexibilidad para pavimentos, es susceptible a variaciones de temperatura y cargas, lo que puede causar fisuras y deterioro prematuro.

Los pavimentos fotocatalíticos y el hormigón fotocatalítico se están utilizando cada vez más en zonas urbanas debido a su capacidad para reducir la contaminación ambiental y mejorar la calidad del aire. Estos materiales, tratados con dióxido de titanio (TiO2), descomponen contaminantes como NOx y CO_2 mediante fotocatálisis, un proceso químico activado por la luz. A pesar de sus beneficios, la implementación de estos materiales presenta desafíos en cuanto a costos y adaptación en infraestructuras existentes. Estudios realizados destacan la necesidad de promover y evaluar estas innovaciones para entornos urbanos más limpios y saludables (Rodríguez et al., 2024).

En el Cantón Marcelino Maridueña, la Vía Perimetral, principal avenida para el transporte de carga pesada, aún no cuenta con una estructura de pavimentación asfáltica. La vía, está limitada a un relleno de lastre que dificulta el tránsito, especialmente en épocas de lluvia. Esta situación no solo retrasa el transporte de mercancías, sino que también afecta la calidad de vida de los residentes debido al

polvo y la contaminación ambiental creada por la quema de combustible de los vehículos. Es urgente mejorar la infraestructura vial del cantón, por lo que se propone diseñar una estructura de pavimento para la Vía Perimetral usando pavimento fotocatalítico, que además de soportar el tráfico pesado, ayudará a reducir la contaminación creada por la quema de combustible gasolina o Diesel y mejorar la calidad del aire del sector, beneficiando tanto la conectividad como el bienestar de los residentes.

1.3 Formulación del Problema:

¿Cómo influye el diseño de Estructura de la Vía Perimetral mediante pavimento fotocatalítico para transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña?

1.4. Sistematización del Problema

1. ¿Cuáles son las características del tráfico actual y proyectado en la Vía Perimetral para transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña?

2. ¿Cómo se pueden valorar las propiedades físicas del suelo, la capacidad de resistencia a las cargas pesadas del pavimento fotocatalítico?

3. ¿Cómo se puede diseñar una estructura de pavimento resistente y duradera que cumpla con los requisitos de tráfico de camiones de carga pesada en la Vía Perimetral del Cantón Marcelino Maridueña, aplicando la metodología de diseño de la AASHTO 93?

1.5. Objetivo General

Diseñar una estructura de la Vía Perimetral con pavimento flexible fotocatalítico para transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña.

1.6. Objetivos Específicos

1. Determinar volumen de tráfico, carga actuales y proyectadas en la Vía Perimetral para transporte de carga pesada por medio del TPDA en Marcelino Maridueña.

2. Valorar las características físicas del suelo existente, la capacidad de resistencia a las cargas pesadas del pavimento flexible fotocatalítico.
3. Diseñar una estructura de pavimento flexible fotocatalizado resistente y duradera que cumpla con los requisitos de tráfico de camiones de carga pesada, aplicando la metodología de diseño de la AASHTO 93.

1.7. Idea a Defender

La implementación del diseño de estructura de la Vía Perimetral con pavimento fotocatalítico en Marcelino Maridueña permitirá garantizar una movilidad eficiente, segura y sostenible para el transporte de carga pesada en la zona. Esto incluye la pavimentación de la vía con materiales innovadores que descomponen contaminantes, mejorando la calidad del aire, y la construcción de infraestructuras duraderas y adecuadas para soportar el tráfico pesado. Esta iniciativa generará beneficios tanto para la industria local como para los residentes, promoviendo un entorno más limpio y saludable.

1.8. Línea de Investigación Institucional / Facultad.

- **Dominios ULVR:** Urbanización y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco amigable, industria y desarrollo de energías renovables.
- **Línea de Investigación Institucional:** Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.
- **Líneas de Investigación/Facultad:** Territorio
- **Sub-línea de Investigación/Facultad:** Gestión urbana sostenible.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico:

2.1.1. Antecedentes

En los últimos años, los pavimentos fotocatalíticos han ganado popularidad en la industria de materiales de construcción, destacándose por su enfoque innovador y sostenible. Estos pavimentos no solo ayudan a mejorar la infraestructura urbana, sino que también juegan un papel crucial en la reducción de la contaminación ambiental a la que estamos expuestos diariamente (Cabezón, 2020).

El proceso de fotocatálisis, que es fundamental en estos pavimentos, consiste en la conversión de la energía solar en energía química mediante la interacción con un catalizador. Este mecanismo permite la eliminación de contaminantes como el dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los óxidos de azufre, contribuyendo así a la mejora de la calidad del aire en entornos urbanos (Prada, 2021).

Además, los pavimentos fotocatalíticos poseen propiedades biocidas que facilitan la eliminación de organismos como hongos, algas y bacterias que pueden acumularse en la superficie. Esta capacidad incrementa la higiene y facilita la limpieza de las calles, haciendo que estos pavimentos sean particularmente útiles en áreas con alta densidad de tráfico y en zonas industriales (Espejo, 2022).

Debido a sus beneficios, los pavimentos fotocatalíticos son especialmente recomendados para zonas urbanas con altos niveles de contaminación, como áreas con tráfico intenso, espacios alejados de parques y jardines, zonas industriales, aparcamientos, cruces y plazas, estaciones de servicio y carreteras de peaje Franco et al., 2022).

Es importante considerar trabajos y análisis previos que fundamenten la investigación actual, evaluando los objetivos, metodologías y resultados alcanzados en estudios anteriores, los cuales contribuyen a la toma de decisiones presentes. En este

contexto, diversas investigaciones internacionales han examinado los materiales de construcción fotocatalíticos, confirmando progresivamente la efectividad de los aglutinantes cementosos fotocatalíticos en su capacidad de autolimpieza.

Según lo indicado por Najar (2021), el objetivo de la investigación fue determinar el porcentaje más adecuado de dióxido de titanio (TiO2) en relación con el peso del cemento HE Yura añadido a la mezcla convencional de concreto, con el fin de mantener o mejorar las propiedades físico-mecánicas y la capacidad autolimpiante en la fabricación de adoquines tipo II de resistencia de 420 kgf/cm². La metodología empleada incluyó la fabricación de adoquines a escala real con dimensiones de 200x100x60 mm, aplicando cuatro tratamientos de porcentaje de TiO2 respecto al peso del cemento: 0%, 3%, 7% y 12%.

Estos adoquines fueron fabricados con una dosificación de concreto de 1:3 (cemento: arena) y una relación agua/cemento de 0.4. Los resultados mostraron que el tratamiento óptimo fue el de 7% de TiO2, ya que ofreció un equilibrio entre la resistencia a la compresión, medida a los 3, 7 y 28 días, y la capacidad fotocatalítica evaluada con Rodamina B. Las conclusiones indicaron que una mayor cantidad de TiO2 no resultó en una mayor capacidad fotocatalítica, como se observó en el tratamiento con 12% de TiO2, el cual no alcanzó el rendimiento esperado y tampoco cumplió con la resistencia mínima requerida de 420 kg/cm² (Najar, 2021).

Por otro lado, Sánchez (2023) mencionó que el objetivo de su trabajo fue crear un espacio urbano sostenible y seguro para los alumnos mediante el diseño de un Refugio Climático en el entorno de un colegio de Madrid, abordando los problemas climáticos urbanos relacionados con la alta intensidad de la isla de calor. La metodología consistió en asesorar a los arquitectos del proyecto en la selección de los materiales más apropiados para mitigar el efecto de la isla de calor, considerando la influencia de estos materiales en dicho fenómeno. Los resultados del estudio proporcionaron alternativas viables en los materiales de acabado que contribuyeron a reducir la temperatura del entorno urbano. Las conclusiones destacaron que la correcta selección de materiales tuvo un impacto significativo en la mitigación del efecto de la

isla de calor, mejorando la sostenibilidad y seguridad del espacio urbano para los alumnos.

Asimismo, Concepción (2023) describió que el objetivo de su investigación fue evaluar el impacto de la adición de TiO2 y ZnO en las propiedades del concreto para la fabricación de adoquines tipo II. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, con un nivel explicativo y un diseño cuasiexperimental, y tuvo un propósito aplicado. Se estudió una población de adoquines tipo II con diferentes proporciones de TiO2 y ZnO (0%, 1.5% y 2.5%), seleccionando una muestra conforme a las normas para cada indicador evaluado.

Los resultados mostraron que la muestra con 2.5% de TiO2 (MT2) obtuvo el mejor desempeño en resistencia a la compresión, con una reducción del 4%. En cuanto a absorción, la muestra con 1.5% de TiO2 (MT1) presentó la mejor reducción, del 64%. En resistencia a la flexotracción, la muestra MT2 tuvo la menor disminución, con una reducción del 6%. Para la actividad fotocatalítica, la muestra MT2 también destacó con un incremento del 71.04%. Las conclusiones indicaron que el TiO2 influyó positivamente en las propiedades del concreto, mejorando notablemente la absorción y la actividad fotocatalítica, aunque con una ligera disminución en la resistencia. Las muestras con adición de TiO2 superaron los valores mínimos establecidos en las normas para adoquines tipo II (Concepción, 2023).

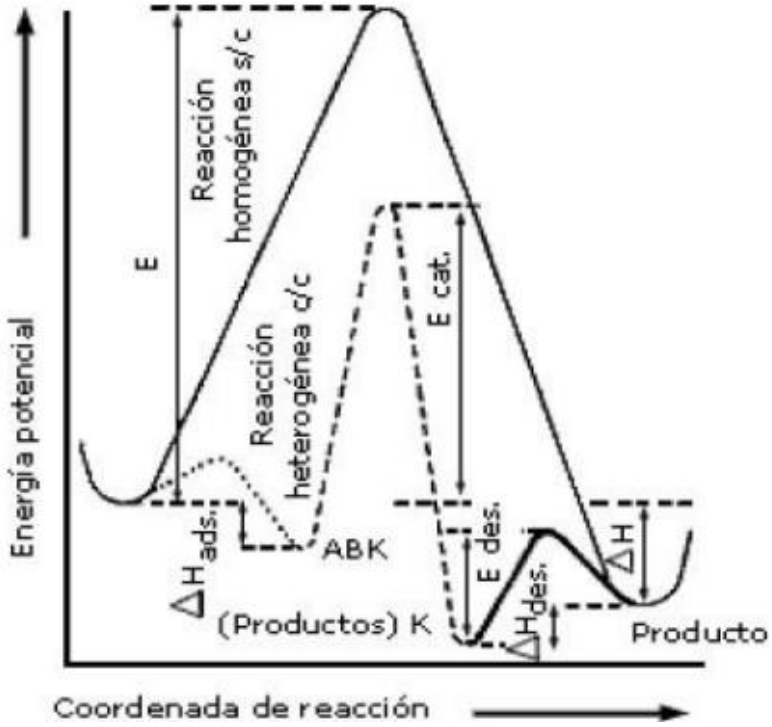
2.1.2. Pavimento Fotocatalítico

El concepto de catálisis abarca una variedad de fenómenos que comparten una característica esencial: en cada caso, el catalizador ejerce una influencia notablemente mayor que cualquier otro agente sin esta propiedad. En 1836, Berzelius introdujo el término para describir el incremento en la velocidad de las reacciones químicas al estar en presencia de ciertas sustancias que, aparentemente, no experimentaban cambios (Coral, 2023).

Caballa & Fraga (2023) señala que ningún catalizador puede ser clasificado como reactivo o producto dentro de una reacción, ya que su presencia solo afecta la

velocidad con la que se desarrolla la misma. La Figura 1 ilustra la diferencia en las reacciones con y sin catalizador.

Figura 1. Reacción de un catalizador.



Fuente: Caballa & Fraga (2023)

Lo más significativo de este proceso es que, gracias a los catalizadores, es posible obtener productos que, sin la catálisis, no podrían existir.

2.1.3. Semiconductor

Se refiere a un material con propiedades eléctricas intermedias que se caracteriza por no comportarse como un conductor ni como un aislante eléctrico. A temperatura ambiente, este material puede conducir electricidad, lo que implica que su capacidad conductiva está directamente relacionada con la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, los electrones de la banda de valencia (BV) se excitan y pasan a la banda de conducción (BC), dejando un hueco en la BV, conocido como par electrón-hueco (e-h+). Tanto los electrones en la BC como los huecos en la BV son fundamentales para la conductividad eléctrica del material (Domínguez, 2024).

Figura 2**.** Bandas de energía de un semiconductor.

Fuente: Domínguez (2024)

2.1.4. Fotocatalizador

Este proceso se diferencia del catalizador convencional porque solo funciona cuando recibe luz, ya sea visible o no, y esta puede ser de origen artificial o natural. Esta es una característica común en los materiales semiconductores; sin embargo, no todos tienen la misma efectividad. Los semiconductores se clasifican en tres grupos según su potencial (Reyes & Fidel, 2021):

- **Reductivos:** Tienen la capacidad de reducir el agua, generando H_2, aunque su potencial de oxidación es insuficiente para oxidarla.
- **Oxidativos:** Pueden inducir la oxidación del agua.
- **Redox:** Estos semiconductores son capaces de producir reacciones fotocatalíticas debido a la diferencia de energía entre la banda de valencia (BV) y la banda de conducción (BC) (Rodríguez et al., 2024).

Para la selección adecuada de un fotocatalizador, es importante considerar ciertos criterios: debe tener una banda de valencia con un potencial redox adecuado, lo suficientemente positivo como para permitir la mineralización de materia orgánica. La fotoactivación debería situarse dentro del rango de luz visible o UV cercano, idealmente con un valor inferior a 4.1 para aprovechar la luz solar. Además, debe ser resistente a la fotocorrosión, tener baja toxicidad, una alta área activa y no participar directamente en las reacciones, para evitar su degradación.

La fotocatálisis es un proceso catalítico impulsado por energía, capaz de excitar un semiconductor (catalizador) hasta el punto de que actúe como un conductor. En la superficie del catalizador, se desarrollan reacciones de oxidorreducción, que generan radicales libres altamente reactivos. Estos radicales reaccionan con las especies circundantes, rompiendo enlaces moleculares y oxidándolas o reduciéndolas hasta convertirlas en compuestos menos complejos (Villarroel, 2019).

Coral (2023) define la fotocatálisis como la capacidad de ciertos materiales para facilitar reacciones químicas que, de otro modo, serían inexistentes o muy lentas, cuando están en presencia de luz UV. Para iniciar la reacción de oxidación, es necesaria una fracción de radiación ultravioleta del 4%.

2.1.5. Dióxido de Titanio

Es un sólido blanco perteneciente a la familia de los óxidos metálicos de transición. Se presenta en tres formas cristalinas: anatasa (tetragonal), brookita (ortorrómbica) y rutilo (tetragonal), siendo la anatasa la forma termodinámicamente más estable. De estas, solo las formas rutilo y anatasa tienen relevancia comercial, siendo la anatasa la más adecuada para procesos fotocatalíticos (Negrin, 2021).

Este compuesto químico se utiliza como semiconductor en procesos de oxidación avanzada fotocatalítica, debido a su capacidad para absorber y reaccionar bajo la exposición a la luz ultravioleta, lo que le confiere propiedades autolimpiantes al material que recubre (Coral, 2023).

Tabla 1

Propiedades físicas del Dióxido de Titanio

Propiedades físicas Valor	Propiedades físicas Valor
Gravedad especifica 4.0 g/cm3	Gravedad especifica 4.0 g/cm3
Color, CIE L* 99.4	Color, CIE L* 99.4
Tamaño medio de partículas 0.36 µm	Tamaño medio de partículas 0.36 µm
pH 8.2	pH 8.2
Resistencia a 30 ºC 10	Resistencia a 30 ºC 10

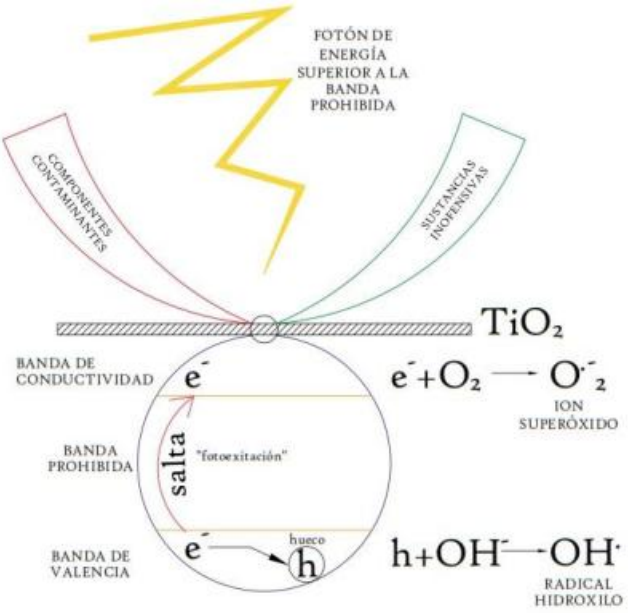
Fuente: Coral (2023)

Es uno de los semiconductores más estudiados debido a su alta fotoactividad, bajo costo, baja toxicidad y gran estabilidad térmica. La forma anatasa del TiO_2 tiene una energía de banda prohibida de 3.2 eV, lo que representa una de sus principales limitaciones, ya que solo puede absorber aproximadamente el 5% del espectro solar (Domínguez, 2019).

2.1.6. Actividad Fotocatalítica

Figura 3**.** Proceso de la fotocatálisis

.



Fuente: Molero, (2020)

La fotocatálisis heterogénea es un proceso químico en el que un semiconductor se activa mediante fotones con energía igual o superior a la banda prohibida del material. Esta activación provoca reacciones de oxidación y reducción que permiten descomponer compuestos orgánicos e inorgánicos, haciendo de esta tecnología una solución efectiva para reducir la contaminación en el agua y el aire (Pérez, 2022).

El dióxido de titanio, un semiconductor comúnmente utilizado en aplicaciones de fotocatálisis tiene bandas de conductividad, prohibida y de valencia. Cuando un fotón con suficiente energía incide en el material, un electrón salta de la banda de valencia a la banda de conductividad, creando un radical hidroxilo en la banda de valencia y un

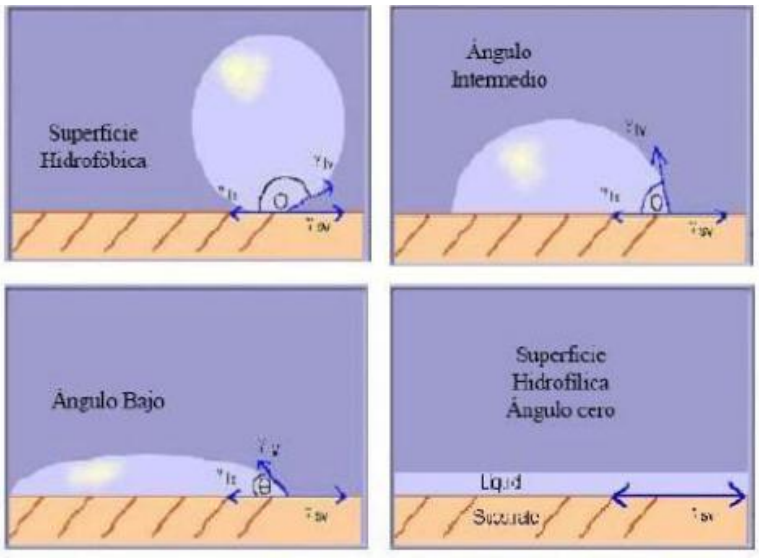
ion superóxido en la banda de conductividad. Estos radicales altamente reactivos son fundamentales para la descomposición de contaminantes (Domínguez, 2019).

La eficacia de la fotocatálisis depende de la capacidad del fotocatalizador para absorber la radiación, lo que resalta la importancia de la fuente de luz en el proceso. Aumentar la concentración del catalizador mejora la degradación hasta un cierto límite, después del cual la eficacia puede disminuir debido a la reducción en la penetración de la radiación. En general, la fotocatálisis heterogénea se presenta como una técnica prometedora para la eliminación de compuestos tóxicos como los NOx y COVs (Huanca, 2019).

2.1.7. Propiedades Fotocatalíticas

En 1995 se descubrió que agregar un pequeño porcentaje de SiO_2 a una lámina delgada de dióxido de titanio (TiO_2) confiere propiedades superhidrofílicas al material. Esto se debe a que, al recibir luz UV, el TiO_2 genera pares electrón-hueco que expulsan átomos de oxígeno y crean huecos electrónicos, los cuales son ocupados por moléculas de agua formando grupos OH adsorbidos en la superficie. Como resultado, en lugar de formar gotas, el agua se extiende en una capa delgada sobre el material (Figura 4) (Coral, 2023).

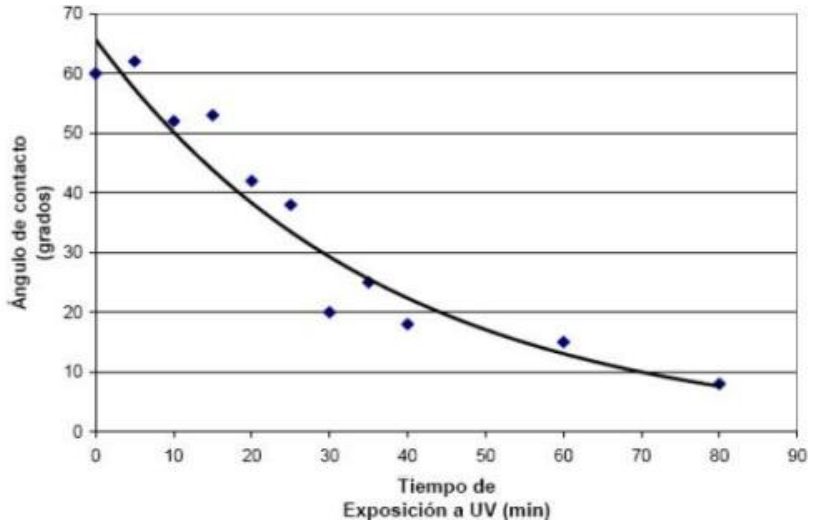
Figura 4**.** Ángulos de adhesión de las gotas de agua a una superficie.



Fuente: Coral (2023)

El ángulo de contacto del agua con la superficie disminuye con el tiempo de irradiación UV, llegando casi a cero tras aproximadamente media hora de exposición (Figura 5) (Yaulilahua, 2021).

Figura 5**.** Ángulo de adhesión en relación con el tiempo de exposición a la radiación UV.



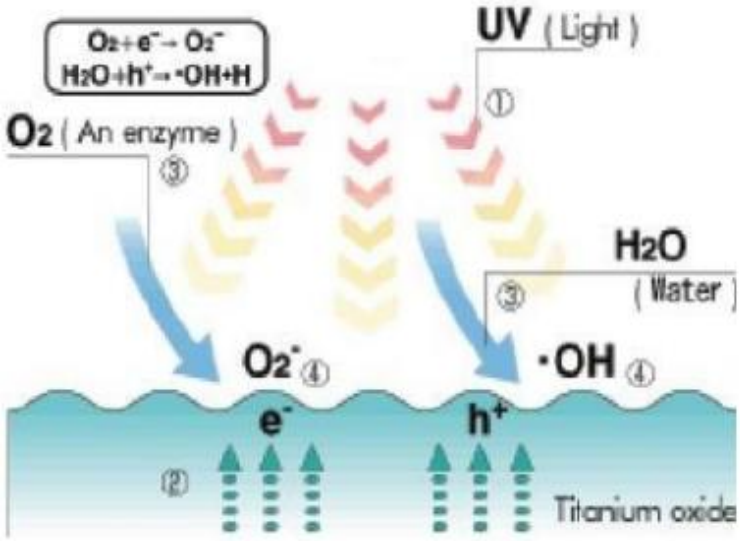
Fuente: Yaulilahua (2021)

Para la descontaminación del aire, el proceso fotocatalítico requiere un entorno basado en carbonato cálcico, como el que se encuentra en morteros y concretos, así como una humedad ambiental adecuada. La autolimpieza del material depende de la eficacia de las moléculas orgánicas oxidantes. Debido al deterioro estético causado por depósitos grasientos y partículas atmosféricas, es necesario un mantenimiento constante que a menudo implica el uso de productos químicos contaminantes o un mayor consumo energético. Los materiales autolimpiables, como aquellos tratados con TiO_2, ofrecen una solución eficaz al reducir la necesidad de limpieza constante (Coral, 2023).

El TiO_2 fotoactivado elimina residuos orgánicos e inorgánicos mediante su capacidad para generar superhidrofilia. La presencia de TiO_2 en superficies porosas, como concreto y mortero, mejora la capacidad del material para limpiar manchas y contaminantes, aunque la distribución no siempre es homogénea. La adhesión de partículas atmosféricas, como hidrocarburos y ácidos grasos, se debe a la interacción química con iones de calcio en el concreto. La luz UV activa el TiO_2, que produce radicales altamente reactivos que descomponen los contaminantes orgánicos. La luz

solar proporciona la energía necesaria y la atmósfera suministra oxígeno y agua para formar estos radicales (Figura 6). La efectividad de la autolimpieza está vinculada a la dispersión del TiO_2 y la reducción de áreas ocluidas en la superficie del material (Coral, 2023).

Figura 6**.** Diagrama de Fotocatálisis en una Superficie con Dióxido de Titanio.



Fuente: Coral (2023)

2.1.8. Factores que Influyen en el Efecto Fotocatalítico

El proceso de fotocatálisis puede verse influenciado por diversos factores ambientales, como la longitud de onda e intensidad de la luz, la humedad relativa, la temperatura y el viento. Para lograr los mejores resultados en la fotocatálisis, se requieren temperaturas elevadas y una intensidad de luz superior a 300 nm. Las condiciones ideales para la eliminación de contaminantes del aire son días cálidos de verano con baja humedad relativa y ausencia de viento. En el caso del TiO_2 aplicado al concreto, aspectos como la porosidad, la humedad, el tipo y tamaño de los agregados, el método de aplicación y el desgaste del material también afectan su eficacia fotocatalítica (Aliste, 2022).

2.1.9. Propiedades del Sistema Cemento-TiO2

Usualmente, la combinación de cemento y TiO2 se lleva a cabo en seco, antes de la hidratación con agua. Durante esta etapa, el TiO2 se comporta como un material muy estable e inerte, lo que significa que no reacciona con las fases del cemento ni participa en las reacciones de hidratación. Sin embargo, una vez que comienza la hidratación, el entorno químico creado puede alterar significativamente tanto la química de la superficie como las propiedades electrocinéticas de las partículas de titanio (Huamani, 2021).

2.1.10. Definición de Pavimento Fotocatalítico

El pavimento fotocatalítico incorpora materiales como el dióxido de titanio (TiO2) en el concreto para aprovechar sus propiedades fotocatalíticas. Estos materiales ayudan a descomponer contaminantes atmosféricos cuando están expuestos a la luz ultravioleta (UV) (Huamani & Solis, 2021).

2.1.10.1. Composición.

Dióxido de Titanio (TiO2): Utilizado como agente fotocatalítico, el TiO2 se integra en la mezcla de concreto o asfalto durante el proceso de producción (Delgado, 2023).

- **Concreto o Asfalto:** El material base que proporciona la estructura y la resistencia del pavimento. Se mezcla con TiO2 en seco antes de la hidratación o la aplicación (Fernandez, 2023).

2.1.11. Principios de Funcionamiento

- **Fotoactivación:**
  - **Exposición a Luz UV:** El TiO2 en el pavimento se activa cuando recibe luz UV, que puede ser proporcionada por la luz solar o fuentes artificiales de UV.
  - **Generación de Radicales Libres:** La energía de la luz UV excita los electrones en el TiO2, generando pares electrón-hueco. Estos radicales libres son altamente reactivos (Coral, 2023).

- **Descomposición de Contaminantes:**
  - **Reacciones Oxidativas:** Los radicales libres generados reaccionan con contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el aire y en la superficie del pavimento. Esto resulta en la descomposición de contaminantes en compuestos menos dañinos, como agua y dióxido de carbono.
  - **Autolimpieza:** El pavimento fotocatalítico no solo reduce los contaminantes en el aire, sino que también limpia la superficie al descomponer la suciedad y otros depósitos adheridos (Coral, 2023).

2.1.12. Beneficios ambientales (reducción de contaminación).

El pavimento fotocatalítico ofrece una serie de beneficios ambientales significativos que contribuyen a la mejora de la calidad del entorno urbano. Su capacidad para reducir los contaminantes atmosféricos, como óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), ayuda a limpiar el aire y disminuir los problemas de salud asociados con la contaminación. Además, la eliminación de olores desagradables y la reducción de la necesidad de mantenimiento mediante su propiedad autolimpiante contribuyen a la sostenibilidad, al disminuir el uso de productos químicos y recursos naturales (Fernandez, 2023).

La durabilidad del pavimento, que prolonga su vida útil y reduce la necesidad de reemplazos frecuentes, también tiene un impacto positivo en la conservación de recursos y la reducción de residuos. Asimismo, el pavimento fotocatalítico puede ayudar a mitigar el efecto de isla de calor en las zonas urbanas al mejorar la reflexión de la luz solar, lo que puede resultar en un ambiente más fresco y menor consumo de energía para aire acondicionado. En conjunto, estos beneficios transforman el paisaje urbano, haciendo que las áreas urbanas sean más saludables, atractivas y sostenibles para los residentes (Becerra & De La Cruz, 2024).

Tabla 2

Beneficios ambientales del pavimento fotocatalítico

Beneficio Ambiental	Descripción
Reducción de Contaminantes Atmosféricos	El TiO2 en el pavimento fotocatalítico descompone contaminantes como NOx y COVs en sustancias menos nocivas.
Mejora de la Calidad del Aire	La descomposición de contaminantes contribuye a una atmósfera más limpia, reduciendo la polución del aire.
Reducción de Olores	Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) que causan malos olores son descompuestos, mejorando el ambiente urbano.
Menor Necesidad de Mantenimiento	La capacidad autolimpiante del pavimento reduce la necesidad de productos de limpieza y mantenimiento químicos.
Efecto a Largo Plazo	Contribuye a la sostenibilidad al mantener las superficies limpias y reducir la necesidad de reemplazo frecuente.
Conservación de Recursos Naturales	Menor uso de detergentes y productos de limpieza reduce el consumo de recursos y la generación de desechos.
Mitigación del Calentamiento Urbano	Mejora la reflexión de luz solar y reduce el calentamiento de superficies, contribuyendo a la reducción del efecto de isla de calor urbano.
Beneficios en Zonas Urbanas	Mejora la calidad de vida en áreas urbanas al reducir la contaminación del aire y mejorar la estética de las calles y edificios.

Fuente: Fernández (2023)

2.1.13. Transporte de carga pesada

Se refiere a los desplazamientos en los que la carga supera las normas estándar de tamaño o peso para vehículos de carretera, requiriendo vehículos especiales. Se clasifica en cuatro categorías principales (Basilio, 2020):

- **Transportes de Gran Volumen:** Cargas con dimensiones excepcionales, como grandes silos o cisternas.
- **Transporte Pesado:** Cargas de gran peso, como vigas de concreto o maquinaria pesada.

- **Transportes de Gran Volumen y Pesados:** Cargas que combinan grandes dimensiones y peso, como turbinas o transformadores.
- **Transportes Largos:** Cargas con longitudes inusuales, como las palas de los aerogeneradores (Basilio, 2020).

Estos transportes pueden causar un uso intensivo de las carreteras, afectando el tráfico y provocando un desgaste significativo en la infraestructura vial.

2.1.14. Impacto del Pavimento Actual en el Transporte de Carga

El pavimento de las carreteras es fundamental para facilitar el transporte de carga, y su estado y calidad tienen un impacto significativo en la eficiencia y seguridad del transporte de mercancías pesadas (Roldan, 2024). A continuación, se detallan los principales impactos del pavimento actual en este tipo de transporte:

1. **Desgaste y Mantenimiento:**

- **Desgaste Prematuro:** Las carreteras con pavimento de baja calidad o deteriorado tienden a desgastarse más rápidamente debido al tránsito constante de vehículos pesados. Esto puede resultar en la formación de baches, grietas y otros defectos que afectan la seguridad y comodidad del transporte.
- **Costos de Mantenimiento:** El pavimento en mal estado requiere reparaciones frecuentes, lo que incrementa los costos de mantenimiento para las autoridades viales y para las empresas de transporte. Estos costos se reflejan en las tarifas de transporte y en el tiempo perdido debido a las interrupciones en el tráfico.
- **Eficiencia del Transporte:**
- **Reducción de la Eficiencia:** Un pavimento deteriorado puede reducir la eficiencia del transporte al aumentar la resistencia al rodaje y provocar vibraciones en el vehículo. Esto puede resultar en un mayor consumo de combustible y una reducción en la velocidad de transporte, afectando los tiempos de entrega y la eficiencia operativa.
- **Impacto en la Carga:** El pavimento irregular puede causar daños a la carga debido a los movimientos bruscos y las vibraciones. Esto es especialmente

crítico para cargas sensibles que requieren una manipulación cuidadosa para evitar daños (Roldan, 2024).

2. **Seguridad:**

- **Riesgo de Accidentes:** El pavimento dañado aumenta el riesgo de accidentes, ya que las condiciones irregulares de la carretera, como baches y grietas, pueden causar que los vehículos pierdan tracción o estabilidad. Esto es especialmente peligroso para los camiones con carga pesada, que requieren una superficie de rodadura uniforme para mantener el control.
- **Problemas de Control:** Las irregularidades en el pavimento pueden dificultar el manejo de vehículos pesados, reduciendo la capacidad del conductor para maniobrar con seguridad, especialmente en condiciones climáticas adversas o cuando el vehículo está cargado a plena capacidad.
- **Daño a la Infraestructura:** La constante carga y el impacto de los vehículos pesados pueden agravar el deterioro del pavimento y de la infraestructura vial en general, creando un ciclo de desgaste que aumenta el riesgo de fallos estructurales y accidentes (Roldan, 2024).

2.1.15.Pavimento

Las carreteras o vías de comunicación están conformadas por pavimento los cuales se definen como rígidos, flexibles, articulados diseñados técnicamente por medio de capas horizontales construidas con materiales pétreos debidamente compactados, reciben directamente las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento (Díaz & Tejada, 2021).

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, edemas de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas (Pérez & Suárez, 2023).

El pavimento debe cumplir varias funciones como:

- Resistente a las cargas del tránsito vehicular.
- Resistente a los agentes de meteorización (desgastes y desintegración).
- Tener una textura resistente al desgaste de la velocidad vehicular.
- La vía debe tener una adecuada pendiente longitudinal y transversal para un adecuado manejo vehicular.
- Debe ser económica y Eficiente para el tiempo de duración estipulado de la Vía.
- Drenaje superficial acelerado (Díaz & Tejada, 2021).

2.1.15.1. Pavimento Flexible.

Corresponden a pavimentos que tienen en su capa superior concreto asfaltico o distintos tratamientos superficiales. Sus capas inferiores de base y de subbase son generalmente granulares o tratadas. Tales capas van mejorando desde la parte inferior (más cercana al terreno natural) hacia la superficie (Mancilla & Arias, 2023).

Debido al mecanismo de transferencia de tensiones por deformación, se les conoce como pavimentos flexibles.

Figura 7. Estructura de un pavimento flexible.

Fuente: Mancilla & Arias (2023).

2.1.15.2. Capa de Rodadura.

Esta capa de rodadura está compuesta por un material pétreo al que se le agrega un producto asfaltico que ayuda al aglutinamiento de las cargas producidas por

los vehículos. Ayuda a que la mayor cantidad de agua del drenaje llegue a la base, ya que posee la menor permeabilidad, esta capa de rodadura es producida y colocada en la obra caliente (Acuña & Pariona, 2021).

2.1.15.3. Capa Base.

Es la capa estructural la que recibe la mayor parte del esfuerzo, y la capa superior se queda allí. La subrasante ayuda proporcionar el espesor de pavimento general necesario para garantizar que pueda soportar los volúmenes de tráfico esperados durante la vida útil del proyecto (Condori, 2021).

Por lo general, está hecho de material granular seleccionado mezclado con agregado fino y grueso, aunque también se usa la llamada "base negra", que es una capa de mezcla asfáltica que se coloca debajo de la superficie de la carretera para agregar estructura (Garzón & Plaza, 2021).

2.1.15.4. Capa Sub-base.

Esta capa ayuda a que la capacidad del material sea de mayor resistencia a la del suelo compactado, permitiendo reducir el espesor de la siguiente base, es decir de la capa base. Este material puede ser grava, residuos materiales de canteras, entre otros, su absorción de agua debe ser inferior a un 35%, además que ayuda en la reducción del costo del pavimento (Manchay, 2022).

2.1.15.5. Subrasante.

Es la topografía natural sobre la que descansa toda la estructura del pavimento, es decir, no forma parte de la estructura en sí. Sin embargo, la capacidad portante básica es un factor fundamental que afecta directamente la selección del espesor total del recubrimiento. Su propósito es soportar la carga del tráfico en el pavimento, transferir y distribuir la carga al cuerpo del terraplén, evitar que el material plástico fino del cuerpo del terraplén contamine la superficie de la carretera y proteger la superficie de la carretera (Virto, 2022).

2.1.15.6. Concreto Asfáltico.

El hormigón asfáltico es el material de construcción de pavimentos flexibles más utilizado en el mundo. Las mezclas bituminosas son todos los áridos recubiertos de una película de material bituminoso, utilizados principalmente como abrasivo para pavimentos flexibles. En este sentido, la mezcla asfáltica debe tener ciertas propiedades mecánicas y funcionales que contribuyan al desempeño de la estructura del pavimento (Pérez & Viña, 2022). Las principales ventajas de utilizar mezclas asfálticas son:

- Son materiales duraderos, resistentes al envejecimiento ya la oxidación.
- Debido a su baja porosidad, son muy resistentes y duraderos.
- Impermeabilización superficial de pavimentos.
- En cuanto a las desventajas del uso de estas mezclas, se pueden señalar las siguientes.
- Debido a la baja porosidad, la textura de la superficie no es la mejor para lograr una buena fricción entre el neumático y la carretera.
- Contribuyen a los niveles de agua subterránea durante las lluvias, aumentando la probabilidad de hidroplano y aumentando los accidentes de tráfico.
- Difícil de producir y construir, ya que se esparce y compacta a altas temperaturas, hay un impacto negativo en el medio ambiente por las emisiones (Pérez & Viña, 2022).

2.1.15.7. Diseño de Mezclas Asfálticas Densas en Caliente.

El diseño de mezclas de concreto asfáltico consiste en el estudio detallado de las características físicas de los agregados pétreos y de los materiales asfálticos para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico. Este último debe garantizar la correcta interacción de los materiales constituyentes de la mezcla en términos volumétricos y de resistencia. Altos contenidos de asfalto en la mezcla pueden contribuir al problema de exudación y, consecuentemente, ahuellamiento en el desempeño de la vida útil del pavimento (Calvo & Romero, 2022).

En sentido contrario, un bajo porcentaje de asfalto origina separación o desagregación de la mezcla asfáltica en servicio, con lo cual, se pueden desarrollar diferentes patologías en el pavimento (por ejemplo: stripping, pérdida de resistencia al daño por humedad, envejecimiento prematuro, entre otras). Para el diseño de mezclas asfálticas existen diversas metodologías, entre las que se destacan: el método Marshall, método Hveem y la metodología Superpave (Pérez & Viña, 2022).

En el presente documento se describirán detalladamente los métodos Marshall y Superpave por ser los más utilizados en la Ingeniería de Pavimentos; y se dejará de lado el método Heveem, debido a que no es ampliamente utilizado en la práctica actual (Calvo & Romero, 2022).

2.1.15.8. Diseño Marshall.

El ensayo Marshall es el más utilizado para determinar el contenido de asfalto óptimo en mezclas asfálticas del tipo denso y en caliente (por ejemplo: concreto asfáltico) (Martínez et al., 2021).

Tal como se mencionó con anterioridad, mezclas asfálticas con elevados contenidos de asfalto pueden tener tendencias a la ocurrencia de deformaciones permanentes excesivas o ahuellamiento. En sentido contrario, las mezclas asfálticas con bajos contenidos de asfalto pueden tener tendencia a la ocurrencia de fisuras o agrietamiento por fatiga (Pérez & Viña, 2022), así como disminución de la resistencia al daño por humedad y al envejecimiento.

El ensayo de estabilidad y flujo Marshall fue desarrollado por el ingeniero Bruce Marshall en los años 40; surgió como ayuda en la determinación de las proporciones de los materiales constituyentes de las capas de rodadura de las pistas de aterrizaje y salida de las aeronaves en la segunda guerra mundial (Monserrate & Arévalo, 2022).

El ensayo es regulado por la especificación INV-E 748 (2013) y tiene como objetivo determinar la resistencia máxima a la compresión radial y el desplazamiento total presentado en una briqueta o muestra Marshall desde la aplicación de una carga inicial nula hasta la carga máxima de ruptura (carga monotónica), bajo temperatura de

ensayo de 60 °C. En ese sentido, la realización del ensayo permite obtener una idea de la cohesión de la mezcla asfáltica y su resistencia bajo carga monotónica a altas temperaturas de servicio (Pérez & Viña, 2022).

Algunos investigadores mencionan que la resistencia es un indicador de la resistencia al hundimiento en climas de alta temperatura. Además, la prueba se utiliza para determinar la composición volumétrica de la mezcla (Quintana & Lizcano, 2023). Para diseñar una mezcla asfáltica utilizando el método Marshall se siguen los siguientes pasos:

- Determinar el tipo de mezcla bituminosa.
- Medir la granulosidad del asfalto.
- Propiedades de los áridos para asfalto.
- Propiedades físicas del asfalto.
- Determinar la temperatura de trabajo. Seleccione la cantidad de asfalto que se puede utilizar.
- Separación de las fracciones para la elaboración de las briquetas Marshall.
- Fabricación de briquetas Marshall.
- Definir parámetros volumétricos.
- Definir parámetros de resistencia mecánica.
- Selección del contenido óptimo de cemento bituminoso

2.1.15.9. Tipo de mezcla asfáltica.

Existen mezclas asfálticas que pueden ser utilizadas como capa de rodadura, capas intermedias y capas de base asfáltica, en función del diseño estructural del pavimento. El Artículo 450-INVÍAS (2013) y el artículo 510- IDU (2011), especifican emplear los tipos de mezclas en función del tipo de subcapa que se vaya a conformar dentro de la capa asfáltica y del espesor compacto de ésta (Monserrate & Arévalo, 2022).

2.1.15.10. Fabricación de las briquetas Marshall.

Luego de separar las fracciones granulométricas y realizar la respectiva dosificación del material, se deben someter a calentamiento los agregados y el asfalto. La temperatura de calentamiento del asfalto se obtiene a partir del resultado de viscosidad, y los agregados se deben someter a una temperatura entre 10 a 15 °C por encima de la temperatura del asfalto (Ortiz & Villamil, 2020).

Posteriormente, se realiza la mezcla por un periodo inferior a dos minutos, garantizado el recubrimiento de los agregados por la lámina de asfalto. Finalmente, se hace la compactación de la briqueta en un molde metálico, generalmente con 75 golpes por capa con un martillo normalizado. Previamente al proceso de compactación, se realiza un acomodo del material con ayuda de una espátula, generando 10 golpes centrales y 15 golpes laterales (Ortiz & Villamil, 2020).

Figura 8. Ensayo de briqueta.

Fuente: Bastidas & Rondón (2020)

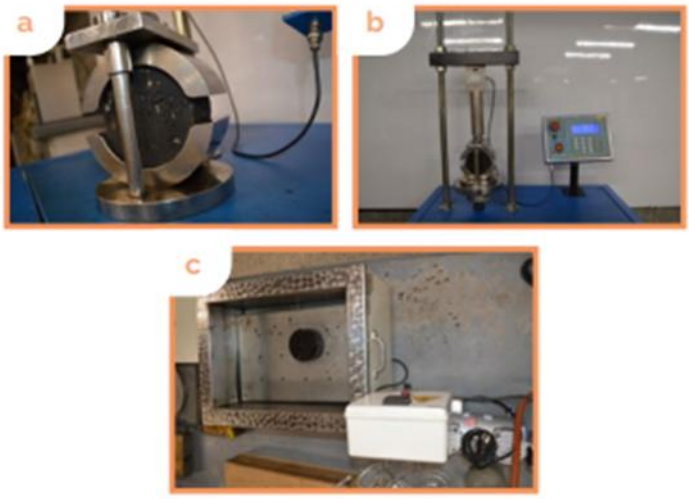
2.1.15.11. Determinación de los parámetros de resistencia mecánica: estabilidad y flujo Marshall.

La estabilidad (E), el flujo (f) y relación E/F se consideran parámetros de resistencia para el diseño de las mezclas asfálticas, los cuales son utilizados para determinar el contenido óptimo de asfalto y se obtienen según la especificación INV-E 748 (2013), citado por (Lancheros & Rubiano, 2020).

La especificación de diseño de mezclas asfálticas densas en caliente para un nivel de tránsito alto, contemplan un valor mínimo de 9000 N para una energía de compactación de 75 golpes por cada cara de la briqueta. La metodología del ensayo consiste en la aplicación de una carga sobre una briqueta solicitada diametralmente en el estado plano de tensión a la temperatura de 60 °C, la cual se alcanza mediante el condicionamiento por un intervalo entre 30 y 40 minutos en un baño María (Lancheros & Rubiano, 2020).

La aplicación de la carga monotónica se realiza aplicando una velocidad de 48 mm/s y se determina el desplazamiento vertical en el estado de falla, entendido como el flujo Marshall. Por otra parte, la relación entre la estabilidad y el flujo (E/F) define la resistencia bajo carga monotónica del material y es un indicador de rigidez (Bastidas & Hugo, 2020).

Figura 9. Ensayo Marshall.



Fuente: Bastidas & Rondón (2020)

2.1.15.12.Diseño de mezcla asfáltica.

El procedimiento del diseño de mezcla involucra los siguientes pasos básicos:

2.1.15.13. Determinación del agregado pétreo.

- Caracterización del cemento asfáltico.

- Verificación de la proporción llenante mineral y asfalto.
- Selección de la cantidad de los cuerpos de prueba o briquetas a realizar.
- Compactación de los cuerpos de prueba en el compactador giratorio.
- Determinación de los parámetros volumétricos para establecer el contenido óptimo de asfalto.
- Realización de los ensayos de comportamiento mecánico (Bareño et al., 2021).

2.2. Marco Legal

2.2.1. Normativa Nacional

Según la Constitución de la República del Ecuador (2018) describe que el Art. 30 y 31.- nos indica el derecho de contar con una vivienda de manera segura, así como el respeto a cualquier ideología que puede tener el ser humano.

Art. 264. 7 y 281. 8. Indica sobre los implementos de salud, educación, los espacios públicos deportivos y el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica que debemos contar.

Art. 350 y 385.- la educación superior será una formación académica superior con visión científica, tecnológica, humanista e impulsar la producción nacional que sea eficiente y productiva (Constitución de la República del Ecuador , 2018).

2.2.2. Reglamento de Titulación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil

Que la unidad de titulación es la unidad curricular que incluye las asignaturas, cursos o sus equivalentes, que permiten la validación académica de los conocimientos, habilidades y desempeños adquiridos en la carrera para la resolución de problemas, dilemas o desafíos de una profesión (Carnero & Parrales, 2023).

Que el resultado final de esta unidad curricular es:

a) el desarrollo de un trabajo de titulación, o,

b) la preparación y aprobación de un examen de grado de carácter complexivo, con los cuales se realiza la validación académica de los conocimientos, habilidades y desempeños adquiridos en la carrera por los estudiantes (Carnero & Parrales, 2023).

Que en ambas modalidades el estudiante deberá demostrar el manejo integral de los conocimientos adquiridos a lo largo de su formación profesional, así como las destrezas alcanzadas al término de la misma, sin que le sea permitido realizar otra unidad curricular distinta a las señaladas en la Ley (Carnero & Parrales, 2023)

Que en ejercicio de la autonomía universitaria establecida en el Art. 351 de la Constitución de la República y al amparo de la potestad reglamentaria ejercida por el Órgano Colegiado Superior (OCAS) de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

Art.17.-Proyecto de Investigación. - Es una propuesta que pretende encontrar resultados que den respuesta a un problema que surja de las prácticas preprofesionales, vinculación con la sociedad o de su experiencia laboral. En esta opción se puede hacer uso de cualquiera de los métodos y tipos de investigación existentes que apliquen al tema motivo de la propuesta, una investigación exploratoria y diagnóstica, la base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta (Carnero & Parrales, 2023).

2.2.3. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida

Incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada (CEPAL, 2021).

Incentivar la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, impulsar el cambio mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades (CEPAL, 2021).

Implementar sistemas constructivos seguros y energéticamente eficientes en zonas de alta exposición a amenazas de origen natural y antrópicor.

La planificación y ejecución de proyectos de infraestructura vial, como la construcción de una vía perimetral con pavimento fotocatalítico para el transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña, requiere un marco legal robusto y actualizado que garantice el cumplimiento de normas y estándares nacionales e internacionales. Este marco legal asegura que el proyecto no solo sea eficiente y seguro, sino también respetuoso con el medio ambiente y acorde a las normativas urbanísticas y viales vigentes en Ecuador (CEPAL, 2021).

2.2.4. Ley Orgánica del Ambiente

Esta ley proporciona un marco normativo para la protección del medio ambiente, estableciendo principios para la evaluación de impacto ambiental y la implementación de tecnologías limpias. El Artículo 4 define el marco para la evaluación y manejo de impactos ambientales en proyectos de infraestructura, asegurando que las iniciativas de construcción sean ambientalmente responsables (Ley Orgánica del Ambiente, 2017).

Complementa la Ley Orgánica del Ambiente, exigiendo una evaluación de impacto ambiental (EIA) para proyectos de construcción y la implementación de medidas de mitigación. El Artículo 9 establece la obligación de realizar una EIA, mientras que el Artículo 10 requiere la obtención de autorización ambiental antes de iniciar cualquier proyecto que pueda afectar el medio ambiente (Ley Orgánica del Ambiente, 2017).

2.2.5. Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (COOTAD)

Este código regula la planificación y el uso del suelo, asegurando que los proyectos respeten las normativas de urbanismo y planificación territorial. El Artículo 25 aborda la planificación del uso del suelo para infraestructura, y el Artículo 58 establece

la necesidad de permisos de construcción para nuevas obras, incluidas las vías (COOTAD, 2019).

2.2.6. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN

El INEN establece normas técnicas para materiales de construcción y diseño vial. La Norma INEN 140-1 es especialmente relevante para la especificación de pavimentos, incluyendo los fotocatalíticos, asegurando que estos cumplan con los estándares de calidad y desempeño necesarios (INEN, 2021).

2.2.7. Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)

El MTOP define las directrices para la planificación, construcción y mantenimiento de infraestructura vial. Su política nacional y reglamentos internos proporcionan las normas específicas para la construcción de vías, incluyendo los procedimientos de supervisión y especificaciones técnicas (MTOP, 2022).

2.2.8. Normas Internacionales

- **AASHTO 93:** Proporciona directrices para el diseño de pavimentos, basadas en pruebas de carga y el comportamiento de pavimentos bajo diferentes condiciones. Estas guías se adaptan a las condiciones locales para garantizar la durabilidad y seguridad de las vías (Diseño de Pavimento - Método AASHTO 93 , 2006).
- **NEVI-12:** Método para la evaluación y diseño de pavimentos, incluyendo el análisis de deflexiones y propiedades del pavimento, asegurando la eficacia y sostenibilidad del diseño vial (NEVI-12-MTOP, 2013).

Este marco legal integrado garantiza que el proyecto de pavimento fotocatalítico para la vía perimetral en Marcelino Maridueña cumpla con los requisitos técnicos, ambientales y normativos necesarios para su desarrollo exitoso y sostenible.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la Investigación

Según Reynosa et al. (2020) define el enfoque de investigación como la estrategia metodológica empleada para estructurar y desarrollar un estudio, estableciendo las características y procedimientos que lo sustentan. Esta orientación guía al investigador en cada etapa del proceso, contribuyendo a la obtención de resultados coherentes con los objetivos planteados. Se reconocen tres enfoques principales: cuantitativo, cualitativo y mixto, cada uno con bases epistemológicas y metodológicas específicas que precisan su aplicación en distintos contextos (Deroncele et al., 2021).

Esta investigación adoptó un enfoque mixto, combinando la recopilación de información a través de una búsqueda bibliográfica y comparativa de estudios previos con la obtención de datos mediante la interacción directa con los participantes involucrados en el objeto de estudio.

Por otro lado, Alban et al. (2020) menciona que la investigación descriptiva se lleva a cabo con el objetivo de detallar, en todos sus aspectos principales, una determinada realidad.

La investigación descriptiva permitió analizar el fenómeno relacionado con la necesidad de pavimentar la avenida perimetral del cantón Marcelino Maridueña utilizando asfalto flexible fotocatalítico, con el fin de asegurar la resistencia y durabilidad de la estructura en la zona. Asimismo, se recopiló información sobre las opiniones de las personas que respaldan esta solicitud.

3.2. Alcance de la Investigación

El alcance de la investigación sobre el diseño de la estructura de la Vía Perimetral desde la abscisa (0+000) hasta la intersección Av. Perimetral – Vía La Lidia

abscisa (0+1979) con una longitud aproximada de 1979.00 m. con pavimento fotocatalítico para transporte de carga pesada en Marcelino Maridueña comprende la recolección y análisis de datos mediante encuestas dirigidas a los residentes de la zona, enfocadas en su percepción sobre las condiciones actuales de la vía, el impacto del tránsito pesado, como son exclusivamente camiones, remolques, volquetas, plataformas, cama baja, porta contenedores, maquinaria pesada; de la cual no se tomaran muy en cuenta los vehiculos livianos ni motos; y la viabilidad del pavimento fotocatalítico. Además, se evaluarán las características físicas del suelo existente y su capacidad para soportar cargas pesadas, junto con la revisión de estudios previos sobre la durabilidad del asfalto flexible. Con base en estos análisis, se desarrollará una propuesta de diseño estructural del pavimento flexible fotocatalítico, aplicando la metodología establecida por la AASHTO 93. Determinar los espesores del nuevo paquete estructural del pavimento, para que pueda soportar las cargas de tráfico proyectadas para el período de diseño de 20 años. La investigación se delimita al estudio técnico del pavimento sin incluir aspectos de diseño urbano ni proyectos de infraestructura adicionales en la zona. Los datos recopilados serán analizados conforme a criterios técnicos de durabilidad y sostenibilidad de los materiales.

3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos

La técnica empleada en este estudio para la recolección de información fue la observación directa del problema en curso, es decir, el estado actual de la vía perimetral del cantón Marcelino Maridueña. Además, se aplicó una encuesta a los moradores para verificar la necesidad de contar con una vía accesible tanto para el transporte vehicular como para el tránsito peatonal.

Asimismo, se empleó la técnica de muestreo de suelos mediante la excavación de calicatas en la vía a intervenir. Como instrumento, se utilizaron muestras extraídas del suelo existente, las cuales serán analizadas en laboratorio para determinar sus características físicas y mecánicas. Este análisis permitirá evaluar la idoneidad de los materiales y la viabilidad de la ejecución de las capas del pavimento.

Las muestras de suelo serán transportadas al laboratorio de suelos GeoSísmica de la Ciudad de Guayaquil, donde se realizarán los ensayos correspondientes para determinar las características del suelo. Estos análisis permitirán obtener los datos necesarios para evaluar la idoneidad del material y su capacidad de soporte, lo que es fundamental para el diseño y ejecución de la pavimentación de la vía perimetral.

En la presente investigación, se utilizó el cuestionario de respuestas cerradas como instrumento principal para obtener información sobre el estado actual de la vía perimetral y las necesidades de la población local. Además, se realizaron a cabo diversos ensayos de laboratorio para analizar las características del suelo existente en la vía.

Entre los instrumentos utilizados en estos ensayos se incluyen equipos especializados para realizar pruebas de granulometría, límites de Atterberg, ensayo de Proctor, el índice de capacidad de soporte (CBR), y los ensayos de estabilidad y flujo Marshall, los cuales permiten evaluar la calidad. y adecuación de los materiales para la pavimentación.

3.3.1. Muestra de suelo

Figura 10. Excavación de calicata para muestra de suelo.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

3.3.2. Población y muestra

3.3.3. Población

De acuerdo con Condori (2020), la población se entiende como el conjunto total de casos que cumplen con determinadas características o requisitos. En el marco de esta definición, la presente investigación se enfoca en analizar el objeto de estudio dentro de los habitantes de las principales ciudadelas, como Los Parques y Entre Ríos, del cantón Marcelino Maridueña.

Según los datos proporcionados por el INEC (2020), la población total del cantón asciende a 11.054 personas, de las cuales 6.720 residen en áreas urbanas y 4.334 en áreas rurales. Dado que el estudio se centra en las necesidades de infraestructura vial en el sector urbano, la población objeto de análisis será de 6.720 personas, quienes constituyen el grupo de interés principal para la recolección de datos y el análisis de las necesidades relacionadas con la pavimentación de la vía perimetral.

3.3.4. Muestra

Según León & González (2020), una muestra es un subconjunto de la población del cual se obtendrán datos necesarios para llevar a cabo la investigación, con el objetivo de seleccionar un número determinado de elementos a los que se les aplicará el estudio.

En base a la perspectiva teórica, la manera más eficiente de calcular el tamaño de la muestra es a través de la aplicación de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{e^2(N-1) + Z^2 * P * Q}$$

N = Población = 6720

P = Probabilidad de éxito = 0,5

Q = Probabilidad de fracaso = 0,5

P*Q= Varianza de la Población = 0,25

E = Margen de error = 5,00%

NC (1-α) = Confiabilidad = 95%

Z = Nivel de Confianza = 1,96

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * 0.5 * 6720}{(0.05)^2 * (6720 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{3.84 * 0.5 * 0.5 * 6720}{0.0025(6719) + 3.84 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{6451,2}{17,7575}$$

$$n = 363,29$$

La muestra representativa sería de 363 habitantes de las ciudadelas Los Parques y Entre Ríos.

3.3.5. Muestreo de Conveniencia

Según Hernández (2021), el muestreo por conveniencia se define como un método en el que el investigador selecciona a los participantes según la facilidad de acceso, sin emplear un procedimiento aleatorio o sistemático. Este enfoque permite elegir de manera no aleatoria a los individuos que formarán parte de la muestra, lo que lo hace un proceso rápido y sencillo, aunque presenta limitaciones en cuanto a representatividad, ya que los resultados no pueden extrapolarse a toda la población.

Con respecto a este concepto estadístico, se precisa a determinar una población de 50 moradores de las ciudadelas cercanas (Los Parques y Entre Ríos) a la vía perimetral del cantón Marcelino Maridueña.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1 Presentación y análisis de resultados

En este apartado se precisa a presentar los resultados de la encuesta empleada a los habitantes de las ciudadelas Entre Ríos y Los Parques para conocer su opinión sobre la propuesta expuesta en el estudio.

1. El estado actual de la Vía Perimetral dificulta el paso de vehículos pesados.

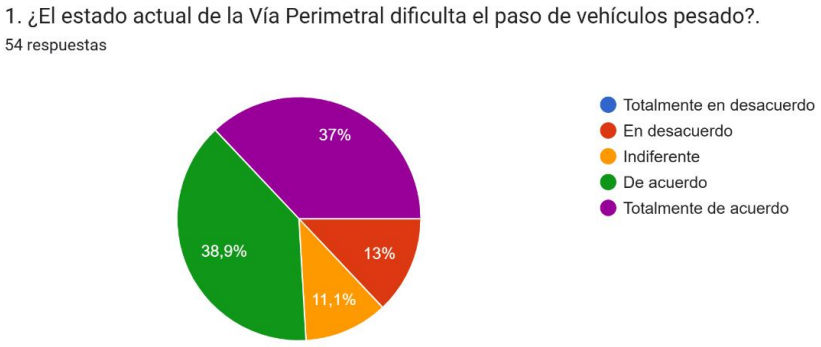
Tabla 3

El estado actual de la vía perimetral.

Descripción	Cantidades	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	7	13%
Indiferente	6	11.1%
De acuerdo	21	38.9%
Totalmente de acuerdo	20	37%
Total	54	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 11. El estado actual de la vía perimetral.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La mayoría de los encuestados (75,9%) considera que el estado actual de la Vía Perimetral dificulta el paso de vehículos pesados, mientras que solo un 13% está en desacuerdo y un 11,1% se muestra indiferente. Estos resultados evidencian una percepción generalizada sobre las condiciones deficientes de la vía para el tránsito pesado.

2. Los baches y daños en la vía afectan la seguridad de los conductores.

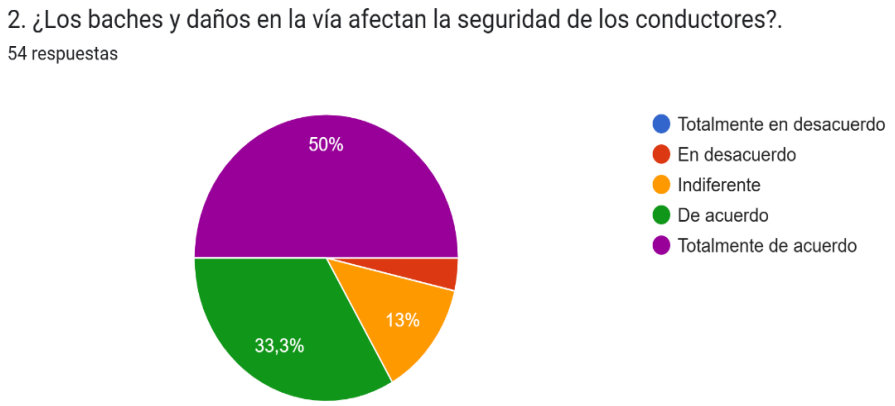
Tabla 4

Los baches y daños de la vía afectan la seguridad.

Descripción	Cantidades	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	2	3.7%
Indiferente	7	13%
De acuerdo	18	33.3%
Totalmente de acuerdo	27	50%
Total	54	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 12. Los baches y daños de la vía afectan la seguridad.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

El 50% de los encuestados considera que los baches y daños en la vía afectan significativamente la seguridad de los conductores, mientras que el 33.3% está de acuerdo con esta afirmación. Un 13% se mostró indiferente y solo el 3.7% expresó desacuerdo. Estos resultados reflejan que la mayoría percibe las condiciones de la vía como un factor de riesgo para la seguridad vial.

3. Es necesario mejorar la pavimentación de la Vía Perimetral para mejorar el tránsito.

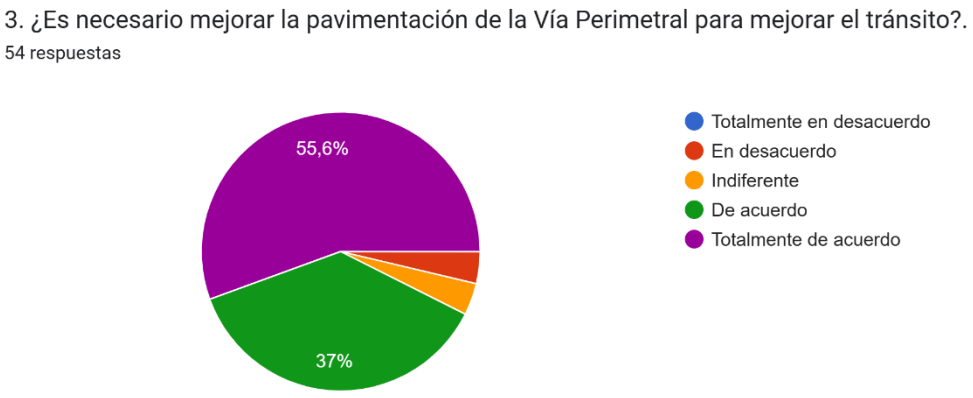
Tabla 5

Es necesario mejorar la pavimentación para tránsito.

Descripción	Cantidades	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	2	3.7%
Indiferente	2	3.7%
De acuerdo	20	37%
Totalmente de acuerdo	30	55.6%
Total	54	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 13. Es necesario mejorar la pavimentación para tránsito.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

En esta interrogante, el 55.6% de los encuestados considera totalmente necesario mejorar la pavimentación de la Vía Perimetral para optimizar el tránsito, mientras que el 37% está de acuerdo con esta afirmación. Solo un 3,7% se mostró indiferente y otro 3,7% expresó desacuerdo. Estos resultados evidencian un consenso generalizado sobre la importancia de intervenir en la infraestructura vial para facilitar la movilidad.

2. El pavimento flexible puede mejorar la calidad de la vía en el futuro.

Tabla 6

El pavimento flexible mejora la calidad de vida.

Descripción	Cantidades	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	2	3.7%
Indiferente	2	3.7%
De acuerdo	23	42,6%
Totalmente de acuerdo	27	50%
Total	54	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 14. El pavimento flexible mejora la calidad de vida.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

El 50% de los encuestados considera que el pavimento flexible puede mejorar la calidad de la vía en el futuro, mientras que el 42,6% está de acuerdo con esta afirmación. Solo un 3,7% se mostró indiferente y otro 3,7% expresó desacuerdo. Estos resultados reflejan una percepción mayoritaria a favor de esta alternativa como una solución viable para mejorar la infraestructura vial.

3. El uso de pavimento reducirá la contaminación del aire en la zona.

Tabla 7

El uso de pavimento reducirá la contaminación del aire.

Descripción	Cantidades	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	1	1.9%
Indiferente	3	5.3%
De acuerdo	23	42,6%
Totalmente de acuerdo	27	50%
Total	54	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 15**.** El uso de pavimento reducirá la contaminación del aire.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Los resultados de la pregunta indican que el 50% de los encuestados considera que el uso de pavimento reducirá la contaminación del aire en la zona, mientras que el 42.6% está de acuerdo con esta afirmación. Sólo un 5,3% se mostró indiferente y un

1,9% expresó desacuerdo. Estos resultados muestran un fuerte apoyo a la idea de que la pavimentación contribuiría a la mejora de la calidad del aire en el área.

4. Está a favor de que se utilicen nuevas técnicas como el pavimento flexible en la Vía Perimetral.

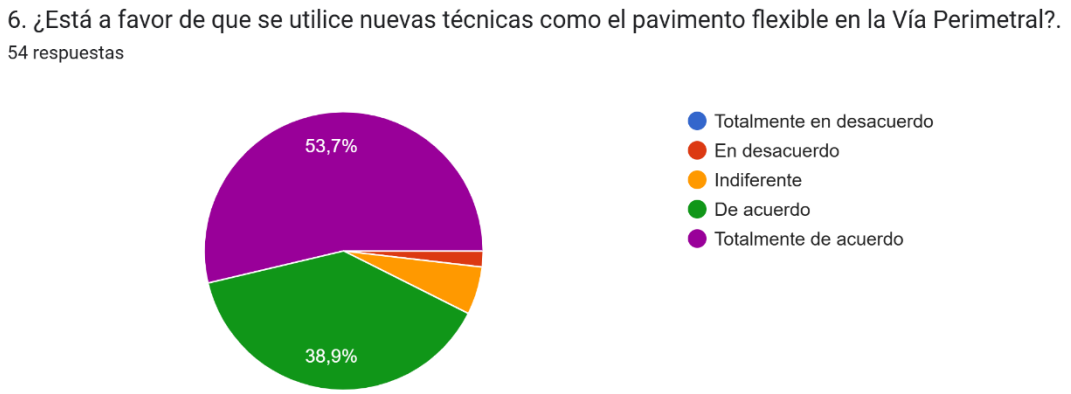
Tabla 8

Se utilicen nuevas técnicas como pavimento flexible.

Descripción	Cantidades	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	1	1.9%
Indiferente	3	5.3%
De acuerdo	21	38,9%
Totalmente de acuerdo	29	53.7%
Total	54	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 16. Se utilicen nuevas técnicas como pavimento flexible.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

El 53,7% de los encuestados está totalmente de acuerdo con utilizar nuevas técnicas, como el pavimento flexible, en la Vía Perimetral, mientras que el 38,9% está de acuerdo con esta opción. Sólo un 5,3% se indicó indiferente y un 1,9% expresó

desacuerdo. Estos resultados muestran un amplio respaldo a la implementación de estas técnicas como solución para mejorar la infraestructura vial.

5. **La pavimentación de la Vía Perimetral mejorará la seguridad tanto para conductores como para peatones.**

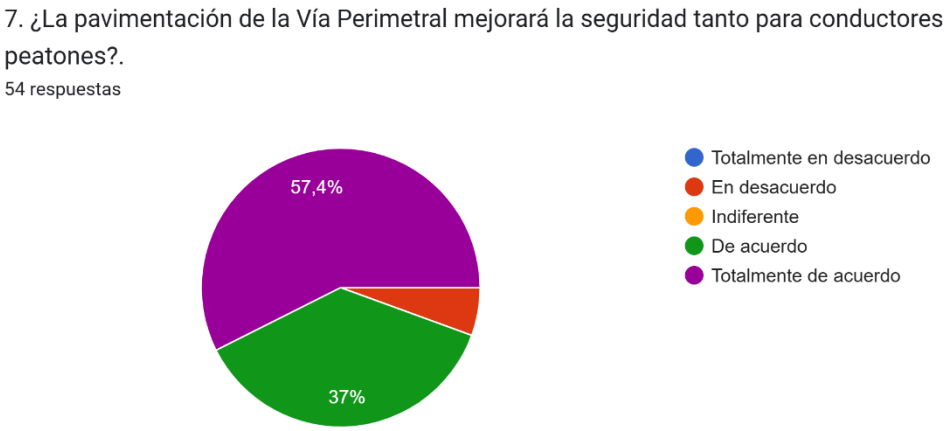
Tabla 9

La pavimentación mejorará la seguridad.

Descripción	Cantidades	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	3	5.6%
Indiferente	0	5.3%
De acuerdo	20	37%
Totalmente de acuerdo	31	57.4%
Total	54	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 17**.** La pavimentación mejorará la seguridad.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Además, el 57.4% de los encuestados está totalmente de acuerdo en que la pavimentación de la Vía Perimetral mejorará la seguridad tanto para conductores como para peatones, mientras que el 37% está de acuerdo con esta afirmación. Solo un 5,6%

expresó desacuerdo, y no hubo respuestas indiferentes. Estos resultados indican un fuerte consenso a favor de que la pavimentación contribuiría de manera positiva a aumentar la seguridad vial y peatonal.

6. El proyecto de pavimentación traerá beneficios económicos para la comunidad de Marcelino Maridueña.

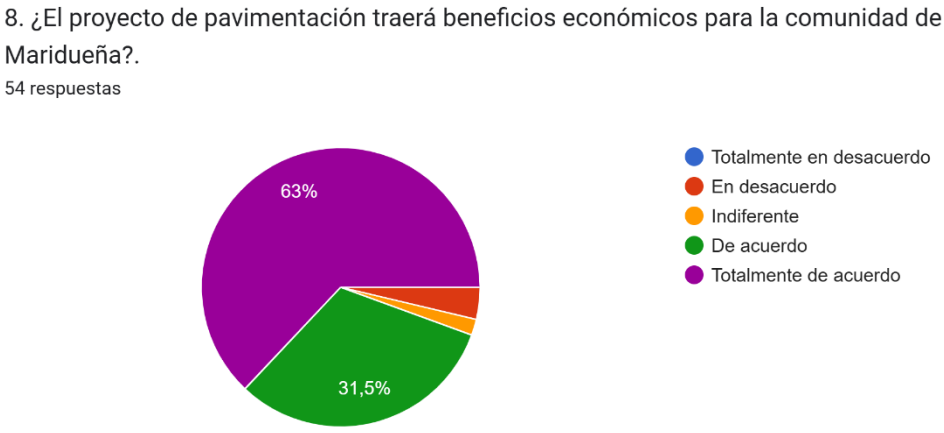
Tabla 10

La pavimentación traerá beneficios económicos a la comunidad.

Descripción	Cantidades	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	2	3.7%
Indiferente	1	1.9%
De acuerdo	17	31.5%
Totalmente de acuerdo	34	63%
Total	54	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 18**.** La pavimentación traerá beneficios económicos a la comunidad.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

El 63% de los encuestados considera que el proyecto de pavimentación traerá beneficios económicos para la comunidad de Marcelino Maridueña, mientras que el

31.5% está de acuerdo con esta afirmación. Sólo un 1,9% se manifestó indiferente y un 3,7% expresó desacuerdo. Estos resultados reflejan una fuerte expectativa positiva en cuanto a los beneficios económicos que la pavimentación podría generar para la comunidad.

4.1.1. Estudio de Tráfico Vehicular

4.1.1.1. Localización geográfica de la vía

Con el propósito de contar con un estudio actual de tráfico vehicular de tránsito pesado en la vía perimetral ubicado en la parte sur de la Cabecera cantonal del Cantón Coronel Marcelino Maridueña, se ha propuesto realizar el estudio tendiente a determinar el Tráfico Promedio Diaria Anual (TPDA) futuro a 20 años de la vía en cumplimiento de las normas del MTOP, para lo cual se realizará el conteo de tráfico, durante 24 horas, los 7 días de la semana en dicha vía, que inicia desde la vía Marcelino Maridueña – Puente Payo intersección con la Av. Perimetral (0+000) hasta la intersección Av. Perimetral – Vía La Lidia (0+1979) con una longitud aproximada de 1979.00 m., los mismos que servirán para la propuesta de esta tesis.

La demanda de tráfico se compone del volumen de tráfico que en la actualidad circula sobre la vía existente y del tráfico que genera la actividad productiva en las zonas de influencia del proyecto, la misma que sufrirá incrementos por las actividades de la población provocados por financiamientos que se ejecutan a través de la vida útil de la obra vial.

Actualmente el camino se encuentra en malas condiciones vehiculares, presentando numerosos baches, y ciertos hundimientos, producto de la falta de una capa de rodadura que sea capaz de soportar las cargas producidas por el paso vehicular, dificultando el paso de los vehículos y aumentando considerablemente el tiempo en su recorrido de acuerdo con las diferentes épocas del año.

El presente estudio tiene su inicio y fin en las coordenadas UTM WGS 84 ZONA 17 S que son:

Tabla 11

Cuadro de COORDENADAS UTM WGS 84 ZONA 17 S.

Descripción	Este	Norte
Inicio: Vía Marcelino Maridueña – Puente Payo intersección con la Av. Perimetral	671860.200	9753829.800
FIN: Av. Perimetral – Vía La Lidia	673784.600	9754238.900

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 19. Ubicación de la vía Perimetral.

Fuente: GADM CRNEL. MARCELINO MARIDUEÑA – SINAT (2024)

Figura 20. Ubicación de la vía Perimetral.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La campaña de aforo de tráfico se realizó entre los días 16 al 22 de diciembre del 2024, con una duración de 7 días, durante 12 horas continuas desde las 7h00 hasta las 19h00, usando el método manual, para ello, se utilizaron formularios de campo diseñados para que el registro visual de un operador haga el conteo y/o clasificación vehicular. Para la presentación de resultados se utilizó el formulario, en el que consta la clasificación de vehículos en motos, tricimotos, livianos, buses, camiones de 2 ejes y camiones más de 2 ejes con acumulaciones cada 15 minutos. Los registros de los conteos de tráfico constan en los anexos del presente informe. El formato utilizado para el aforo vehicular incluyó los siguientes tipos de vehículos:

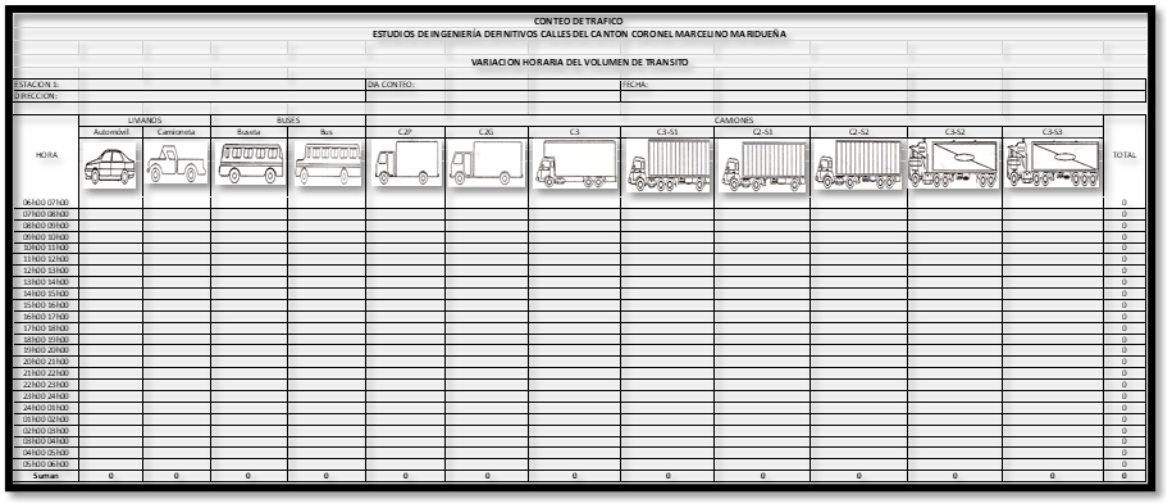
Tabla 12

Aforo vehicular

Descripción	Vehículos
Livianos	Motos y Tricimotos
Livianos:	Automóviles, camionetas, 4 x 4, Van, etc.
Buses:	Buses de 2 ejes
	Buses de 3 ejes
Camiones:	Camiones de 2 ejes
	Camiones de 3 ejes
	Camiones de más de 3 ejes

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 21. Formato De Campo Para Mediciones Vehiculares (Aforo De Campo Del Volumen De Tráfico*)*



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

4.1.2. Tráfico actual

A continuación, se muestran los conteos vehiculares realizados en la estación 1, con los flujos en cada sentido.

Tabla 13

Resumen de conteo vehicular en estación E1 sentido Suroeste-Sureste (vía Perimetral Sur Marcelino Maridueña) de 07:00 -19:00 horas.

OBRA: ESTUDIO DE LA VÍA PERIMETRAL EN EL CANTÓN MARCELINO MARIDUEÑA - CON UNA LONGITUD DE 1.97 KM, UBICADO EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS

CONTEO VEHICULAR SOBRE LA VÍA PERIMETRAL MARCELINO MARIDUEÑA

VIA: **PERIMETRAL SUR** **ESTACION:** # 1 - A **HOJA:** __1__ DE_2_ FECHA; 16 AL 22 -12-24

INTERSECCION: **MARCELINO MARIDUELA – LA LIDIA** **FLUJO/SENTIDO:** SUROESTE-SURESTE E1A (HACIA VÍA LA LIDIA)

AFORADOR: **HECTOR HINOJOSA – ANGIE MARQUEZ** **REVISÓ:** **HECTOR HINOJOSA – ANGIE MARQUEZ**

Parámetros	Motos y Tricimoto	Automóviles,Jeeps, Camionetas y Van	Buses y Busetas	Camiones 2 eje	Tráiler más de 3 ejes	total
Lunes	434	606	11	213	184	1556
Martes	430	584	97	200	190	1501
Miércoles	523	586	116	230	160	1615
Jueves	507	479	103	281	199	1569
Viernes	564	663	116	221	202	1766
Sábado	497	703	104	225	185	1714
Domingo	397	570	111	200	161	1439
SubTotal	**3352**	**4191**	**766**	**1570**	**1281**	**11160**

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

El conteo vehicular en la Vía Perimetral de Marcelino Maridueña mostró mayor flujo los días laborales, con un pico el viernes (1.766 vehículos) y el menor tránsito el domingo (1.439). Los automóviles y camionetas fueron los más frecuentes (4.191), seguidos por motocicletas (3.352) y camiones (2.851). La vía es clave para la movilidad local y el transporte de carga, resaltando la necesidad de mejoras en su infraestructura.

4.1.3. Obtención del Trafico Promedio Diario Semanal (T.P.D.S.)

Para determinar el Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS) se utilizaron los datos obtenidos durante los 7 días, para cada categoría de vehículo señalada anteriormente, considerando la siguiente fórmula:

TPS = 2/7*(promedio de TD en días fin de semana) + 5/7*(promedio de TD en días entre semana).

A continuación, se muestran los conteos vehiculares realizados en la estación 1 con los flujos en ambos sentidos.

Tabla 14

Cálculo de TPDS de estación 1.

OBRA: ESTUDIO DE LA VÍA PERIMETRAL EN EL CANTÓN MARCELINO MARIDUEÑA - CON UNA LONGITUD DE 1.97 KM, UBICADO EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS

CONTEO VEHICULAR SOBRE LA VÍA PERIMETRAL MARCELINO MARIDUEÑA

VIA: **PERIMETRAL SUR** **ESTACION:** # 1 - A **HOJA:** __1__ DE_2_ FECHA; 16 AL 22 -12-24

INTERSECCION: **MARCELINO MARIDUEÑA – LA LIDIA** **FLUJO/SENTIDO:** SUROESTE-SURESTE E1 (HACIA VÍA LA LIDIA)

AFORADOR: **HECTOR HINOJOSA – ANGIE MARQUEZ** **REVISÓ:** **HECTOR HINOJOSA – ANGIE MARQUEZ**

Parámetros	Motos y Tricimoto	Automóviles, Jeeps, Camionetas y Van	Buses y Busetas	Camiones	Tráiler	Total con motos	Total sin motos
				2 EJE	MAS DE 3 EJES		
Lunes	434	606	119	213	184	1556	1122
Martes	430	584	97	200	190	1501	1071
Miércoles	523	586	116	230	160	1615	1092
Jueves	507	479	103	281	199	1569	1062
Viernes	564	663	116	221	202	1766	1202
Sábado	497	703	104	225	185	1714	1217
Domingo	397	570	111	200	161	1439	1042
Subtotal	3352	4191	766	1570	1281	11160	7808
TPDS con motos	479	599	110	225	183	1596	
% TPDS con motos	30.01%	37.53%	6.89%	14.10%	11.47%	100%	
TPDS sin motos		599	110	225	183		1117
% TPDS sin motos		53.63%	9.85%	20.14%	16.38%		100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

El cálculo del Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS) en la estación 1 muestra un flujo promedio de 1.596 vehículos con motos y 1.117 sin motos. Los automóviles y camionetas son los más frecuentes, representando el 37.53% del TPDS total y el 53.63% sin motos. Los camiones y tráileres suman un 25,57% , reflejando un

uso significativo para transporte de carga. Estos datos evidencian la importancia de la vía tanto para la movilidad local como para el transporte comercial, lo que justifica evaluar mejoras en su capacidad y mantenimiento.

4.1.4. *Obtención del Trafico Promedio Diario Anual (T.P.D.A.) en base de la Desviación Estándar de Conteos y al Error Estándar de la Media.*

Asimismo, el TPDA en la estación de aforo para los flujos combinados vehicular, sin motos se determinó utilizando como base la media muestral o transito promedio diario semanal T.P.D.S afectado por el máximo diferencial entre TPDA y el TPDS, según la siguiente expresión:

$$T.P.D.A. = T.P.D.S. \pm A$$

Donde:

A = máxima diferencia entre TPDA y TPDS

Como se observa, el valor de A, sumado o restado del TPDS, define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentre el TPDA.

Para un determinado nivel de confiabilidad, el valor de A es:

$$A= k*E\}$$

Donde:

- k= Desviación estándar de conteos
- E= Error estándar de la media

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras, tomadas de la misma población, se distribuyen normalmente alrededor de la media

poblacional con una desviación estándar equivalente al error estándar, Por lo que se puede expresar.

$$E = \hat{o}$$

Donde:

- Ô= Estimador de desviación estándar poblacional

El valor estimado de la desviación estándar poblacional se determina por la siguiente expresión.

$$\hat{O} = \frac{S}{\sqrt{n}}\left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}}\right)$$

Donde:

- S= Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario o desviación estándar muestral
- n= Tamaño de la muestra de días de aforo (7)
- N= Tamaño de la población en número de días del año (365)

La siguiente formula corresponde a la desviación estándar muestral (S):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(TD_i - T.P.D.S.)^2}{n-1}}$$

Donde:

- TD_i=Volumen de tránsito del día “i”

En una distribución normal, para niveles de confiabilidad del 90% y 95% los valores de la constante K son: K=1.65 y K=1.96 respectivamente.

A continuación, se muestra el TPDA obtenido en la estación 1, con los flujos en ambos sentidos.

Tabla 15

Cálculo de TPDA de estación 1-AB flujo ambos sentidos, sin motos.

Parámetros	Automóviles,Jeeps, Camionetas y Van	Buses y Busetas	Camiones (2 ejes)	Tráiler (más de 3 ejes)	Total sin motos	$\sum_{i=1}^{n}(TD_i - TDDS)^2$
Lunes	606	119	213	184	1122	25.00
Martes	584	97	200	190	1071	2116.00
Miércoles	586	116	230	160	1092	625.00
Jueves	479	103	281	199	1062	3025.00
Viernes	663	116	221	202	1202	7225.00
Sábado	703	104	225	185	1217	10000.00
Domingo	570	111	200	161	1042	5625.00
SubTotal	4191	766	1570	1281	7808	28641.00
TPDS sin motos	599	110	225	183	1117	
% TPDS sin motos	53.63%	9.85%	20.14%	16.38%	100%	

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

El análisis del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) en la estación 1-AB, considerando ambos sentidos y sin motos, revela un flujo promedio de 1.117 vehículos diarios. La mayor proporción corresponde a automóviles, jeeps y camionetas (53,63%), seguidos por camiones de dos ejes (20,14%) y tráileres de más de tres ejes (16,38%), lo que indica que la vía soporta un tráfico significativo de carga. La variación en los valores diarios sugiere fluctuaciones moderadas en el flujo vehicular, con mayor afluencia.

Tabla 16

Valores y coeficientes.

S (desviación estándar)	69.09
Ô (estimador de desviación estándar poblacional)	25.90
K (Desviación estándar de conteo)	1.96
A (Máxima diferencia entre TPDA y TPDS)	50.76
TPDA	1168 Opcion-1
	1066 Opcion-2

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

El análisis de los valores y coeficientes indica que la desviación estándar (S = 69.09) refleja variaciones en el flujo vehicular diario. El estimador de desviación estándar poblacional (Ô = 25.90) sugiere menor dispersión en los datos ajustados. La desviación estándar de conteo (K = 1,96) permite evaluar la confiabilidad del muestreo. La diferencia máxima entre el TPDA y TPDS (A = 50.76) muestra cierta variabilidad en los registros. Finalmente, las dos opciones de TPDA (1168 y 1066) evidencian ligeras diferencias en la estimación del tráfico promedio.

El TPDA considerado para la estación 1 con el flujo en ambos sentidos es la opción-1 con un TPDA =1168 vehículos/día.

También se determinó el volumen de la hora de máximo volumen de tráfico en los diferentes días de conteo y el Factor de Hora Pico, como la relación entre el volumen máximo horario y el cuádruple valor del cuarto de hora máximo dentro de la hora pico. Esta evaluación se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 17

Hora de volumen de máximo tráfico en estación E1AB.

Día	Hora	Motos y Tricimoto	Automóviles,Jeeps, Camionetas y Van	Buses y Busetas	Camiones 2 eje	Tráiler más de 3 ejes	Total
LUNES	08h00-09h00	30	89	11	17	16	163
MARTE	12h00-13h00	44	76	8	16	19	163
MIERCOLES	12h00-13h00	64	82	11	33	11	201
JUEVES	14h00-15h00	66	51	8	37	24	186
VIERNES	16h00-17h00	70	104	11	11	17	**213**
SABADO	12h00-13h00	73	81	6	12	10	182
DOMINGO	13h00-14h00	45	60	9	13	15	142
DISTRIBUCIÓN DEL TRÁFICO EN LA HORA DE MÁXIMO VOLUMEN							
VIERNES	16h00-16h15	26	37	1	2	3	69
	16h15-16h30	15	26	4	3	7	55
	16h30-16h45	16	19	3	3	2	43
	16h45-17h00	13	22	3	3	5	46
						MAXIMO	**69**
						FHP	**0.77**

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

El análisis de la hora de tráfico máximo en la estación E1AB revela que el viernes de 16h00 a 17h00 se registró el mayor flujo vehicular, con un total de 213 vehículos. La mayor contribución provino de automóviles, jeeps, camionetas y furgonetas (104 vehículos) y motocicletas/tricimotos (70 vehículos).

Además, el Factor de Hora Pico (FHP = 0,77) indica una distribución moderada del tráfico dentro de la hora de máxima demanda, con una mayor concentración en los primeros 15 minutos (69 vehículos). Esto sugiere un comportamiento de tráfico con alta demanda en ciertos intervalos cortos, lo que puede influir en la planificación de la movilidad y la infraestructura vial.

A la vez, se calculó el TPDA en la estación, haciendo referencia al concepto de vehículo equivalente, en donde a cada tipo de vehículo se le asigna un peso ponderado según como se muestra en el siguiente cuadro de equivalencia, relacionándolo con un vehículo liviano como tipo, además se consideró contar con la información del TPDA de la estación 1, sin motos y tricimotos:

Tabla 18

Peso ponderado según el tipo de vehículo

Vehículo	Peso
Motos	0.5
Livianos	1
Pesados De 2 Ejes	2
Pesados Más De 2 Ejes	3

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Tabla 19

Cálculo de TDPA equivalente de estación 1

Parámetros	Automóviles,Jeeps, Camionetas y Van	Buses y Busetas	Camiones 2 eje	Tráiler más de 3 ejes	Total sin motos
		Estación 1 AB			
TPDA	626	115	235	191	1167
FACT. EQUIVAL	1.00	2.00	2.00	3.00	
TPDA (veh. Equiv sin motos)	626	230	470	573	1899
%TPDA (veh. equiv)	32.96%	12.11%	24.75%	30.17%	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

En la Tabla 18, se asignan pesos a los vehículos según su tipo: motos (0.5), vehículos livianos (1), camiones de 2 ejes (2) y camiones de más de 2 ejes (3).

En la Tabla 19, al aplicar estos factores de equivalencia, el TPDA equivalente de la estación 1 es de 1,899 vehículos, con los camiones de más de 2 ejes representando el 30.17% del tráfico, seguidos de los camiones de 2 ejes (24.75%) y los vehículos livianos (32.96%). Esto resalta la alta presencia de vehículos pesados, lo que puede afectar la infraestructura vial.

4.1.5. *Tasa de crecimiento a utilizar*

Para la determinación de las tasas de crecimiento a utilizar en el presente estudio, a juicio de esta consultoría, resulta conveniente utilizar como ya se indicó, el método de cálculo de la regresión lineal simple (línea de mínimos cuadrados) porque se ha comprobado que los volúmenes de tránsito futuro no tienden a ser tan altos ni tan bajos, por lo que la regresión lineal es la que más se ajusta a la tendencia de crecimiento.

A continuación, se describe el procedimiento de cálculo utilizado para obtener las tasas de crecimiento por tipo de vehículos.

Los siguientes datos fueron extraídos de la página de la Bases de Datos: Estadísticas de Transporte 2003-2015 https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadistica-de-transporte-bases-de-datos/ y los años 2016-2020, de los catálogos de estadística de Transporte de cada año de la página web https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog, usando el software IBM SPSS Statistics, que es el que puede leer la base de datos que esta guardada y poder realizar las consultas por provincia y clase de vehículo:

Tabla 20

Histórico de vehículos matriculados en la provincia del Guayas por clase.

VEHÍCULOS MATRICULADOS PROVINCIA GUAYAS	AÑOS	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	CAMIONETA	JEEP/SUV	FURGONETA (PASAJEROS)	FURGONETA (CARGA)	BUS	COLECTIVO	CAMION	TANQUERO	VOLQUETE	TRAILER	OTRA CLASE
	2007	9114	76298	48492	24602	6306	53	3829	969	11814	827	1636	1578	399
	2008	10801	75646	45712	24549	6385	43	3867	862	11648	806	1625	1653	404
	2009	14925	90016	51428	27585	7211	44	4556	515	11682	852	1667	1759	469
	2010	21107	101209	52277	30609	6440	998	3346	851	14142	896	1825	1688	349
	2011	31002	105116	54780	32046	6676	37	2888	573	14360	920	1847	2015	743
	2012	32331	103096	48870	34202	6102	813	2451	446	10516	571	1205	2322	249
	2013	33004	101636	47151	35759	261	592	1627	356	15613	547	918	1324	1036
	2014	51012	123847	57702	44046	6206	834	1461	250	14470	410	833	1548	280
	2015	52230	220210	20802	23867	1485	68	1471	67	15924	69	412	1479	64
	2016	79342	151036	69728	23016	40575	10502	2279		16072	611	71	2100	2271
	2017	87742	165830	74309	29145	40812	11983	2566		18570	686	168	2513	2725
	2018	72223	117236	53393	25215	25059	9027	1899		13061	441	234	1838	1728
	2019	76164	134002	57713	49920	9276	11680	2297		16185	482	1403	2341	1394
	2020	112994	172613	76739	69645	6546	13807	3826		20937	265	1220	1946	756
	2021	125046	173099	69726	67333	15823		3759		19678	652	2144	2799	918
	2022	143386	184885	74390	76054	17343		4401		21351	771	2406	3305	1311
	2023	149245	186832	69626	78866	15378		4107		19253	509	1591	2902	1599
	2024	151418	168120	70357	77747	13908		3253		20269	540	1817	3398	1765

Fuente: INEC (2024)

La Tabla 20 muestra el crecimiento del parque vehicular en la provincia del Guayas entre 2007 y 2024. Durante este período, el número de vehículos ha aumentado de 292,395 en 2007 a 380,043 en 2024, con un crecimiento notable en las motocicletas, que pasó de 9,114 a 151,418. También se supervisará un aumento en la matrícula de automóviles y camionetas, de 76.298 a 168.120 y de 48.492 a 70.357, respectivamente. Los vehículos de carga pesada, como camiones y tráileres, también crecieron, aunque a un ritmo más moderado. El crecimiento ha sido más moderado en los últimos años, posiblemente debido a la pandemia y la posterior recuperación económica.

Tabla 21

Agrupación de históricos de vehículos matriculados de la provincia del Guayas por vehículos objeto a estudio.

	AÑOS	Motos y Tricimoto	Automóviles,Jeeps, Camionetas y Van	Buses y Busetas	Camiones	Tráiler
PROVINCIA GUAYAS	**2007**	9114	155751	4798	14277	1578
	2008	10801	152335	4729	14079	1653
	2009	14925	176284	5071	14201	1759
	2010	21107	191533	4197	16863	1688
	2011	31002	198655	3461	17127	2015
	2012	32331	193083	2897	12292	2322
	2013	33004	185399	1983	17078	1324
	2014	51012	232635	1711	15713	1548
	2015	52230	266432	1538	16405	1479
	2016	79342	294857	2279	16754	2100
	2017	87742	322079	2566	19424	2513
	2018	72223	229930	1899	13736	1838
	2019	76164	262591	2297	18070	2341
	2020	112994	339350	3826	22422	1946
	2021	125046	325981	3759	22474	2799
	2022	143386	352672	4401	24528	3305
	2023	149245	350702	4107	21353	2902
	2024	151418	330132	3253	22626	3398

Fuente: INEC (2024)

Entre 2007 y 2024, el parque vehicular de la provincia del Guayas experimentó un crecimiento generalizado en todas las categorías estudiadas. Las motocicletas y tricimotos mostraron un aumento notable, alcanzando 151,418 unidades en 2024, lo que refleja una mayor preferencia por vehículos de bajo costo y eficiencia. Los automóviles, jeeps, camionetas y furgonetas también crecieron considerablemente, superando las 330.000 unidades en 2024, impulsados por la expansión urbana y el

aumento de la clase media. Los buses y busetas, aunque con un ritmo de crecimiento más moderado, también evidencian una demanda creciente por el transporte público. Los camiones y tráileres experimentaron un incremento constante, reflejando el auge de la actividad comercial y la necesidad de transporte de carga. En resumen, se observa un avance en la diversificación y expansión del parque automotriz en la provincia, impulsado por el crecimiento económico y la demanda de transporte.

Tabla 22

Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Moto y tricimotos.

	AÑOS (X)	Motos y Tricimoto (Y)	X*Y	X^2
PROVINCIA GUAYAS	**2007**	9114	18255342	4012009
	2008	10801	21645204	4016016
	2009	14925	29924625	4020025
	2010	21107	42340642	4024036
	2011	31002	62221014	4028049
	2012	32331	64920648	4032064
	2013	33004	66305036	4036081
	2014	51012	102534120	4040100
	2015	52230	105034530	4044121
	2016	79342	159636104	4048144
	2017	87742	176624646	4052169
	2018	72223	145457122	4056196
	2019	76164	153470460	4060225
	2020	112994	227795904	4064256
	2021	125046	252217782	4068289
	2022	143386	289352948	4072324
	2023	149245	301325655	4076361
	2024	151418	305864360	4080400
	∑ 36207	1253086	2524926142	72830865

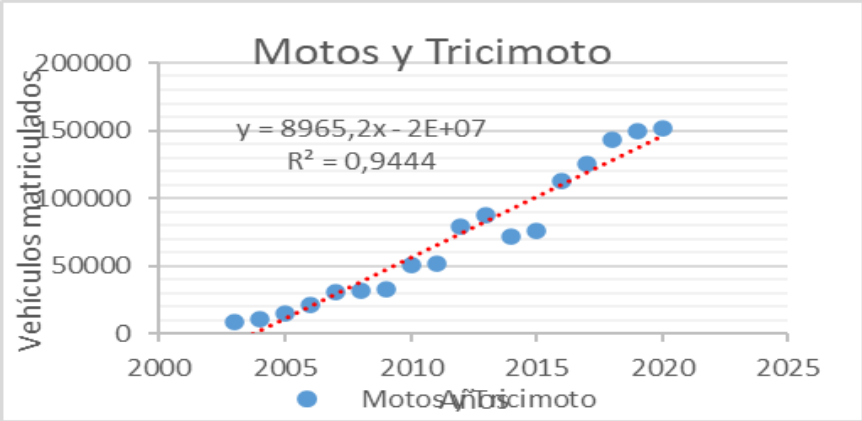
m= 8965.23

b= -17963940.37

N.º vehículo matriculado= $m * año + b$

Fuente: INEC (2024).

Figura 22. Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Moto y tricitomos



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La ecuación lineal obtenida para motos y tricimotos en la provincia del Guayas muestra un crecimiento constante en el número de vehículos matriculados entre 2007 y 2024. La pendiente de 8965.23 indica que, en promedio, se matriculan 8965 motos y tricimotos cada año, lo que refleja una tendencia sostenida de aumento en la demanda de estos vehículos en la región.

Tabla 23

Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Automóviles, Jeeps, Camionetas y Van.

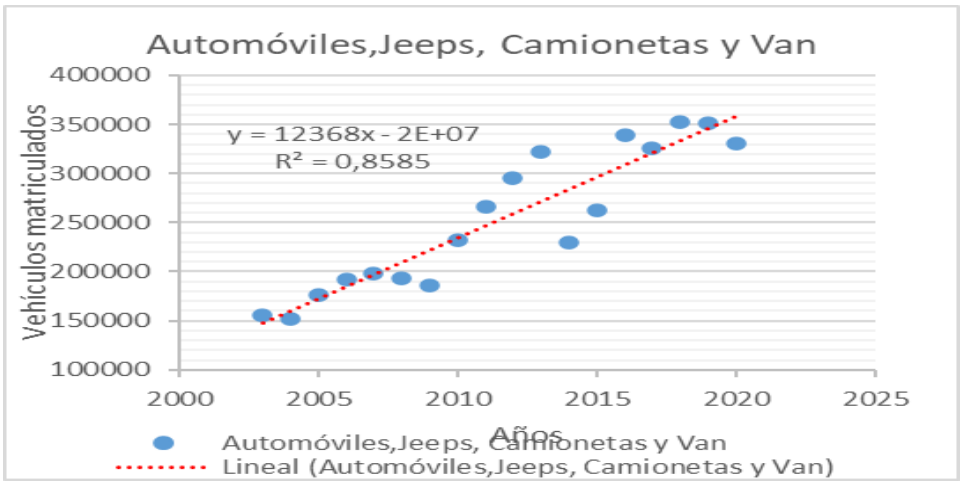
	AÑOS (X)	Automóviles, Jeeps, Camionetas y Van (Y)	X*Y	X^2
PROVINCIA GUAYAS	**2007**	155751	311969253	4012009
	2008	152335	305279340	4016016
	2009	176284	353449420	4020025
	2010	191533	384215198	4024036
	2011	198655	398700585	4028049
	2012	193083	387710664	4032064
	2013	185399	372466591	4036081
	2014	232635	467596350	4040100
	2015	266432	535794752	4044121
	2016	294857	593252284	4048144

m= 12367.57
b= -24624014.91
N.º vehículo matriculado= $m * año + b$

	2017	322079	648345027	4052169
	2018	229930	463079020	4056196
	2019	262591	529120865	4060225
	2020	339350	684129600	4064256
	2021	325981	657503677	4068289
	2022	352672	711692096	4072324
	2023	350702	708067338	4076361
	2024	330132	666866640	4080400
∑	36207	4560401	9179238700	72830865

Fuente: INEC (2024)

Figura 23. Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Automóviles, Jeeps, Camionetas y Van.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La ecuación lineal obtenida para los vehículos tipo automóviles, jeeps, camionetas y vans en la provincia del Guayas, con una pendiente de 12,367.57, muestra un crecimiento continuo en la matrícula de estos vehículos desde 2007 hasta 2024. Este aumento promedio anual indica una tendencia al alza en la demanda de vehículos de esta categoría, con una constante expansión en el número de matriculaciones. La intersección de la ecuación (b = -24.624.014,91) representa el ajuste a los datos, permitiendo estimar el número de vehículos matriculados en años anteriores con un margen de error mínimo.

Tabla 24

Ecuación Lineal de Buses y Busetas en la Provincia del Guayas: Impacto de la Implementación del Sistema Metro Vía desde 2006.

	AÑOS (X)	Buses y Busetas (Y)	X*Y	X^2
PROVINCIA GUAYAS	**2007**	4197	8419182	4024036
	2008	3461	6946227	4028049
	2009	2897	5817176	4032064
	2010	1983	3983847	4036081
	2011	1711	3439110	4040100
	2012	1538	3092918	4044121
	2013	2279	4585348	4048144
	2014	2566	5165358	4052169
	2015	1899	3824586	4056196
	2016	2297	4628455	4060225
	2017	3826	7713216	4064256
	2018	3759	7581903	4068289
	2019	4401	8881218	4072324
	2020	4107	8292033	4076361
	2021	3253	6571060	4080400
	∑ 30195	44174	88941637	60782815

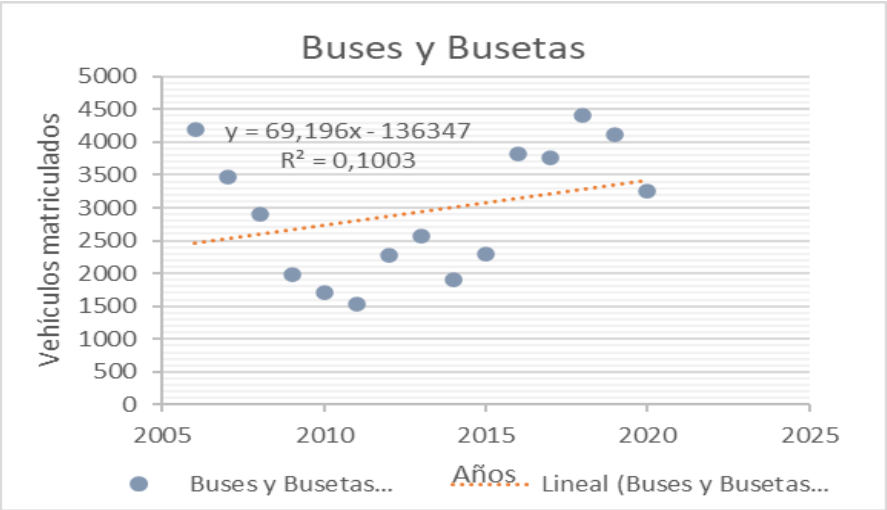
m= 69.20

b= -136347.48

Nº vehículo matriculado= $m * año + b$

Fuente: INEC (2024)

Figura 24. Ecuación Lineal de Buses y Busetas en la Provincia del Guayas: Impacto de la Implementación del Sistema Metro Vía desde 2006.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La implementación del sistema Metro Vía en Guayaquil a partir de 2006 provocó una reducción significativa en el número de autobuses y busetas matriculados en la provincia del Guayas. En los primeros años, las cifras disminuyeron considerablemente, alcanzando su mínimo en 2012. Sin embargo, desde 2013, el número de vehículos comenzó a repuntar, aunque no volvió a los niveles de 2007. La ecuación lineal obtenida muestra una tendencia general de disminución en el número de autobuses debido a la reestructuración del sistema de transporte urbano.

Tabla 25

Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Camiones.

	AÑOS (X)	Camiones (Y)	X*Y	X^2
PROVINCIA GUAYAS	**2007**	14277	28596831	4012009
	2008	14079	28214316	4016016
	2009	14201	28473005	4020025
	2010	16863	33827178	4024036
	2011	17127	34373889	4028049
	2012	12292	24682336	4032064

m= 546.84

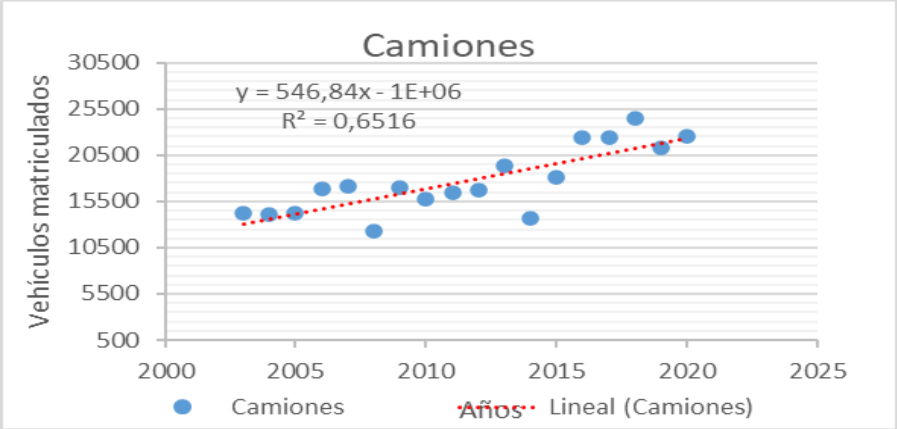
b= -1082223.08

Nº vehículo matriculado= $m * año + b$

	2013	17078	34309702	4036081
	2014	15713	31583130	4040100
	2015	16405	32990455	4044121
	2016	16754	33709048	4048144
	2017	19424	39100512	4052169
	2018	13736	27664304	4056196
	2019	18070	36411050	4060225
	2020	22422	45202752	4064256
	2021	22474	45330058	4068289
	2022	24528	49497504	4072324
	2023	21353	43111707	4076361
	2024	22626	45704520	4080400
∑	36207	319422	642782297	72830865

Fuente: INEC (2024)

Figura 25. Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Camiones.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La ecuación lineal para los camiones en la provincia del Guayas muestra un crecimiento general en el número de vehículos matriculados desde 2007 hasta 2024, con un aumento notable en 2020 y 2021. La pendiente de 546.84 refleja un incremento constante en los camiones, mientras que la constante ajusta el modelo a los datos

reales. Este comportamiento puede estar vinculado con la expansión del transporte y la demanda económica en la región.

Tabla 26

Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Camiones.

	AÑOS (X)	Tráiler (Y)	X*Y	X^2
PROVINCIA GUAYAS	**2007**	1578	3160734	4012009
	2008	1653	3312612	4016016
	2009	1759	3526795	4020025
	2010	1688	3386128	4024036
	2011	2015	4044105	4028049
	2012	2322	4662576	4032064
	2013	1324	2659916	4036081
	2014	1548	3111480	4040100
	2015	1479	2974269	4044121
	2016	2100	4225200	4048144
	2017	2513	5058669	4052169
	2018	1838	3701732	4056196
	2019	2341	4717115	4060225
	2020	1946	3923136	4064256
	2021	2799	5645583	4068289
	2022	3305	6669490	4072324
	2023	2902	5859138	4076361
	2024	3398	6863960	4080400
	∑ 36207	38508	77502638	72830865

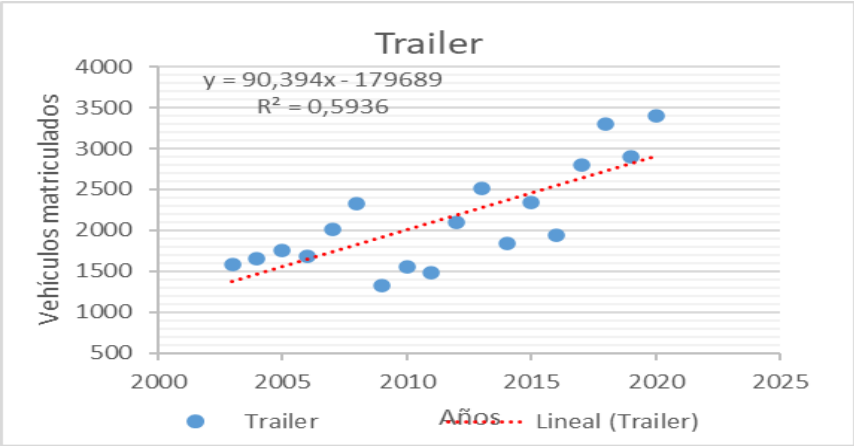
m= 90.39

b= -179688.64

Nº vehículo matriculado= $m * año + b$

Fuente: INEC (2024)

Figura 26. Obtención de ecuación lineal del método de los mínimos cuadrados para Camiones.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La ecuación lineal para los tráileres en la provincia del Guayas muestra una tendencia de crecimiento general en el número de vehículos matriculados, con aumentos notables en 2021 y 2022. La pendiente positiva indica un incremento a largo plazo, aunque se observan fluctuaciones debido a factores económicos y cambios en la demanda de transporte pesado.

Tabla 27

Proyección 2022-2042 de los vehículos matriculados en la provincia del Guayas.

	PROYECCION LINEAL					TASAS DE CRECIMIENTO				
AÑOS	Motos y Tricimoto	Automóviles, Jeeps, Camionetas y Van	Buses y Busetas	Camiones	Trailer	Motos y Tricimoto	Automóviles, Jeeps, Camionetas y Van	Buses y Busetas	Camiones	Trailer
2020	151418	330132	3253	22626	3398					
2021	154786	370848	3499	22941	2998					
2022	163751	383215	3568	23487	3088	5.79%	3.33%	1.97%	2.38%	3.00%
2023	172716	395583	3637	24034	3179	5.47%	3.23%	1.93%	2.33%	2.95%
2024	181681	407950	3706	24581	3269	5.19%	3.13%	1.90%	2.28%	2.83%
2025	190646	420318	3775	25128	3360	4.93%	3.03%	1.86%	2.23%	2.78%
PROMEDIO 2022-2025						5.35%	3.18%	1.92%	2.60%	
2026	199612	432685	3844	25675	3450	4.70%	2.94%	1.83%	2.18%	2.68%
2027	208577	445053	3914	26222	3540	4.49%	2.86%	1.82%	2.13%	2.61%
2028	217542	457421	3983	26769	3631	4.30%	2.78%	1.76%	2.09%	2.57%
2029	226507	469788	4052	27315	3721	4.12%	2.70%	1.73%	2.04%	2.48%
2030	235473	482156	4121	27862	3812	3.96%	2.63%	1.70%	2.00%	2.45%
PROMEDIO 2026-2030						4.31%	2.78%	1.77%	2.32%	
2031	244438	494523	4190	28409	3902	3.81%	2.56%	1.67%	1.96%	2.36%
2032	253403	506891	4260	28956	3992	3.67%	2.50%	1.67%	1.93%	2.31%
2033	262368	519258	4329	29503	4083	3.54%	2.44%	1.62%	1.89%	2.28%
2034	271334	531626	4398	30050	4173	3.42%	2.38%	1.59%	1.85%	2.20%
2035	280299	543994	4467	30596	4264	3.30%	2.33%	1.57%	1.82%	2.18%
PROMEDIO 2030-2035						3.55%	2.44%	1.63%	2.08%	
2036	289264	556361	4536	31143	4354	3.20%	2.27%	1.54%	1.79%	2.11%
2037	298229	568729	4606	31690	4444	3.10%	2.22%	1.54%	1.76%	2.07%
2038	307194	581096	4675	32237	4535	3.01%	2.17%	1.50%	1.73%	2.05%
2039	316160	593464	4744	32784	4625	2.92%	2.13%	1.48%	1.70%	1.98%
2040	325125	605831	4813	33331	4716	2.84%	2.08%	1.45%	1.67%	1.97%
PROMEDIO 2036-2040						3.01%	2.18%	1.50%	1.88%	
2041	334090	618199	4882	33877	4806	2.76%	2.04%	1.43%	1.64%	1.91%
2042	343055	630567	4952	34424	4896	2.68%	2.00%	1.43%	1.61%	1.87%
PROMEDIO 2040-2042						2.72%	2.02%	1.43%	1.76%	

Fuente: INEC (2024)

Tabla 28

Tasas de Crecimiento Anual de Tráfico Vehicular (Guayas).

Periodos	Livianos	Buses	Camiones
2022-2025	3.18%	1.92%	2.60%
2026-2030	2.78%	1.77%	2.32%
2030-2035	2.44%	1.63%	2.08%
2035-2040	2.18%	1.50%	1.88%
2040-2042	2.02%	1.43%	1.76%

Fuente: INEC (2024)

Así, con los datos del tráfico promedio diario anual actual, se procede a calcular los componentes del tráfico futuro y se obtienen las estimaciones de tráfico para el año 2042. El TPDA futuro corresponde al tráfico proyectado, expresado por categorías de vehículos. En los cuadros siguientes se muestra la evaluación realizada:

Tabla 29

Proyección del tráfico hasta el año 2042 cada 5 años, en Estacion-1 (vía Perimetral Marcelino Maridueña Intersección con Vía La Lidia).

AÑO	n	TIPO DE VEHICULO			
		LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	TOTAL
2022	Actual	720	132	491	1343
2022-2025	3	i=3.18% 791	i=1.92% 140	i=2.60% 530	1461
2026-2030	5	i=2.78% 898	i=1.77% 157	i=2.32% 599	1654
2031-2035	5	i=2.44% 1001	i=1.63% 177	i=2.08% 669	1847
2036-2040	5	i=2.18% 1103	i=1.50% 196	i=1.88% 741	2040
2040-2042	2	i=2.02% 1139	i=1.43% 207	i=1.76% 771	2117

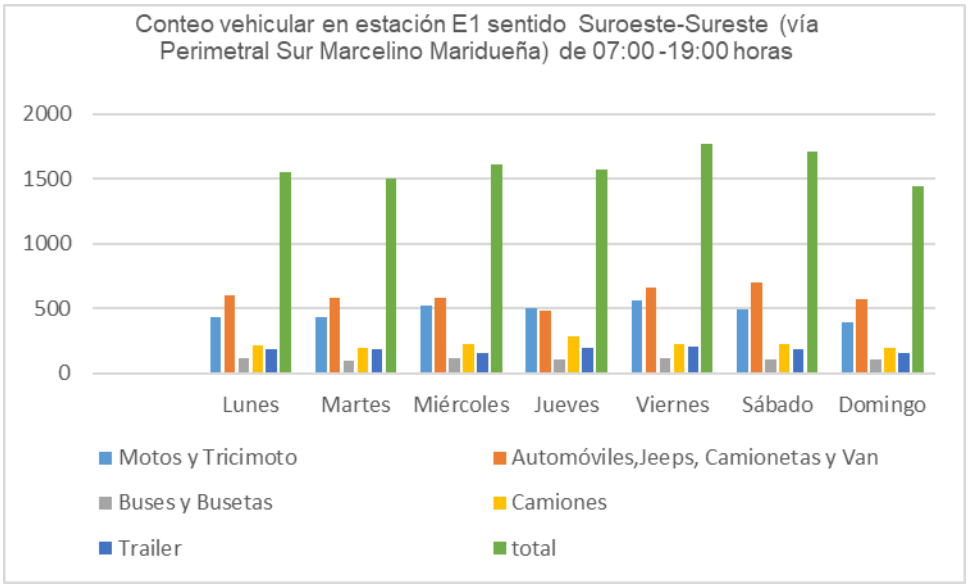
Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La proyección de tráfico en la intersección Maridueña con la Vía La Lidia muestra un crecimiento constante en el volumen de vehículos desde 2022 hasta 2042. Los vehículos livianos experimentarán el mayor aumento, con un crecimiento anual del 3.18%, pasando de 720 vehículos en 2022 a 1,139 en 2042. Los autobuses y camiones también aumentarán, pero a un ritmo más lento. En general, se espera un incremento

total de 1,343 vehículos en 2022 a 2,117 en 2042, lo que indica la necesidad de mejorar la infraestructura vial para manejar este crecimiento.

4.1.5.1. Tráfico actual

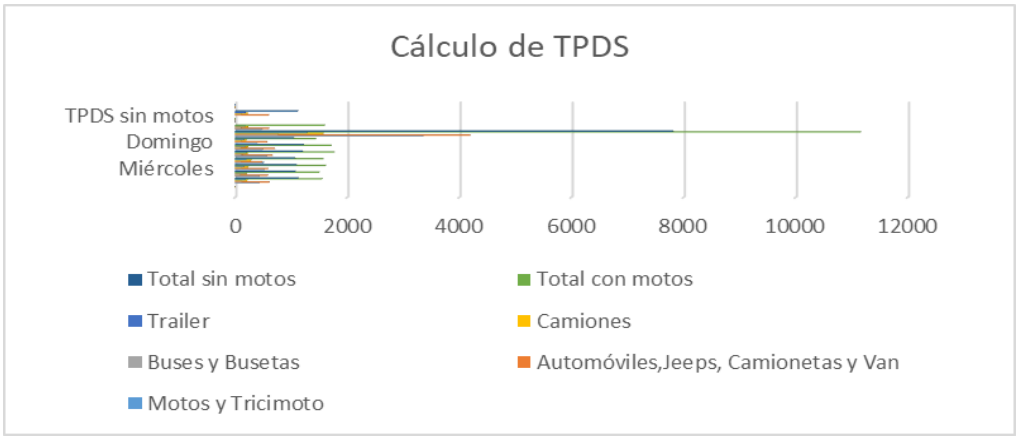
Figura 27. Conteo vehicular en estación E1.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

4.1.5.2. Volumen de tráfico TPDS

Figura 28. Cálculo del TPDS.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Distribuyendo la cantidad de vehículos en función del TPDA calculado y el porcentaje de vehículos determinados en el TPDS, se estableció la siguiente distribución.

Tabla 30

Porcentaje de vehículos.

Parámetros	Automóviles, Jeeps, Camionetas y Van	Buses y Busetas	Camiones 2 ejes	Tráiler más de 3 ejes	Total sin motos
		Estación 1 AB			
% TPDS sin motos	53.63%	9.85%	20.14%	16.38%	100%
TPDA sin motos	626	115	235	191	1167

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La tabla 30 muestra que, dentro de los vehículos sin motos en la estación 1 AB, los automóviles, jeeps, camionetas y furgonetas representan el 53.63% del total, lo que indica que son el tipo de vehículo más predominante en la zona. Le siguen los camiones de 2 ejes, con un 20,14%, y los remolques con más de 3 ejes, con un 16,38%. Los buses y busetas tienen la menor participación, con 9.85%.

4.1.5.3. Volumen de tráfico TPDA a 20 años.

Tabla 31

Ajuste de proyección de tráfico conforme porcentaje de TPDA de tipo de vehículos en Estación 1.

TIPO DE VEHICULO				
PORCENTAJE	**LIVIANOS**	**BUSES**	**CAMIONES**	**TOTAL**
	53.63%	9.85%	36.53%	100.00%
2022	720	132	491	1343
2023-2025	783	144	534	1461
2026-2030	887	163	604	1654
2031-2035	990	182	675	1847
2036-2040	1094	201	745	2040
2040-2042	1135	208	773	2116

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La proyección del volumen de tráfico en la Estación 1 muestra un aumento generalizado en los próximos 20 años. Los vehículos livianos dominan el tráfico, con un incremento de 720 vehículos en 2022 a 1135 en 2040-2042. Los autobuses aumentan moderadamente de 132 a 208, mientras que los camiones presentan un crecimiento más notable, pasando de 491 a 773 vehículos.

Tabla 32

Proyección del tráfico hasta el año 2042 cada año, en estación 1.

AÑO	**n**	**TIPO DE VEHICULO**			
		LIVIANOS	**BUSES**	**CAMIONES**	**TOTAL**
2022	**actual**	720	132	491	1343
2023-2025	3	i=3.18%	i=1.92%	i=2.60%	
2023	1	743	135	504	1381
2024	1	767	137	517	1421
2025	1	791	140	530	1461
2026-2030	5	i=2.78%	i=1.77%	i=2.32%	
2026	1	805	147	546	1498
2027	1	827	149	559	1535
2028	1	850	152	572	1574
2029	1	874	154	585	1614
2030	1	898	157	599	1654
2031-2035	5	i=2.44%	i=1.63%	i=2.08%	
2031	1	909	166	617	1691
2032	1	931	168	629	1729
2033	1	954	171	642	1767
2034	1	977	174	656	1807
2035	1	1001	177	669	1847
2036-2040	5	i=2.18%	i=1.50%	i=1.88%	
2036	1	1012	185	688	1884
2037	1	1034	188	701	1922
2038	1	1056	190	714	1960
2039	1	1079	193	727	2000
2040	1	1103	196	741	2040
2036-2040	2	i=2.02%	i=1.43%	i=1.76%	
2041	1	1116	204	758	2078
2042	1	1139	207	771	2117

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La proyección de tráfico hasta 2042 muestra un crecimiento gradual en el número de vehículos en la Estación 1, con un incremento notable en los vehículos livianos (3.18% anual), seguido por autobuses y camiones. En 2022, había 1343 vehículos, y se espera que para 2042 lleguen a 2117. Los vehículos livianos también

serán los que más crecerán, pasando de 720 en 2022 a 1139 en 2042. Los autobuses y camiones aumentarán, pero a un ritmo más lento.

A partir de los datos del conteo de tráfico, se procede a clasificar la vía según se establece en las Normas de Diseño Geométrico MOP 2003, que relaciona la clase de vía con el tráfico proyectado, en términos de TPDA para 20 años.

Con los datos obtenidos, la vía que se estudia se clasifica como vía Clase II, con un TPDA de 2117 vpd.

Figura 29. Clasificación del MOP de carreteras en función del tráfico proyectado

CLASIFICACION DE CARRETERAS EN FUNCION DEL TRAFICO PROYECTADO

Clase de Carretera	Tráfico Proyectado TPDA *
R-I o R-II	Más de 8.000
I	De 3.000 a 8.000
II	De 1.000 a 3.000
III	De 300 a 1.000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

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

Fuente: MOP (2003)

4.1.6. Estado Actual

En inspección realizada se pudo establecer la vía Marcelino Maridueña – Puente Payo intersección con la Av. Perimetral desde la abscisa (0+000) hasta la intersección Av. Perimetral – Vía La Lidia abscisa (0+1979) con una longitud aproximada de 1979.00 m. es exclusivamente de lastre, sobre el lado izquierdo y derecho se mantiene el canal a unos 3 metros del borde de la calzada, seguido de la plantación de caña de azúcar. Además, los espaldones y cunetas laterales en ambos costados de la vía tienen vegetación y alcantarillas que permiten el paso del agua de los canales de las plantaciones.

Figura 30. Estado actual de la vía.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 31. Estado actual de la vía.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 32. Estado actual de la vía.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 33. Estado actual de la vía.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

4.1.7. Estudios de Suelos

A lo largo del tramo vial, se ejecutaron calicatas para inspección y obtención de muestras de los materiales existentes. Se excavaron calicatas exploratorias aproximadamente cada 530 metros y 655 metros y se extrajeron muestras de los diferentes estratos del suelo desde 1.20 hasta una profundidad de 1.50 metros en, realizándolas en forma alternada, aledañas al borde exterior de la calzada, esto es en los espaldones para no interrumpir el tránsito vehicular.

Las muestras fueron clasificadas para identificar las características de los materiales de cada capa y sometidas a ensayos en el laboratorio de suelos GEOSÍSMICA ubicado en Guayaquil, realizándose ensayos de humedad natural, granulometría, límites de consistencia, CBR, a fin de determinar su capacidad para formar parte de la infraestructura por recomendar. El CBR de diseño obtenido se expone más adelante. La ubicación de las calicatas ejecutadas y el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos realizados se muestran en el cuadro y anexos siguientes: (Ver Anexo 2).

Tabla 33

Ubicación de calicatas.

CALICATA	ABSCISA	COORDENADAS		LADO
		ESTE	NORTE	
C-01	0+625	672468	9753963	Lado Izquierdo
C-02	0+1165	672996	9754070	Lado Izquierdo
C-03	1+1815	673630	9754200	Lado Izquierdo

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Las calicatas C-01, C-02 y C-03 están ubicadas a lo largo del lado izquierdo, con abscisas de 0+625, 0+1165 y 1+1815, respectivamente. Las coordenadas corresponden a los puntos 672468 (Este) y 9753963 (Norte) para C-01, 672996 (Este) y 9754070 (Norte) para C-02, y 673630 (Este) y 9754200 (Norte) para C-03. Esta distribución sugiere que el análisis del terreno se realiza a lo largo de esa área para evaluar sus características.

Tabla 34

Resultado de las calicatas.

Descripción	Peso unitario seco	contenido de agua optimo %	CBR al 95 %	Hinchamiento
Calicata 1	1909	13.8	9.58	0.32
Calicata 2	1905	13.07	16.06	0.42
Calicata 3	1879	13.7	15.34	0.52

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Los resultados de las calicatas muestran una densidad uniforme del suelo, con un peso unitario seco entre 1879 y 1909 kg/m³. El contenido de agua óptima varía ligeramente entre 13,07% y 13,8%. El CBR es más alto en las Calicatas 2 y 3 (16.06 y 15.34, respectivamente), indicando mayor resistencia, mientras que el hinchamiento es mayor en la Calicata 3 (0.52), lo que sugiere mayor expansión del suelo en esa área (Ver Anexo 3 – 4 – 5).

4.1.8. Metodología Aplicada

Para realizar el diseño del pavimento de la vía, se aplica la metodología AASHTO 93 en función de lo cual se determinan los parámetros que intervienen en la formulación de esta metodología y las exigencias en cuanto a Índices de serviciabilidad inicial y final. Los parámetros evaluados son:

4.1.8.1. CBR de diseño - Módulo Resiliente de la Subrasante.

La Guía AASHTO propone varias ecuaciones para correlacionar el CBR con el módulo resiliente de la subrasante:

Para suelos finos y con CBR menor a 10

$$Mr\ (Psi) = 1500 * CBR. \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Para suelos finos con CBR entre 10-20%.

$$Mr\ (Psi) = 3000 * (CBR)0.65 \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

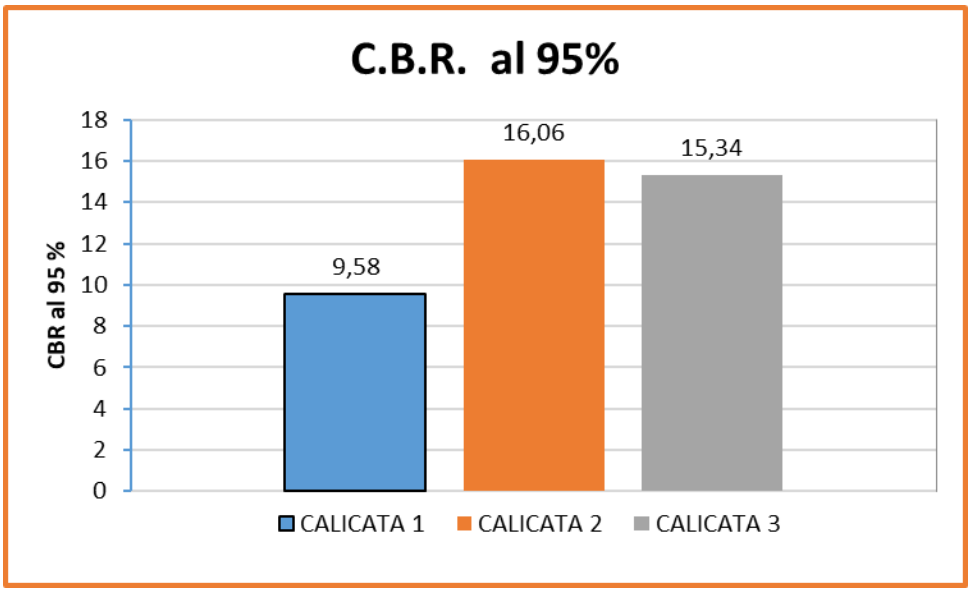
Para suelos granulares con CBR mayor al 20%

$$Mr\ (Psi) = 4326\ Ln(CBR) + 243 \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

Para el presente análisis, se utilizó la ecuación 3 tomando en cuenta que el CBR del suelo existente corresponde a un material granular compuesto por gravas mal graduadas limo arenosas con CBR variable entre 30% y 60% que califica como material de mejoramiento de la subrasante, sobre el cual se propone colocar la nueva estructura de pavimento.

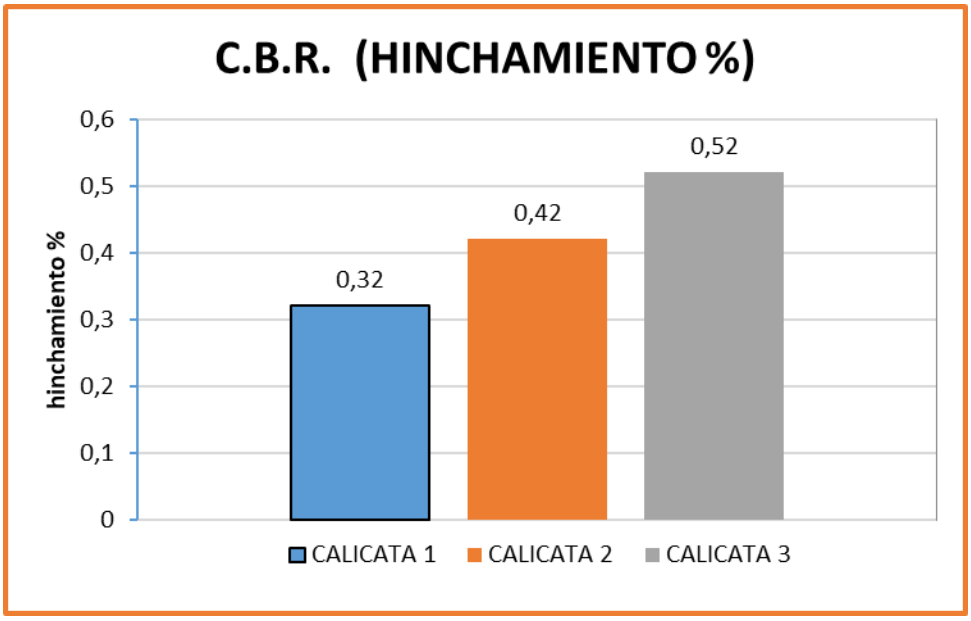
Los valores de los módulos elásticos de la base granular y sub-base granular requerida corresponderán a los valores especificados para estos materiales con un CBR mayor a 30 % y 80%, respectivamente (Ver Anexos 6 al 17).

Figura 34. Resultado del CBR al 95%.



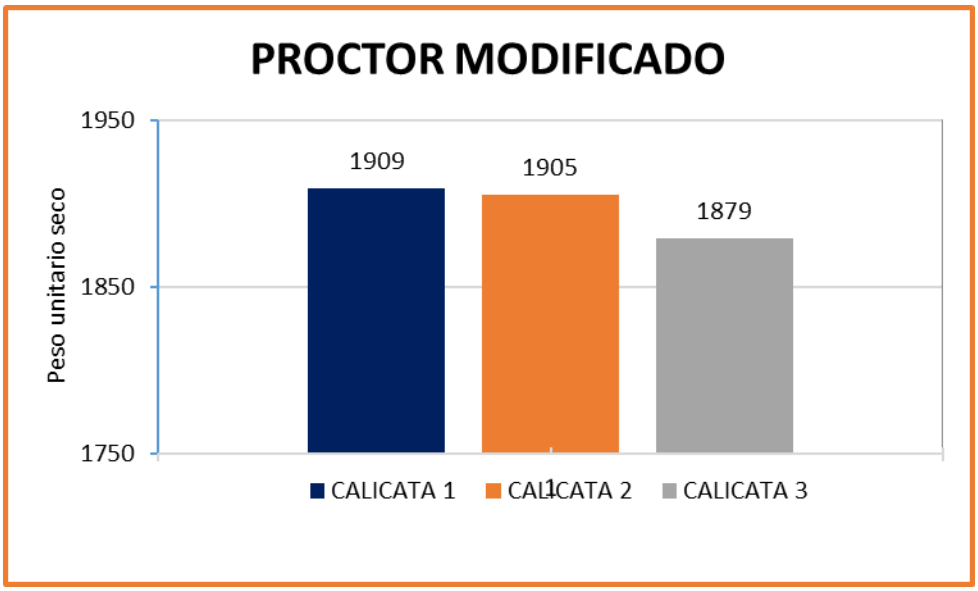
Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 35. Resultado del CBR (Hinchamiento %).



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 36. Resultado del Proctor modificado.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

4.1.8.2. Parámetros de Materiales del Diseño de Pavimento.

Para determinar los parámetros de los materiales que intervienen en el diseño del pavimento es necesario determinar las condiciones constructivas que se va a implementar en las labores de construcción. Para lo dicho, se tienen situaciones definidas por los estudios hidráulicos y de diseño geométrico que determinan los niveles mínimos de rasante vial; y son:

La vía debe elevarse sobre la rasante actual y ampliarse lateralmente en función del trazado del diseño geométrico que mantiene y mejora las curvas horizontales y evita mayores afectaciones de plantaciones ubicados a los costados, por ello, la estructura de pavimento se debe construir íntegramente, sobre la calzada existente que se encuentra en terraplén, utilizándose los materiales cuyas propiedades geomecánicas satisfagan los requerimientos de durabilidad de la estructura durante el período de diseño.

En estas secciones se tiene que mantener la capa granular existente que califica como material de mejoramiento y que servirá de cimentación, para la nueva estructura de pavimento. En general, todos los materiales constitutivos de la estructura deben cumplir

con las condiciones mínimas que se establecen en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MOP-001-F-2002.

4.1.8.3. Hormigón Asfáltico.

El tipo y grado del material asfáltico que deberá emplearse en la mezcla será mayormente cemento asfáltico con un grado de penetración 60 - 70. Las mezclas asfálticas para emplearse en capas de rodadura para vías de tráfico pesado y muy pesado deberán cumplir que la relación entre el porcentaje en peso del agregado pasante del tamiz INEN 75micrones y el contenido de asfalto en porcentaje en peso del total de la mezcla (relación filler/betún), sea mayor o igual a 0,8 y nunca superior a 1,2.

Los agregados que se emplearán en el hormigón asfáltico en planta podrán estar constituidos por roca o grava triturada total o parcialmente, materiales fragmentados naturalmente, arenas y relleno mineral. Estos agregados deberán cumplir con los requisitos establecidos en el numeral 811.2 de las especificaciones generales del MOP - 001 - F -2002, para agregados tipo A.

Los agregados estarán compuestos por fragmentos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, arcilla u otras materias extrañas.

El coeficiente estructural de capa de la carpeta asfáltica como se indica en la metodología se basa en módulos obtenidos a una temperatura de 21º C, fue obtenido mediante relaciones gráficas aplicadas en la metodología AASHTO. El módulo resiliente del hormigón asfáltico con una estabilidad mínima de 2000 lb. y un flujo máximo de 10 y para la condición de operación a 21º C, resulta de 28.000 Kg/cm2 (440.000 psi). Con los datos anteriores y en función de las relaciones graficas que se indican en la metodología AASHTO se obtiene el coeficiente estructural de capa (a1) de 0.42 pulgadas. De este análisis se determinó que los espesores de carpeta asfáltica para los casos de ampliación lateral, sobreelevación de la vía, serán de 10.00 cm en un ancho de 7.30 m. El espesor de la carpeta asfáltica a utilizar en los espaldones de la vía será de 10.00 cm, correspondiente a un ancho de 1,50 m.

4.1.8.4. Base de Agregados Triturados (Clase 1).

La clase y tipo de base que deba utilizarse en la obra será Clase 1, el límite líquido de la fracción que pase el tamiz Nº 40 deberá ser menor de 25 y el índice de plasticidad menor de 6. El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menor del 40% y el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor al 80%.

La densidad mínima de la base no será menor que el 100% de la densidad máxima establecida por el Fiscalizador, mediante los ensayos de Densidad Máxima y Humedad Optima realizados con las regulaciones AASHTO T-180, método D.

El material de la Base será graduado uniformemente dentro de los límites de la siguiente granulometría, con la parte del material pasante del tamiz No. 40 (0.425mm) en el ensayo de granulometría AASHTO T.11 (ASTM-D-2487).

Tabla 35

Granulometría de la Base granular.

Tamiz	% en peso que pasa tamices
1-1/2"	100
1”	70 – 100
¾”	60 – 90
3/8”	45 – 75
No. 4	30 - 60
No. 10	20 - 50
No. 40	oct-25
No. 200	0 - 12

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La granulometría de la base granular muestra que el material tiene una distribución adecuada de partículas, con un 100% pasando por el tamiz de 1-1/2" y un contenido de material fino bajo, con un máximo del 12% en el tamiz No. 200. Esto sugiere que el material es adecuado para su uso en la construcción de bases de pavimentos, proporcionando buena compactación y estabilidad.

4.1.8.5. Sub base de agregados triturados (Clase 1).

El material de Sub base granular, se colocará en una sola capa del espesor indicado en el diseño y será constituida por material de Sub base Clase 1, con CBR ≥ 30%, la cual se compactará al 100% de la densidad máxima según norma AASHO-T-180, método D (Próctor Modificado ASTM D1557). Deberá cumplir con lo que se establecen las Especificaciones Generales del MOP-001-F-2002. La capa de sub-base se colocará sobre la subrasante previamente preparada y aprobada, de conformidad con las alineaciones, pendientes y sección transversal.

La sub base Clase 3, será construida con agregados obtenidos por trituración de roca o gravas, de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Sección 816, y graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 1,

Los agregados que se empleen deberán tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles y la porción que pase el tamiz Nº 40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25%.

Tabla 36

Granulometría de la Sub-Base granular Clase 1.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
3" (76.2 mm.)	-	-	100
2" (50.8 mm.)	-	100	-
11/2" (38,1mm.)	100	70 - 100	-
Nº 4 (4.76 mm.)	30 - 70	30 - 70	30 -70
N.º 40 (0.425 mm.)	10 - 35	15 - 40	-
N.º 200 (0.075 mm.)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Con los datos anteriores y en función de las relaciones graficas que se indican en la metodología AASHTO se obtiene el coeficiente estructural de capa (a3) de 0.11 pulgadas.

4.1.8.6. Material de Mejoramiento.

Este material se utilizará para elevar el nivel de la subrasante en el sector de las ampliaciones de la calzada. El suelo seleccionado deberá ser suelo granular, la parte del material que pase el tamiz Nº 40 (0.425 mm.) debe tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 20%, tal como se determina en el ensayo AASHO-T-91. La densidad de la capa compactada deberá ser el 95% de la densidad máxima, según AASHO-T-180, método D.

El material para mejoramiento de la subrasante se obtendrá de las mismas fuentes de materiales de la zona, en caso de existir el suficiente volumen y sea calificado por el fiscalizador, se podrá utilizar el material proveniente de la rasante o de la calzada actual, ya que estos materiales cumplen las normas del MOP-001-F. Las especificaciones establecen un CBR mínimo de 20%.

4.1.8.7. Material de préstamo importado.

Según los trabajos previstos en varios sectores de la vía, será necesario implementar obras de drenajes nuevas con alcantarillas de diámetro mínimo igual a 1200 mm, en estos casos, se deben realizar rellenos de alturas variables hasta llegar a la subrasante, los cuales se recomienda realizar con material de préstamo importado a partir del terreno de fundación, posteriormente se colocará la nueva estructura de pavimento. El material de préstamo importado deberá cumplir con los requisitos establecidos en las Especificaciones Generales MOP-001-F-2002.

4.2. Propuesta

4.2.1. Diseño de la Estructura del Pavimento Flexible Fotocatalítico

4.2.1.1. Número Estructural Requerido.

La ecuación básica de diseño empleada para pavimentos flexibles en el método AASHTO, es la siguiente:

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

Donde:

- W18 = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 Ton. (18.000 libras), acumulados durante el periodo de diseño por el carril estudiado.
- ZR = Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.
- SN = Número estructural indicativo del total de pavimento requerido.
- SO = Desviación estándar general, 0.40 - 0.50 para pavimentos flexibles.
- ΔPSI = Diferencia entre el índice inicial de servicio (pi) y el índice final de servicio (pt) del pavimento.
- MR = Módulo resiliente de la subrasante

Con la ecuación de diseño y conociendo las variables de entradas, por medio de una hoja electrónica preparada por el diseñador, iteramos con el valor del número estructural (SN) hasta lograr que el resultado de la ecuación de comprobación sea igual al logaritmo del número de ejes acumulados.

4.2.1.2. Confiabilidad R (%)

Para el proceso de diseño se debe seleccionar un nivel de confiabilidad en función de la clasificación funcional de la vía.

Tabla 37

Niveles de confiabilidad recomendados en función de la clasificación funcional de la vía.

Clasificación Funcional	Niveles Recomendados	
	Urbanos	**Rurales**
Carreteras interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Vías colectoras	80 - 95	75 - 95
Vías locales	50 - 80	50 - 80

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Los niveles de confiabilidad recomendados varían según la clasificación de la vía. Para carreteras principales y autopistas, se sugiere un alto nivel de confiabilidad (85-99,9% en zonas urbanas y 80-99,9% en rurales). En arterias y vías colectoras, el rango es de 80-99% en áreas urbanas y 75-95% en rurales. Las vías locales tienen un rango más amplio de 50-80% en ambos casos, debido a su menor volumen de tráfico y función menos crítica.

Para el diseño del pavimento se asume una confiabilidad del 95 %.

4.2.1.3. Desviación Estándar (So).

A partir del valor de confiabilidad asumido, se halla el valor de la desviación estándar del nivel de confiabilidad. Asumimos un valor representativo del error estándar combinado de la predicción del tráfico y el comportamiento previsto del pavimento. El rango para pavimentos flexibles es de 0.40 a 0.50. Para nuestro diseño utilizamos un error estándar combinado de 0.45.

4.2.1.4. Índice de Servicio o Índice de Suficiencia.

El índice de suficiencia o de servicio (Pt), es un número entre cero y cinco que se determina sobre la base de características físicas del pavimento, tales como huellas o surcos producidos por el tráfico, rugosidad general de la superficie, grietas, etc.

Tabla 38

Índice de Suficiencia (Pt) en función de la condición física del pavimento.

Confiabilidad (%)	Desviación Estándar
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
95	-1.645
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La tabla 39 expresa la relación entre el índice de suficiencia (Pt) y la desviación estándar en función de la confiabilidad del pavimento. A medida que aumenta el nivel de confiabilidad, la desviación estándar también se incrementa, lo que indica una mayor variabilidad en las condiciones del pavimento. Por ejemplo, con una confiabilidad del 60%, la desviación estándar es de -0.253, mientras que con una confiabilidad del 99.9%, la desviación estándar alcanza -3.09.

Además, se calcula preliminarmente la pérdida esperada en el índice de servicio presente (PSI) del pavimento.

$$Pérdida\ de\ PSI\ =\ PSI\ inicial\ -\ PSI\ final$$

Se toma el PSI inicial de 4.5 y un valor final de 2.5.

4.2.1.5. Determinación de Número Estructural Requerido (Sn)

Con la fórmula de diseño obtuvimos un valor llamado número estructural SN y en función del mismo, se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural, a partir de la siguiente formula:

$$SN = a1 * h1 * m1 + a2 * h2 * m2 + a3 * h3 * m3 + \ldots\ldots\ldots + an * hn * mn$$

- a = Coeficiente estructural de capa. Son valores de acuerdo con las características del material que se está usando.
- h = Espesores de capa.
- m = Factor de drenaje.

Los espesores de capa se tantean en un proceso iterativo que permite aplicar normativas tendientes a dar espesores de capa que puedan ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes por las capas superiores más resistentes. Las normativas incluyen espesores mínimos en función del SN, donde el número estructural de la capa analizada está en función del Mr de la capa subyacente. También se aplican normas respecto al espesor mínimo de capas de concreto asfáltico y base granular en función del tráfico que van a soportar.

Los coeficientes estructurales de capa se definieron en los parámetros de los materiales a utilizar en la estructura del pavimento.

4.2.1.6. Coeficiente de Drenaje (m).

Para evaluar los coeficientes de drenaje se establece la calidad de drenaje que se tendrá por las características de la base, estableciendo estudios de permeabilidad realizados al material y calculando entonces el tiempo requerido para drenar el 50% del agua de la capa. El tiempo asumido es de 1 día por lo que se califica como buen drenaje según el cuadro siguiente que se incluye en la metodología AASHTO.

Tabla 39

Coeficiente de drenaje.

Calidad del drenaje	Tiempo recomendado de salida del agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy Malo	No drena

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Luego se estima el porcentaje de tiempo que la estructura estará expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación, obteniéndose el factor de drenaje.

Tabla 40

Coeficiente de drenaje.

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo con la estructura expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menor 1%	1 – 5%	5 – 25%	Mayor 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 – 0.60	0.6
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Con ello, se determina el porcentaje de tiempo que la estructura estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación en un año. De acuerdo a la pluviografia de la zona existen cuatro (4) meses de alta pluviosidad en la región.

$$\%Tiempo = Meses\ de\ máxima\ precipitación/12$$

$$\%Tiempo = 4/12 = 33{,}3\%$$

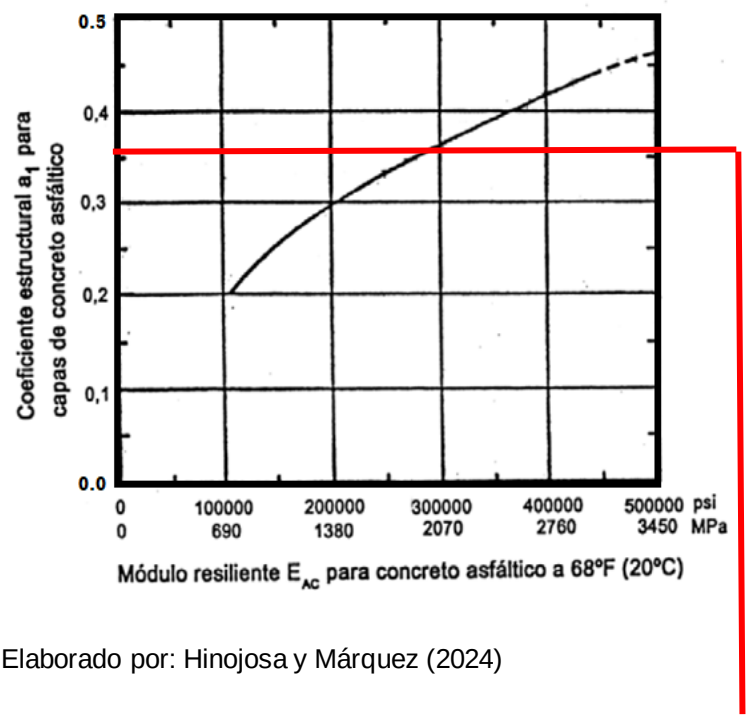
Entonces se determina el coeficiente de drenaje para bases y sub bases granulares, adoptando para nuestro caso el valor de 1.00, que será utilizado en el proyecto considerando que las características de drenaje de acuerdo con el tipo de materiales que se va a utilizar son óptimas.

4.2.1.7. Módulos Elásticos de los Materiales de las Capas de la Estructura del Pavimento.

Los módulos elásticos de las propiedades de los materiales a utilizarse en las capas de la estructura del pavimento flexible de acuerdo con las recomendaciones de la AASHTO 93 (Diseño de Pavimentos).

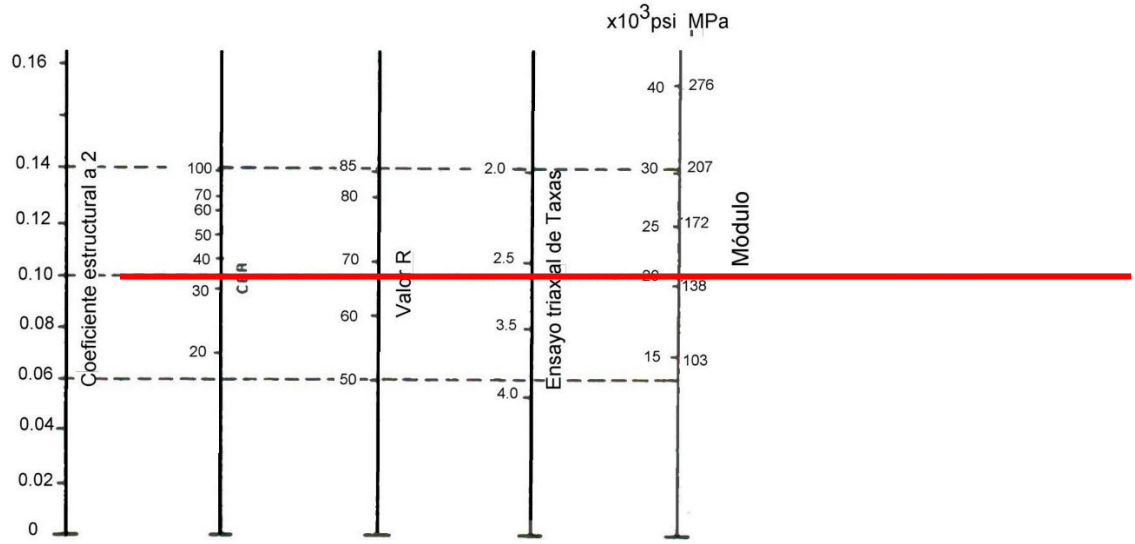
Ábacos de la Norma AASHTO 93, para determinar los Módulos Elásticos.

Figura 37. Gráfica para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas.



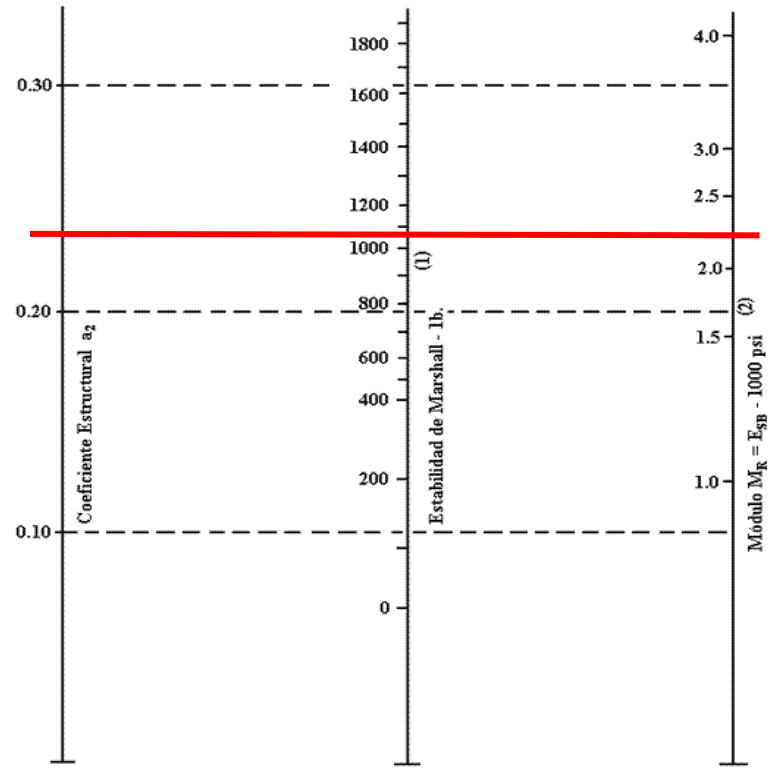
Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 38. Gráfica de la relación entre el coeficiente estructural de la base y distintos parámetros.



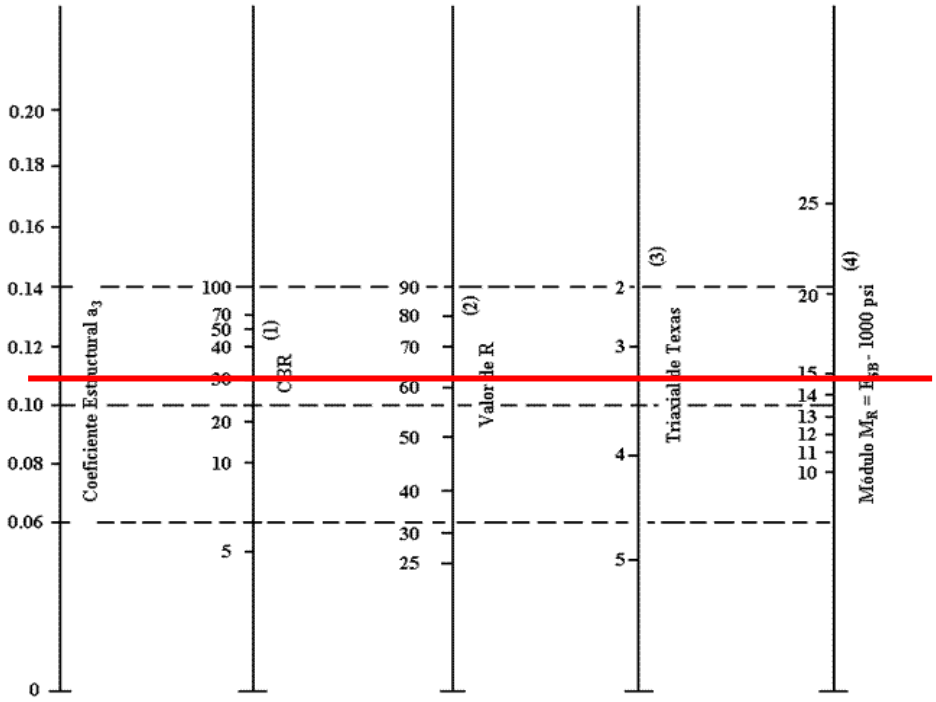
Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 39. Gráfica de la relación entre el coeficiente estructural de la base tratada con asfalto y distintos parámetros.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 40. Gráfica de la relación entre el coeficiente estructural de subbase y distintos parámetros.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

4.2.2. Pavimento Propuesto

Se considera una estructura con una capa de rodadura de 10 cm de espesor, una base granular clase I de 20 cm de espesor. Y una sub base granular clase I de 20 cm de espesor.

Para la determinación del Coeficiente Estructural de la Capa de Base (a2) se lo ha estimado según especificaciones del artículo 404 de las Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes “MOP - 001-F 2002”. Con un CBR del 80%.

Tabla 41

Propuesta de diseño.

Propuesta:	Diseñar una estructura de pavimento flexible fotocatalizado resistente y duradera que cumpla con los requisitos de tráfico de camiones de carga pesada, aplicando la metodología de diseño de la AASHTO 93.
Alternativa:	Pavimento flexible fotocatalítico Método AASHTO 1993

DATOS:				
EJES ACUMULADOS 8,2 ton:		4,005,547	PERIODO	0-20 AÑOS
CONFIABILIDAD (%)		95		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		-1.645		
ERROR ESTANDAR COMBINADO:		0.45		
MÓDULO SUBRASANTE (kg/cm2.)		1,019	a 3: 0.110	m 3: 1.00
MÓDULO SUBRASANTE GRANULAR (kg/cm2.)		1,500	a 2: 0.130	m2: 1.00
MÓDULO HORMIGÓN ASFALTICO (kg/cm)		28,000	a 1 : 0.420	m1: x
PERDIDA TOTAL DE P.S.I.	2,00			

AJUSTE DEL SN3		**SIMBOLOGÍA**
NÚMERO ESTRUCTURA REQUERIDO	3.49	ai: coeficiente estructural de capa.
LOG (EJES ACUMULADOS)	6.6	mi: factor de drenaje.
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN	6.6	Di: espesor de la capa (cm)

AJUSTE DEL SN2	
NÚMERO ESTRUCTURA REQUERIDO	3.04
LOG (EJES ACUMULADOS)	6.6
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN	6.6

AJUSTE DEL SN1	
NÚMERO ESTRUCTURA REQUERIDO	2.73
LOG (EJES ACUMULADOS)	6.6
ECUACIÓN DE COMPROBACIÓN	6.6

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Tabla 42

Determinación de espesores para la construcción

Capas	Valores			
Capa asfáltica	D1: SN1*	real. cm: 1.65	Ajust. cm	10
Bases agregados	D2: SN2*	real. cm: 1.02	Ajust. cm	20
Subbase granular	D3:	real. cm:	Ajust. cm	20

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La tabla 42 presenta los espesores ajustados para las capas de construcción de pavimento. La capa asfáltica tiene un espesor ajustado de 10 cm, mientras que la base de agregados y la subbase granular tienen espesores ajustados de 20 cm cada una. Estos valores se corresponden con las medidas reales y los ajustes necesarios, indicando una planificación precisa de los materiales y su distribución para garantizar la estabilidad del pavimento.

Tabla 43

Estructura de pavimento obtenida.

Capa de Rodadura Espesor 4" ≈ 10 cm – Hormigón Asfáltico Fotocatalítico – Estabilidad >1800

Capa de Base Clase 1 – Compactada al 100% del Próctor Modificado.
Espesor de 8" ≈ 20 cm.

Capa de Sub Base 1 – Compactada al 100% del Próctor Modificado.
Espesor de 8" ≈ 20 cm.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

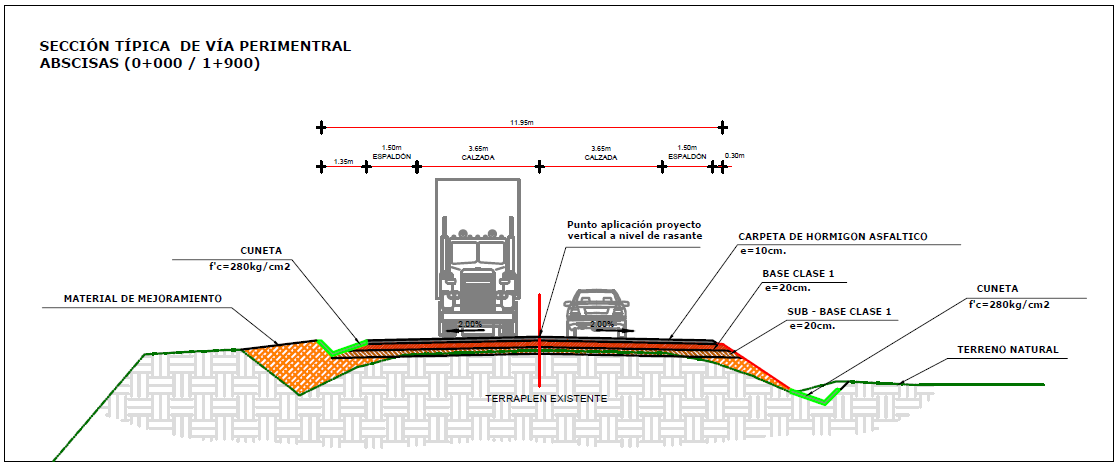
La estructura de pavimento consta de tres capas: una capa de rodadura de 10 cm de espesor, fabricada con hormigón asfáltico fotocatalítico para mayor estabilidad; una capa de base de 20 cm, clase 1, compactada al 100% del Próctor modificado; y

una capa de subbase, también de 20 cm, compactada de la misma manera, garantizando resistencia, durabilidad y una distribución adecuada de las cargas.

Figura 41. Esquema de la estructura de pavimento obtenida.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 42. Sección de la Vía Perimetral.

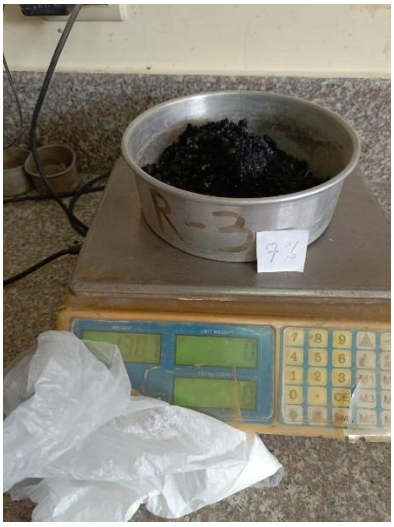


Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

4.2.2.1. Asfalto Fotocatalítico

Se definió como objetivo evaluar las características mecánicas y la capacidad fotocatalítica de mezclas asfálticas enriquecidas con Dióxido de Titanio (TiO_2). Para ello, se emplearon los ensayos Marshall y de degradación de rodamina B, bajo una metodología experimental de enfoque cuantitativo y aplicación práctica. La muestra consistió en un total de *12 especímenes*, 3 correspondieron a mezclas de referencia (sin aditivos), mientras que los otros 9 se dividieron en tres grupos con distintas concentraciones de TiO_2 (7%, 9% y 10%), cada uno con 3 unidades.

Figura 43. Peso del agregado



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

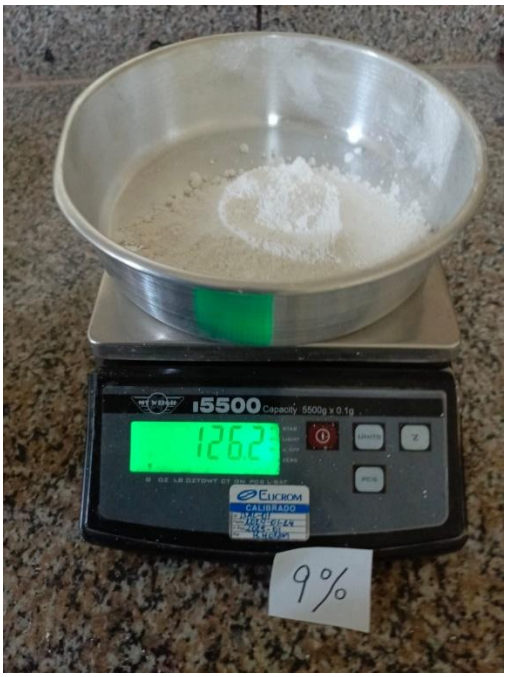
Figura 44. Mezcla de agregados.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 45. Peso del Dióxido de Titanio al 7%.

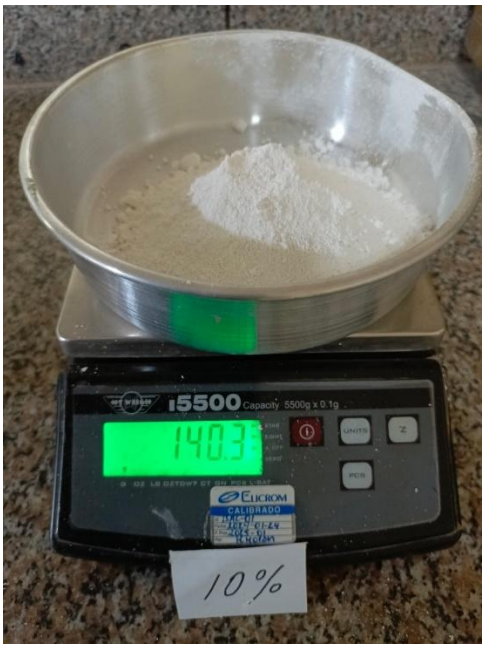
Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 46. Peso del Dióxido de Titanio al 9%.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 47. Peso del Dióxido de Titanio al 10%.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 48. Pruebas de laboratorio.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 49. Ensayo de estabilidad y flujo.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 50. Ensayo de estabilidad y flujo.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 51. Briquetas 10%, 9% & 7%.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 52. Briquetas finales

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Tabla 44

Resultado de las briquetas.

PROMEDIO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS				
Detalles	***Briquetas Patrón***	***Briquetas con Dióxido de Titanio***		
	Tradicional	**7%**	**9%**	**10%**
Porcentajes de vacío	5.6	4.5	5.4	5.5
Medidas de estabilidad	4010	3753	3915	3965
Flujo	19	15	17	18
Gravedad especifica (muestra compactada)	2390	2429	2405	2402

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Los resultados de las briquetas muestran que las briquetas con dióxido de titanio presentan una ligera variación en sus propiedades en comparación con las tradicionales. Los porcentajes de vacío son similares entre las muestras, con un promedio de 5,5% para las briquetas con dióxido de titanio. En cuanto a la estabilidad, las briquetas con dióxido de titanio tienen una medida ligeramente inferior a las tradicionales. El flujo es mayor en las briquetas tradicionales (19) en comparación con las de dióxido de titanio (15-18). Finalmente, la gravedad específica de las briquetas

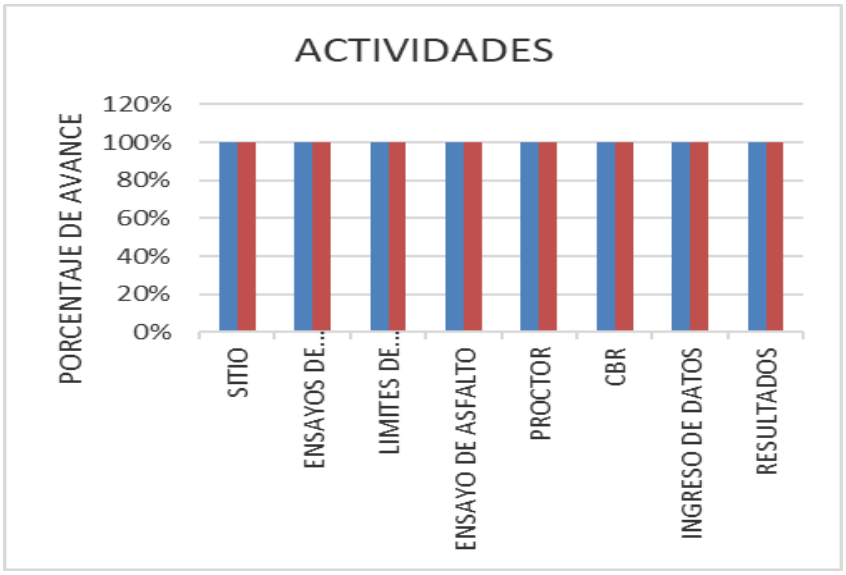
con dióxido de titanio es algo mayor (2402) que las tradicionales (2390), lo que indica una ligera densificación de las briquetas con aditivos (Ver Anexos 18 al 22).

Figura 53. Cronograma de actividades.

ACTIVIDADES	FECHA INICIO	FECHA FINAL	5/12/2024	6/12/2024	7/12/2024	8/12/2024	9/12/2024	10/12/2024	11/12/2024	12/12/2024	13/12/2024	14/12/2024	15/12/2024	16/12/2024	17/12/2024	18/12/2024	19/12/2024	20/12/2024	21/12/2024	22/12/2024	23/12/2024	24/12/2024	25/12/2024	26/12/2024	27/12/2024	28/12/2024	29/12/2024	30/12/2024	31/12/2024	1/1/2025	2/1/2025	3/1/2025	4/1/2025	5/1/2025	6/1/2025	7/1/2025	8/1/2025	9/1/2025	10/1/2025	11/1/2025	12/1/2025	13/1/2025	14/1/2025	15/1/2025
CALICATAS	5/12/2024	5/12/2024																																									
ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN	6/12/2024	6/12/2024																																									
LIMITES DE ATTERBERTG	7/12/2024	7/12/2024																																									
PROCTOR	10/12/2024	10/12/2024																																									
CBR	12/12/2024	15/12/2024																																									
ENSAYOS DE ASFALTO	5/1/2025	10/1/2025																																									
INGRESO DE DATOS	20/12/2024	15/1/2025																																									
RESULTADOS	17/12/2024	15/1/2025																																									

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 54. Cronograma de actividades.



Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Tabla 45

Porcentaje de actividades.

Actividades	Fecha inicio	Fecha final
Sitio	100%	100%
Ensayos de clasificación	100%	100%
Límites de ATTERBERTG	100%	100%
Ensayo de asfalto	100%	100%
Proctor	100%	100%
CBR	100%	100%
Ingreso de datos	100%	100%
Resultados	100%	100%

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Los resultados indican que todas las actividades realizadas, desde el sitio hasta los ensayos específicos (como clasificación, límites de Atterberg, asfalto, Proctor y CBR), así como el ingreso de datos y la obtención de resultados, se completaron al 100%.

4.2.3. Medición de temperatura CO_2

Acorde al tema planteado, se procedió a realizar un análisis detallado de los valores de medición de temperatura y CO2 para asfaltos con diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO2) tomados en sitio con las muestras y briquetas propuestas para este estudio.

4.2.3.1. Radiación Térmica.

El asfalto con 7% de TiO2 muestra una radiación ligeramente mayor que el asfalto tradicional (539.50 W/m² vs. 530.50 W/m²).

El asfalto con 9% de TiO2 tiene la misma radiación que el asfalto tradicional (530.50 W/m²).

El asfalto con 10% de TiO2 presenta una radiación ligeramente menor (520.50 W/m²).

4.2.3.2. Temperatura Superficial.

- La temperatura del asfalto tradicional es de 41.6 °C.
- El asfalto con 7% de TiO2 tiene una temperatura ligeramente más alta (41.9 °C).
- El asfalto con 9% de TiO2 tiene la temperatura más alta (42.2 °C).
- El asfalto con 10% de TiO2 muestra una temperatura de 42.1 °C.

4.2.3.3. Partículas Contaminantes (PM2.5 y PM10).

- **PM2.5:** El asfalto con 10% de TiO2 tiene el menor valor (118.30 µg/m³), seguido por el 9% de TiO2 (168 µg/m³), y el 7% de TiO2 tiene el valor más alto (203.90 µg/m³). El asfalto tradicional tiene un valor de 120 µg/m³.
- **PM10:** El asfalto con 9% de TiO2 tiene el menor valor (104 µg/m³), mientras que el 10% de TiO2 tiene un valor más alto (181.10 µg/m³) que el 7% de TiO2 (163.30 µg/m³). El asfalto tradicional tiene un valor de 180.50 µg/m³.

4.2.3.4. CO2.

El asfalto con 10% de TiO2 muestra la mayor reducción en emisiones de CO2, con un valor de 270 ppm, mientras que el asfalto tradicional tiene 500 ppm. El asfalto con 9% de TiO2 tiene 400 ppm y el 7% de TiO2 tiene 450 ppm.

El análisis muestra que la adición de dióxido de titanio (TiO2) al asfalto tiene efectos positivos en la reducción de partículas contaminantes y emisiones de CO2, especialmente a concentraciones del 10%. Aunque el asfalto con 9% de TiO2 reduce ambas partículas (PM2.5 y PM10), su impacto es menor en comparación con el 10%. Sin embargo, el TiO2 no afecta significativamente la radiación térmica ni la temperatura del asfalto, ya que solo se observa una ligera variación en la temperatura del asfalto con 9% de TiO2 en comparación con el asfalto tradicional.

4.2.3.5. Fotocatálisis

Aunque el TiO2 tiene propiedades fotocatalíticas que pueden ayudar a degradar contaminantes, en este estudio se observó una reducción en las emisiones de CO2, lo que podría estar relacionado con este efecto.

Tabla 46

Análisis de valores de medición

Parámetro	Asfalto Tradicional	Asfalto con 7% TiO2	Asfalto con 9% TiO2	Asfalto con 10% TiO2
Emisión de CO2 (ppm)	500 ppm	450 ppm	400 ppm	270 ppm
Temperatura (°C)	41.6 °C	41.9 °C	42.2 °C	42.1 °C
Radiación (W/m²)	530.50 W/m²	539.50 W/m²	530.50 W/m²	520.50 W/m²
PM2.5 (µg/m³)	120 µg/m³	203.90 µg/m³	168 µg/m³	118.30 µg/m³
PM10 (µg/m³)	180.50 µg/m³	163.30 µg/m³	104 µg/m³	181.10 µg/m³

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

La adición de dióxido de titanio (TiO2) al asfalto muestra beneficios en la reducción de emisiones de CO2, con una disminución significativa a 270 ppm en el asfalto con 10% de TiO2, en comparación con el asfalto tradicional (500 ppm). También reduce las partículas PM2.5, especialmente con el 10% de TiO2 (118.30 µg/m³). Sin embargo, los efectos sobre la temperatura y la radiación son mínimos, con pequeñas variaciones en todos los asfaltos con TiO2. La reducción de PM10 es más efectiva con 9% de TiO2 (104 µg/m³), aunque se observa un aumento en el asfalto con 10% de TiO2.

Figura 55. Pruebas de medición de radiación y CO2.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 56. Pruebas de medición de radiación y CO2.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 57. Pruebas de medición de radiación y CO2.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 58. Pruebas de medición de radiación y CO2.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 59. Pruebas de medición de radiación y CO2.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 60. Pruebas de medición de radiación y CO2.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

Figura 61. Pruebas de medición de radiación y CO2.

Elaborado por: Hinojosa y Márquez (2024)

CONCLUSIONES

El análisis del tráfico proyectado mediante el TPDA para la Vía Perimetral en Marcelino Maridueña evidencia un crecimiento sustancial en el volumen vehicular en los próximos 20 años. Se estima que la circulación de vehículos livianos aumentará de 720 unidades en 2022 a 1139 en 2042, lo que representa un incremento anual del 3,18%. Asimismo, el flujo de camiones se elevará de 491 a 773 unidades, mientras que la cantidad de autobuses pasará de 132 a 208 en el mismo período. Conforme a los resultados obtenidos, la vía se clasifica como Clase II, lo que implica la necesidad de diseñar una infraestructura capaz de soportar un tránsito diario de hasta 2117 vehículos en 2042, asegurando su funcionalidad tanto para el transporte de carga pesada como para vehículos livianos.

El estudio geotécnico, basado en la ejecución de calicatas en puntos estratégicos a lo largo del tramo vial, ha permitido caracterizar el suelo con precisión. Se calculará que la densidad seca varía entre 1879 y 1909 kg/m³, con un contenido de humedad óptimo entre 13,07% y 13,8%. Los valores de CBR, particularmente en las calicatas C-02 y C-03 (16.06 y 15.34, respectivamente), indican una elevada capacidad portante, lo que respalda la idoneidad del suelo para soportar las cargas del pavimento fotocatalítico flexible. No obstante, el hinchamiento detectado en la calicata C-03 (0.52%) subraya la necesidad de incorporar medidas de mitigación en el diseño de la infraestructura vial para prevenir posibles deformaciones estructurales.

El diseño del pavimento flexible fotocatalizado se ha desarrollado conforme a la metodología AASHTO 93, considerando las propiedades geomecánicas del suelo y las exigencias del tráfico proyectado. Se han analizado parámetros clave como el CBR, el módulo resiliente de la subrasante y la susceptibilidad al hinchamiento, garantizando la idoneidad del material granular para la distribución eficiente de cargas. La selección de una base y subbase granular de clase 1, combinadas con una carpeta asfáltica de 10 cm de espesor, responde a los criterios de durabilidad y resistencia ante condiciones de tráfico intenso. Además, el diseño estructural del pavimento ha sido ajustado conforme a las normativas vigentes, asegurando tanto la estabilidad de la vía como su funcionalidad hidráulica y geométrica. Finalmente, la implementación de un sistema de

drenaje eficiente y el uso de material de préstamo, cuando se requiera, refuerzan la estabilidad y prolongan la vida útil de la infraestructura proyectada viable.

.

RECOMENDACIONES

La implementación de un sistema de monitoreo continuo del tráfico vehicular en la Vía Perimetral de Marcelino Maridueña permitirá verificar la evolución de las proyecciones establecidas y realizar ajustes en la infraestructura conforme a las necesidades futuras. Es fundamental considerar medidas de gestión del tránsito, tales como la optimización de intersecciones, la incorporación de carriles adicionales en tramos estratégicos y la regulación de accesos. Asimismo, el análisis periódico de la capacidad vial y la aplicación de modelos de simulación de tráfico contribuirán a la toma de decisiones para garantizar la funcionalidad y eficiencia operativa de la vía a largo plazo.

La estabilidad de la infraestructura vial requiere la mitigación del hinchamiento detectado en la calicata C-03, lo que puede lograrse mediante la aplicación de técnicas de mejoramiento del suelo, como la estabilización con cal o cemento, que incrementa la resistencia y reduce la expansividad del material. Además, la incorporación de capas drenantes y subdrenes permitirá controlar la humedad del terreno, minimizando los riesgos de deformaciones diferenciales. La realización de ensayos complementarios, tales como pruebas triaxiales y de consolidación.

La ejecución de pruebas de control de calidad en cada etapa de la construcción garantizará el cumplimiento de las especificaciones establecidas en la metodología AASHTO 93, asegurando la resistencia y durabilidad del pavimento flexible fotocatalizado. La implementación de un programa de mantenimiento preventivo, que contemple la evaluación periódica del estado estructural y funcional del pavimento, permitirá detectar y corregir oportunamente desgastes prematuros, fisuras o deformaciones. Además, el monitoreo del sistema de drenaje garantizará su correcto funcionamiento, evitando acumulaciones de humedad que puedan comprometer la integridad del pavimento y reducir su vida útil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, A. C., & Infanzón, R. (2020). *Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente.* Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3689

Aliste, M. (2022). *Regeneración de aguas contaminadas con insecticidas, mediante TiO2/Na2S2O8/UV, para su reutilización en cultivos hortícolas. Proyecto de investigación.* Obtenido de http://hdl.handle.net/10201/126215

Basilio, J. M. (2020). *Procedimientos para tránsito de vehículos especiales por los puentes del sistema nacional de transporte terrestre.* Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4638

Buenaño, A. S. (2024). *Propuesta para mejorar la movilidad urbana mediante infraestructura física (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2024.).* Obtenido de http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/7211

Caballa, C. A., & Fraga, J. J. (2023). *Concreto fotocatalítico con adición de nanomateriales de dióxido de titanio para aumentar la durabilidad en elementos exteriores en edificaciones.* Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7021

Cabezón, Í. (2020). *Estudio de la capacidad de infiltración de pavimentos permeables.* Obtenido de https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/19628/Cabezon%20Jimenez,%20I..pdf?sequence=1

CAF. (2024). *Movilidad sostenible y seguridad vial, un desafío para todos en el Ecuador.* Obtenido de Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe: https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2018/08/movilidad-sostenible-y-seguridad-vial-un-desafio-para-todos-en-el-ecuador/

Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (COOTAD). (2019). *Ley 0. Registro Oficial Suplemento 303*. Obtenido de https://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf

Concepción, C. E. (2023). *Adición de los fotocalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima-2023.* Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/34169

Constitución de la República del Ecuador . (2008). *Decreto Legislativo 0. Registro Oficial 449* . Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.PDF

Coral, R. M. (2023). *Desempeño mecánico y fotocatalítico del pavimento de concreto hidráulico con adición de dióxido de titanio.* Obtenido de https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5515

Delgado, J. C. (2023). *Breathe easy paradero anti polución.* Obtenido de https://repositorio.uan.edu.co/items/eabd0a41-20c3-4542-b242-46cc09cda099

Diseño de Pavimento - Método AASHTO 93 . (2006). *Diseño de Pavimento: Método AASHTO 93 en Español*. Obtenido de https://www.academia.edu/34103801/DISENO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESPANOL_1_

Domínguez, I. (2024). *Revisión de materiales fotovoltaicos semitransparentes para agrivoltaica (APV).* Obtenido de https://crea.ujaen.es/handle/10953.1/21335

Domínguez, R. (2019). *Síntesis de Nanoestructuras de TiO2 Modificadas con Tierras Raras Aplicadas en la Degradación Fotocatalítica de Rodamina B.* Obtenido de http://51.143.95.221/handle/TecNM/5684

Espejo, A. P. (2022). *Nuevos materiales inorgánicos funcionales para la prevención de la contaminación en el patrimonio y hábitat urbano (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba (ESP)).* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=306966

Fernandez, J. D. (2023). *Influencia de dióxido de titanio en el concreto permanente con efecto fotocatalizador, Distrito de Nuevo Chimbote.* Obtenido de https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4509

Fernandez, J. D. (2023). *Influencia de dióxido de titanio en el concreto permanente con efecto fotocatalizador, Distrito de Nuevo Chimbote.* Obtenido de https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4509

Franco, Y., Centeno, G., & Pereira, J. (2022). Photocatalytic paintings for air decontamination. *Revista Ingeniería UC, 29*(3), 233 – 253. doi:https://doi.org/10.54139/revinguc.v29i3.286

Huamani, M. A. (2021). *Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio–diciembre 2020.* Obtenido de http://repositoriodemo.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10434

Huamani, M. A., & Solis, S. (2021). *Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio–diciembre 2020.* Obtenido de http://repositoriodemo.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10434

Huanca, Y. D. (2019). *Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú por fotocatálisis heterogénea.* Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5197

INEN. (2021). *Cemento Portland Requisitos.* Quito - Ecuador: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Obtenido de https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena/ingenieria-economica/normas-inen-872-535667/6343647

Ley de Gestión Ambiental. (2017). *Codificación 19. Registro Oficial Suplemento 418*. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf

Ley Orgánica del Ambiente. (2017). *Ley 0. Registro Oficial Suplemento 983* . Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2022). *Decreto Ejecutivo 436. Registro Oficial Suplemento 278*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/10/LOTAIP_8_REGLAMENTO-LEY-ORGANICA-SISTEMA-INFRAESTRUCTURA-VIAL-DEL-TRANSPORTE.pdf

Molero, L. (2020). *Piso firme. Accesibilidad en Madrid y pavimentos fotocatalíticos.* Obtenido de https://oa.upm.es/58166/?trk=public_profile_project-title

Najar, S. N. (2021). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de adoquines para obras de infraestructura vial adicionado con TiO2 (dióxido de titanio) en la ciudad de Arequipa 2021.* Obtenido de https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/bbe2d474-858c-446d-8280-537606867d0c/content

Negrin, J. (2021). *Comportamiento tribológico y mecánico del UHMWPE reforzado con nanopartículas de TiO2 blanco y TiO2 negro (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).* Obtenido de http://eprints.uanl.mx/21123/1/1080314529.pdf

NEVI-12-MTOP. (2013). *Procedimientos de Operación y Seguridad Frasco*. Obtenido de https://www.collegesidekick.com/study-docs/6468720

Pereda , D. A., & Cubas , N. O. (2015). *Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales.* Obtenido de https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/1987

Pérez, C. (2022). *Nanocompósito de Óxido de Zinc y Óxido de Titanio con propiedades fotocatalíticas para la degradación de metamizol.* Obtenido de https://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/9433

Prada, A. F. (2021). *Evaluación de la efectividad del uso del fotocatalizador TiO2 para la remoción de gases contaminantes tipo NOx en el aire.* Obtenido de http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/8327

Reyes, P., & Fidel, I. (2021). *Actividad fotocatalítica de compósitos poliméricos con refuerzo de partículas de YFeO3.* Obtenido de http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/handle/231104/3202

Rodríguez, L. F., Luévano, E., & Torres, L. M. (2024). Nanopartículas de TiO2 fotocatalíticas incorporadas en materiales de construcción.¡ Construyamos edificios inteligentes! *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología, 17*(32). doi:https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2024.32.69737

Roldan, W. (2024). *Optimización vial y estrategias de señalización para la vía entre Mariquita-la Victoria, Tolima (Doctoral dissertation).* Obtenido de https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/13762

Sánchez, M. (2023). *Mitigar la isla de calor urbana paso a paso. Metodología de selección de pavimentos urbanos sostenibles.* Obtenido de https://oa.upm.es/75615/

Villarroel, R. M. (2019). *Modificación de las propiedades fotoactivas del dióxido de Titanio (TiO2) mediante la introducción de defectos durante el depósito por pulverización catódica reactiva.* Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171130

Yaulilahua, R. (2021). *Comportamiento del índice de radiación solar ultravioleta (UV) en los periodos 2018–2019, en la ciudad de Huancavelica.* Obtenido de https://repositorio.unh.edu.pe/items/58de4207-9aaf-4ffd-b84a-28e637744585

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario dirigido a los habitantes de las ciudadelas del cantón

Objetivo: Determinar las necesidades de los transportistas en cuando a la seguridad y soluciones que soporten el tránsito de camiones de carga pesada en la vía perimetral del cantón Marcelino Maridueña.

Instrucciones: Por favor, marque con una X, la opción que más se ajuste a su opinión utilizando la siguiente escala:

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

1. El estado actual de la Vía Perimetral dificulta el paso de vehículos pesados.

( ) 1. Totalmente en desacuerdo

( ) 2. En desacuerdo

( ) 3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo

( ) 4. De acuerdo

( ) 5. Totalmente de acuerdo

2. Los baches y daños en la vía afectan la seguridad de los conductores.

( ) 1. Totalmente en desacuerdo

( ) 2. En desacuerdo

( ) 3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo

( ) 4. De acuerdo

( ) 5. Totalmente de acuerdo

3. Es necesario mejorar la pavimentación de la Vía Perimetral para mejorar el tránsito.

( ) 1. Totalmente en desacuerdo

( ) 2. En desacuerdo

( ) 3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo

( ) 4. De acuerdo

( ) 5. Totalmente de acuerdo

7. El pavimento flexible puede mejorar la calidad de la vía en el futuro.

( ) 1. Totalmente en desacuerdo

( ) 2. En desacuerdo

( ) 3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo

( ) 4. De acuerdo

( ) 5. Totalmente de acuerdo

8. El uso de pavimento reducirá la contaminación del aire en la zona.

( ) 1. Totalmente en desacuerdo

( ) 2. En desacuerdo

( ) 3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo

( ) 4. De acuerdo

( ) 5. Totalmente de acuerdo

9. **Está a favor de que se utilicen nuevas técnicas como el pavimento flexible en la Vía Perimetral.**

( ) 1. Totalmente en desacuerdo

( ) 2. En desacuerdo

( ) 3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo

( ) 4. De acuerdo

( ) 5. Totalmente de acuerdo

10. **La pavimentación de la Vía Perimetral mejorará la seguridad tanto para conductores como para peatones.**

( ) 1. Totalmente en desacuerdo

( ) 2. En desacuerdo

( ) 3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo

( ) 4. De acuerdo

( ) 5. Totalmente de acuerdo

11. **El proyecto de pavimentación traerá beneficios económicos para la comunidad de Marcelino Maridueña.**

( ) 1. Totalmente en desacuerdo

( ) 2. En desacuerdo

( ) 3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo

( ) 4. De acuerdo

( ) 5. Totalmente de acuerdo

Anexo 2. Plantilla de estudio del suelo.

ESTUDIO DE SUELO		
Proyecto	TESIS	
Contratante		**Obra**
Contratista	-	
Sector/Tramo	Marcelino Maridueñas (Vía)	Ejecución de 3 calicatas como estudio de suelo
Ejecutado por	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	
Responsable	Ing. Luís Cedeño	

Anexo 3. Resultados de Ensayo Catalítico, C-1.

GEOSÍSMICA Ingeniería de Calidad

HOJA ESTRATIGRAFICA - CALICATAS
RESULTADO DE ENSAYOS

C-1

Proyecto	TESIS			
Contratante		**Este**	2225111,00	m
Contratista	-	**Norte**	79449222,00	m
Sector/Tramo		**Cota**	0,00	msnm
Responsable	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	**Tipo**	Calicata	
Clima	SOLEADO	**ID:**	C-1	
Abscisa		**Fecha**	15/1/2025	

PROFUNDIDAD (m)	PERFIL ESTRATIGRÁFICO	CLASIFICACION SUCS CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION DE SUELO	HUMEDAD (%)	GRANULOMETRIA			LÍMITES		DENSIDAD SECA MÁXIMA (kg/m³) / HUMEDAD ÓPTIMA (%)	DCP_{INDEX} (mm/golpe)	$\%CBR_{LABORATORIO}$ / HINCHAMIENTO
					GRAVA	ARENA	FINO	%LL	%IP			
0,50		GP-GM (A-1-a)	Grava mal graduada con limo y arena. Color Café	8	74	20	6	32	6	1909 13,8	-	9,58% (0,32)
1,00												
1,30			**Fin calicata 1,30 m**									
1,50												
2,00												
2,50												
3,00												
3,50												
4,00												

OBSERVACIONES

PARÁMETROS DE DESCRIPCION DE SUELO

Roca Met.		Arcilla	
Gravas		Limo	
Arenas		Capa Vegetal	

HOJA 5

Anexo 4. Resultados de Ensayo Catalítico, C-2.

GEOSÍSMICA Ingeniería de Calidad

HOJA ESTRATIGRAFICA - CALICATAS
RESULTADO DE ENSAYOS

C-2

Proyecto	TESIS			
Contratante		**Este**	2224166,00	m
Contratista	-	**Norte**	79444370,00	m
Sector/Tramo		**Cota**	0,00	msnm
Responsable	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	**Tipo**	Calicata	
Clima	SOLEADO	**ID:**	C-2	
Abscisa		**Fecha**	15/1/2025	

PROFUNDIDAD (m)	PERFIL ESTRATIGRÁFICO	CLASIFICACION SUCS CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION DE SUELO	HUMEDAD (%)	GRANULOMETRIA			LÍMITES		DENSIDAD SECA MÁXIMA (kg/m³) / HUMEDAD ÓPTIMA (%)	DCP_{INDEX} (mm/golpe)	$\%CBR_{LABORATORIO}$ / HINCHAMIENTO
					GRAVA	ARENA	FINO	%LL	%IP			
0,50 – 1,00 – 1,50		SC (A-4)	Arena arcillosa. Color Café	13	1	52	40	21	7	1905 13,07	-	16,06% (0,32)
2,00 – 2,50 – 3,00 – 3,50 – 4,00			**Fin calicata 1,50 m**									

OBSERVACIONES

PARÁMETROS DE DESCRIPCION DE SUELO

Roca Met.		Arcilla	
Gravas		Limo	
Arenas		Capa Vegetal	

HOJA 4

Anexo 5. Resultados de Ensayo Catalítico, C-3.

GEOSÍSMICA Ingeniería de Calidad

HOJA ESTRATIGRAFICA - CALICATAS
RESULTADO DE ENSAYOS

C-3

Proyecto	TESIS			
Contratante		**Este**	2223016,00	m
Contratista	-	**Norte**	79438812,00	m
Sector/Tramo		**Cota**	0,00	msnm
Responsable	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	**Tipo**	Calicata	
Clima	SOLEADO	**ID:**	C-3	
Abscisa		**Fecha**	15/1/2025	

PROFUNDIDAD (m)	PERFIL ESTRATIGRÁFICO	CLASIFICACION SUCS CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION DE SUELO	HUMEDAD (%)	GRANULOMETRIA			LÍMITES		DENSIDAD SECA MÁXIMA (kg/m³) / HUMEDAD ÓPTIMA (%)	DCP_{INDEX} (mm/golpe)	$\%CBR_{LABORATORIO}$ / HINCHAMIENTO
					GRAVA	ARENA	FINO	%LL	%IP			
0,50		SC (A-4)	Arena arcillosa. Color Café	12	1	52	46	21	7	1879 13,7	-	15,34% (0,52)
1,00												
1,20			Fin calicata 1,20 m									
1,50												
2,00												
2,50												
3,00												
3,50												
4,00												

OBSERVACIONES

PARÁMETROS DE DESCRIPCION DE SUELO

Roca Met.		Arcilla	
Gravas		Limo	
Arenas		Capa Vegetal	

HOJA 3

Anexo 6. Resultados de análisis granulométrico.

GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

CONTRATISTA:	ANGIE MARQUEZ - HECTOR HINOJOSA
PROYECTO:	TESIS
CALICATA:	C1
UBICACIÓN :	2225111 E 7944922 N
FECHA TOMA:	8/12/2024

PROCEDENCIA:	MATERIAL EXISTENTE
USO:	Mejoramiento
MUESTRA:	3 (0,00 - 1,30 m)
OBSERVACIÓN:	El material cumple para mejoramiento. Presenta contenido de finos menor a 20%, límite líquido menor de 35% e índice plástico menor a 9%.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
ASTM C-136

TAMIZ ASTM	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
4	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00
3	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00
2,5	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1½"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	257,29	14,63	14,63	85,37
¾"	19,00	187,49	10,66	25,29	74,71
⅜"	9,50	555,42	31,58	56,87	43,13
No. 4	4,75	300,51	17,09	73,96	26,04
No. 10	2,00	184,39	10,48	84,45	15,55
No 40	0,43	118,87	6,76	91,21	8,79
No. 200	0,075	55,54	3,16	94,36	5,64
Fondo		99,12	5,64	100,00	
Total		1758,63 gr	100,00		

LÍMITES DE ATTERBERG
ASTM D-4318
LÍMITE LÍQUIDO

Paso No.	1	2	3
Tara No.			
Tara + Suelo Humedo	20,63	20,56	21,41
Tara + Suelo Seco	17,58	17,14	17,22
Agua	3,05	3,42	4,19
Peso de Tara	6,27	6,37	5,97
Peso Seco	11,31	10,77	11,25
Numero de Golpes	37	24	15
Contenido de Humedad (%)	26,97	31,75	37,24

LÍMITE PLÁSTICO

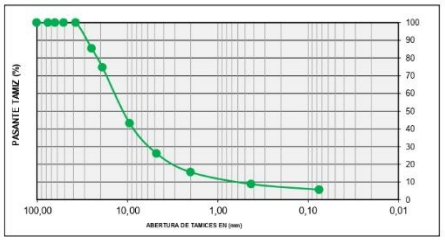
Paso No.	1	2	3	4
Tara No.				
Tara + Suelo Humedo	8,00	7,94	8,74	7,80
Tara + Suelo Seco	7,62	7,57	8,31	7,46
Agua	0,38	0,37	0,43	0,34
Peso de Tara	6,10	6,13	6,70	6,10
Peso Seco	1,52	1,44	1,61	1,36
Contenido de Humedad (%)	25,0	25,7	26,7	25,0

CONTENIDO DE HUMEDAD

P.Humedo + Tara:	2128,49
P. Seco + Tara :	1988,36
P. Tara :	229,73
P. Seco	1758,63
Hum (%):	7,97

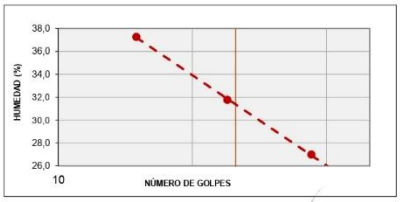
TAMAÑO PARTÍCULAS SUCS

Gravas (%)	Gruesa	25	74
	Fina	49	
Arena (%)	Gruesa	10	20
	Media	10	
	Fina	3	
Finos (%)			6



LÍMITES	
WL	32
WP	26
IP	6

CLASIFICACION	
SUCS	GP GM
AASHTO	A-1-a



Jefe de Laboratorio

Anexo 7. Resultados de análisis granulométrico.

GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

SOLICITADO POR:	ANGIE MARQUEZ - HECTOR HINOJOSA
PROYECTO:	TESIS
CALICATA:	C2
UBICACIÓN :	2224166 E 79444370 N
FECHA TOMA:	8/12/2024

PROCEDENCIA:	Material Existente
USO:	Mejoramiento
MUESTRA:	1 (0,00 - 1,50m)
OBSERVACIÓN:	El material no cumple para mejoramiento por tener un contenido de finos mayor a 20%.

ANALISIS GRANULOMETRICO
ASTM C-136

TAMIZ ASTM	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
4	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00
3	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00
2,5	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1½"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
¾"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
⅜"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 4	4,75	27,18	1,39	1,39	98,61
No. 10	2,00	48,92	2,51	3,90	96,10
No 40	0,43	316,10	16,21	20,11	79,89
No. 200	0,075	657,90	33,73	53,84	46,16
Fondo		900,29	46,16	100,00	
Total		1950,39 gr	100,00		

LIMITES DE ATTERBERG
ASTM D-4318
LIMITE LIQUIDO

Paso No.	1	2	3
Tara No.			
Tara + Suelo Humedo	21,45	17,69	17,59
Tara + Suelo Seco	18,94	15,75	15,58
Agua	2,51	1,94	2,01
Peso de Tara	6,08	6,28	6,31
Peso Seco	12,86	9,47	9,27
Numero de Golpes	38	26	16
Contenido de Humedad (%)	19,52	20,49	21,68

LIMITE PLASTICO

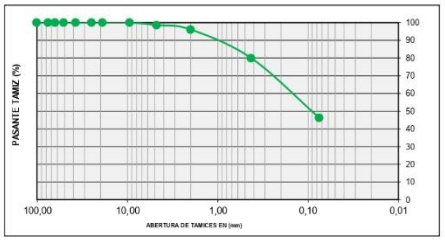
Paso No.	1	2	3	4
Tara No.				
Tara + Suelo Humedo	6,99	6,97	7,70	7,67
Tara + Suelo Seco	6,89	6,94	7,59	7,56
Agua	0,10	0,03	0,11	0,11
Peso de Tara	6,08	6,72	6,72	6,78
Peso Seco	0,81	0,22	0,87	0,78
Contenido de Humedad (%)	12,3	13,6	12,6	14,1

CONTENIDO DE HUMEDAD

P.Humedo + Tara:	2434,05
P. Seco + Tara :	2177,44
P. Tara :	227,05
P. Seco	1950,39
Hum (%):	13,16

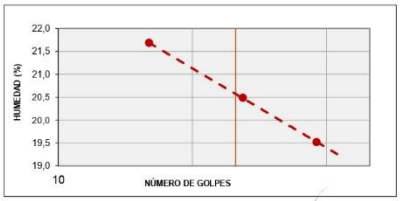
TAMANO PARTICULAS SUCS

Gravas (%)	Gruesa	0	1
	Fina	1	
Arena (%)	Gruesa	3	52
	Media	50	
	Fina	34	
Finos (%)			46



LIMITES	
WL	21
WP	13
IP	7

CLASIFICACION	
SUCS	SC
AASHTO	A-4



Jefe de Laboratorio

Anexo 8. Resultados de análisis granulométrico.

GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

SOLICITADO POR:	ANGIE MARQUEZ - HECTOR HINOJOSA
PROYECTO:	TESIS
CALICATA:	C3
UBICACIÓN :	2223016 E 79438812 N
FECHA TOMA:	8/12/2024

PROCEDENCIA:	Material Existente
USO:	Mejoramiento
MUESTRA:	1 (0,00 - 1,20m)
OBSERVACIÓN:	El material no cumple para mejoramiento por tener un contenido de finos mayor a 20%.

ANALISIS GRANULOMETRICO
ASTM C-136

TAMIZ ASTM	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
4	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00
3	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00
2,5	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1½"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
¾"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
⅜"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 4	4,75	17,00	1,49	1,49	98,51
No. 10	2,00	22,00	1,92	3,41	96,59
No 40	0,43	169,00	14,79	18,20	81,80
No. 200	0,075	405,00	35,43	53,63	46,37
Fondo		529,95	46,37	100,00	
Total		1142,95 gr	100,00		

LIMITES DE ATTERBERG
ASTM D-4318
LIMITE LIQUIDO

Paso No.	1	2	3
Tara No.			
Tara + Suelo Humedo	17,80	17,67	17,62
Tara + Suelo Seco	15,82	15,73	15,66
Agua	1,98	1,95	1,96
Peso de Tara	6,08	6,28	6,31
Peso Seco	9,74	9,45	9,35
Numero de Golpes	38	26	16
Contenido de Humedad (%)	20,34	20,59	20,91

LIMITE PLASTICO

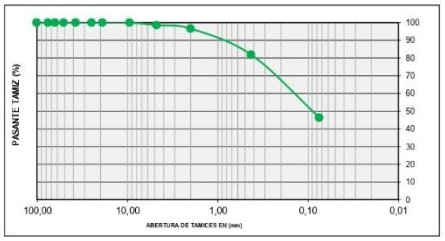
Paso No.	1	2	3	4
Tara No.				
Tara + Suelo Humedo	6,98	6,98	7,71	7,69
Tara + Suelo Seco	6,87	6,95	7,60	7,59
Agua	0,11	0,03	0,11	0,10
Peso de Tara	6,08	6,72	6,72	6,78
Peso Seco	0,79	0,23	0,88	0,81
Contenido de Humedad (%)	13,5	14,2	12,8	12,3

CONTENIDO DE HUMEDAD

P.Humedo + Tara:	1510,12
P. Seco + Tara :	1370,00
P. Tara :	227,05
P. Seco	1142,95
Hum (%):	12,26

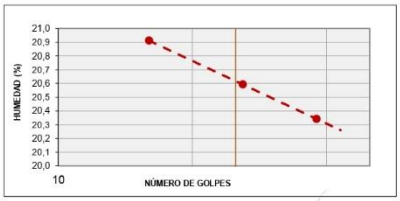
TAMANO PARTICULAS SUCS

Gravas (%)	Gruesa	0	1
	Fina	1	
Arena (%)	Gruesa	2	52
	Media	50	
	Fina	35	
Finos (%)			46



LIMITES	
WL	21
WP	13
IP	7

CLASIFICACION	
SUCS	SC
AASHTO	A-4



Jefe de Laboratorio

Anexo 9. Resultados del ensayo de compactación Proctor modificado.

GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557 // AASHTO T-180)

SOLICITANTE:	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	**PROCEDENCIA:**	Material Existente
PROYECTO:	TESIS	**MUESTRA:**	C1-M1 (0,00 - 1,30 m)
USO:	Mejoramiento	**CLASIFICACIÓN**	GP-GM (A-1-a)
FECHA TOMA:	5-dic-24	**FECHA ENSAYO:**	10-dic-24

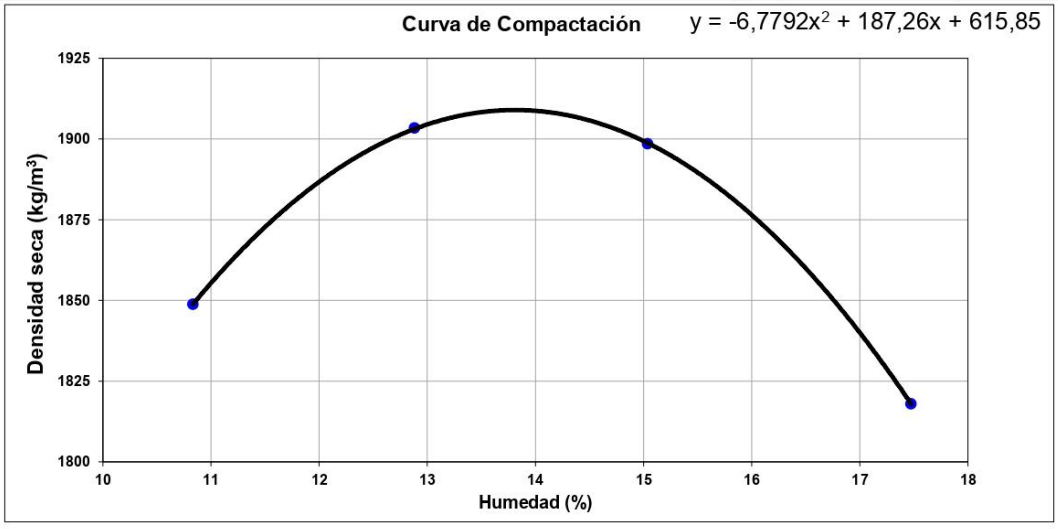
1. Norma y ensayo:	Procedimiento C		**2. Datos del molde:**	
Golpe/capa:	56		Diámetro:	15,19 cm.
No. De capas:	5		Altura:	11,60 cm
Material pasa el tamiz:	3/4"		Volumen:	2.090,64 cm³
Peso del martillo:	4,54	kg.	Peso Molde Completo:	gr
Altura de caída:	45,7	cm.	Peso Molde sin Anillo:	7.012 gr

3. Datos para la curva:

Punto No.	1		2		3		4					
Peso suelo+molde	11.296		11.504		11.578		11.477					
Peso suelo Compactado	4.284		4.492		4.566		4.465					
Densidad húmeda (kg/m3)	2.049		2.149		2.184		2.136					
4. Contenidos de Humedad:												
P. Suelo hum+cap	123,32	123,38	122,82	123,34	123,18	122,50	121,34	120,18				
P. Suelo seco+cap	114,51	113,87	112,32	112,88	111,08	110,58	108,01	106,59				
P. Cápsula	29,44	29,81	31,15	31,36	30,26	31,67	30,08	30,44				
Peso de agua	8,81	9,51	10,50	10,46	12,10	11,92	13,33	13,59				
Peso del Suelo seco	85,07	84,06	81,17	81,52	80,82	78,91	77,93	76,15				
Contenido de agua	10,36	11,31	12,94	12,83	14,97	15,11	17,11	17,85				
Contenido de agua Prom	10,83		12,88		15,04		17,48					
Peso Unit. Seco	1.849		1.903		1.899		1.818					

5. Resultados:

Peso unitario seco = 1.909 kg/m³
Contenido de agua óptimo = 13,8 %



Emite:

Sr. Hector Hinojosa
Laboratorista

Aprueba:

Ing. Luis Cedeño
Jefe de Laboratorio

Anexo 10. Resultados del ensayo de compactación Proctor modificado.

GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557 // AASHTO T-180)

SOLICITANTE:	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	**PROCEDENCIA:**	Material Existente
PROYECTO:	TESIS	**MUESTRA:**	C2-M1 (0,00 - 1,50 m)
USO:	Mejoramiento	**CLASIFICACIÓN**	SC (A-4)
FECHA TOMA:	5-dic-24	**FECHA ENSAYO:**	10-dic-24

1. Norma y ensayo:	Procedimiento C	**2. Datos del molde:**	
Golpe/capa:	56	Diámetro:	15,19 cm.
No. De capas:	5	Altura:	11,60 cm
Material pasa el tamiz:	3/4"	Volumen:	2.090,64 cm³
Peso del martillo:	4,54 kg.	Peso Molde Completo:	gr
Altura de caída:	45,7 cm.	Peso Molde sin Anillo:	7.012 gr

3. Datos para la curva:

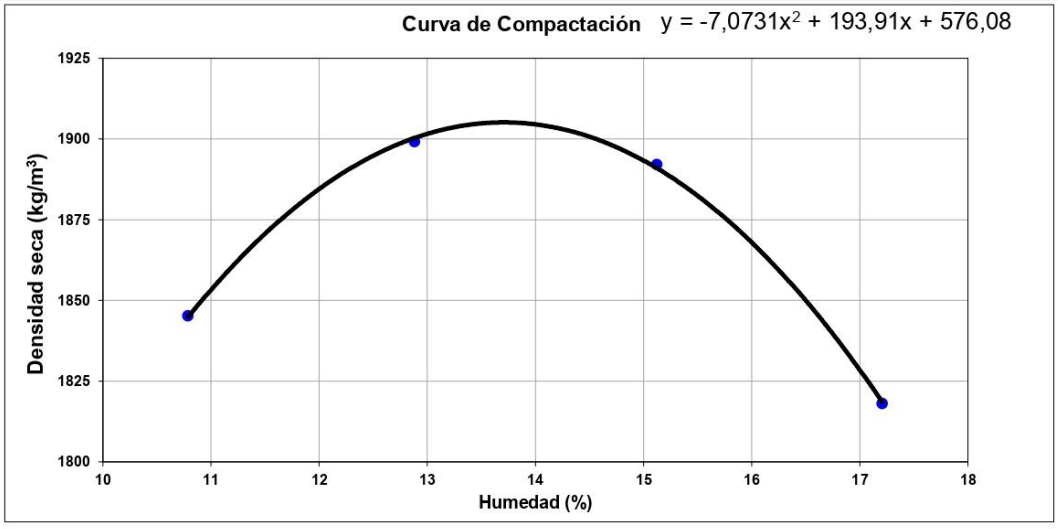
Punto No.	1	2	3	4		
Peso suelo+molde	11.286	11.494	11.566	11.467		
Peso suelo Compactado	4.274	4.482	4.554	4.455		
Densidad húmeda (kg/m3)	2.044	2.144	2.178	2.131		

4. Contenidos de Humedad:

P. Suelo hum+cap	123,22	123,31	122,82	123,34	123,15	122,55	121,46	120,15				
P. Suelo seco+cap	114,44	113,85	112,32	112,88	111,05	110,51	108,49	106,54				
P. Cápsula	29,39	29,79	31,12	31,38	30,26	31,67	30,05	30,43				
Peso de agua	8,78	9,46	10,50	10,46	12,10	12,04	12,97	13,61				
Peso del Suelo seco	85,05	84,06	81,20	81,50	80,79	78,84	78,44	76,11				
Contenido de agua	10,32	11,25	12,93	12,83	14,98	15,27	16,53	17,88				
Contenido de agua Prom	10,79		12,88		15,12		17,21					
Peso Unit. Seco	1.845		1.899		1.892		1.818					

5. Resultados:

Peso unitario seco = 1.905 kg/m³
Contenido de agua óptimo = 13,7 %



Emite:

Sr. Hector Hinojosa
Laboratorista

Aprueba:

Ing. Luis Cedeño
Jefe de Laboratorio

Anexo 11. Resultados del ensayo de compactación Proctor modificado.

GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

ENSAYO DE COMPACTACION
PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557 // AASHTO T-180)

SOLICITANTE:	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	**PROCEDENCIA:**	Material Existente
PROYECTO:	TESIS	**MUESTRA:**	C3-M1 (0,00 - 1,20 m)
USO:	Mejoramiento	**CLASIFICACIÓN**	SC (A-4)
FECHA TOMA:	5-dic-24	**FECHA ENSAYO:**	10-dic-24

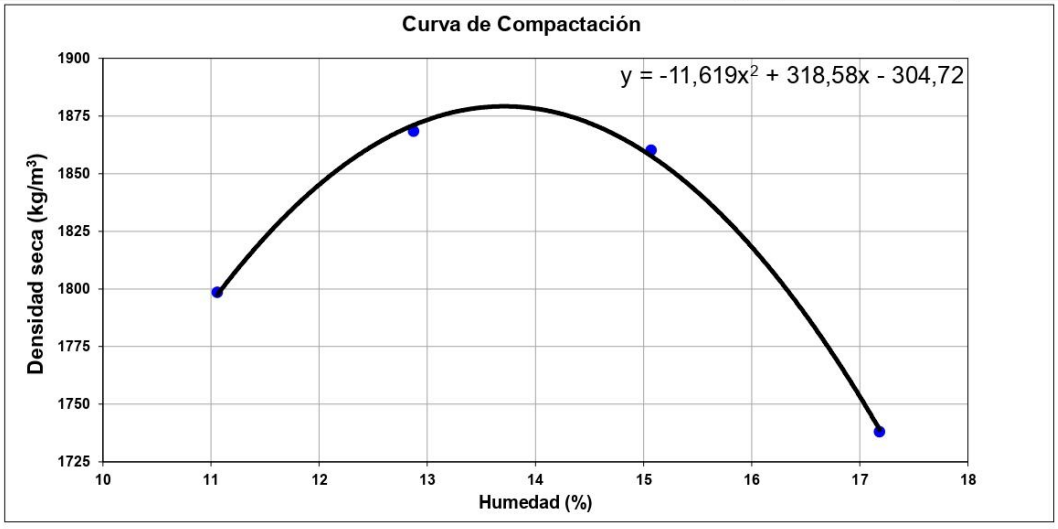
1. Norma y ensayo:	Procedimiento C	**2. Datos del molde:**	
Golpe/capa:	56	Diámetro:	15,19 cm.
No. De capas:	5	Altura:	11,60 cm
Material pasa el tamiz:	3/4"	Volumen:	2.090,64 cm³
Peso del martillo:	4,54 kg.	Peso Molde Completo:	gr
Altura de caída:	45,7 cm.	Peso Molde sin Anillo:	7.012 gr

3. Datos para la curva:

Punto No.	1	2	3	4		
Peso suelo+molde	11.188	11.421	11.487	11.270		
Peso suelo Compactado	4.176	4.409	4.475	4.258		
Densidad húmeda (kg/m3)	1.997	2.109	2.140	2.037		

4. Contenidos de Humedad:												
P. Suelo hum+cap	123,41	123,45	122,87	123,05	123,18	122,55	121,16	120,02				
P. Suelo seco+cap	114,45	113,75	112,12	112,88	110,99	110,65	107,98	106,71				
P. Cápsula	29,51	29,91	31,15	31,36	30,24	31,57	30,08	30,44				
Peso de agua	8,96	9,70	10,75	10,17	12,19	11,90	13,18	13,31				
Peso del Suelo seco	84,94	83,84	80,97	81,52	80,75	79,08	77,90	76,27				
Contenido de agua	10,55	11,57	13,28	12,48	15,10	15,05	16,92	17,45				
Contenido de agua Prom	11,06		12,88		15,07		17,19					
Peso Unit. Seco	1.799		1.868		1.860		1.738					

5. Resultados:		
Peso unitario seco =	**1.879**	**kg/m³**
Contenido de agua óptimo =	**13,7**	**%**



Emite:

Sr. Hector Hinojosa
Laboratorista

Aprueba:

Ing. Luis Cedeño
Jefe de Laboratorio

Anexo 12. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R).

GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

PROYECTO:	TESIS	**USO:**	MEJORAMIENTO
UBICACIÓN:	MARCELINO MARIDUEÑA (VIA)	**MUESTRA N°:**	C1-M1 (0,00 - 1,30 m)
SOLICITADO POR:	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	**PROCEDENCIA:**	MATERIAL EXISTENTE
Descripción de la muestra (VISUAL) :	Grava mal graduada con limo y arena.		**HOJA** 1 **DE** 2

Densidad Seca Máx. Kg/m³ :	**1909**	Masa Martillo de Compactación (Kg) :	**4,54**	Proctor Tipo :	**Modificado**
% de Humedad Optima :	**13,80**	Altura de Caída de Martillo (cm) :	**45,72**	C.B.R. al :	**95%**

PROBETAS DEL ENSAYO

Molde #	F		Y		q	
# de Capas	5		5		5	
# de Golpes por Capa	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
Condiciones de la Muestra	Antes Saturación	Después Saturación	Antes Saturación	Después Saturación	Antes Saturación	Después Saturación
Masa de muestra húmeda + Molde (gr.)	11677	11822	11900	12167	11967	12297
Masa del Molde (gr.)	7118	7118	7567	7567	7884	7884
Masa de la muestra húmeda (gr.)	4559	4704	4333	4600	4083	4413
Volumen de la muestra (cm³)	2098	2098	2110	2110	2102	2102
Densidad Húmeda de la muestra (Kg/m³)	2174	2243	2054	2180	1942	2099

Contenido de humedad

Recipiente #	B	III	J	M	P	LL	K	IY	N	Z	LL	D
Masa de muestra húmeda + Molde (gr.)	113,8	113,9	140,3	143,5	106,0	122,0	124,1	132,5	113,2	111,9	137,3	133,4
Masa de muestra seca + Molde (gr.)	106,3	106,6	127,8	130,3	98,9	113,1	110,8	118,4	105,6	104,4	122,4	118,9
Masa del Molde (gr.)	30,3	31,6	31,4	29,9	31,0	29,8	29,8	31,7	30,1	30,4	29,9	31,5
% de Humedad	9,88	9,85	13,00	13,14	10,44	10,69	16,52	16,31	10,09	10,12	16,10	16,65
Densidad Seca de la muestra (Kg/m³)	1978				1858				1764			

DATOS DE HINCHAMIENTO

Fecha y Hora de Lectura	Altura probeta (cm): 17,76			Altura probeta (cm): 17,65			Altura probeta (cm): 17,79		
	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%
12-dic-24 11:00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
15-dic-24 09:30	57	57	0,32	33	33	0,19	53	53	0,30

ENSAYO DE PENETRACIÓN

Tiempo (min)	Penetración (mm.)	Cargas tipo (Kg/cm²)	56 Golpes				25 Golpes				12 Golpes			
			Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm²)	C.B.R. (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado	Esfuerzo Corregido (Kg/cm²)	C.B.R. (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm²)	C.B.R. (%)
0,0	0,00		0	0,00			0	0,00			0	0,00		
0,5	0,63		94	8,04			51	4,46			18	1,77		
1,0	1,27		160	13,48			73	6,33			28	2,60		
1,5	1,90		210	17,61			96	8,19			34	3,09		
2,0	2,54	70,31	265	22,14	27,20	38,69	112	9,51	11,74	16,70	42	3,75	4,14	5,89
4,0	5,08	105,47	450	37,40	39,97	37,90	181	15,22	16,78	15,91	58	5,07	5,65	5,35
6,0	7,62	133,59	585	48,54			232	19,39			75	6,47		
8,0	10,16	161,71	670	55,55			273	22,79			85	7,30		
10,0	12,70	182,81	715	59,26			306	25,54			97	8,29		

Observaciones :

Normas de Referencia :

ASTM D 1883-94

AASHTO T 193-93

Laboratorista	Responsable	Fecha Toma Muestra	Fecha Ensayo
Sr. Hector Hinojosa	Ing. Luis Cedeño	diciembre, 5 de 2024	diciembre, 12 de 2024

Anexo 13. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R).

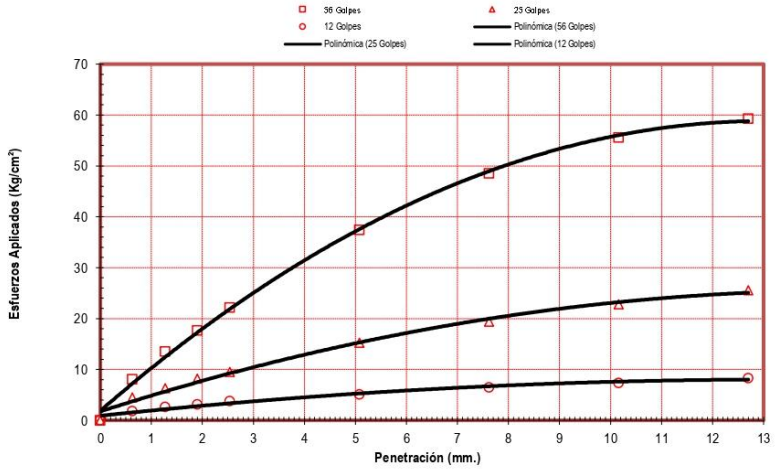
GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

T.: (+593) 4 2201009
C.: (+593) 9 94831056
E.: info@geosismica.com.ec
W. www.geosismica.com.ec

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

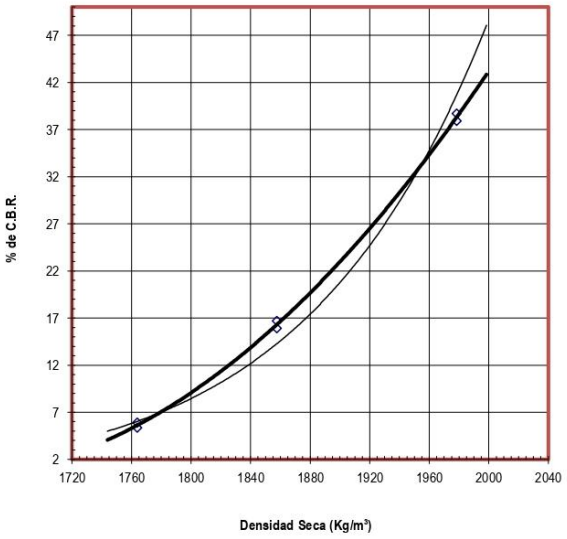
PROYECTO:	TESIS	**USO:**	MEJORAMIENTO
UBICACIÓN:	MARCELINO MARIDUEÑA (VIA)	**MUESTRA N°:**	C1-M1 (0,00 - 1,30 m)
SOLICITADO POR:	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA AL	**PROCEDENCIA:**	MATERIAL EXISTENTE
Descripción de la muestra (VISUAL) :	Grava mal graduada con limo y arena.		**HOJA** 2 **DE** 2

Relación Penetración del Pistón vs. Esfuerzos Aplicados



J
141,61
123,7
29,75

Relación Densidad Seca vs. % de C.B.R.



Normas de Referencia :
ASTM D 1883-94
AASHTO T 193-93

AASHTO: A-2-6
SUCS: SC

25

RESULTADOS

C.B.R. al 95 % = 9,58

Hinchamiento = 0,32 %

Laboratorista	Responsable	Fecha Toma Muestra	Fecha Ensayo
Sr. Hector Hinojosa	Ing. Luis Cedeño	diciembre, 5 de 2024	diciembre, 12 de 2024

Anexo 14. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R).

GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

PROYECTO:	TESIS	**USO:**	MEJORAMIENTO
UBICACIÓN:	MARCELINO MARIDUEÑA (VIA)	**MUESTRA N°:**	C2-M1 (0,00 - 1,50 m)
SOLICITADO POR:	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	**PROCEDENCIA:**	MATERIAL EXISTENTE
Descripción de la muestra (VISUAL) :	Arena arcillosa.		**HOJA** 1 **DE** 2

Densidad Seca Máx. Kg/m³ :	**1905**	Masa Martillo de Compactación (Kg) :	**4,54**	Proctor Tipo :	**Modificado**
% de Humedad Optima :	**13,07**	Altura de Caída de Martillo (cm) :	**45,72**	C.B.R. al :	**95%**

PROBETAS DEL ENSAYO

Molde #	F		Y		q	
# de Capas	5		5		5	
# de Golpes por Capa	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
Condiciones de la Muestra	Antes Saturación	Después Saturación	Antes Saturación	Después Saturación	Antes Saturación	Después Saturación
Masa de muestra húmeda + Molde (gr.)	11727	11862	11940	12107	12007	12357
Masa del Molde (gr.)	7118	7118	7567	7567	7884	7884
Masa de la muestra húmeda (gr.)	4609	4744	4373	4540	4123	4473
Volumen de la muestra (cm³)	2098	2098	2110	2110	2102	2102
Densidad Húmeda de la muestra (Kg/m³)	2197	2262	2073	2152	1961	2128

Contenido de humedad

Recipiente #	B	III	J	M	P	LL	K	IY	N	Z	LL	D
Masa de muestra húmeda + Molde (gr.)	114,5	114,8	141,0	144,2	106,0	122,0	123,5	131,8	113,2	111,9	137,3	133,4
Masa de muestra seca + Molde (gr.)	106,3	106,6	127,8	130,3	98,9	113,1	110,8	118,4	105,6	104,4	122,4	118,9
Masa del Molde (gr.)	30,3	31,6	31,4	29,9	31,0	29,8	29,8	31,7	30,1	30,4	29,9	31,5
% de Humedad	10,87	10,99	13,68	13,82	10,44	10,69	15,76	15,50	10,09	10,12	16,10	16,65
Densidad Seca de la muestra (Kg/m³)	1981				1875				1781			

DATOS DE HINCHAMIENTO

Fecha y Hora de Lectura	Altura probeta (cm): 17,76			Altura probeta (cm): 17,65			Altura probeta (cm): 17,79		
	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%
12-dic-24 11:00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
15-dic-24 09:30	57	57	0,32	33	33	0,19	53	53	0,30

ENSAYO DE PENETRACIÓN

Tiempo (min)	Penetración (mm.)	Cargas tipo (Kg/cm²)	56 Golpes				25 Golpes				12 Golpes			
			Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm²)	C.B.R. (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado	Esfuerzo Corregido (Kg/cm²)	C.B.R. (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm²)	C.B.R. (%)
0,0	0,00		0	0,00			0	0,00			0	0,00		
0,5	0,63		80	6,89			50	4,41			18	1,77		
1,0	1,27		160	13,48			77	6,64			45	4,00		
1,5	1,90		225	18,85			110	9,36			60	5,24		
2,0	2,54	70,31	300	25,03	31,36	44,60	150	12,66	16,97	24,13	81	6,97	9,13	12,99
4,0	5,08	105,47	530	44,00	47,92	45,44	275	22,97	26,32	24,95	140	11,83	14,26	13,52
6,0	7,62	133,59	697	57,77			380	31,63			200	16,78		
8,0	10,16	161,71	820	67,92			460	38,23			250	20,91		
10,0	12,70	182,81	900	74,52			510	42,35			280	23,38		

Observaciones :

Normas de Referencia :
ASTM D 1883-94
AASHTO T 193-93

Laboratorista	Responsable	Fecha Toma Muestra	Fecha Ensayo
Sr. Hector Hinojosa	Ing. Luis Cedeño	diciembre, 5 de 2024	diciembre, 12 de 2024

Anexo 15. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R).

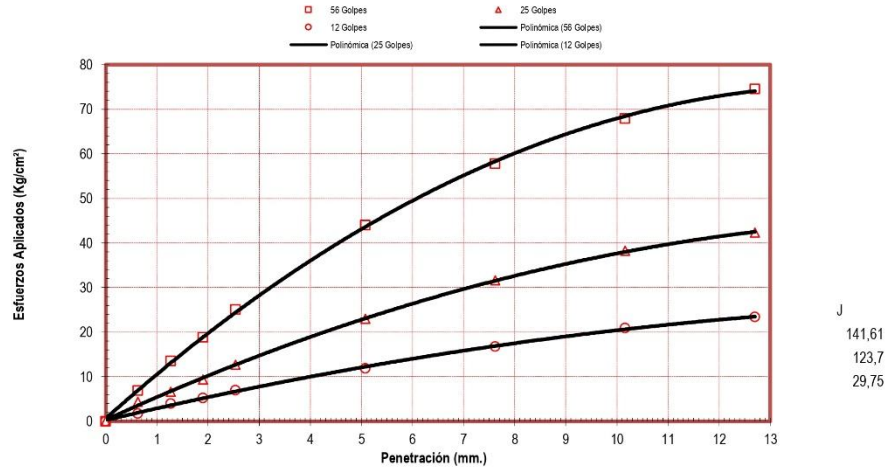
GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

T.: (+593) 4 2201009
C.: (+593) 9 94831056
E.: info@geosismica.com.ec
W. www.geosismica.com.ec

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

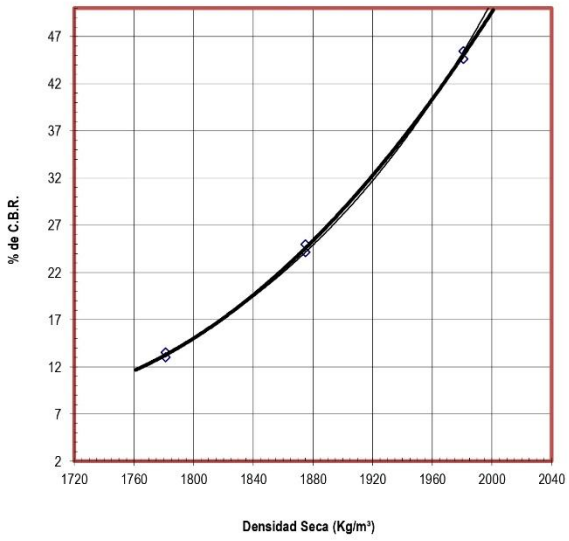
PROYECTO: TESIS		**USO:**	MEJORAMIENTO
UBICACIÓN: MARCELINO MARIDUEÑA (VIA)		**MUESTRA N°:**	C2-M1 (0,00 - 1,50 m)
SOLICITADO POR: ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA AL		**PROCEDENCIA:**	MATERIAL EXISTENTE
Descripción de la muestra (VISUAL) :	Arena arcillosa.		**HOJA** 2 **DE** 2

Relación Penetración del Pistón vs. Esfuerzos Aplicados



J
141,61
123,7
29,75

Relación Densidad Seca vs. % de C.B.R.



Normas de Referencia :
ASTM D 1883-94
AASHTO T 193-93

AASHTO: A-2-6
SUCS: SC

25

RESULTADOS

C.B.R. al 95 % = 16,06

Hinchamiento = 0,32 %

Laboratorista	Responsable	Fecha Toma Muestra	Fecha Ensayo
Sr. Hector Hinojosa	Ing. Luis Cedeño	diciembre, 5 de 2024	diciembre, 12 de 2024

Anexo 16. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R).

GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

PROYECTO:	TESIS	**USO:**	MEJORAMIENTO
UBICACIÓN:	MARCELINO MARIDUEÑA (VIA)	**MUESTRA N°:**	C3-M1 (0,00 - 1,20 m)
SOLICITADO POR:	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA ALVARADO	**PROCEDENCIA:**	MATERIAL EXISTENTE
Descripción de la muestra (VISUAL) :	Arena arcillosa.		**HOJA** 1 **DE** 2

Densidad Seca Máx. Kg/m³ :	**1879**	Masa Martillo de Compactación (Kg) :	**4,54**	Proctor Tipo :	**Modificado**
% de Humedad Optima :	**13,70**	Altura de Caída de Martillo (cm) :	**45,72**	C.B.R. al :	**95%**

PROBETAS DEL ENSAYO

Molde #	F		Y		q	
# de Capas	5		5		5	
# de Golpes por Capa	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
Condiciones de la Muestra	Antes Saturación	Después Saturación	Antes Saturación	Después Saturación	Antes Saturación	Después Saturación
Masa de muestra húmeda + Molde (gr.)	11747	11872	11950	12117	12027	12377
Masa del Molde (gr.)	7118	7118	7567	7567	7884	7884
Masa de la muestra húmeda (gr.)	4629	4754	4383	4550	4143	4493
Volumen de la muestra (cm³)	2098	2098	2110	2110	2102	2102
Densidad Húmeda de la muestra (Kg/m³)	2207	2266	2078	2157	1971	2137

Contenido de humedad

Recipiente #	B	III	J	M	P	LL	K	IY	N	Z	LL	D
Masa de muestra húmeda + Molde (gr.)	115,5	115,2	142,1	145,3	107,2	123,1	124,3	132,2	113,5	112,0	138,1	134,1
Masa de muestra seca + Molde (gr.)	106,3	106,6	127,8	130,3	98,9	113,1	110,8	118,4	105,6	104,4	122,4	118,9
Masa del Molde (gr.)	30,3	31,6	31,4	29,9	31,0	29,8	29,8	31,7	30,1	30,4	29,9	31,5
% de Humedad	12,19	11,53	14,82	14,91	12,27	12,01	16,74	15,96	10,44	10,27	16,97	17,40
Densidad Seca de la muestra (Kg/m³)	1973				1853				1786			

DATOS DE HINCHAMIENTO

Fecha y Hora de Lectura	Altura probeta (cm): 17,76			Altura probeta (cm): 17,65			Altura probeta (cm): 17,79		
	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%	Lectura Dial (mm)	Dif.	%
12-dic-24 11:00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
15-dic-24 09:30	75	75	0,42	87	87	0,49	93	93	0,52

ENSAYO DE PENETRACIÓN

Tiempo (min)	Penetración (mm.)	Cargas tipo (Kg/cm²)	56 Golpes				25 Golpes				12 Golpes			
			Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm²)	C.B.R. (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado	Esfuerzo Corregido (Kg/cm²)	C.B.R. (%)	Lectura Dial	Esfuerzo Aplicado (Kg/cm²)	Esfuerzo Corregido (Kg/cm²)	C.B.R. (%)
0,0	0,00		0	0,00			0	0,00			0	0,00		
0,5	0,63		80	6,89			51	4,49			20	1,94		
1,0	1,27		160	13,48			79	6,80			39	3,50		
1,5	1,90		225	18,85			121	10,27			56	4,91		
2,0	2,54	70,31	300	25,03	30,46	43,32	150	12,66	16,44	23,39	79	6,80	8,33	11,85
4,0	5,08	105,47	530	44,00	45,82	43,44	275	22,97	24,84	23,55	135	11,42	12,69	12,03
6,0	7,62	133,59	690	57,20			365	30,39			190	15,96		
8,0	10,16	161,71	780	64,62			430	35,75			215	18,02		
10,0	12,70	182,81	809	67,01			450	37,40			230	19,26		

Observaciones :

Normas de Referencia :

ASTM D 1883-94

AASHTO T 193-93

Laboratorista	Responsable	Fecha Toma Muestra	Fecha Ensayo
Sr. Hector Hinojosa	Ing. Luis Cedeño	diciembre, 5 de 2024	diciembre, 12 de 2024

Anexo 17. Resultados de la Relación de Soporte de California (C.B.R).

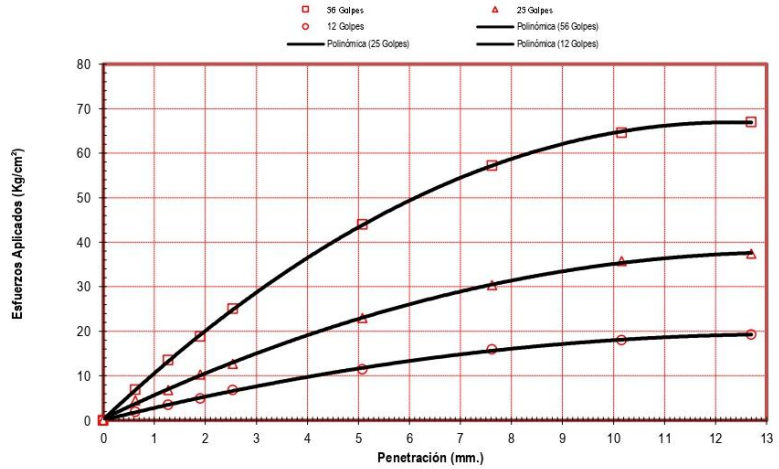
GEOSÍSMICA
Ingeniería de Calidad

T.: (+593) 4 2201009
C.: (+593) 9 94831056
E.: info@geosismica.com.ec
W. www.geosismica.com.ec

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

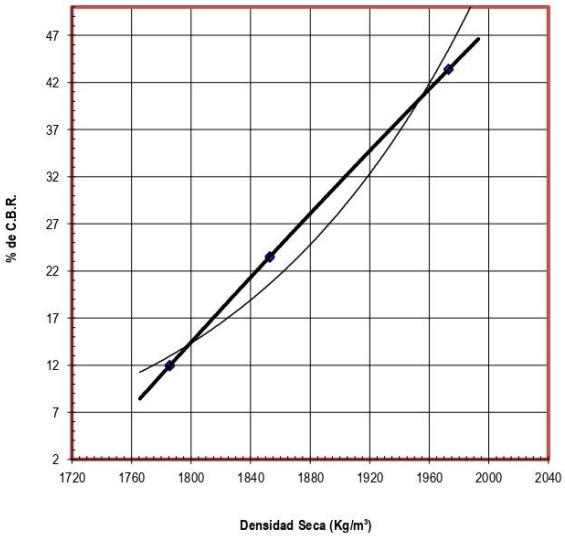
PROYECTO:	TESIS	**USO:**	MEJORAMIENTO
UBICACIÓN:	MARCELINO MARIDUEÑA (VIA)	**MUESTRA N°:**	C3-M1 (0,00 - 1,20 m)
SOLICITADO POR:	ANGIE MARQUEZ TACURI - HECTOR HINOJOSA AL	**PROCEDENCIA:**	MATERIAL EXISTENTE
Descripción de la muestra (VISUAL) :	Arena arcillosa.		**HOJA** 2 **DE** 2

Relación Penetración del Pistón vs. Esfuerzos Aplicados



J
141,61
123,7
29,75

Relación Densidad Seca vs. % de C.B.R.



Normas de Referencia :
ASTM D 1883-94
AASHTO T 193-93

AASHTO: A-2-6
SUCS: SC

25

RESULTADOS

C.B.R. al 95 % = 15,34

Hinchamiento = 0,52 %

Laboratorista	Responsable	Fecha Toma Muestra	Fecha Ensayo
Sr. Hector Hinojosa	Ing. Luis Cedeño	diciembre, 5 de 2024	diciembre, 12 de 2024

Anexo 18. Resultados del análisis Granulométrico.

SOLICITADO:	ANGIE MARQUEZ -HECTOR HINOJOSA
PROYECTO:	TESIS
FECHA TOMA:	2/12/2024

LOCALIZACIÓN:	Marcelino Manduefias
USO:	Agregado grueso para Asfalto
MUESTRA:	001
OBSERVACIÓN:	El material se ajusta a un número de tamaño 67, entre 3-4" y N°4.

ANALISIS GRANULOMETRICO
ASTM C-33

TAMIZ ASTM	TAMIZ mm.	PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1½"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1,0"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3-4"	19,05	94,84	4,40	4,40	95,60
1-2"	12,70	623,01	28,89	33,29	66,71
3-8"	9,53	442,95	20,54	53,84	46,16
No. 4	4,75	812,45	37,68	91,52	8,48
No. 8	2,36	140,38	6,51	98,03	1,97
No. 16	1,18	6,53	0,30	98,33	1,67
No. 30	0,600	0,93	0,04	98,38	1,62
No. 50	0,300	0,80	0,04	98,41	1,59
No. 100	0,150	1,36	0,06	98,48	1,52
No. 200	0,075	2,89	0,13	98,61	1,39
Fondo		29,98	1,39	100,00	
Total		2156,12 gr	66,71		

LIMITES DE ATTERBERG
ASTM D-4318
LIMITE LIQUIDO

Paso No.	1	2	3
Tara No.			
Tara + Suelo Humedo			
Tara + Suelo Seco			
Agua		NP	
Peso de Tara			
Peso Seco			
Numero de Golpes			
Contenido de Humedad (%)			

LIMITE PLASTICO

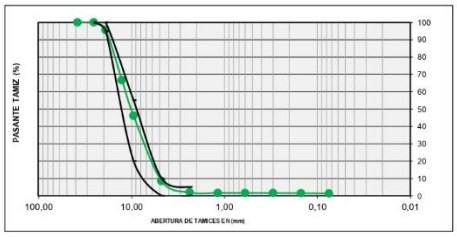
Paso No.	1	2	3	4
Tara No.				
Tara + Suelo Humedo				
Tara + Suelo Seco		NP		
Agua				
Peso de Tara				
Peso Seco				
Contenido de Humedad (%)				

CONTENIDO DE HUMEDAD

P.Humedo + Tara:	2393,49
P. Seco + Tara :	2384,68
P. Tara :	228,56
P. Seco	2156,12
Hum (%):	0,41

TAMANO PARTICULAS SUCS

Gravas (%)	Gruesa	65	98
	Fina	0	
Arena (%)	Gruesa	0	0
	Media	0	
	Fina	0	
Finos (%)			1



LIMITES	
WL	
WP	
IP	

CLASIFICACION	
SUCS	GP
AASHTO	A-1-a

Jefe de Laboratorio

Anexo 19. Resultados de la Gravedad Específica de Agregado Finos.

GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADO FINOS

PROYECTO:	TESIS	**LOCALIZACIÓN:**	Marcelino Maridueñas
SOLICITADO:	ANGIE MARQUEZ - HECTOR HINOJOSA	**PROFUNDIDAD (m):**	-
		MUESTRA # :	M1

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA : ARENA MAL GRADUADA COLOR GRIS

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # :	No. 40	***Y RETIENE EN EL TAMIZ # :***	No. 100

Nº DE ENSAYO			**1**	**2**	**PROMEDIO**
Nº DE PICNOMETRO CALIBRADO			1	2	
MASA DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	**C**	gr.	949,54	952,44	
TEMPERATURA	**(T)**	gr.	44,5	40,0	
MASA DEL PICNOMETRO + AGUA A LA TEMPERATURA T	**B**	ºC	638,65	641,30	
MASA MUESTRA SECA	**D**	gr.	491,45	490,86	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	**K**		0,9905	0,9922	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO	**Gs**		2,70	2,71	***2,70***

Calculo de la Gravedad Específica

$$G_s = \frac{D\ K}{D + (B - C)}$$

Observaciones :

Normas de Referencia:

ASTM D 854-92

AASHTO 100-93

Laboratorista	Responsable	Fecha de Toma	Fecha Ensayo
Sr. Jose Rodriguez.	Ing. Luis Cedeño	diciembre, 2 de 2024	diciembre, 6 de 2024

002-20250206-GRAVEDAD ESPECIFICA-GRAVEDAD ESPECIFICA ARENA (2)

Anexo 20. Resultados de la Gravedad Específica de los Sólidos de un Suelo.

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DE UN SUELO

PROYECTO:	TESIS	**LOCALIZACIÓN:**	Marcelino Maridueñas
SOLICITADO :	ANGIE MARQUEZ - HECTOR HINOJOSA	**PROFUNDIDAD (m):**	
		MUESTRA # :	Dioxido de Titanio
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA :	CAL. COLOR BLANCA.		

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # :	No. 40	***Y RETIENE EN EL TAMIZ # :***	No. 100

Nº DE ENSAYO			**1**	**2**	**PROMEDIO**
Nº DE PICNOMETRO CALIBRADO			1	2	
MASA DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	**C**	gr.	385,55	360,25	
TEMPERATURA	**(T)**	gr.	52,9	41,5	
MASA DEL PICNOMETRO + AGUA A LA TEMPERATURA T	**B**	ºC	367,54	341,60	
MASA MUESTRA SECA	**D**	gr.	30,87	31,75	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	**K**		0,9868	0,9917	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO	**Gs**		2,37	2,40	***2,38***

Calculo de la Gravedad Específica

$$G_s = \frac{D\,K}{D + (B - C)}$$

Observaciones :

Normas de Referencia:

ASTM D 854-92

AASHTO 100-93

Laboratorista	Responsable	Fecha de Toma	Fecha Ensayo
Sr. Jose Rodriguez.	Ing Luis Cedeño	diciembre, 6 de 2024	diciembre, 2 de 2024

GRAVEDAD ESPECIFICA TESIS-DIOXIDO DE TITANIO (2)

Anexo 21. Resultados del ensayo de Masa Unitaria Suelta.

Áridos para Asfalto - Determinación de la Masa Unitaria y El Porcentaje de Huecos

PROYECTO: TESIS	**LOCALIZACIÓN :** Marcelino Maridueñas
SOLICITADO: ANGIE MARQUEZ - HECTOR HINOJOSA	
	MUESTRA #: M1
DESCRIPCIÓN VISUAL:	

ENSAYO DE MASA UNITARIA SUELTA

ENSAYO #	*1*	*2*	*3*
MASA MATERIAL + RECIPIENTE = P_1	10040	10120	10110
MASA RECIPIENTE = P_2	5557	5557	5557
VOLUMEN DEL RECIPIENTE = V	2836	2836	2836
MASA UNITARIA SUELTA (PVS) kg/m³ = (P1 - P2) ÷ V	1,581	1,609	1,605
PROMEDIO (Kg/m³)		**1598**	

CAPS. No.	*MASA HÚMEDA*	*MASA SECA*	*MASA AGUA*	*MASA CAPS.*	*M. SUELO SECO*	*CONT. HUMEDAD*
J	171,68	169,51	2,17	30,42	139,09	1,56
D	171,52	169,35	2,17	31,73	137,62	1,58

% de Humedad promedio a la cual se realizó el ensayo = 1,57

$$\% \text{ de Huecos} = \frac{(\text{Gravedad Especifica de Volumen DSSS} \times \text{Masa Unitaria del Agua}) - \text{Masa Unitaria Suelta}}{(\text{Gravedad Especifica de Volumen DSSS} \times \text{Masa Unitaria del Agua})} \times 100$$

Gravedad Especifica de Volumen (DSSS)	2,72
% de Huecos	**41%**

ENSAYO DE MASA UNITARIA VARILLADA

ENSAYO #	*1*	*2*	*3*
MASA MATERIAL + RECIPIENTE = P_1	10723	10712	10726
MASA RECIPIENTE = P_2	5557	5557	5557
VOLUMEN DEL RECIPIENTE = V	2836	2836	2836
MASA UNITARIA VARILLADA (PVV) Kg/m³ = (P1 - P2) ÷ V	1,822	1,818	1,823
PROMEDIO		**1821**	

CAPS. No.	*MASA HÚMEDA*	*MASA SECA*	*MASA AGUA*	*MASA CAPS.*	*M. SUELO SECO*	*CONT. HUMEDAD*
J	171,68	169,51	2,17	30,42	139,09	1,56
D	171,52	169,35	2,17	31,73	137,62	1,58

% de Humedad promedio a la cual se realizó el ensayo = 1,57

$$\% \text{ de Huecos} = \frac{(\text{Gravedad Especifica de Volumen DSSS} \times \text{Masa Unitaria del Agua}) - \text{Masa Unitaria Varillada}}{(\text{Gravedad Especifica de Volumen DSSS} \times \text{Masa Unitaria del Agua})} \times 100$$

Gravedad Especifica de Volumen (DSSS)	2,72
% de Huecos	**33%**

Observaciones :

Normas de Referencia:
INEN 858-1982
ASTM C 29-91
AASHTO T 19-93

Laboratorista	**Responsable**	**Fecha Toma Muestra**	**Fecha Ensayo**
Sr. Jose Rodriguez	Ing. Luis Cedeño	diciembre, 2 de 2024	diciembre, 5 de 2024

002-20250206-MASA UNITARIA - M1 (3)

Anexo 22. Resultados del Control de calidad de Mezclas Asfálticas.

PROYECTO :	DISEÑO DE ESTRUCTURA DE LA VIA PERIMETRAL CON PAVIMENTO FOTOCATALITICO PARA TRANSPORTE DE CARGA PESADA EN MARCELINO MARIDUEÑA		
UBICACIÓN :	Marcelino Maridueña		
ESTUDIANTES :	Angie Marquez Tacuri - Hector Hinojosa A	**FECHA TOMA :**	12/1/2025
PROVEEDOR :	Inductroc	**FECHA ENSAYO :**	13/12/2025

CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS

ASTM - D 1559 / AASHTO - T 245

CONTENIDO DE ASFALTO : 6,0 %

R I C E : 2,542

TEMPERATURA : 140,0 °C

ENSAYO

No.	PESO DE MUESTRAS (g)			VOLUMEN (cm³)	GRAV. ESP. MUESTRA COMPAC.	VACIOS (%)	ESTABILIDAD			FLUJO (0.25 mm)
	EN AIRE	EN AGUA	SSS				MEDIDA DE ESTABILIDAD	FACTOR DE CORR.	CORREC. (lb)	
1 (**7%**)	1310,2	772,3	1311,8	540	2429	4,5	3753	0,93	3490	15
2 (**9%**)	1313,8	768,6	1314,9	546	2405	5,4	3915	0,93	3641	17
3 (**10%**)	1309,6	765,8	1311,0	545	2402	5,5	3965	0,93	3687	18

RESULTADOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA COMPACTA :

2412

PORCENTAJE DE VACÍOS :

5,1 %

ESTABILIDAD (CORREGIDA) DE LA MUESTRA :

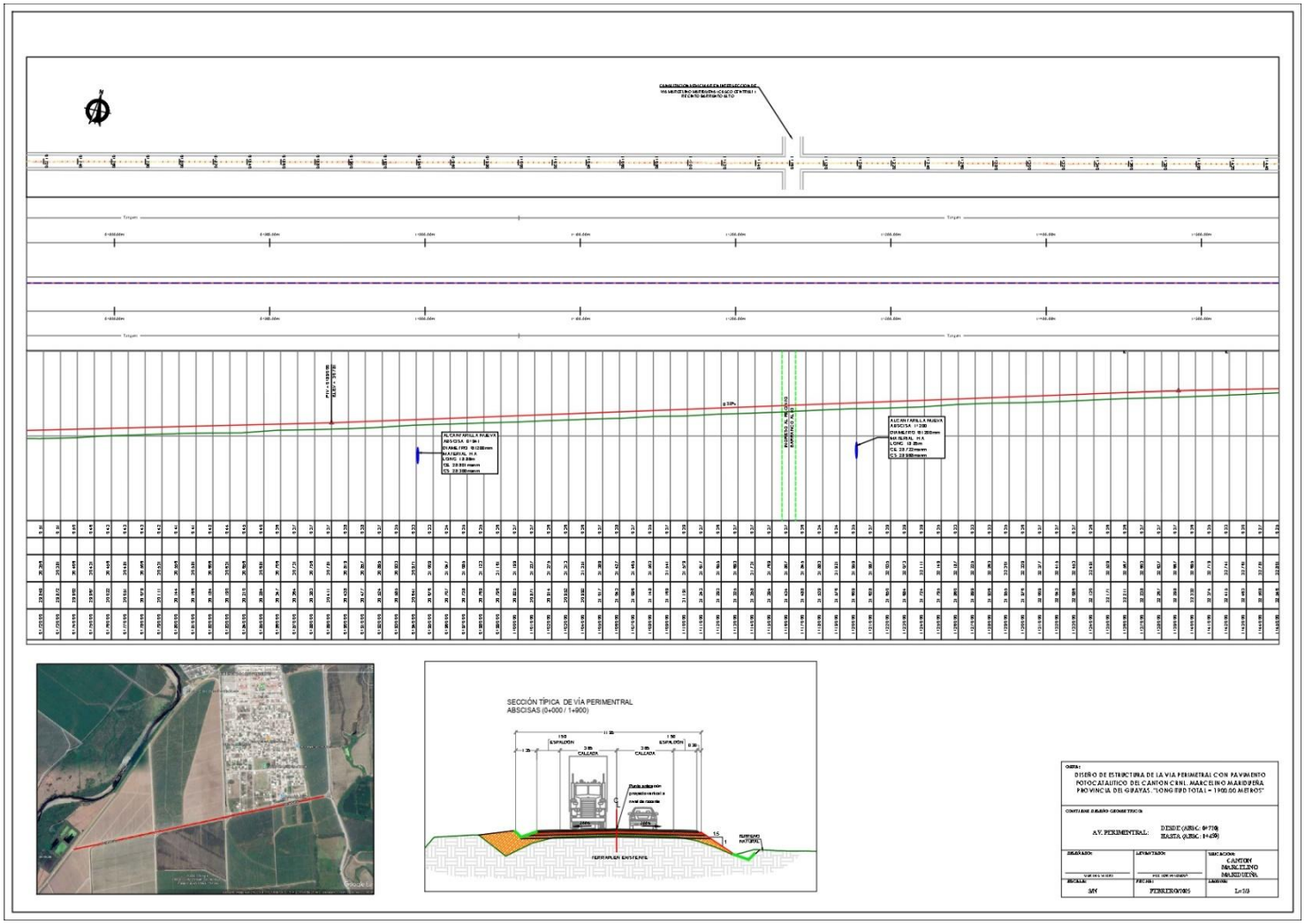
3606 lb

FLUJO DE LA MUESTRA :

16,67

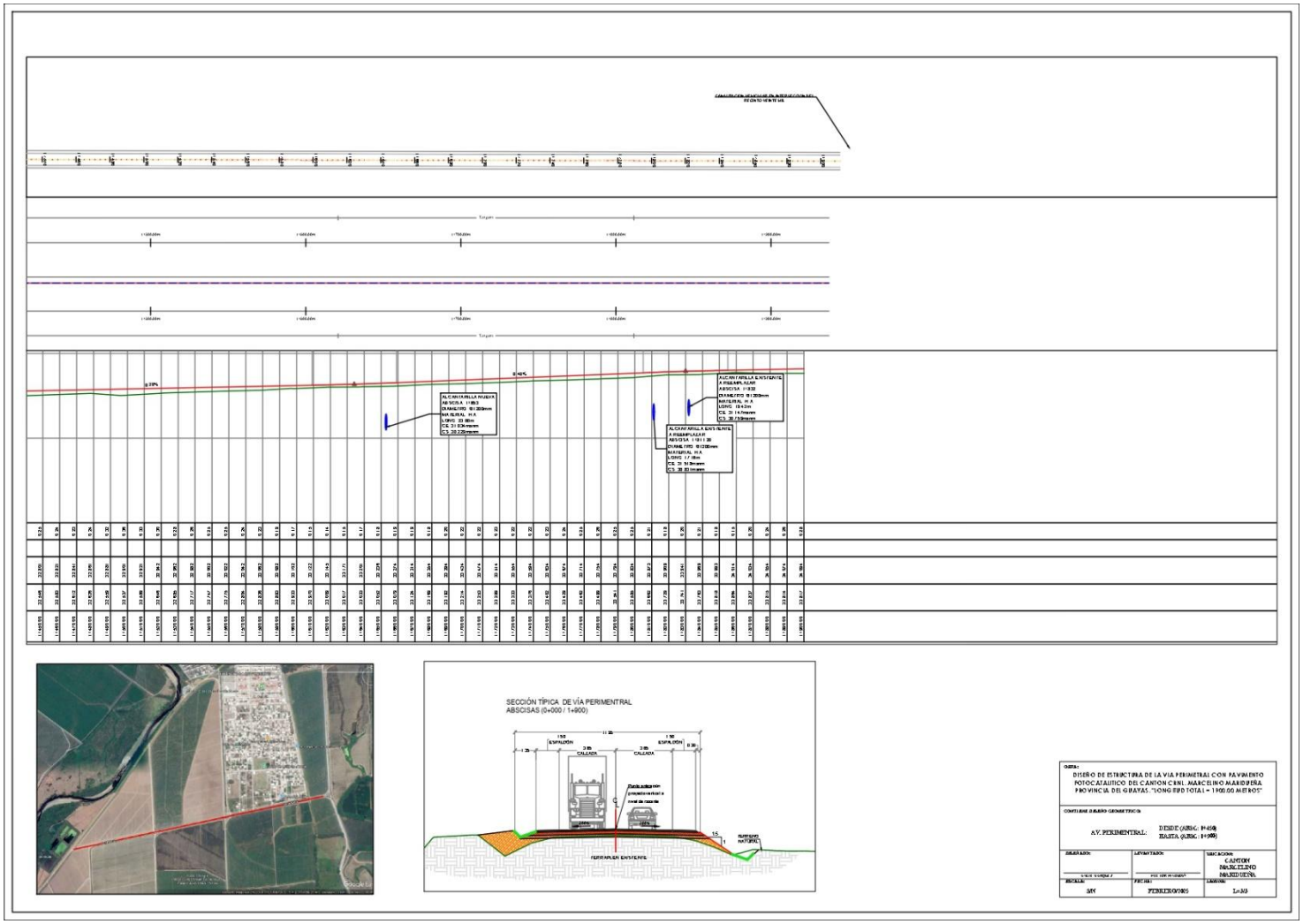
Anexo 23. Diseño estructural de la Vía Perimetral.

Anexo 24. Diseño estructural de la Vía Perimetral.

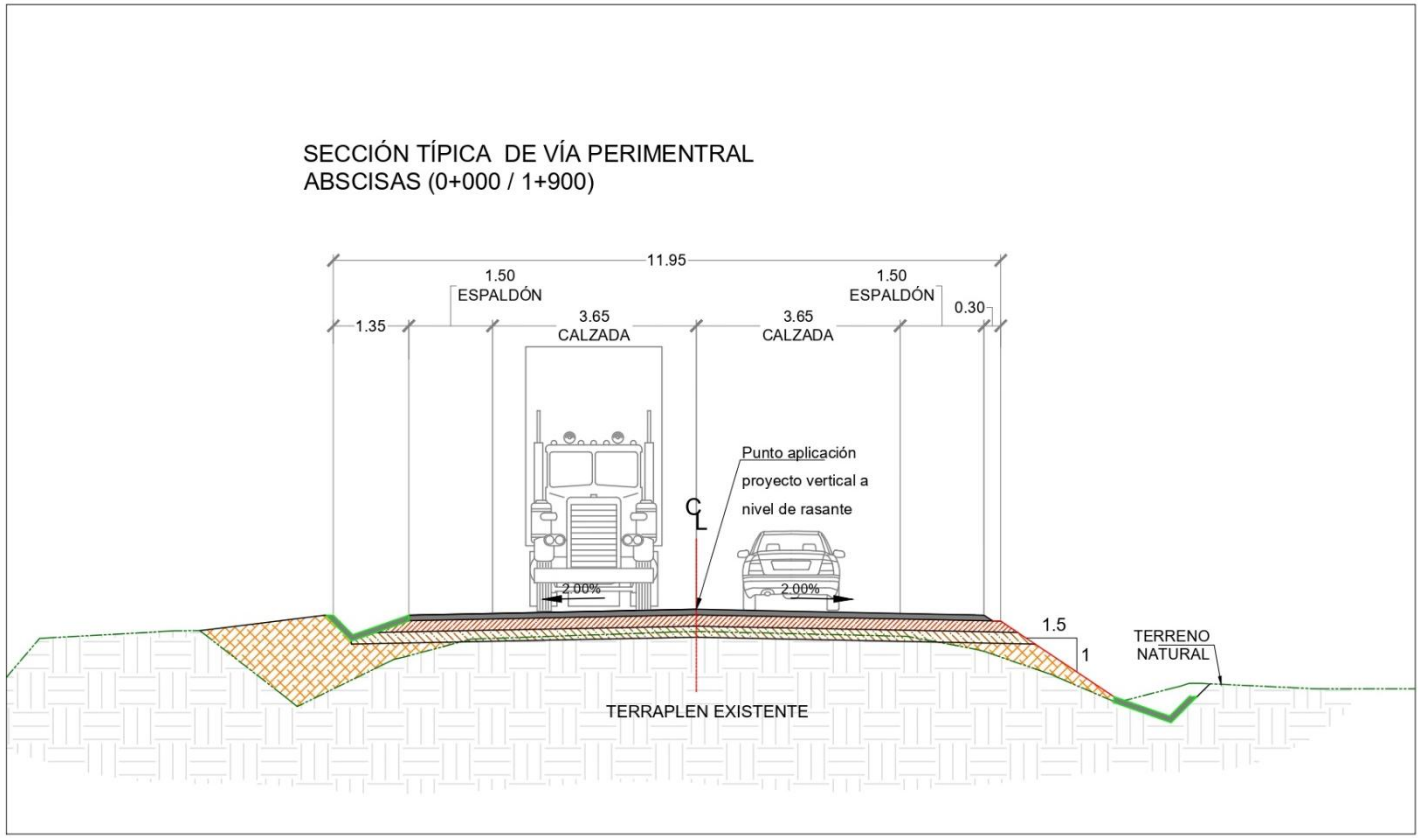


Anexo 25. Diseño estructural de la Vía Perimetral.

Anexo 26. Diseño estructural de la Vía Perimetral.



Anexo 27. Diseño estructural de la Vía Perimetral.



Anexo 28. Presupuesto Referencial.

Determinadas las posibles alternativas que pudieran aplicarse para conformar la nueva estructura de pavimento requerida en el proyecto, se realiza una evaluación económica de cada una de ellas, para recomendar la que mejor convenga a los intereses.

EVALUACIÓN ECONÓMICA (Base granular, sub-base granular y carpeta asfáltica)					
RUBRO	***DESCRIPCIÓN***	***UNIDAD***	***CANTIDAD***	***PRECIO UNIT.***	***PRECIO TOTAL***
1	*Sub-base granular clase 1, Inc. Transporte*	*m3*	*4.762,72*	*$23,40*	*$ 111.447,65*
2	*Base granular Clase 1, Inc. Transporte*	*m3*	*4.762,72*	*$24,23*	*$ 115.400,71*
3	*Imprimación asfáltica*	*m2*	*35.720,40*	*$1,15*	*$ 41.078,46*
4	*Mezcla asfáltica mezclada en caliente e=10 cm. Inc. Transporte*	*m2*	*23.813,60*	*$13,28*	*$ 316.244,61*
				TOTAL	***$ 584.171,42***

EVALUACIÓN ECONÓMICA (Base estabilizada con asfalto y carpeta asfáltica)					
RUBRO	***DESCRIPCIÓN***	***UNIDAD***	***CANTIDAD***	***PRECIO UNIT.***	***PRECIO TOTAL***
1	*Transporte carpeta reciclada*	*m3-Km*	*18.870,00*	*$0,30*	*$ 5.661,00*
2	*Base estabilizada con asfalto reciclada. Inc. Transporte y riego de liga*	*m3*	*1.258,00*	*$65,00*	*$ 81.770,00*
3	*Base estabilizada con asfalto nueva. Inc. Transporte y riego de liga*	*m3*	*3.026,00*	*$105,00*	*$ 317.730,00*
4	*Imprimación asfáltica*	*m2*	*35.720,40*	*$1,15*	*$ 41.078,46*
5	*Mezcla asfáltica mezclada en caliente e=10 cm. Inc. Transporte*	*m2*	*23.813,60*	*$13,28*	*$ 316.244,61*
				TOTAL	***$ 762.484,07***

De acuerdo a la evaluación realizada, podemos concluir que la Alternativa 1 de utilizar para la nueva estructura del pavimento: sub-base granular clase 1, espesor =20cm, base granular clase 1, espesor =20cm, con una carpeta asfáltica mezclada en caliente de 10 cm de espesor, es la opción técnica y económicamente más conveniente para los intereses, por lo que se recomienda su utilización en el proyecto.