



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**MEJORAMIENTO VIAL DEL TRAMO EN 1.5 KM DE LA AVENIDA
MARISCAL SUCRE, UBICADA EN EL BARRIO ARAQUE, PARROQUIA SAN
PABLO DEL LAGO, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero e Ingeniera Civil

AUTOR: Robinson Steven Espinosa Velásquez
Yesenya Jazmin Moreno Anrango

TUTOR: Hugo Patricio Carrión Latorre

Quito - Ecuador
2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Robinson Steven Espinosa Velásquez con documento de identificación N° 1719161604 y Yesenya Jazmin Moreno Anrango con documento de identificación N° 1004382360; manifestamos que:

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

Quito, 27 de marzo del 2025

Atentamente,



Robinson Steven Espinosa Velásquez

1719161604



Yesenya Jazmin Moreno Anrango

1004382360

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

Nosotros, Robinson Steven Espinosa Velásquez con documento de identificación N° 1719161604 y Yesenya Jazmin Moreno Anrango con documento de identificación N° 1004382360; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Mejoramiento vial del tramo en 1.5 km de la avenida mariscal sucre, ubicada en el barrio Araque, parroquia San Pablo del Lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 27 de marzo del 2025

Atentamente,



Robinson Steven Espinosa Velásquez

1719161604



Yesenya Jazmin Moreno Anrango

1004382360

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Hugo Patricio Carrión Latorre con documento de identificación N° 0603015728, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MEJORAMIENTO VIAL DEL TRAMO EN 1.5 KM DE LA AVENIDA MARISCAL SUCRE, UBICADA EN EL BARRIO ARAQUE, PARROQUIA SAN PABLO DEL LAGO, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA, realizado por Robinson Steven Espinosa Velásquez con documento de identificación N° 1719161604 y Yesenya Jazmin Moreno Anrango con documento de identificación N° 1004382360, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple contodos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 27 de marzo del 2025

Atentamente,



Ing. Hugo Patricio Carrión Latorre, MSc.

0603015728

DEDICATORIA

A mi madre, cuyo amor, esfuerzo y dedicación han sido el cimiento sobre el que he construido mis sueños. Gracias por ser mi ejemplo de perseverancia, fortaleza y entrega incondicional. Cada sacrificio que hiciste, cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo fueron fundamentales para que pudiera llegar hasta este momento. Sin tu guía, este camino habría sido mucho más difícil, y sin tu fe en mí, tal vez no habría encontrado la fuerza para superar cada obstáculo. Esta tesis es, en muchos sentidos, tanto tuya como mía, porque detrás de cada logro hay un sinfín de momentos en los que tu presencia fue mi mayor motivación.

A Bastet, por darme fortaleza en los momentos de incertidumbre y por recordarme la importancia de encontrar armonía en cada paso del camino. En los días de mayor presión, hallé en ti un refugio de calma para seguir adelante. A ustedes, les dedico mi triunfo por acompañarme en este proceso y por ser parte de este logro que hoy con orgullo comparto.

Yesenya Jazmin Moreno Anrango

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, cuya guía y fortaleza han sido fundamentales en cada etapa de mi vida y de esta formación académica. Sin su luz, este camino habría sido mucho más difícil de transitar. En los momentos de agotamiento, de duda y de incertidumbre, encontré en Él la serenidad y el impulso necesarios para seguir adelante. Cada logro alcanzado, cada obstáculo superado y cada conocimiento adquirido han sido posibles gracias a su infinito amor que me ha brindado para no rendirme.

Mi más profundo reconocimiento y gratitud están dirigidos también a mi madre, quien con su esfuerzo, dedicación y sacrificio ha sido el pilar fundamental de mi vida. Gracias por ser mi apoyo incondicional, por confiar en mis capacidades y por brindarme las herramientas emocionales y morales necesarias para alcanzar mis metas. Su amor, paciencia y enseñanzas han sido determinantes en mi crecimiento tanto personal como profesional. Cada desvelo, cada palabra de aliento y cada gesto de entrega han dejado una huella imborrable en mi vida y en este proceso que hoy culmina con éxito.

Este logro es el reflejo del esfuerzo conjunto, de la perseverancia y de los valores inculcados en mí desde la infancia. A Dios y a mi madre les debo el haber llegado hasta aquí, y con profundo respeto y gratitud, les agradezco este importante paso en mi formación como ingeniera civil.

Yesenya Jazmin Moreno Anrango

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Problema de estudio.....	3
1.2.1. Antecedentes	3
1.2.2. Importancia y alcance	4
1.2.3. Delimitación	5
1.3. Justificación.....	6
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo General	7
1.4.2. Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1. Geología y Geotecnia	9
2.2. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 1993	9
2.3. Levantamiento Topográfico	10
2.4. Ensayos de Suelos y Asfaltos.....	10
2.5. Normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO).....	10
2.6. Normas de Diseño Geométrico de Carreteras – 2003	11
2.7. Estudio de Tráfico	11
2.7.1. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	11
2.8. Peraltes.....	12
2.9. Drenaje	12
2.10. Mantenimiento de vías.....	12
CAPÍTULO III.....	14
METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo de Investigación	14
3.2. Métodos	15
3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información	16
3.3.1. Encuesta.	16
3.3.2. Cuestionarios	16
3.3.3. Entrevistas en profundidad.....	16
3.3.4. Observación directa	16

3.3.5. Análisis de contenido	16
3.4. Proceso Técnico de Ingeniería Civil.....	17
CAPÍTULO IV	20
DIAGNOSTICO DE LA VÍA	20
4.1. Inspección Visual	20
4.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
4.3. Procedimiento de la investigación y análisis de la información	20
4.4. Registro Fotográfico	22
4.4.1. Fisuración tipo “piel de cocodrilo”:.....	22
4.4.2. Fisuras longitudinales y transversales.....	23
4.4.3. Desgaste superficial y baches.....	23
4.4.4. Baches aislados.....	24
4.5. Espesores de la Vía.....	25
4.6. Anchos de la Vía	27
CAPÍTULO V	29
ESTUDIO DEL TRÁFICO	29
5.1. Alcance	29
5.2. Metodología	29
5.3. Estaciones de conteo.....	30
5.4. Reporte del conteo vehicular.....	32
5.5. Caracterización del tráfico	34
5.6. Trabajo de gabinete.....	36
5.6.1. Determinación de Trafico Promedio Diario Anual- TPDA.....	39
5.6.2. Tráfico promedio diario (TPD)	40
5.6.3. Cálculo del Trafico promedio diario anual (TPDA) en dos sentidos	40
5.6.4. Proyección del tráfico actual.....	42
5.6.4.1.3. Trafico por desarrollado (TD).	45
5.6.5. Asignación del Trafico.....	45
5.7. Clasificación de la Vía Según la Norma de Diseño Geométrico de Carretera MTOP 2003	47
5.8. Número De Ejes Equivalentes Pavimento Flexible	47
5.9. Diseño De Pavimentos Flexibles Método AASHTO 93	50
5.10. Estudio de la Subrasante	50
5.11. CBR de Diseño.....	51
5.12. Módulo Resiliente	52

5.13. Parámetros De Diseño	53
5.13.1. Periodo de diseño:.....	53
5.13.2. Factor de confiabilidad.....	53
5.13.4. Serviciabilidad	54
5.13.4.1. Índice de serviciabilidad Inicial:.....	54
5.13.4.2. Índice de serviciabilidad Final:	54
5.14. Cálculo de espesores de pavimento flexible método AASHTO-93	55
5.14.2.1. Propiedades de los materiales.....	56
5.14.2.1.1. Concreto asfáltico en caliente.....	56
5.14.2.1.2. Propiedades de la base granular	58
5.14.2.1.3. Propiedades de sub-base granular	59
CAPÍTULO VI.....	63
ESTUDIO TOPOGRÁFICO	63
6.1. Antecedentes	63
6.2. Sistema de coordenadas UTM	63
6.3. Trabajo en campo	64
6.3.1. Equipo utilizado.....	64
6.4. Posicionamiento de puntos de control GPS Y BM	65
6.5. Levantamiento topográfico	69
6.6. Trabajo de oficina.....	72
6.7. Tipo de Terreno.....	73
6.8. Poligonal	74
CAPÍTULO VII	76
ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTECNICO	76
7.1. Estudio de suelos.	76
7.2. Análisis geomorfológico	87
7.3. Riesgos Naturales	87
7.4. Fuente de Materiales.....	88
CAPÍTULO VIII.....	90
DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA.....	90
8.1. Normas de Diseño Geométrico	90
8.2. Pendientes máximas y mínimas	91
8.3. Distancia de Visibilidad.....	93
8.4. Secciones y Elementos Típicos	93
8.5. Diseño Horizontal.....	95

8.6.	Diseño Vertical.....	97
8.7.	Volumen Corte y Relleno	99
8.8.	Curva de Masas	101
CAPÍTULO IX.....		103
DISEÑO HIDRAÚLICO		103
9.1.	Estación Hidrológica	103
9.2.	Coeficiente de escorrentía.....	105
9.3.	Método racional.....	106
9.4.	Cunetas.....	108
9.5.	Alcantarillado	110
9.5.1.	Ubicación de alcantarillas	111
CAPÍTULO X		114
PRESUPUESTO		114
10.1.	Antecedentes	114
10.3.	Metodología del Estudio.....	115
10.4.	Costos en la Construcción.....	116
10.5.	Calculo del Costo Horario	117
10.6.	Análisis de Precios Unitarios(APU).....	119
CAPÍTULO XI.....		127
SEÑALIZACIÓN VIAL		127
11.1.	Alcance del Estudio.....	127
11.2.	Seguridad Vial.....	128
11.3.	Medidas de seguridad	128
11.5.	Señalización Vertical.....	129
11.5.1.	Clasificación de las señales verticales de tránsito	129
11.6.	Criterios de instalación	132
11.6.1.	Especificaciones técnicas.....	133
11.6.2.	Mantenimiento	133
11.7.	Delineadores Horizontales	134
11.7.1.	Especificaciones técnicas.....	135
11.7.2.	Mantenimiento	136
11.8.	Ubicación de las Señales a lo Largo de la Vía	136
11.8.1.	Líneas Longitudinales.....	137
11.9.	Señalización temporal para trabajos en la vía y propósitos especiales.	139
CAPÍTULO XII		142

EVALUACIÓN AMBIENTAL	142
12.1. Alcance	142
12.2. Área de influencia económica.....	142
12.3. Descripción del proyecto	144
12.4. Caracterización ambiental.....	145
12.5. Evaluación de impactos ambientales.....	147
12.6. Plan de manejo ambiental.	151
CONCLUSIONES.....	153
RECOMENDACIONES	155
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Patologías en la vía.	21
Tabla 2. Datos de estación de conteo.	31
Tabla 3. Conteo vehicular de Estación 1, sentido Norte- Sur.....	33
Tabla 4. Conteo vehicular de Estación 1, sentido Sur-Norte.	34
Tabla 5. Tabla nacional de pesos y dimensiones.	35
Tabla 6. Clasificación vehicular de estación 1, sentido Norte- Sur.....	37
Tabla 7. Clasificación vehicular de estación 1, sentido Sur-Norte.....	37
Tabla 8. Clasificación vehicular total de estación 1, sentido Norte-Sur y Sur-Norte....	38
Tabla 9. Total, vehículos contabilizados.	39
Tabla 10. Factor de estacionalidad mensual para la provincia de Imbabura.	41
Tabla 11. Factor de incidencia mensual.	41
Tabla 12. Tráfico Promedio Diario Anual.....	42
Tabla 13. Tránsito Promedio Actual.	43
Tabla 14. Tasa de crecimiento Provincia de Imbabura.	44
Tabla 15. Tráfico Promedio Diario Anual Futuro.	46
Tabla 16. Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado.	47
Tabla 17. Factor de distribución por dirección.....	48
Tabla 18. Factor de distribución por carril.....	49
Tabla 19. Tabla del número estructural W18.....	49
Tabla 20. Tabla de Calicatas ensayo CBR.....	51
Tabla 21. Rango de CBR para la clasificación de la subrasante.....	51
Tabla 22. Valor de percentil por nivel de transito.....	52
Tabla 23. Niveles de confiabilidad.....	53
Tabla 24. Rangos recomendados de módulos resilientes.....	57
Tabla 25. Anuario Meteorológico de la estación M0105 Otavalo INAMHI.....	60
Tabla 26. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	61
Tabla 27. Diseño de espesores calculados.....	61
Tabla 28. Coordenadas de la Estación de Referencia Pimampiro (PIEC).	66
Tabla 29. Puntos de control (GPS).....	66
Tabla 30. Nube de Puntos.....	75
Tabla 31. Tangentes y curvas horizontales.....	97
Tabla 32. Tangentes y curvas horizontales.....	99
Tabla 33. Ecuaciones estación meteorológica M0105.	104
Tabla 34. Coeficiente de escorrentía zona rural.	106
Tabla 35. Dimensiones de cuneta.	110
Tabla 36. Costo Horario de Maquinaria.....	118
Tabla 37. Salarios Minimos.....	119
Tabla 38. Costo de Equipos.....	120
Tabla 39. Ubicación de Minas.....	122
Tabla 40. Costo de Transporte de Materiales Petreos.....	122
Tabla 41. Ubicación de Escombreras y Ferretería.....	123
Tabla 42. Resumen de presupuesto.....	125
Tabla 43. Instalación de las Señales Verticales.....	131

Tabla 44. Especificaciones de instalación de las Señales Verticales.....	132
Tabla 45. Especificaciones técnicas de las señales verticales	133
Tabla 46. Especificaciones técnicas de las Señalización Horizontal.....	134
Tabla 47. Instalación de las señalizaciones temporales para trabajos en la vía.....	140
Tabla 48. Parámetros área de implantación, proyecto vial.....	144
Tabla 49. Descripción del proyecto	145
Tabla 50. Evaluación de impactos ambientales desarrollados en el proyecto vial	148
Tabla 51. Sub Plan de Manejo de Residuos y Desechos.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la vía.	6
Figura 2. Patología piel de cocodrilo.	22
Figura 3. Fisuras longitudinales y transversales.	23
Figura 4. Desgaste superficial y baches en la vía.	24
Figura 5. Baches Aislados en la vía.	24
Figura 6. Baches Aislados en la vía.	25
Figura 7. Espesores actuales en la vía.	26
Figura 8. Plano de espesores actuales de la vía.	27
Figura 9. Ancho de la vía actual.	28
Figura 10. Mapa georreferenciado de la estación de conteo.	31
Figura 11. Fotografía del equipo automático RoadPod instalado.	32
Figura 12. Gráfico de distribución del tráfico vehicular.	38
Figura 13. Gráfico de ecuación de AASHTO 93.	56
Figura 14. Coeficiente estructural a partir del módulo elástico del concreto asfaltico.	57
Figura 15. Variación de los coeficientes de capa para bases granulare.	58
Figura 16. Variación de los coeficientes de subbase granular	59
Figura 17. Representación de nuevos diseños calculados.	62
Figura 18. Equipo topográfico.	64
Figura 19. Implantación del punto de control GPS.	67
Figura 20. Implantación del punto de control GPS.	67
Figura 21. Croquis de ubicación del punto de control BM.	68
Figura 22. Croquis de ubicación del punto de control BM.	68
Figura 23. Recolección de los puntos topográficos.	70
Figura 24. Levantamiento de la poligonal.	70
Figura 25. Ajuste de la poligonal.	71
Figura 26. Punto topográfico de la vía.	71
Figura 27. Resultados de laboratorio de suelos.	80
Figura 28. Resultados ensayo Proctor Modificado.	83
Figura 29. Resultados calicata 1.	84
Figura 30. Resultados ensayos DCP.	85
Figura 31. Resultados ensayos CBR.	86
Figura 32. Normativa de diseño en Civil 3D.	91
Figura 33. Pendientes de diseño.	92
Figura 34. Secciones típicas de la vía.	94
Figura 35. Diseño horizontal de la vía.	96
Figura 36. Diseño vertical de la vía.	98
Figura 37. Volumen de corte y relleno.	100
Figura 38. Volumen de corte y relleno.	102
Figura 39. Estación meteorológica en Otavalo.	104
Figura 40. Cuneta triangular.	109
Figura 41. Ubicación alcantarillas.	112
Figura 42. Mapa de Trayectoria de las Minas al proyecto	121
Figura 43. Mapa de Trayectoria de Escombrera y Ferretería.	123

Figura 44. Ubicación longitudinal de las señales viales	137
Figura 45. Líneas segmentadas de separación de circulación opuesta.	139
Figura 46. Colores del recipiente según el residuo a disponer.	152

RESUMEN

El presente trabajo aborda el diseño y mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre, ubicada en la parroquia San Pablo del Lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura. El proyecto tiene como objetivo principal rehabilitar un tramo de 1.5 km mediante la implementación de un pavimento flexible, alineado con las normativas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), para garantizar la seguridad y funcionalidad vial, promoviendo además el desarrollo económico y turístico de la región.

El estudio inicial reveló diversas patologías en la vía, como fisuras, baches y desgaste superficial, atribuibles a factores como el incremento del tráfico vehicular pesado, condiciones climáticas adversas y falta de mantenimiento. Adicionalmente, la ausencia de un sistema de drenaje eficiente ha generado problemas de acumulación de agua y reblandecimiento del pavimento, agravando el deterioro de la infraestructura. Con base en estos hallazgos, se propone una intervención integral que incluye la rehabilitación del pavimento y la implementación de sistemas de drenaje funcionales.

La metodología empleada comprende levantamientos topográficos, ensayos geotécnicos y estudios de tráfico. Los datos recopilados se utilizaron para modelar el diseño geométrico de la vía, incluyendo su trazado horizontal y vertical, así como para determinar los espesores de las capas estructurales del pavimento mediante herramientas como Civil 3D y normas AASHTO. El cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) permitió proyectar las demandas futuras, asegurando que la infraestructura propuesta tenga una vida útil de al menos 20 años.

Palabras clave: Infraestructura vial, Rehabilitación, Pavimento flexible, Drenaje vial, Estudio técnico

ABSTRACT

The present work addresses the design and improvement of Mariscal Sucre Avenue, located in the San Pablo del Lago parish, Otavalo canton, Imbabura province. The main objective of the project is to rehabilitate a 1.5 km stretch through the implementation of a flexible pavement, aligned with the regulations of the Ministry of Transportation and Public Works (MTOP), to guarantee road safety and functionality, also promoting economic and tourism development. of the region.

The initial study revealed various pathologies on the road, such as cracks, potholes and surface wear, attributable to factors such as the increase in heavy vehicular traffic, adverse weather conditions and lack of maintenance. Additionally, the lack of an efficient drainage system has generated problems of water accumulation and softening of the pavement, aggravating the deterioration of the infrastructure. Based on these findings, a comprehensive intervention is proposed that includes pavement rehabilitation and the implementation of functional drainage systems.

The methodology used includes topographic surveys, geotechnical tests and traffic studies. The data collected was used to model the geometric design of the road, including its horizontal and vertical layout, as well as to determine the thicknesses of the structural layers of the pavement using tools such as Civil 3D and AASHTO standards. The calculation of the Annual Average Daily Traffic (APDA) made it possible to project future demands, ensuring that the proposed infrastructure has a useful life of at least 20 years.

Keywords: Road infrastructure, Rehabilitation, Flexible pavement, Road drainage, Technical study

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1.Introducción

El diseño y la mejora de infraestructuras viales representan un pilar fundamental para el desarrollo económico y social de las comunidades. En este contexto, la Avenida Mariscal Sucre, ubicada en la parroquia San Pablo del Lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura, constituye una vía de vital importancia debido a su función como eje de conexión entre diferentes sectores. Sin embargo, el estado actual de esta arteria vial refleja un deterioro significativo que afecta tanto a los usuarios como a la infraestructura en sí. Este proyecto de investigación busca abordar de manera integral los desafíos que presenta la vía, proponiendo soluciones basadas en principios técnicos y normativas vigentes para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

La Avenida Mariscal Sucre ha experimentado un desgaste progresivo debido a factores como el incremento del tráfico vehicular, compuesto principalmente por buses y camiones de carga, así como las condiciones climáticas adversas de la región. Según datos recopilados en inspecciones visuales y diagnósticos técnicos, los principales problemas incluyen fisuras, baches, desgaste superficial y asentamientos diferenciales provocados por intervenciones subterráneas previas. Estas patologías no solo incrementan el riesgo de accidentes, sino que también afectan la movilidad y la calidad de vida de los habitantes locales.

La necesidad de una intervención integral en este tramo de 1.5 km se justifica no solo por razones técnicas, sino también por su impacto en el desarrollo económico y social de la parroquia. La falta de mantenimiento adecuado y la ausencia de un sistema de drenaje eficiente han generado problemas adicionales como acumulación de agua, reblandecimiento del pavimento y daños en redes de alcantarillado y agua potable. En palabras de Ponce et al. (2018), “la preservación de las vías en condiciones óptimas requiere un enfoque integral que considere tanto las necesidades actuales como las proyecciones futuras” (p. 11).

El proyecto de mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre se desarrolla bajo un enfoque técnico-metodológico que incluye estudios topográficos, geotécnicos, de tráfico y diseño geométrico. Estas actividades permiten no solo diagnosticar el estado actual de la vía, sino también planificar intervenciones que optimicen su funcionalidad y seguridad. Por ejemplo, el levantamiento topográfico, realizado con tecnología GNSS y estaciones totales, proporciona datos precisos sobre las pendientes, anchos y secciones transversales, garantizando un diseño acorde con las normativas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2003).

Además, se contemplan ensayos geotécnicos como la granulometría, los límites de Atterberg y el ensayo CBR (California Bearing Ratio) para evaluar la capacidad portante del suelo y determinar los espesores adecuados de las capas estructurales del pavimento. Según Das (2001), “la estabilidad de una estructura vial depende directamente de las propiedades mecánicas del suelo de fundación” (p. 155). Por lo tanto, garantizar una base sólida y estable es un requisito esencial para prolongar la vida útil de la infraestructura.

El diseño geométrico de la vía también juega un papel crucial en el éxito del proyecto. Se ha adoptado el uso de herramientas especializadas como Civil 3D para modelar el trazado horizontal y vertical, así como para definir las secciones transversales y el sistema de drenaje. Estas soluciones tecnológicas permiten optimizar el diseño, garantizando que la infraestructura cumpla con los requisitos de seguridad y funcionalidad. Adicionalmente, se han considerado proyecciones de tráfico a 20 años, basadas en tasas de crecimiento vehicular y factores de estacionalidad, para dimensionar las capas del pavimento y asegurar su resistencia ante el incremento previsto del flujo vehicular.

La ejecución de este proyecto no solo beneficiará a los usuarios directos de la vía, sino que también contribuirá al desarrollo urbano y turístico de la parroquia San Pablo del Lago. Al mejorar la accesibilidad y la imagen de la zona, se espera un incremento en la afluencia de

visitantes, lo que a su vez fortalecerá la economía local. Además, la implementación de sistemas de drenaje eficientes reducirá el impacto de las lluvias intensas, previniendo inundaciones y protegiendo tanto la infraestructura vial como las propiedades aledañas (Sosa, 2006).

En síntesis, el diseño y mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre representa una oportunidad para transformar una vía deteriorada en un corredor funcional, seguro y sostenible. Este proyecto no solo responde a las necesidades inmediatas de la comunidad, sino que también sienta las bases para un desarrollo futuro resiliente frente a los retos del cambio climático y el crecimiento urbano. Al combinar estudios técnicos rigurosos, tecnología avanzada y una planificación integral, se busca garantizar una solución de calidad que beneficie tanto a la población actual como a las generaciones venideras.

1.2.Problema de estudio

1.2.1. Antecedentes

La Avenida Mariscal Sucre, situada en la parroquia San Pablo del Lago, posee un trasfondo histórico significativo. Se considera que su origen se remonta al periodo colonial, cuando servía como camino de tierra utilizado por los habitantes indígenas para el transporte de productos agrícolas.

Con el paso del tiempo, esta vía fue adquiriendo relevancia y, durante la década de 1980, se pavimentó al convertirse en una de las rutas principales de acceso a la parroquia. Actualmente, la avenida presenta un evidente deterioro debido a la falta mantenimiento.

Entre las principales problemáticas se encuentran fisuras, grietas y baches en la calzada. Se presume que una de las principales causas de estos daños es el alto volumen de tráfico, compuesto por vehículos pesados como buses y camiones, cuyo flujo ha aumentado debido al crecimiento poblacional y el desarrollo económico y turístico de la zona. Además, las

condiciones climáticas adversas, como lluvias intensas y bajas temperaturas, también han contribuido al desgaste progresivo del pavimento.

El deterioro ha sido paulatino y está relacionado con la escasa inversión para trabajos de rehabilitación. La falta de atención a aceras, bordillos y señalización, afecta tanto la movilidad de los vehículos como la seguridad de los conductores y peatones.

El tramo de 1.5 km de la Avenida Mariscal Sucre evidencia daños significativos, incluyendo baches, hundimientos y fracturas en el pavimento, lo que incrementa el riesgo de accidentes y genera una percepción negativa sobre la parroquia.

Por otro lado, las intervenciones subterráneas realizadas a lo largo de los años, como la instalación de redes de alcantarillado, agua potable y telecomunicaciones, han contribuido al deterioro de la estructura vial. Las excavaciones y rellenos posteriores a estas obras han generado asentamientos desiguales en el terreno, ocasionando baches y debilitando considerablemente la capa estructural de la vía.

1.2.2. Importancia y alcance

El deterioro de la vía dificulta tanto el tránsito vehicular como el peatonal, provocando un aumento en los tiempos de desplazamiento, generando congestiones y elevando el riesgo de accidentes. Los conductores se ven obligados a disminuir la velocidad para esquivar baches y hundimientos, mientras que los peatones deben sortear estas irregularidades al caminar, lo que incrementa las posibilidades de que los vehículos pierdan el control y ocurran accidentes de tránsito.

El tramo de 1.5 km, ubicado en el barrio "Araque", es una vía clave que conecta la parroquia San Pablo del Lago con el centro de Otavalo. El mal estado de esta avenida dificulta el acceso de vehículos livianos, proyectando una imagen negativa de la zona y afectando al turismo, lo

que genera incomodidades, problemas de salud y una percepción de abandono. Además, en este tramo se ubican diversos negocios y comercios que han visto reducida la afluencia de clientes, afectando sus ingresos. Esto ha ocasionado también una devaluación de las propiedades cercanas.

Por otro lado, este tramo cuenta con redes de alcantarillado, agua potable, telecomunicaciones y electricidad. Sin embargo, el deterioro de la vía ha afectado estas instalaciones, provocando fugas, cortes de servicios y riesgos que comprometen la salud pública.

1.2.3. Delimitación

El lugar del proyecto se halla ubicado en la zona UTM 17N, en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, parroquia San Pablo del Lago, barrio “Araque”, en las abscisas: Estación 0+000 y Estación 1+500. Es un desvío de la Ruta E35, carril Panamericana situada en las siguientes coordenadas como punto de inicio: Latitud: 0.208° N, Longitud: 78.203° O; y, como punto final: Latitud: 0.199° N, Longitud: 78.193° O.

Figura 1.

Localización geográfica de la vía.



Nota. La línea amarilla delimita el tramo de estudio en 1.5 Km de la Av. Mariscal Sucre. Elaborado por: Los Autores, a través de Google Earth Pro, 2023.

1.3. Justificación

La construcción del sistema de alcantarillado en la parroquia San Pablo del Lago ha representado un avance significativo hacia el desarrollo de la comunidad. No obstante, para maximizar los beneficios de esta obra y asegurar el bienestar de los habitantes a largo plazo, resulta fundamental complementar estos esfuerzos con el mejoramiento integral de la Avenida Mariscal Sucre en el tramo de 1.5 km. La inversión en la rehabilitación de la vía no solo protegería la infraestructura del alcantarillado, sino que también generaría beneficios económicos, sociales y ambientales, contribuyendo al desarrollo sostenible de la parroquia.

La mejora de este tramo ofrecería beneficios tanto tangibles como intangibles para distintos sectores de la comunidad, especialmente para los residentes de la zona, al crear un entorno más limpio, ordenado y seguro. Esto incrementaría la calidad de vida, promoviendo un espacio más agradable y seguro para el tránsito vehicular y peatonal. Asimismo, la renovación

de la avenida impulsaría a los negocios locales y mejoraría la experiencia de los visitantes, fortaleciendo la competitividad y atrayendo un mayor flujo de turistas gracias a la mejora de la imagen urbana y la accesibilidad a los atractivos turísticos de la parroquia.

El proyecto es viable, ya que cuenta con respaldo técnico suficiente para llevar a cabo estudios topográficos y con el compromiso institucional de supervisar adecuadamente los análisis técnicos necesarios para el diseño de la obra. Además, existen recursos económicos disponibles para cubrir los gastos relacionados con los viáticos y otras necesidades durante la ejecución del proyecto.

Con un diseño adecuado y una planificación cuidadosa, se estima que la rehabilitación del tramo de 1.5 km de la Avenida Mariscal Sucre tendría una vida útil de 20 años, siempre y cuando se realicen los mantenimientos correspondientes. Para garantizar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo, será fundamental contar con el respaldo de instituciones públicas, como el Municipio, el GAD y la comunidad local, además de implementar medidas que aseguren la durabilidad de la infraestructura vial.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Mejorar la vía correspondiente al tramo desde la abscisa 0+000 hasta la 1+500 de la Avenida Mariscal Sucre ubicada en el Barrio Araque, mediante el diseño de un pavimento flexible que cumpla con la normativa y lineamientos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios y así promover el turismo de la zona.

1.4.2. Objetivos Específicos

Diagnosticar el estado actual del tramo 1.5 Km de la vía, identificando los principales problemas y sus causas, con el fin de evaluar las alternativas de solución propuestas y seleccionar la más adecuada.

Realizar el levantamiento topográfico de la vía, utilizando los equipos respectivos, para planificar el trazado del tramo, el diseño de la sección transversal, y el sistema de drenaje de la vía.

Calcular el tráfico promedio diario anual (TPDA), a través de un conteo automático vehicular con el equipo RoadPod VT4 - VT4 5904, con el objetivo de obtener la cantidad de vehículos que transitan por la carretera.

Diseñar la vía en el tramo 1.5 Km, aplicando el programa CivilCAD, para perfeccionar el proceso de creación de la propuesta de mejoramiento para el barrio “Araque”.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Geología y Geotecnia

La geotecnia desempeña un papel fundamental en el diseño de pavimentos flexibles, proporcionando información crucial sobre las propiedades del suelo que sustentan la estructura vial. Según Das, B. M. (2001):

Para analizar problemas tales como la compresibilidad de los suelos, la fuerza de sustentación de los cimientos, la estabilidad de terraplenes y la presión lateral en las estructuras de retención de tierra, los ingenieros necesitan saber la naturaleza de la distribución del esfuerzo a lo largo de una sección transversal dada del perfil del suelo. (p. 155)

Esta información es esencial para determinar el espesor adecuado de las capas del pavimento, garantizando su estabilidad y durabilidad a largo plazo.

2.2. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 1993

El Método de Diseño de Pavimentos Flexibles es un procedimiento ampliamente utilizado para determinar el espesor requerido de las capas estructurales de un pavimento flexible, considerando el tráfico vehicular, las características del subsuelo y los materiales de pavimentación. (AASHTO 1993 Guide for the Design of Pavement Structures). El Método de Diseño de Pavimentos Flexibles es una herramienta valiosa para el diseño estructural de pavimentos en carreteras y autopistas. Su simplicidad, versatilidad y base empírica lo convierten en un método ampliamente utilizado y reconocido a nivel internacional. Sin embargo, es importante ser consciente de sus limitaciones y considerar factores adicionales.

El espesor del pavimento debe ser suficiente para soportar las cargas impuestas por el tráfico vehicular sin presentar fallas estructurales. La capacidad portante del

subsuelo juega un papel fundamental en el diseño del pavimento. Los materiales de pavimentación deben ser de buena calidad y cumplir con las especificaciones técnicas establecidas.

2.3. Levantamiento Topográfico

Es importante conocer el significado de levantamiento topográfico. Según, Vargas (2023) es el “Conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar la posición de puntos en el espacio y su representación en un plano”, (p. 2). Su aplicación permite obtener información precisa sobre el terreno existente, lo que es esencial para el diseño, la planificación, la construcción y el control de calidad de las obras. La realización de levantamientos topográficos de calidad contribuye a garantizar un mejoramiento de vías eficiente, seguro y económico lo cual permite la representación gráfica del proyecto en el programa CivilCad.

2.4. Ensayos de Suelos y Asfaltos

La norma INEN 1511, manifiesta que los "Métodos de Ensayo para Materiales de Construcción - Suelos y Asfaltos es una norma ecuatoriana que establece los procedimientos estándar para realizar ensayos en suelos y asfaltos destinados a su uso en proyectos de construcción". Por lo tanto, se garantiza la calidad de los materiales utilizados en proyectos de construcción en Ecuador. Su aplicación es esencial para asegurar el buen desempeño y la durabilidad de las obras de infraestructura, prevenir fallas estructurales, optimizar el uso de los materiales y promover prácticas constructivas sostenibles.

2.5. Normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)

La Norma De Diseño Geométrico De Carreteras (MOP 2003), al tratar sobre el transporte y obras públicas expresa que: “Constituye una directriz técnica para el desarrollo de la infraestructura vial y del transporte en el Ecuador”. Garantizando de esta

manera la seguridad vial, la funcionalidad y la eficiencia del sistema de transporte en Ecuador. Su aplicación es esencial para el desarrollo económico y social del país.

2.6. Normas de Diseño Geométrico de Carreteras – 2003

Las vías de comunicación son elementos esenciales para el desarrollo social, económico y productivo de un país. Sin embargo, con el paso del tiempo, estas vías pueden presentar deterioros que afectan su funcionalidad, seguridad y capacidad de servicio. Las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras “son un conjunto de regulaciones establecidas en Ecuador para el diseño y mejoramiento de vías, con el objetivo de garantizar la seguridad, funcionalidad y eficiencia del sistema vial” (MOP-2003). Esto implica a la relevancia que tienen todos los estudios mencionados ya que cada estudio tiene su proceso e importancia en el diseño geométrico de carreteras.

2.7. Estudio de Tráfico

2.7.1. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El estudio de tráfico es fundamental para determinar la demanda actual y futura de la vía, permitiendo un diseño adecuado y eficiente. “El TPDA es el número de vehículos que pasan por un punto dado de una vía en un periodo de 24 horas consecutivas promediados en los 365 días del año en ambas direcciones del tráfico” (Sosa, 2006, p. 58). Se calcula mediante mediciones continuas o estudios de muestreo y se utiliza para establecer los parámetros que deben ser considerados en el estudio de tráfico, como el volumen vehicular, la composición del tráfico, las características de los vehículos y las tendencias de crecimiento del tráfico. También establece los criterios para determinar las velocidades de diseño para diferentes tipos de vehículos y condiciones de operación, considerando la seguridad vial y la fluidez del tráfico.

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

2.8.Peraltes

El peralte es un elemento imprescindible de la seguridad vial, ya que permite que los vehículos tomen las curvas de manera segura y cómoda. Según Vergara, Villalba, y Vargas (2012), “Se define la rampa de peraltes como la diferencia relativa que existe entre la inclinación del eje longitudinal de la calzada y la inclinación del borde de la misma” (p. 77). Dicha inclinación tiene como objetivo contrarrestar la fuerza centrífuga que actúa sobre los vehículos al tomar un giro. Esta fuerza, que surge como consecuencia de la inercia del vehículo, tiende a desplazarlo hacia el exterior de la curva, lo que podría ocasionar accidentes como derrapes o vuelcos.

2.9.Drenaje

El drenaje es fundamental para evacuar las aguas pluviales de la vía y evitar problemas que pueden afectar la carretera como:

Disminución de la adherencia entre las llantas de los vehículos y la superficie por la acumulación de agua sobre la calzada, el agua da origen a baches y reblandecimiento del pavimento, si el nivel freático está próximo a la superficie se puede producir el fenómeno de ascenso capilar. (Sosa, 2006, p. 163)

Es importante definir los tipos de drenaje y establecer los criterios para el diseño y construcción de cunetas, alcantarillas, canales y sistemas de drenaje subterráneo considerando el volumen de agua a evacuar, la pendiente del terreno, el tipo de suelo y las condiciones climáticas.

2.10. Mantenimiento de vías

Define las actividades que deben ser realizadas en cada tipo de mantenimiento. Según Ponce, Cantos, Lucio, Garcés, Delgado, Reyes, y Campozano (2018) “Engloba aquel conjunto de actividades encaminadas a preservar tales vías en condiciones de circulación segura, cómoda y fluida a un mínimo costo global para la sociedad” (p. 11).

Ante lo citado, es fundamental la programación del mantenimiento de vías, considerando el estado de la vía, el tipo de tráfico y el presupuesto disponible.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

Para este proyecto técnico se aplicará la Investigación de Campo que es un método de recolección de datos que se lleva a cabo en el entorno natural donde ocurren los fenómenos estudiados (Emerson, M, Fretz, I, & Shaw, L, 2011). Para el mejoramiento de la avenida Mariscal Sucre la investigación de campo es fundamental para recopilar información precisa y detallada sobre la situación actual de la Avenida, y así identificar las necesidades y prioridades para su mejoramiento. Al ser una herramienta invaluable para comprender los problemas y necesidades de la comunidad en relación con la Avenida Mariscal Sucre. Al aplicar este tipo de investigación de manera responsable y ética, se puede contribuir a la identificación de soluciones efectivas y sostenibles para el mejoramiento de la avenida y el bienestar de la comunidad.

Además, se aplicará la investigación experimental que es:

Un método científico que busca establecer relaciones causales entre variables. Se caracteriza por la manipulación deliberada de una o más variables independientes para observar su efecto sobre una variable dependiente, controlando al mismo tiempo otras variables externas que puedan influir en el resultado (Campbell, & Stanley, 1963).

La investigación experimental puede ser una herramienta valiosa para evaluar la efectividad de diferentes soluciones para el mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre. Al aplicar este tipo de investigación de manera rigurosa y responsable, se puede contribuir a mejorar la seguridad vial, la calidad de vida de la comunidad y el desarrollo sostenible de San Pablo de Lago.

3.2. Métodos

La combinación de métodos cuantitativos y cualitativos puede proporcionarnos una base sólida para el desarrollo de soluciones efectivas y sostenibles para el mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre. Según (Miles, Huberman, y Saldaña, 2014):

Mientras que los métodos cualitativos se centran en el "cómo" y el "por qué" de los fenómenos sociales, los métodos cuantitativos se enfocan en el "cuánto" y el "qué". Ambos enfoques pueden complementarse, proporcionando una visión integral cuando se combinan en estudios de métodos mixtos” (p. 239).

La convergencia de hallazgos obtenidos por métodos distintos fortalece la confiabilidad de los resultados y reduce la posibilidad de errores.

El método de observación ha sido seleccionado como una de las herramientas principales de investigación para este proyecto, debido a que es “una técnica de recolección de datos utilizada en la investigación cualitativa y cuantitativa, que implica el registro sistemático de los comportamientos y eventos tal como ocurren en su entorno natural” (Bryman, A, 2016). A través de este método se puede recopilar información directa y detallada sobre la situación actual de la Avenida, como realizar observaciones sistemáticas del flujo vehicular en diferentes horarios del día y días de la semana.

El método analítico ha sido seleccionado en este proyecto como la estrategia principal de investigación debido a su capacidad para proporcionar una comprensión detallada y profunda de la investigación que se centra en descomponer un fenómeno complejo en sus componentes más simples para estudiar cada parte por separado y comprender cómo se interrelacionan (Kerlinger, N., y Lee, B, 2000). A su vez podemos evaluar la situación actual de la Avenida con el análisis de Tráfico creando tablas y mapas

para presentar los datos de tráfico de manera clara y concisa. La visualización de datos facilita la comprensión de patrones y tendencias.

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

3.3.1. Encuesta.

Diseñar encuestas estructuradas para recopilar datos cuantitativos sobre las opiniones, necesidades y experiencias de los usuarios de la avenida, incluyendo conductores, peatones, ciclistas y residentes.

3.3.2. Cuestionarios

Elaborar cuestionarios con preguntas cerradas y abiertas para recopilar datos estandarizados y permitir una exploración más profunda de las opiniones y experiencias de los usuarios.

3.3.3. Entrevistas en profundidad

Realizar entrevistas individuales con actores clave, como autoridades locales, adultos mayores que residen años en la localidad, representantes de la comunidad y usuarios de la avenida, para obtener sus perspectivas y opiniones en profundidad sobre los problemas que han palpado y el proceso de vida útil que se le ha dado a la avenida.

3.3.4. Observación directa

Llevar a cabo observaciones sistemáticas del comportamiento del tráfico, la infraestructura vial y el entorno de la avenida para identificar problemas y oportunidades de mejora que podrían no ser evidentes a través de encuestas o entrevistas.

3.3.5. Análisis de contenido

Examinar documentos, publicaciones en redes sociales y otros materiales relacionados con la avenida para comprender las percepciones y opiniones de la comunidad sobre su estado actual y las necesidades de mejora

3.4. Proceso Técnico de Ingeniería Civil

Para la primera fase del proyecto se realizará una inspección visual directa, donde se podrá analizar el estado actual de la vía como una etapa fundamental en el proceso de rehabilitación, ya que la observación de la superficie permite identificar los deterioros, deformaciones, estado de drenajes, anchos de la vía y fallas presentes en la estructura del pavimento. Con base en el diagnóstico y la severidad de los deterioros, se podrá seleccionar el tipo de rehabilitación más adecuado, para llevar a cabo la rehabilitación completa. Al mismo tiempo la información obtenida a través de este proceso de igual forma permitirá tomar decisiones enfocadas sobre los materiales y técnicas de construcción que serán adecuados, la optimización de costos y la prevención de deterioros futuros.

Se ejecutará el levantamiento topográfico de la vía como el segundo proceso técnico indispensable para el mejoramiento de la vía, el cual proporcionará información crucial para la definición del trazado, la optimización del movimiento de tierras, y la planificación de obras complementarias. Se definirá el trazado horizontal y vertical de la vía por medio del levantamiento altimétrico donde se fijará las elevaciones del terreno en diferentes puntos, permitiendo establecer la pendiente longitudinal y transversal de la vía, así como identificar zonas de corte y relleno. Se obtendrá el levantamiento planimétrico para representar gráficamente la forma y dimensiones del terreno, incluyendo límites de propiedad, obstáculos naturales o artificiales, y la ubicación de elementos existentes como edificaciones o redes de servicios públicos. Se planifica realizar un diseño bien elaborado que permita optimizar el trazado de la vía, garantizando la seguridad vial, facilitando el flujo vehicular mediante la ejecución de la obra de manera eficiente y segura.

Entre los procesos técnicos a realizar, se tomará consideraciones geotécnicas importantes donde se realizará pruebas de laboratorio sobre muestras de suelo que

permitirán determinar parámetros físicos y mecánicos relevantes, como realizar ensayos de granulometría, empleando tamices de diferentes tamaños para separar las partículas del suelo y determinar su distribución granulométrica, así mismo la clasificación por grupo AASHTO y límites de Atterberg, la resistencia al corte y la consolidación del suelo sobre el que se asienta la avenida. En el estudio de campo se ejecutará sondeos y pruebas in situ, como el ensayo de CBR (California Bearing Ratio) que evalúa la capacidad de soporte del suelo para soportar las cargas del tráfico vehicular y determinar el espesor adecuado de la base y la capa de rodadura. Finalmente se efectuará ensayos de compactación que determinan la densidad seca máxima y la humedad óptima del suelo para garantizar una base firme y estable para la pavimentación, utilizando cilindros de compactación estándar o de Proctor para compactar el suelo a diferentes niveles de humedad la cual también proporciona información valiosa sobre la estratigrafía y las propiedades del suelo en profundidad.

Se utilizará el TPDA como un indicador fundamental para el diseño de pavimentos, ya que refleja el nivel de uso de una vía y permite determinar los requisitos estructurales necesarios para garantizar su durabilidad a largo plazo. Su determinación se ejecutará a partir de la obtención de información del tipo de tráfico vehicular que circulará por la vía, considerando factores como la carga por eje sobre el volumen vehicular diario, la composición vehicular, el porcentaje de livianos, buses, y camiones, para lo cual se cuenta con la implementación de un sistema de monitoreo continuo del tráfico, a través de sensores que nos permitirá conocer las tendencias de crecimiento del tráfico en tiempo real y analizar patrones de comportamiento. En el análisis estadístico se aplicará metodologías estadísticas para determinar el TPDA actual y proyectarlo a futuro, considerando factores como el crecimiento poblacional, el desarrollo económico y la

planificación urbana, lo que nos permitirá establecer los requisitos de diseño para el pavimento, incluyendo el espesor de las capas estructurales.

En último lugar se realizará el diseño de la vía en el tramo de 1.5 Km, lo que implica un proceso integral y eficiente que abarca diversos aspectos técnicos y de ingeniería para garantizar la funcionalidad y seguridad de la infraestructura vial. Este proceso se desarrollará con la recopilación y análisis de datos, para el modelado digital del terreno se creará un modelo digital del terreno (MDT) utilizando los datos topográficos recopilados, permitiendo una representación precisa del terreno para el diseño de la vía, además se utilizará las herramientas de diseño geométrico de CivilCAD para definir el trazado horizontal y vertical de la vía, la sección transversal y el perfil longitudinal, así como también se ocupará las herramientas de diseño de pavimentos para determinar el diseño de cunetas, alcantarillas, los espesores de las capas estructurales, seleccionar los materiales de pavimentación y diseñar el sistema de drenaje. Para la visualización se generará una representación 3D del diseño de la vía, permitiendo una visualización integral del proyecto y facilitando la identificación de posibles interferencias o errores de diseño, y se culminará validando el diseño de la vía mediante simulaciones y análisis computacionales, asegurando que cumpla con los requisitos técnicos y de seguridad establecidos.

CAPÍTULO IV

DIAGNOSTICO DE LA VÍA

4.1. Inspección Visual

El diagnóstico de la Avenida Mariscal Sucre se llevó a cabo mediante una exhaustiva evaluación de las condiciones actuales de la vía. Se realizaron inspecciones visuales en campo, complementadas con levantamientos topográficos y geotécnicos. Estos trabajos permitieron identificar y cuantificar los deterioros existentes en el pavimento, como baches, grietas, deformaciones y pérdida de adherencia.

Asimismo, se evaluó el estado de los sistemas de drenaje, señalización vertical y horizontal, y las condiciones geométricas de la vía, tales como peraltes, radios de curvatura y pendientes. Los resultados obtenidos de este diagnóstico permitieron determinar el nivel de servicio actual de la vía y establecer las necesidades de intervención para mejorar su funcionalidad y seguridad.

4.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para el diagnóstico de la vía, se empleó la técnica de observación directa, permitiendo un contacto in situ con las condiciones del pavimento y el entorno vial. A través de esta metodología, se registraron detalladamente las características del pavimento, la presencia de grietas, baches, deformaciones, deterioros, la señalización vertical y horizontal, y otras variables relevantes utilizando formatos diseñados específicamente para carreteras con carpeta asfáltica, lo que permitió identificar las principales patologías presentes en la vía y evaluar su gravedad, proporcionando así una base sólida para la planificación de las intervenciones de mejora.

4.3. Procedimiento de la investigación y análisis de la información

La fase de trabajo de campo se inició con una inspección visual detallada de la Avenida Mariscal Sucre, abarcando un tramo de 1.5 km. Se identificaron y clasificaron los daños en el pavimento según su tipo; grietas, baches, deformaciones, severidad y

extensión. Para facilitar el registro de la información, se utilizaron formatos propios para el diagnóstico de pavimentos asfálticos flexibles.

A continuación, se presenta una tabla de algunos ejemplos de los daños encontrados:

Tabla 1.

Patologías en la vía.

ABSCISA	TIPO DE DETERIORO	TRATAMIENTO REQUERIDO	UNIDAD	CANTIDAD
0+130.25	Piel de cocodrilo	Bacheo asfáltico	m3	0.54
0+185.00	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	6.50
0+462.36	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	2.20
0+470.84	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	4.50
0+596.14	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	20.20
0+613.56	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	3.50
0+699.24	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	8.40
0+756.36	Piel de cocodrilo	Bacheo asfáltico	m3	0.12
0+801.36	Fisura pequeña severidad media a baja	Sello asfáltico	m2	124.86
0+850.14	Agrietamiento en bloque	Bacheo asfáltico	m3	2.68
0+901.15	Zona con alta concentración de baches (bacheos antiguos)	Bacheo asfáltico	m3	3.14
0+920.13	Bache	Bacheo asfáltico	m3	0.53
0+956.48	Bache	Bacheo asfáltico	m3	0.24
0+977.36	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	20.20
1+036.45	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	7.56
1+045.96	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	4.59
1+110.56	Agrietamiento en bloque	Bacheo asfáltico	m3	3.57
1+190.56	Agrietamiento en bloque	Bacheo asfáltico	m3	2.36
1+256.78	Estancamiento de agua	Control de pendiente	m2	2.40
1+313.25	Piel de cocodrilo	Bacheo asfáltico	m3	0.46
1+396.23	Bache	Bacheo asfáltico	m3	0.39
1+406.13	Bache	Bacheo asfáltico	m3	0.78
1+410.89	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	15.68
1+456.41	Fisura longitudinal	Sello de fisuras	m	3.48
1+483.69	Agrietamiento en bloque	Bacheo asfáltico	m3	1.23

Nota. Tipos de deterioro de la vía con su respectiva abscisa. Elaborado por: Los autores.

Lo anterior es un resumen de las patologías encontradas pues de manera general se puede indicar que la vía presenta varias patologías las cuales se explican en el punto de registro fotográfico.

4.4. Registro Fotográfico

La patología de los pavimentos flexibles se caracteriza por la presencia de diferentes tipos de daños. Estos pueden clasificarse en cinco grandes categorías: fisuras, deformaciones, pérdida de las capas de la estructura, daños superficiales y afloraciones de agua, de finos, y desplazamiento de bermas.

4.4.1. Fisuración tipo “piel de cocodrilo”:

Localización: Distribuida de manera generalizada en la calzada.

Severidad: Media a alta.

Causa probable: Fatiga del pavimento debido a la pérdida de capacidad estructural, envejecimiento y tráfico constante. La infiltración de agua ha acelerado este deterioro.

Figura 2.

Patología piel de cocodrilo.



Nota. Fotografía de una patología localizada en la vía. Elaborado por: Los Autores

4.4.2. Fisuras longitudinales y transversales

Localización: A lo largo de las juntas y bordes de la calzada, afectando principalmente el eje central y zonas de contacto con los bordillos.

Severidad: Media.

Causa probable: Defectos en la construcción de juntas, movimientos térmicos y rigidez del pavimento por envejecimiento.

Figura 3.

Fisuras longitudinales y transversales.



Nota. Fotografía de una patología localizada en la vía. Elaborado por: Los Autores

4.4.3. Desgaste superficial y baches

Localización: Zonas de rodadura con alto tráfico vehicular.

Severidad: Alta.

Causa probable: Abrasión constante causada por el tránsito vehicular, pérdida de adherencia y exposición prolongada a condiciones climáticas.

Figura 4.

Desgaste superficial y baches en la vía.



Nota. Fotografía de una patología localizada en la vía. Elaborado por: Los Autores

4.4.4. Baches aislados

Localización: Próximos a las fisuras más críticas y áreas reparadas previamente.

Severidad: Baja a media.

Causa probable: Infiltración de agua a través de fisuras no selladas, pérdida de cohesión entre capas y deficiencias en reparaciones anteriores.

Figura 5.

Baches Aislados en la vía.



Nota. Fotografía de una patología localizada en la vía. Elaborado por: Los Autores

Figura 6.

Baches Aislados en la vía.



Nota. Fotografía de una patología localizada en la vía. Elaborado por: Los Autores

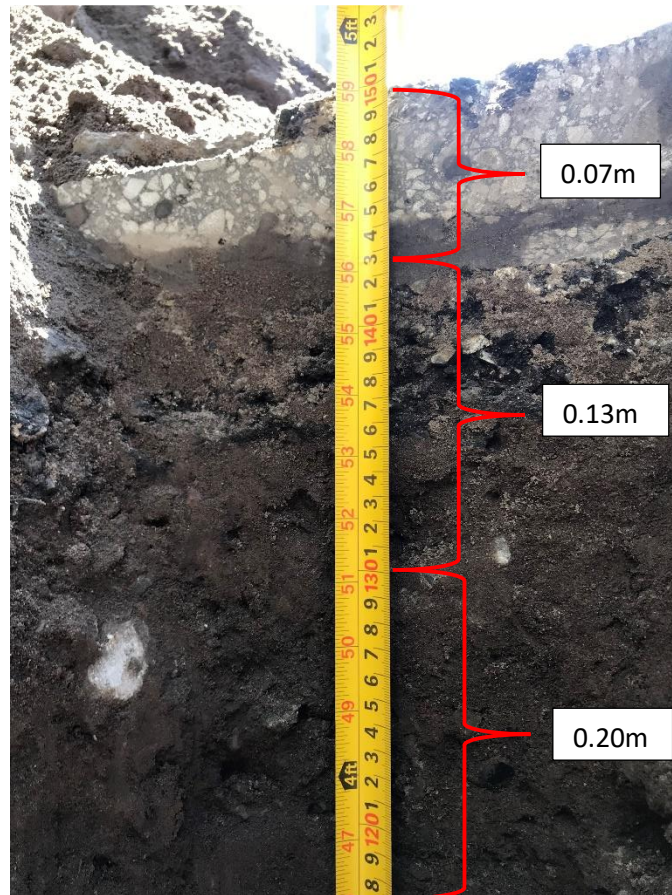
4.5.Espesores de la Vía

La evaluación de los espesores de la vía existente en la Avenida Mariscal Sucre se llevó a cabo mediante la realización de calicatas. Los resultados obtenidos permitieron determinar que los espesores actuales de las capas asfálticas y de la base granular no cumplen con los requerimientos establecidos en las normas técnicas ecuatorianas para el tipo de tráfico y las condiciones climáticas de la zona.

Se identificaron secciones con espesores insuficientes, especialmente en las zonas de mayor deterioro, lo que ha contribuido a la aparición de los daños observados. En base a estos resultados, se propone una nueva estructura vial con espesores de capas adecuados para garantizar la durabilidad y la capacidad portante de la vía.

Figura 7.

Espesores actuales en la vía.

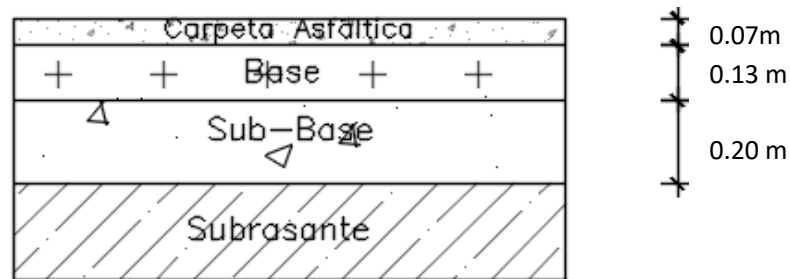


Nota. Fotografía de los espesores obtenidos por medio de calicata realizada. Elaborado por: Los Autores

La evaluación de los espesores existentes mediante calicatas reveló que el espesor promedio de la capa asfáltica es de 7.5 cm, mientras que la base granular presenta un espesor de 13 cm. Estos espesores resultan insuficientes para soportar las cargas actuales del tráfico, especialmente en las zonas cercanas a las paradas de buses, donde se observan mayores deformaciones. Los ensayos de laboratorio realizados en las muestras de suelo y material asfáltico permitieron determinar los parámetros mecánicos necesarios para el diseño estructural.

Figura 8.

Plano de espesores actuales de la vía.



Nota. Dibujo CAD de Espesores actuales de la vía. Elaborado por: Los Autores

4.6. Anchos de la Vía

La evaluación del ancho de la vía existente en la Avenida Mariscal Sucre reveló que en diversos tramos se presentan secciones con un ancho inferior a lo establecido en las normas técnicas ecuatorianas para vías urbanas. Estas restricciones geométricas generan dificultades en la circulación vehicular, limitan la visibilidad y aumentan el riesgo de accidentes. Además, se identificaron puntos críticos donde la presencia de obstáculos fijos, como postes de alumbrado público o señalización, reducen aún más el ancho disponible. Con el fin de mejorar la seguridad vial y la capacidad de la vía, se propone ampliar el ancho de calzada en los tramos críticos, considerando las características del entorno urbano y las necesidades de los usuarios.

El diseño de los nuevos anchos de vía se realizó considerando los volúmenes de tráfico actuales y proyectados, el tipo de vehículos que circulan por la zona y las normas técnicas vigentes. Se aplicaron los criterios de diseño geométrico establecidos en las normas ecuatorianas para vías urbanas, considerando los parámetros de velocidad de diseño, radios mínimos de curvatura y peraltes. Se estableció un ancho de calzada de 6 metros, que permitirá garantizar una circulación vehicular segura y fluida.

La evaluación del ancho de calzada existente en la Avenida Mariscal Sucre reveló un ancho promedio de 6 metros, sin embargo, en algunos tramos, el ancho se reduce a 5 metros debido a la presencia de obstáculos fijos.

De acuerdo con El Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Ecuador, para vías urbanas se recomienda un ancho de calzada de 7 metros sin embargo el proyecto se desarrolla en un área netamente urbana por lo que se tienen viviendas construidas muy próximas a los costados de las vías, motivo por el cual se considera que el área de calzada sea de 6 metros dejando un espacio libre de 1.20 m para las obras de drenaje vial.

Figura 9.

Ancho de la vía actual.



Nota. La línea roja muestra el ancho de la vía con presencia de obstáculos fijos.

Elaborado por: Los Autores

CAPÍTULO V

ESTUDIO DEL TRÁFICO

5.1. Alcance

El conteo volumétrico de tráfico es una herramienta fundamental para la planificación y diseño del proyecto de mejora vial. Con una visión de 10 a 20 años, este estudio de tráfico busca proporcionar una base sólida para la planificación estratégica de la movilidad en la zona de estudio. Se analizarán los impactos de diferentes escenarios de crecimiento vehicular y se evaluarán las alternativas de mejora vial a largo plazo en el tramo de 1.5 km de la Avenida Mariscal Sucre, ubicado en el barrio Araque.

Este estudio nos permite calcular indicadores clave como el volumen diario promedio anual (VDPA), el factor hora pico (FHP) y la distribución modal del tráfico. Además, se realizarán análisis de perfiles de velocidad para identificar secciones con problemas de congestión o exceso de velocidad. Esta información detallada permitirá dimensionar adecuadamente la capacidad de la vía, identificar los puntos conflictivos y evaluar la efectividad de las medidas de mitigación propuestas y realizar proyecciones a futuro sobre la demanda vehicular.

5.2. Metodología

El estudio de tráfico para el mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre se llevó a cabo mediante la implementación de un conteo vehicular automático utilizando un equipo RoadPod VT4-VT4 5904. Este dispositivo de última generación permitió registrar el número de vehículos, velocidad, su tipología y el sentido de circulación. El RoadPod VT4 emplea dos canales y cuatro mangueras neumáticas para supervisar y registrar el tráfico en vías con varios carriles permitiendo capturar información en tiempo real sobre los vehículos que transitan por la vía, generando una base de datos robusta para el análisis posterior.

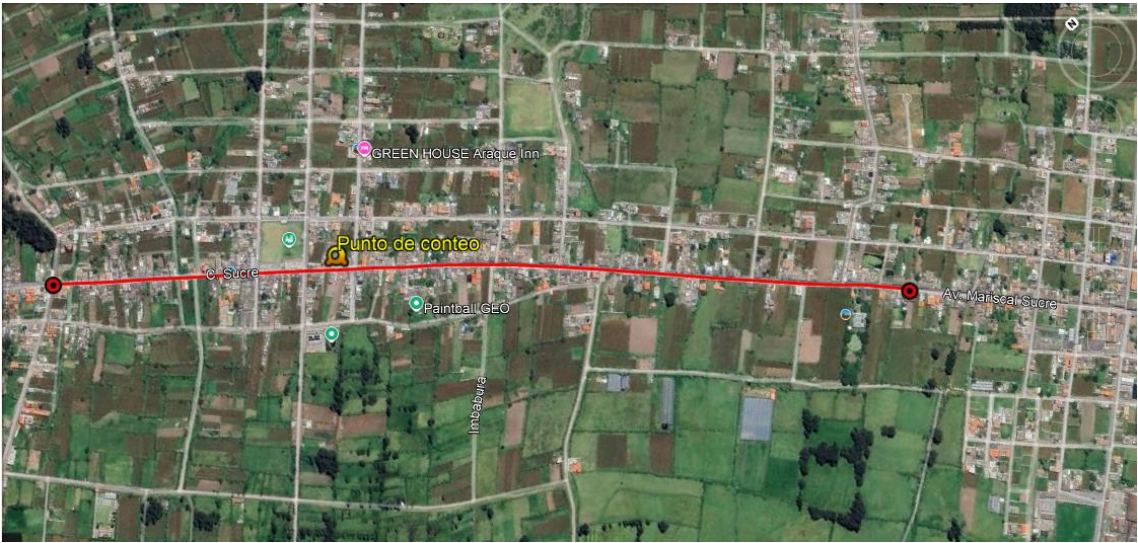
5.3.Estaciones de conteo.

Para llevar a cabo el conteo volumétrico de tráfico se estableció la estación de conteo en un punto estratégico a lo largo del tramo a intervenir. El equipo RoadPod VT4-VT4 5904 fue instalado en la abscisa 0+485 de la Avenida Mariscal Sucre, coordenadas, Latitud: 0.205348° N, Longitud: 78.199583° O debido a que este punto concentra un alto flujo vehicular y representa una sección crítica de la vía. La estación de conteo se ubicó en el centro del carril, sobre una base estable, para garantizar la precisión de las mediciones.

Durante el período de conteo, que abarcó desde el 23 de octubre del 2024 y permaneció en funcionamiento de manera ininterrumpida durante siete días, hasta el miércoles 30 de octubre del mismo año, se registraron condiciones climáticas variables, incluyendo días soleados, nublados y sin precipitaciones. Los datos obtenidos fueron procesados utilizando el software Metrocount, lo cual permitió generar informes detallados sobre el comportamiento del tráfico en el punto de estudio.

Figura 10.

Mapa georreferenciado de la estación de conteo.



Nota. Ubicación de la estación de conteo vehicular. Elaborado por: Los autores a través de Google Earth Pro, 2024.

Tabla 2.

Datos de estación de conteo.

ESTACIÓN DE CONTEO	(KM) DE LA ESTACIÓN DE CONTEO	COORDENADAS	
		LATITUD	LONGITUD
1	0+485	0°12'19.59"N	78°11'58.62"O

Nota. Ubicación de la estación de conteo automático RoadPod. Elaborado por: Los autores.

Figura 11.

Fotografía del equipo automático RoadPod instalado.

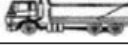


Nota. La fotografía muestra el equipo automático en operación. Elaborado por: Los autores

5.4. Reporte del conteo vehicular.

Para obtener los datos recopilados por el equipo ROAD POD VT 5900, es necesario descargar la información del software MetroCount Traffic Executive (MTE). Cabe señalar que la categorización ofrecida por el software no coincide con la categorización otorgada por el MTOP.

Tabla 3.*Conteo vehicular de Estación 1, sentido Norte- Sur*

<u>NORTE - SUR - S1</u>					
TIPO		EJES	DESCRIPCIÓN		CANT.
1	SV	2	Short- Car, Light Van		5774
2	SVR	3, 4 OR 5	Short Towing-Trailer, Caravan, Boat, etc.		30
3	TB2	2	Two axle truck or Bus		1449
4	TB3	3	Three axle truck or Bus		10
5	T4	>3	Four axle truck		6
6	ART3	3	Three axle articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer		1
7	ART4	4	Four axle articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer		5
9	ART6	>=6	Six (or more) axle articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer		3
14	M/C	2	Motocycle		549
15	BICYCLE	2	Bicycle		39

Nota. Se realizó el respectivo conteo del carril 1, con la clasificación vehicular que se descargó del software MetroCount Traffic Executive (MTE). Elaborado por: Los Autores

Tabla 4.*Conteo vehicular de Estación 1, sentido Sur-Norte.*

<i>SUR - NORTE- S2</i>					
TIPO		EJES	DESCRIPCIÓN		CANT.
1	SV	2	Short- Car, Light Van		1875
2	SVR	3, 4 OR 5	Short Towing-Trailer, Caravan, Boat, etc.		4
3	TB2	2	Two axle truck or Bus		840
4	TB3	3	Three axle truck or Bus		7
5	T4	>3	Four axle truck		1
6	ART3	3	Three axle articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer		2
7	ART4	4	Four axle articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer		3
9	ART6	>=6	Six (or more) axle articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer		1
14	M/C	2	Motocycle		34
15	BICYCLE	2	Bicycle		4

Nota. Se realizó el respectivo conteo del carril 2, con la clasificación vehicular que se descargó del software MetroCount Traffic Executive (MTE). Elaborado por: Los autores.

5.5. Caracterización del tráfico

A partir de la información recabada en campo mediante el equipo ROAD POD VT 5900, se procedió a analizar, interpretar y procesar los conteos vehiculares, con el objetivo de determinar la composición del tráfico en función de la clasificación establecida en la Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones de Vehículos de Diseño. Los resultados de este análisis se presentan a continuación.

Tabla 5.

Tabla nacional de pesos y dimensiones.

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D		 	CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7	5,00	3,00
2DA		 	CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10	7,50	3,50
2DB		 	CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18	12,20	4,10
3-A		 	CAMIÓN DE 3 EJES	27	12,20	4,10
4-C		 	CAMIÓN DE 4 EJES	31	12,20	4,10
4-0 octonue		 	CAMIÓN CON TAMDEM DIRECCIONAL Y TAMDEM POSTERIOR	32	12,20	4,10
V2DB		 	VOLQUETA DE DOS EJES 8 m³	18	12,20	4,10
V3A		 	VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m³	27	12,20	4,10
VZS		 	VOLQUETA 25 DE 3 EJES 16 m³	27	12,20	4,10
T2		 	TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES	18	8,50	4,10
T3		 	TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES	27	8,50	4,10
S3		 	SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	24	13,00	4,10
S2		 	SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	20	13,00	4,10
S1		 	SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	11	13,00	4,10
R2		 	REMOLQUE DE 2 EJES	22	10,00	4,10
R3		 	REMOLQUE DE 3 EJES	31	10,00	4,10
B1		 	REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE	11	10,00	4,10
B2		 	REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES	20	10,00	4,10
B3		 	REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES	24	10,00	4,10

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)			
				Largo	Ancho	Alto	
2S1			TRACTO CAMIÓN DE 2 Ejes Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	29	20,50	2,60	4,30
2S2			TRACTO CAMIÓN DE 2 Ejes Y SEMIREMOLQUE DE 2 Ejes	38	20,50	2,60	4,30
2S3			TRACTO CAMIÓN DE 2 Ejes Y SEMIREMOLQUE DE 3 Ejes	42	20,50	2,60	4,30
3S1			TRACTO CAMIÓN DE 3 Ejes Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	38	20,50	2,60	4,30
3S2			TRACTO CAMIÓN DE 3 Ejes Y SEMIREMOLQUE DE 2 Ejes	47	20,50	2,60	4,30
3S3			TRACTO CAMIÓN DE 3 Ejes Y SEMIREMOLQUE DE 3 Ejes	48	20,50	2,60	4,30
2R2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 Ejes Y REMOLQUE DE 2 Ejes	40	20,50	2,60	4,30
2R3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 Ejes Y REMOLQUE DE 3 Ejes	48	20,50	2,60	4,30
3R2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 Ejes Y REMOLQUE DE 2 Ejes	48	20,50	2,60	4,30
3R3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 Ejes Y REMOLQUE DE 3 Ejes	48	20,50	2,60	4,30
2B1			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 Ejes Y REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE	29	20,50	2,60	4,30
2B2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 Ejes Y REMOLQUE BALANCEADO DE 2 Ejes	38	20,50	2,60	4,30
2B3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 Ejes Y REMOLQUE BALANCEADO DE 3 Ejes	42	20,50	2,60	4,30
3B1			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 Ejes Y REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE	38	20,50	2,60	4,30
3B2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 Ejes Y REMOLQUE BALANCEADO DE 2 Ejes	47	20,50	2,60	4,30
3B3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 Ejes Y REMOLQUE BALANCEADO DE 3 Ejes	48	20,50	2,60	4,30

Nota. Clasificación vehicular según la tabla nacional de pesos y dimensiones. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016.

5.6.Trabajo de gabinete

Con el objetivo de determinar el volumen y composición del tráfico, se realizó un conteo vehicular continuo durante una semana. La clasificación de los vehículos se efectuó de acuerdo con la normativa MTOP. Tras un detallado análisis de los datos en gabinete, se presentan los resultados en las tablas adjuntas.

Tabla 6.

Clasificación vehicular de estación 1, sentido Norte- Sur

ESTACIÓN: 1			UBICACIÓN: Av. Mariscal Sucre				DIRECCION: Norte - Sur			
FECHA: OCTUBRE			HORAS: 24 HORAS				ENCUESTADOR RoadPod 5904			
CLASIFICACIÓN (MTO)	LIVIANOS	BUS	2D	2DA	2DB	3A	4O	2S1	4C	3S3
GRÁFICOS										
CLASIFICACIÓN (MTE)	1=SV	TB2 - TB3	1=SV	2=SVT	3=TB2	4=TB3	5=T4	6=ART3	7=ART4	9=ART6
FECHA										
Miercoles	23/10/2024	571	94	5	2	235	3	0	0	0
Jueves	24/10/2024	740	54	7	2	312	3	1	0	0
Viernes	25/10/2024	778	75	6	4	259	0	0	0	0
Sábado	26/10/2024	1327	37	4	9	141	1	3	0	1
Domingo	27/10/2024	1657	42	7	12	312	2	2	1	4
Lunes	28/10/2024	221	79	8	1	162	1	0	0	0
Martes	29/10/2024	39	17	6	0	28	0	0	0	0
Total vehiculos	5333	398	43	30	1449	10	6	1	5	3

Nota. Se realizó el respectivo conteo del carril 1 con la clasificación vehicular que establece la tabla nacional de pesos y dimensiones. Elaborado por: Los Autores

Tabla 7.

Clasificación vehicular de estación 1, sentido Sur-Norte.

ESTACIÓN: 1		UBICACIÓN: Av. Mariscal Sucre					DIRECCION: Sur - Norte			
FECHA: OCTUBRE		HORAS: 24 HORAS					ENCUESTADOR: RoadPod 5904			
CLASIFICACIÓN (MTO)	LIVIANOS	BUS	2D	2DA	2DB	3A	4O	2S1	4C	3S3
GRÁFICOS										
CLASIFICACIÓN (MTE)	1=SV	TB2 - TB3	1=SV	2=SVT	3=TB2	4=TB3	5=T4	6=ART3	7=ART4	9=ART6
FECHA										
Miercoles	23/10/2024	194	163	7	0	164	2	0	0	1
Jueves	24/10/2024	96	143	5	0	119	1	0	0	0
Viernes	25/10/2024	75	96	6	0	83	1	1	0	0
Sábado	26/10/2024	194	101	8	2	95	1	0	1	0
Domingo	27/10/2024	338	137	5	2	173	0	0	1	0
Lunes	28/10/2024	79	75	7	0	101	2	0	0	0
Martes	29/10/2024	57	81	8	0	105	0	0	1	0
Total vehiculos		1033	796	46	4	840	7	1	2	1

Nota. Se realizó el respectivo conteo del carril 2 con la clasificación vehicular que establece la tabla nacional de pesos y dimensiones. Elaborado por: Los Autores

Tabla 8.

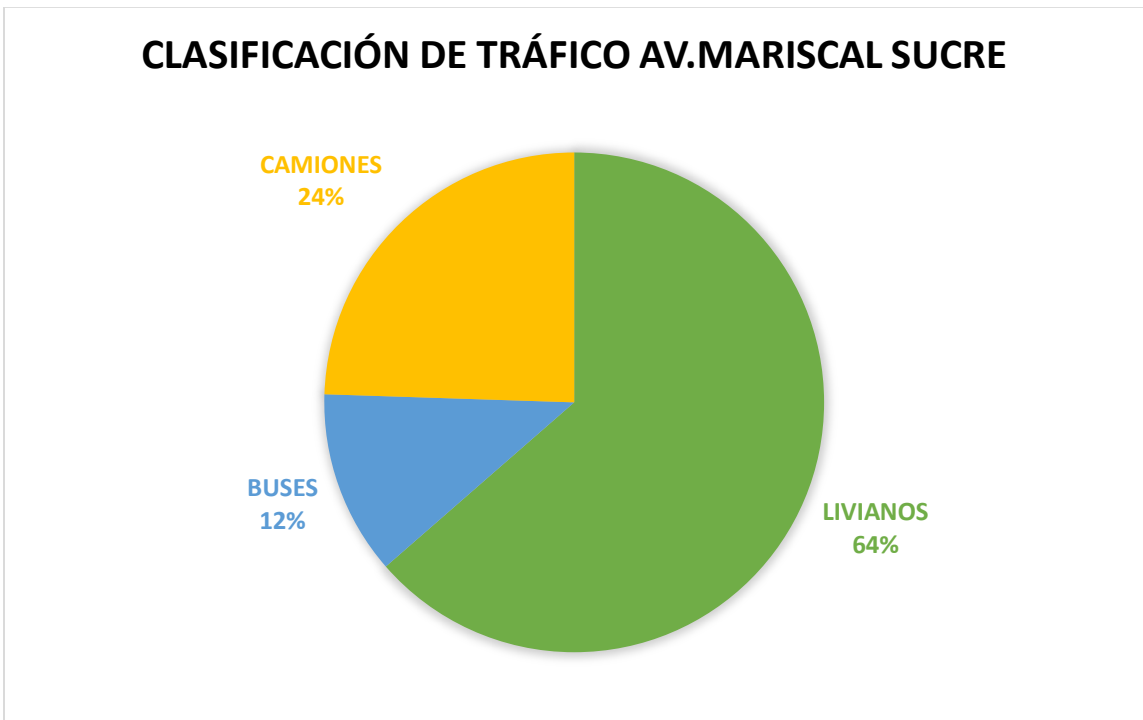
Clasificación vehicular total de estación 1, sentido Norte-Sur y Sur-Norte

ESTACIÓN: 1		UBICACIÓN: Av. Mariscal Sucre					DIRECCION: Ambos sentidos			
FECHA: OCTUBRE		HORAS: 24 HORAS					ENCUESTADOR: RoadPod 5904			
CLASIFICACIÓN (MTOP)	LIVIANOS	BUSES	2D	2DA	2DB	3A	4O	2S1	4C	3S3
GRÁFICOS										
FECHA										
Miercoles	23/10/2024	765	257	12	2	399	5	0	0	1
Jueves	24/10/2024	836	197	12	2	431	4	1	0	0
Viernes	25/10/2024	853	171	12	4	342	1	1	0	0
Sábado	26/10/2024	1521	138	12	11	236	2	3	1	1
Domingo	27/10/2024	1995	179	12	14	485	2	2	2	2
Lunes	28/10/2024	300	154	15	1	263	3	0	0	0
Martes	29/10/2024	96	98	14	0	133	0	0	1	0
TOTAL	6366	1194	89	34	2289	17	7	3	8	4

Nota. Se realizó el conteo total de los dos carriles con la clasificación vehicular que establece la tabla nacional de pesos y dimensiones. Elaborado por: Los autores.

Figura 12.

Gráfico de distribución del tráfico vehicular.



Nota. Se presenta el Gráfico de la distribución porcentual de los vehículos que transitan por la vía. Elaborado por: Los autores.

5.6.1. *Determinación de Trafico Promedio Diario Anual- TPDA*

La determinación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) en la Avenida Mariscal Sucre es fundamental para dimensionar adecuadamente las obras de mejora vial. Para obtener este indicador, se realizó el conteo vehicular en un punto estratégico a lo largo del tramo en estudio. Al ser la avenida de estudio una vía de doble sentido, se contabilizó el tráfico en ambas direcciones, registrando los datos de cada sentido para asegurar la precisión en cálculos posteriores como el TPDA. Este último requirió considerar factores como la tasa de crecimiento vehicular, los ajustes estacionales y una proyección a 20 años. Los datos obtenidos fueron procesados para calcular el TPDA, el cual representa el número promedio de vehículos que transitan por la vía en un día.

Tabla 9.

Total, vehículos contabilizados.

TIPO	CARRIL1	CARRIL2	SUMA
LIVIANOS	5333	1033	6366
BUS	398	796	1194
2D	43	46	89
2DA	30	4	34
2DB	1449	840	2289
3A	10	7	17
4O	6	1	7
2S1	1	2	3
4C	5	3	8
3S3	3	1	4

Nota. Conteo total de los dos carriles realizados durante los 7 días de la semana.
Elaborado por: Los autores.

5.6.2. Tráfico promedio diario (TPD)

Representa el promedio de vehículos que circulan diariamente durante una semana de conteo. Se calcula dividiendo el número total de vehículos contabilizados entre los días de análisis.

$$TPD = \frac{\text{Total vehiculos contabilizados}}{\text{Total días contabilizados}}$$

Livianos.

$$TPD = \frac{6366 \text{ veh\acute{u}culos}}{7 \text{ d\acute{ı}as}}$$

$$TPD = 909.43 \frac{\text{veh\acute{u}culo}}{\text{d\acute{ı}a}}$$

5.6.3. Cálculo del Trafico promedio diario anual (TPDA) en dos sentidos

5.6.3.1.Factor mensual.

Este factor está calculado en función del consumo de combustible de la provincia de Imbabura, dependiendo del mes que se haga el estudio, en este caso fue realizado en el mes de octubre.

Tabla 10.

Factor de estacionalidad mensual para la provincia de Imbabura.

Mes	Factor de Estacionalidad
ENERO	1.0264868
FEBRERO	1.0838301
MARZO	0.9851175
ABRIL	1.0053703
MAYO	0.9566909
JUNIO	1.0012302
JULIO	0.9961436
AGOSTO	0.9584561
SEPTIEMBRE	1.0014053
OCTUBRE	0.9977258
NOVIEMBRE	1.0211906
DICIEMBRE	0.9746999

Nota. Factores mensuales de incidencias en el aforo vehicular de la provincia de Imbabura. Fuente: Departamento de la Dirección de Estudios del MTOP 2023- QUITO.

Una vez que tenemos la tabla observamos y buscamos el mes con el cual fue realizado el conteo vehicular y podremos sacar el valor del factor mensual.

Tabla 11.

Factor de incidencia mensual.

Provincia	Factor de Estacionalidad
Imbabura	0.9977258

Nota. Factor mensual de Imbabura. Fuente: Departamento de la Dirección de Estudios del MTOP 2023- QUITO.

Livianos

$$TPDA = TPDO * Fm$$

$$TPDA = 909.43 * 0.9977$$

$$TPDA = 907.3383$$

Tabla 12.*Tráfico Promedio Diario Anual.*

Tipo de Vehículos	Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)	Tráfico Promedio Diario (TPD)	Factor Mensual (Fm)	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)
LIVIANOS	6366	909	0.9977	907
BUS	1194	171	0.9977	170
2D	89	13	0.9977	13
2DA	34	5	0.9977	5
2DB	2289	327	0.9977	326
3A	17	2	0.9977	2
4O	7	1	0.9977	1
2S1	3	0	0.9977	0
4C	8	1	0.9977	1
3S3	4	1	0.9977	1

Nota. Tráfico Promedio Diario Anual de Diseño para la vía de estudio. Elaborado por los Autores.

5.6.4. Proyección del tráfico actual

El tráfico futuro estará marcado por una evolución significativa, impulsada por tecnologías avanzadas, cambios en los patrones de movilidad y un enfoque creciente en la sostenibilidad. En resumen, el tráfico futuro será más eficiente, seguro, sostenible y adaptado a las necesidades de una sociedad en constante evolución.

El diseño del mejoramiento vial se fundamenta en una proyección a 20 años del flujo vehicular, siguiendo las directrices del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2003). Esta proyección, que considera el crecimiento natural del tráfico, es generada por nuevos desarrollos y la clasificación de las carreteras, es esencial para determinar la velocidad de diseño y otros parámetros geométricos del proyecto. Debido a la escasez de datos estadísticos, se empleará un modelo de crecimiento lineal basado en el tráfico actual para realizar las proyecciones a 20 años mediante regresión lineal.

$$TPDA_{futuro} = TPDA_{actual} * (1 + i)^n$$

Donde:

n: Número de años que se va a proyectar la vía

i: Tasa de crecimiento anual

Tabla 13.

Tránsito Promedio Actual.

TIPO DE VEHICULOS.	TRÁFICO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)	TRÁFICO PROMEDIO DIARIO (TPD)	FACTOR MENSUAL (Fm)	TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE TRÁFICO	TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ACTUAL
LIVIANOS	6366	909	0.9977	907	4.47	2174
BUS	1194	171	0.9977	170	2.33	270
2D	89	13	0.9977	13	2.82	22
2DA	34	5	0.9977	5	2.82	8
2DB	2289	327	0.9977	326	2.82	569
3A	17	2	0.9977	2	2.82	4
4O	7	1	0.9977	1	2.82	2
2S1	3	0	0.9977	0	2.82	1
4C	8	1	0.9977	1	2.82	2
3S2	4	1	0.9977	1	2.82	1
3S3	0	0	0.9977	0	2.82	0
VIA CLASE I						3053

Nota. Se presenta el Tráfico Promedio Diario Actual al año 2024. Elaborado por los Autores.

5.6.4.1.Tasa de crecimiento vehicular

En el contexto de los proyectos viales del MTOP, las tasas de crecimiento del tráfico vehicular son un indicador clave para prever la demanda futura y dimensionar adecuadamente la infraestructura. Para el caso específico de Imbabura, se ha recopilado información detallada sobre estas tasas con el fin de realizar proyecciones precisas y garantizar la sostenibilidad de las obras. Por esta razón la vía o carretera que se diseñara

no se basara solamente en el tráfico actual sino también en el incremento de tránsito que se espera que usen la carretera que se propone.

Tabla 14.

Tasa de crecimiento Provincia de Imbabura.

Provincia	Periodo	Tasas de Crecimiento (%) - Liviano	Tasas de Crecimiento (%) - Bus	Tasas de Crecimiento (%) - Camión
IMBABURA	2020-2025	5.23	2.73	3.3
IMBABURA	2025-2030	4.65	2.43	2.94
IMBABURA	2030-2035	4.18	2.18	2.64
IMBABURA	2035-2045	3.8	1.98	2.4
Promedio		4.47	2.33	2.82

Nota. Porcentajes de crecimiento para los tipos de vehículos al 2045. Fuente: Departamento de la Dirección de Estudios del MTOP 2023- QUITO.

5.6.4.1.1. Tráfico atraído o desviado (Ta). Se refiere al aumento en el volumen vehicular debido a mejoras en una vía, como la reducción del tiempo de viaje, mayor seguridad y confort. Según la AASHTO, este incremento suele oscilar entre el 5% y 8% del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA). En el caso de una nueva vía, este porcentaje puede ser mayor. Para el presente proyecto de tesis sobre el mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre en Otavalo, es importante considerar este factor en un 5%, al estimar el aumento en el flujo vehicular.

5.6.4.1.2. Tráfico generado (TG). Es el tránsito de viajes totalmente nuevos y viajes que antes se hacían por otro medio de transporte, es el que se obtiene de forma adicional, como resultado de aquel que se va estableciendo como consecuencia de la rehabilitación y política de mantenimiento que se imponga y que, según el MOP este efecto suele manifestarse en un plazo de dos años. La normativa AASHTO establece un rango de valores para el TG, que puede variar entre el 5% y el 25% del Tráfico Promedio Diario

Anual (TPDA). Para el presente estudio, se ha seleccionado un valor del 5% como punto de partida, lo cual implica que $TG = 12\% * TPDA$. Esta estimación será utilizada para evaluar la capacidad de la vía mejorada y dimensionar adecuadamente los elementos de la infraestructura vial.

5.6.4.1.3. *Trafico por desarrollado (TD).* En el caso de la Avenida Mariscal Sucre, el tráfico generado podría deberse a un mayor desarrollo del sector agrícola, comercial o turístico en la zona de influencia. Este crecimiento económico suele ir acompañado de un aumento en la movilidad vehicular. Considerando las recomendaciones de la AASHTO y la falta de datos específicos para nuestro estudio, se estima que el tráfico generado podría representar alrededor del 6% del tráfico actual.

5.6.5. *Asignación del Trafico*

La asignación del tráfico es un proceso fundamental para evaluar el impacto de las obras de mejora vial en la Avenida Mariscal Sucre. Consiste en simular el comportamiento del flujo vehicular en la vía una vez implementadas las intervenciones propuestas. La asignación del tráfico futuro se realiza a través de la suma de los diferentes componentes que conforman el flujo vehicular.

5.6.6. *Trafico Promedio Diario Anual de Diseño*

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) final de diseño se obtiene sumando el tráfico proyectado actualmente, el generado por el desarrollo de la zona, el desviado de otras rutas y el generado por las mejoras realizadas. Este valor es esencial para dimensionar la vía y garantizar un nivel de servicio adecuado para los usuarios.

Tabla 15.

Tráfico Promedio Diario Anual Futuro.

AÑO	% Crecimiento			TRANSITO PROMEDIO DIARIO					CAMIONES										
	AUTOS	BUSES	CAMION ES	TPD TOTAL	TG	TD	Td	TPDA diseño	AUTOS	BUSES	CAMIONES	2D	2DA	2DB	3A	4O	2S1	4C	3S2
					12%	5%	6%												
2'025	4.47%	2.33%	2.82%	3'053	366.4	152.7	183.2	3'755	2'174	270	609	22	8	569	4	2	1	2	1
2'026	4.47%	2.33%	2.82%	3'174	380.8	158.7	190.4	3'904	2271	276	626	23	8	585	4	2	1	2	1
2'027	4.47%	2.33%	2.82%	3'299	395.9	165.0	198.0	4'058	2373	283	644	23	8	602	4	2	1	2	1
2'028	4.47%	2.33%	2.82%	3'430	411.6	171.5	205.8	4'219	2479	289	662	24	9	619	4	2	1	2	1
2'029	4.47%	2.33%	2.82%	3'566	428.0	178.3	214.0	4'387	2590	296	681	25	9	636	4	2	1	2	1
2'030	4.47%	2.33%	2.82%	3'708	445.0	185.4	222.5	4'561	2705	303	700	25	9	654	5	2	1	2	1
2'031	4.47%	2.33%	2.82%	3'856	462.7	192.8	231.4	4'743	2826	310	720	26	9	672	5	2	1	2	1
2'032	4.47%	2.33%	2.82%	4'010	481.2	200.5	240.6	4'932	2953	317	740	27	10	691	5	2	1	2	1
2'033	4.47%	2.33%	2.82%	4'170	500.4	208.5	250.2	5'129	3085	325	761	27	10	711	5	2	1	2	1
2'034	4.47%	2.33%	2.82%	4'337	520.4	216.8	260.2	5'334	3222	332	782	28	10	731	5	3	1	3	1
2'035	4.47%	2.33%	2.82%	4'511	541.3	225.5	270.6	5'548	3366	340	804	29	11	751	5	3	1	3	1
2'036	4.47%	2.33%	2.82%	4'692	563.0	234.6	281.5	5'771	3517	348	827	30	11	773	5	3	1	3	1
2'037	4.47%	2.33%	2.82%	4'880	585.6	244.0	292.8	6'003	3674	356	850	31	11	794	6	3	1	3	1
2'038	4.47%	2.33%	2.82%	5'077	609.2	253.8	304.6	6'245	3838	364	874	32	11	817	6	3	1	3	1
2'039	4.47%	2.33%	2.82%	5'282	633.8	264.1	316.9	6'496	4010	373	899	32	12	840	6	3	1	3	1
2'040	4.47%	2.33%	2.82%	5'495	659.4	274.7	329.7	6'759	4189	381	924	33	12	864	6	3	2	3	2
2'041	4.47%	2.33%	2.82%	5'717	686.1	285.9	343.0	7'032	4376	390	950	34	12	888	6	3	2	3	2
2'042	4.47%	2.33%	2.82%	5'949	713.8	297.4	356.9	7'317	4572	399	977	35	13	913	6	3	2	3	2
2'043	4.47%	2.33%	2.82%	6'190	742.8	309.5	371.4	7'614	4776	409	1005	36	13	939	7	3	2	3	2
2'044	4.47%	2.33%	2.82%	6'441	772.9	322.1	386.5	7'923	4990	418	1033	37	14	965	7	3	2	3	2
2'045	4.47%	2.33%	2.82%	6'703	804.4	335.2	402.2	8'245	5213	428	1062	38	14	992	7	3	2	3	2

El tráfico vehicular de diseño para 10 años es:

5'548

Vehículos

El tráfico vehicular de diseño para 20 años es:

8'245

Vehículos

Notas. Tráfico proyectado a 20 años, de los tipos de vehículo contabilizados en la vía de estudio. *Elaborado por: Los Autores*

5.7. Clasificación de la Vía Según la Norma de Diseño Geométrico de Carretera MTOP 2003

La clasificación de la vía según la Norma MOP 83 es fundamental para determinar los parámetros geométricos y estructurales adecuados para el diseño de la mejora vial de la Avenida Mariscal Sucre. Esta clasificación se basa en criterios como el volumen de tráfico, la función de la vía (local, colectora, arterial), el tipo de terreno y las características de los usuarios. Al clasificar la vía como [clase de vía según la MOP 83], se establecen los estándares de diseño que garantizan la seguridad, la eficiencia y la comodidad de los usuarios, así como la durabilidad de la infraestructura vial.

Tabla 16.

Clasificación 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

Nota: Tabla de clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado. Fuente: Departamento de la Dirección de Estudios del MTOP 2023- QUITO.

5.8. Número De Ejes Equivalentes Pavimento Flexible

Para poder diseñar el pavimento mediante el método empírico de la AASHTO-93 (aprobado por la MOP) se calculará el número de ejes equivalentes. Este número contrasta la cantidad de vehículos que circulan por una vía y el daño que cada vehículo produce.

$$Nt = 365 * FE * TPDA_o * \left[\frac{(1 + r)^t - 1}{\ln(1 + r)} \right] * Fd * Fc$$

Donde:

FE = factor de equivalencia

$TPDA_o$ = tráfico promedio diario anual actual

r = tasa de crecimiento

t = periodo de diseño

Fd = factor direccional

Fc = factor de carril

Factor de distribución por dirección: de acuerdo con el número de carriles se asignará un factor de distribución. Considerando que la vía de estudio es en 2 sentidos se asignará un factor de 0.50, como se puede apreciar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 17.

Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	FD
1	1.00
2	0.50
4	0.45
6 o más	0.40

Nota: Tabla de factor de distribución a utilizar según el número de carril en las dos direcciones que tiene la vía. Fuente: (AASHTO, 1993)

Factor de distribución por carril: de acuerdo con los valores recomendados por la AASHTO, para una vía que tiene un carril por dirección, como es el caso de la zona de estudio, se asignará un valor de 0.90, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 18.*Factor de distribución por carril*

Número de carriles en cada dirección	FC
1	0.80-1.00
2	0.60-0.80
3	0.50-0.75

Nota: Tabla de factor de distribución a utilizar según el número de carriles en una dirección que tiene la vía. Fuente: (AASHTO, 1993).

De acuerdo con las características y condiciones de la vía de estudio, el cálculo del número de ejes equivalentes de diseño para el pavimento en un periodo de 10 y 20 años, se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 19.*Tabla del número estructural W18*

W ₁₈	W ₁₈	W18	Direccion
Acumulado	Carril Diseño		
	0.9	0.5	
1.30E+06	1.17E+06	5.84E+05	
2.73E+06	2.46E+06	1.23E+06	
4.32E+06	3.89E+06	1.95E+06	
6.08E+06	5.47E+06	2.73E+06	
8.01E+06	7.21E+06	3.60E+06	
1.01E+07	9.12E+06	4.56E+06	
1.25E+07	1.12E+07	5.61E+06	
1.50E+07	1.35E+07	6.76E+06	
1.78E+07	1.61E+07	8.03E+06	
2.09E+07	1.88E+07	9.41E+06	
2.43E+07	2.18E+07	1.09E+07	
2.79E+07	2.51E+07	1.26E+07	
3.19E+07	2.87E+07	1.44E+07	
3.63E+07	3.27E+07	1.63E+07	
4.11E+07	3.69E+07	1.85E+07	
4.62E+07	4.16E+07	2.08E+07	
5.19E+07	4.67E+07	2.33E+07	
5.80E+07	5.22E+07	2.61E+07	
6.46E+07	5.82E+07	2.91E+07	
7.19E+07	6.47E+07	3.23E+07	
79718537.41	7.17E+07	35873341.83	

Nota: Tabla de número de ejes equivalentes a 18 kip (8.2 toneladas), lo cual representa la cantidad total de cargas que una vía recibirá a lo largo de su vida útil. Elaborado por: Los autores.

5.9. Diseño De Pavimentos Flexibles Método AASHTO 93

El diseño del pavimento flexible considera los siguientes parámetros: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, nivel de serviciabilidad y el grado de confiabilidad. De acuerdo con la AASHTO 1993 se calculará el espesor de la estructura con la siguiente expresión:

$$\log W_{18} = Z_R - S_0 + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log M_R - 8.07$$

Donde:

W_{18} = Número estimado de ejes equivalentes acumulados de 18 kips (8,2 t)

Z_R = Valor a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución

normalizada

S_0 = Desvío estándar para el diseño

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño (Po-Pt)

M_r = Módulo resiliente de la subrasante (psi)

SN = Número estructural requerido.

5.10. Estudio de la Subrasante

El estudio de la subrasante consistió en realizar 4 calicatas a cielo abierto para la extracción de muestras, a una profundidad de 1.5 metros, cada una. Por medio de los ensayos de laboratorio se obtienen los siguientes parámetros geo mecánicos de cada calicata que se encuentran el resumen de CBR en la tabla 20.

Tabla 20.*Tabla de Calicatas ensayo CBR*

CALICATA	ABSCISA	CBR	PROFUNDIDAD m
C-1	0+000	14.17	1,5
C-2	0+500	19.21	1,5
C-3	1+000	19.59	1,5
C-4	1+500	19.14	1,5
BASE	0+100	85.96	0.3
SUB BASE	0+100	39.04	0.5

Nota: Se representa un resumen de cada calicata con los datos obtenidos del ensayo CBR realizado con las muestras de suelo extraídas del proyecto. Elaborado por: Los autores.

5.11. CBR de Diseño

Para el cálculo y determinación de la capacidad de soporte (CBR) se aplicará el método de la ASTM.

Tabla 21.*Rango de CBR para la clasificación de la subrasante.*

CALIDAD	CBR (%)
Subrasante muy mala	0 - 5
Subrasante mala	5 - 10
Subrasante regular a buena	10 - 20
Subrasante muy buena	20 - 30
Subbase buena	30 - 50
Base buena	50 - 80
Base muy buena	80 - 100

Nota: Se representa una tabla normada para poder clasificar la calidad de la subrasante, base y subbase según los resultados obtenidos del CBR. Fuente: (AASHTO, 1993).

De acuerdo con los ensayos de laboratorio el valor de CBR para la subrasante de la zona tiene un valor mínimo de 14.17 % que corresponde a una calidad Regular – Buena, un valor máximo de 19.59 % con una calidad Regular – Buena y para la base de la zona tiene un valor de 85.96 % que corresponde a una calidad Muy Buena.

De acuerdo con el Instituto del Asfalto debe realizarse un análisis estadístico mediante percentiles en relación con el número de ejes equivalentes.

Tabla 22.

Valor de percentil por nivel de tránsito

Nivel de tráfico	Valor de percentil para diseño de subrasante
< de 10, 000 ESAL's	60
Entre 10, 000 y 1, 000, 000	75
> de 1, 000, 000 ESAL's	87.5

Nota: Se representa la tabla de valor percentil según el nivel de tráfico para el diseño de la subrasante. Fuente: Instituto de Asfalto, (AASHTO, 1993)

Para la subrasante de la zona de estudio se obtiene un CBR de diseño de 19.41 % con un percentil de 85 %, tendiendo una subrasante de calidad “Buena”.

$$\text{CBR (85 \%)} = 19.41\%$$

5.12. Módulo Resiliente

El módulo resiliente se calculará relacionando el valor obtenido de CBR de diseño.

$$Mr(Psi) = 3000 \times CBR^{0.65} \quad 7.2 < CBR \leq 20 \% \quad (AASHTO, 2002)$$

$$Mr(Psi) = 436 \ln(CBR) + 241 \quad CBR > 20\%$$

PERCENTIL	
CBR	19.419
MR	20628.55

El módulo resiliente de la vía de estudio para un CBR de 19.41 % es de 20622.34psi.

5.13. Parámetros De Diseño

Para el diseño del pavimento y determinar el espesor de éste se realizará aplicando el método de diseño AASHTO 1993. El objetivo de este diseño es evitar que los esfuerzos y deformaciones que ocasiona el tránsito vehicular sean mayores a los que puede soportar la subrasante. Por lo que se deberá considerar los siguientes parámetros:

5.13.1. *Periodo de diseño:*

Es el tiempo considerado hasta que el pavimento cumpla su vida útil y requiera de rehabilitación. Para este proyecto se considera un periodo de diseño de 20 años, considerando el periodo de construcción.

5.13.2. *Factor de confiabilidad*

El factor de confiabilidad toma en consideración la predicción del tránsito y su comportamiento, por lo que se debe asignar un nivel de confiabilidad recomendado en el que el pavimento deberá sobrevivir durante su periodo de diseño.

Tabla 23.

Niveles de confiabilidad

Clasificación	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interprovinciales y otras	85.0-99.9	80.0-99.9
Arterias principales	80.0-99.0	75.0-95.0
Colectoras de tránsito	80.0-95.0	75.0-95.0
Carreteras locales	50.0-80.0	50.0-80.0

Nota: Se representa la tabla de valor para obtener el nivel de confiabilidad recomendado según la clasificación de nuestra vía. Fuente: Instituto de Asfalto, (AASHTO, 1993)

Como la vía en estudio para este proyecto es parte de las arterias principales del cantón se asignará un nivel de confiabilidad de 80%.

5.13.3. Desviación estándar

De acuerdo con las recomendaciones de la AASHTO la desviación estándar total para nuestro proyecto de pavimento flexible será $S_o=0.45$, ya que se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los siguientes parámetros:

Para pavimentos flexibles va de 0.40 - 0.50

En construcción nueva 0.35 – 0.40

En sobre capas 0.50

5.13.4. Serviciabilidad

Según AASHTO los valores recomendados dependen del tipo de pavimento, de la siguiente forma:

5.13.4.1. Índice de serviciabilidad Inicial:

$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos

$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles

5.13.4.2. Índice de serviciabilidad Final:

$P_t = 2.5$ o 3 para caminos principales

$P_t = 2.0$ para caminos secundarios

Según las características de la zona para cada una de las alternativas, la serviciabilidad será:

$P_o = 4.2$

$P_t = 2.5$

$\Delta PSI = 1.7$

5.14. Cálculo de espesores de pavimento flexible método AASHTO-93

$$CBR_{SR} := 19.41 \% \quad MR_{SR} = 20628.55 \quad \text{Psi}$$

$$CBR_{SB} := 40 \% \quad MR_{SB} = 17000 \quad \text{Psi}$$

$$CBR_B := 90 \% \quad MR_B = 29000 \quad \text{Psi}$$

5.14.1. Cálculo del número estructural requerido para el numero estructural desde la subrasante

ESAL de Diseño	$W_{18} = 35.873.341,83$
----------------	--------------------------

Confiabilidad 85 (%)	$Z_r = -1.037$
----------------------	----------------

Desviación estándar de todas las variables	$S_o = 0.45$
--	--------------

Serviciabilidad Inicial	$S_i = 4.2$
-------------------------	-------------

Serviciabilidad Final	$S_f = 2.5$
-----------------------	-------------

Variación de la Serviciosabilidad	$\Delta PSI = S_i - S_f = 1.7$
-----------------------------------	--------------------------------

Calculamos el numero estructural de diseño con la formula y la comparamos con el programa de ecuación AASHTO.

$$SN := 1$$

$$\log(W_{18}) = Z_r \cdot S_o + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log(MR) - 8.07$$

$$SN := \text{find}(SN) = 4.066$$

Figura 13.

Gráfico de ecuación de AASHTO 93

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
85 % Zr=-1.037 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final
PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo resiliente de la subrasante
Mr 20628.55 psi

Información adicional para pavimentos rígidos
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
☒ Calcular SN **W18 = 35873341.83**
☐ Calcular W18

Número Estructural
SN = 4.07

Calcular Salir

Nota. El cuadro indica la comprobación del número estructural trabajado en una hoja de Mathcad. Elaborado por: Los autores a través de Ecuacion AASHTO 93.

5.14.2. Determinación de los espesores del paquete estructural

5.14.2.1. Propiedades de los materiales

5.14.2.1.1. Concreto asfáltico en caliente

El pavimento con carpeta asfáltica relacionará el módulo elástico y la temperatura máxima de la zona de análisis de acuerdo con la siguiente Figura se obtiene el coeficiente estructural $a_1 = 0.40$ con un módulo de 25000kg/cm² o 355500 psi los valores recomendados por la AASHTO se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**⁴

Tabla 24.

Rangos recomendados de módulos resilientes.

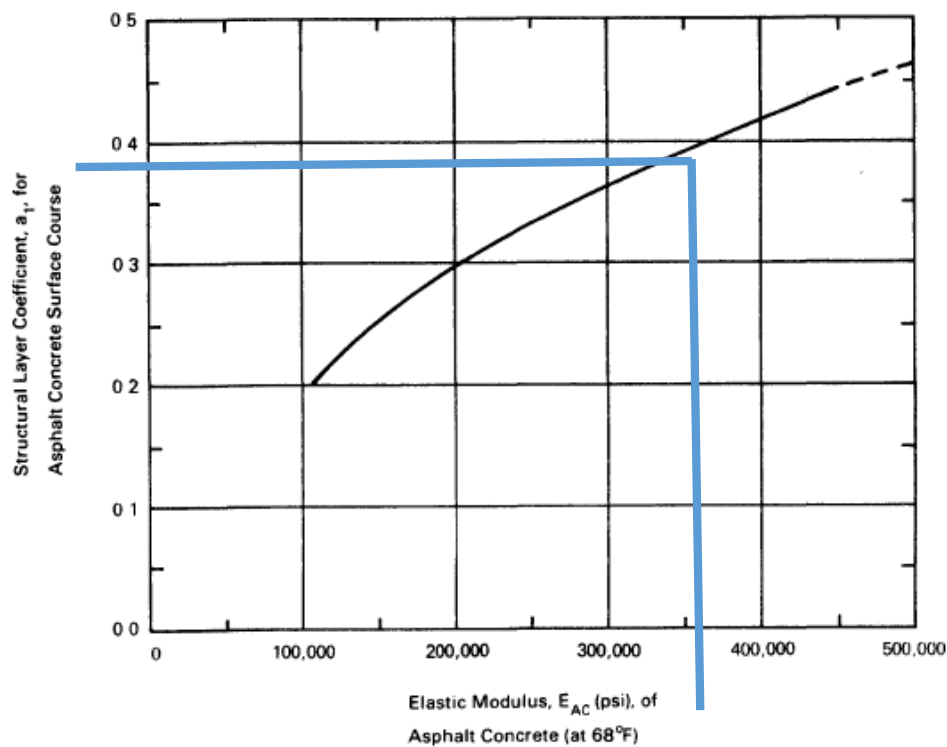
Material	Rango (kg/cm ²)	Típico (kg/cm ²)
Concreto hidráulico	200000-550000	300000
Concreto asfáltico	15000-35000	30000
Base tratada con asfalto	5000-30000	10000
Base tratada con cemento	35000-70000	50000
Concreto pobre	100000-300000	200000
Base granular	1000-3500	2000
Subbase granular	800-2000	1200
Suelo granular	500-1500	1000
Suelo fino	200-500	300

1 kg/cm²=0.1 MPa=14.22 psi

Nota. El cuadro indica el limite de rangos para utilizarse en los ábacos correspondientes según el material a usar en la vía. Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

Figura 14.

Coefficiente estructural a partir del módulo elástico del concreto asfáltico.



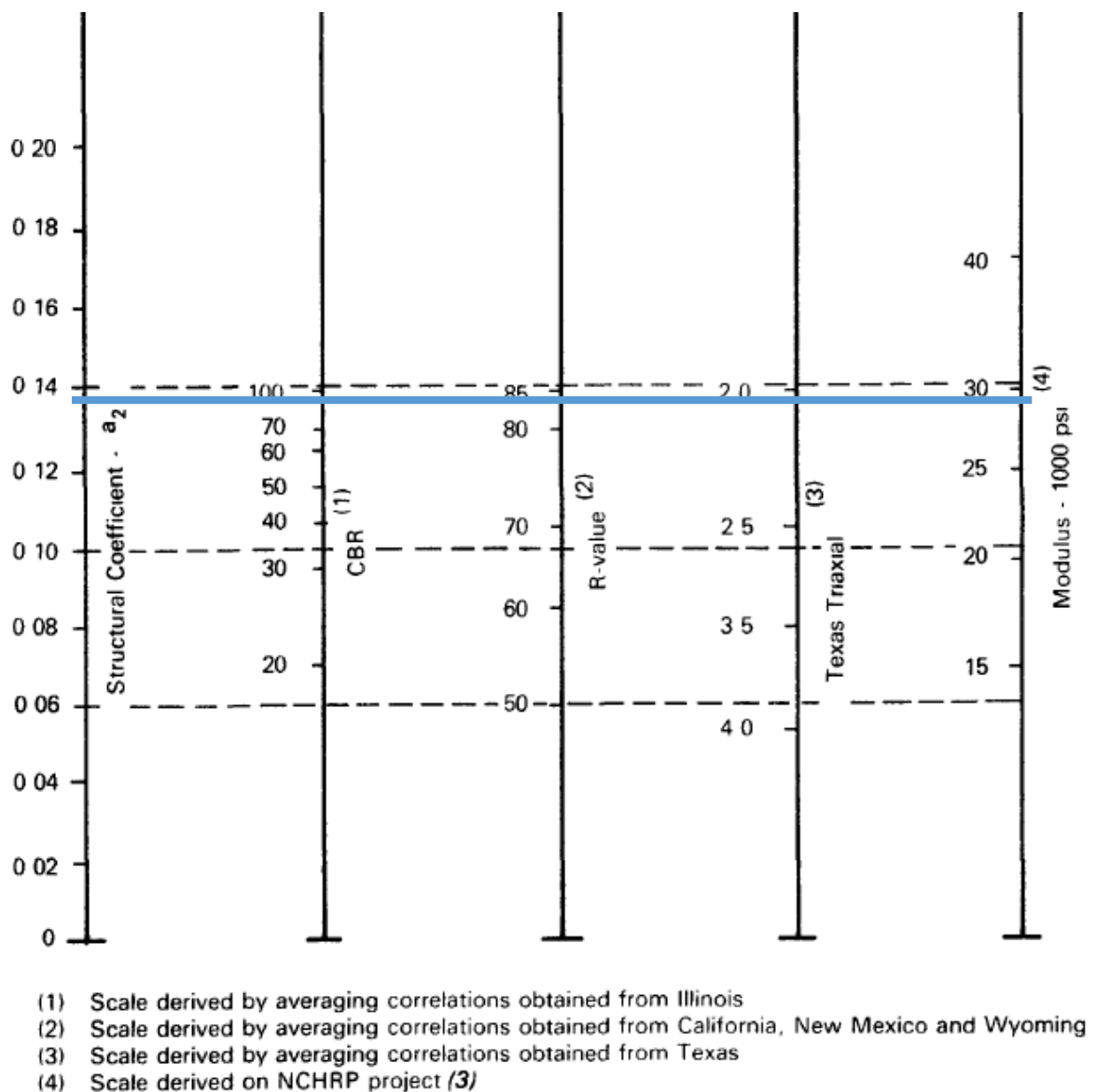
Nota. La línea azul, representa la obtención del valor correspondiente de a_1 . Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

5.14.2.1.2. Propiedades de la base granular

Considerando que el material de mejoramiento debe tener un CBR mayor o igual al 80% según las recomendaciones de las especificaciones de construcción de la MOP, se consideró tomar un CBR de 90%. Se obtiene un coeficiente estructural $a_2=0.13$ con un módulo de 29000psi

Figura 15.

Variación de los coeficientes de capa para bases granulares.



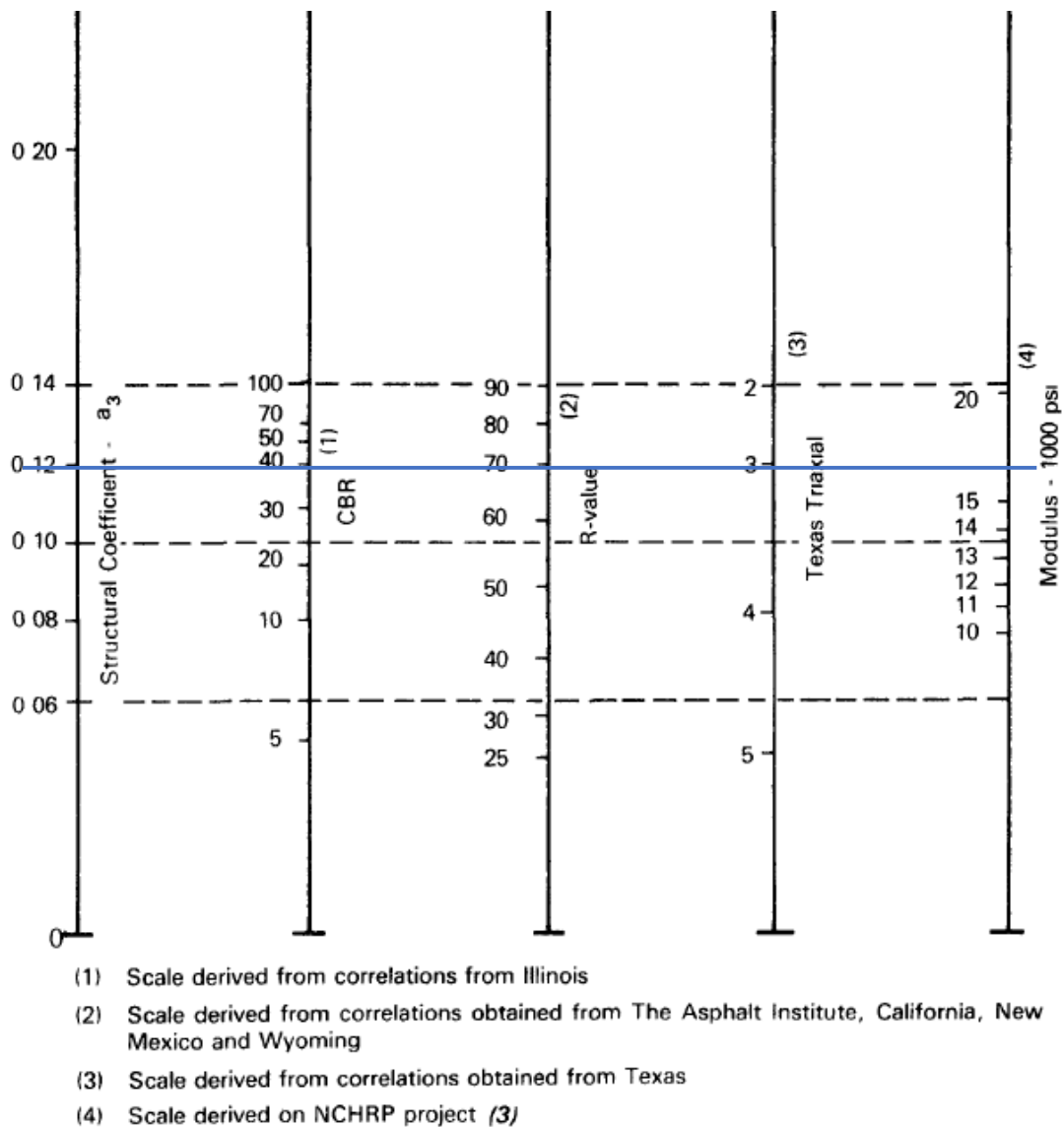
Nota. La línea azul, representa la obtención del valor correspondiente de a_2 . Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

5.14.2.1.3. Propiedades de sub-base granular

Considerando que el material de mejoramiento debe tener un CBR mayor o igual al 30% según las recomendaciones de las especificaciones de construcción de la MOP, se consideró tomar un CBR de 40%. De acuerdo con las condiciones propias del proyecto se tendrá un coeficiente estructural $a_3 = 0.12$ con un módulo de 17000psi.

Figura 16.

Variación de los coeficientes de subbase granular



Nota. La línea azul, representa la obtención del valor correspondiente de a_3 . Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

5.14.2.1.4. Coeficiente de Drenaje para Pavimentos Flexibles.

La calidad del drenaje esta expresada en la fórmula del número estructural, por medio del coeficiente m_2 y m_3 , que toma en cuenta las capas no ligadas, para el estudio de nuestra zona calculamos que (P) el porcentaje está por encima del 25% mostrada en la tabla 26, y al conocer las circunstancias de nuestro proyecto se toma como la calidad del drenaje bueno, por lo tanto, tomamos como coeficiente de permeabilidad de la capa $m_2=1$ y $m_3=1$.

Tabla 25.

Anuario Meteorológico de la estación M0105 Otavalo INAMHI

M0105																	OTAVALO										INAMHI									
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)									HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación															
		ABSOLUTAS			M E D I A S			Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	Mínima	Media	Suma	Máxima en 24hrs			Número de días con precipitación																		
		Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima												Mensual																	
ENERO	162.4	24.0	5	3.0	19	22.0	7.5	15.2		98	15	46	8	78	11.0	13.2	45.5	29.7	12	5																
FEBRERO	85.5	23.0	27			20.6	9.5	14.4						85	11.6	13.8	132.3	22.3	8	18																
MARZO	121.6					22.1	9.9	15.1						83	11.9	14.0	49.5																			
ABRIL	87.8	25.0	11	3.0	25	22.1	9.1	14.7		100	12	48	25	83	11.5	13.7	47.9	11.7	17	8																
MAYO	89.1	23.0	2			20.8	10.4	14.4		100	4	58	25	88	12.2	14.2	145.3	20.5	1	24																
JUNIO	148.1	24.0	17	3.8	21	21.9	8.2	14.3		100	6	43	6	79	10.3	12.6	3.6	2.5	2	3																
JULIO	157.7	24.0	27	4.0	19	21.2	7.6	13.9						76	9.4	11.9	10.3	6.3	7	4																
AGOSTO	160.2	25.0	14	2.0	30	22.0	7.7	14.4		100	23	41	30	76	9.7	12.2	31.2	12.8	11	7																
SEPTIEMBRE	131.6	26.0	21	3.2	3	22.4	7.8	14.8		100	3	30	21	73	9.5	12.0	28.7	23.5	29	7																
OCTUBRE	154.2	25.0	24	5.0	7	21.9	9.3	14.8		100	20	40	8	80	11.0	13.2	122.1	26.6	13	14																
NOVIEMBRE	147.7	24.0	8	4.0	3	21.9	9.7	14.9						83	11.8	13.9	88.9	26.2	8	14																
DICIEMBRE	166.1	24.0	30	6.0	1	21.8	10.0	14.9		98	1	50	14	83	11.7	13.8	84.7	25.2	2	9																
VALOR ANUAL	1612.0					21.7	8.9	14.7						80	11.0	13.2	790.0																			

Nota. El rectángulo azul, representa la obtención del número de días con precipitación para obtener el coeficiente de drenaje. Fuente: Anuario Meteorológico 2013.

$$P = \frac{\text{Numero de dias con precipitacion}}{\text{Total dias del año}} * 100$$

$$P = \frac{113}{365} * 100 = 31\%$$

Tabla 26.*Coefficientes de drenaje para pavimentos flexibles*

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Nota. El cuadro azul, representa el porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad en la vía de estudio. Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993

Coefficiente de la capa de pavimento flexible $a_1 = 0.40$

Coefficiente de la capa base $a_2 = 0.13$

Coefficiente de la capa sub base $a_3 = 0.12$

Coefficiente de permeabilidad de la capa base $m_2 = 1$

Coefficiente de permeabilidad de la capa sub base $m_3 = 1$

Tabla 27.*Diseño de espesores calculados.*

CARPETA ASFALTICA NUEVA:	D1* :	REAL,cm :	22.9	AJUST,cm :	10.0
	SN1* :	1.57			
BASEGRANULAR CLASE 2	D2* :	REAL,cm :	53.2	AJUST,cm :	20.0
	SN2* :	1.06			
SUBBASE GRANULAR CLASE II	D3* :	REAL,cm :	31.0	AJUST,cm :	30.0
	SN3* :	1.42			
MATERIAL DE MEJORAMIENTO	D3* :	REAL,cm :	0.9	AJUST,cm :	0.0
	SN4* :	0.00			
	SN Total	4.06		Esp.Total	60.0

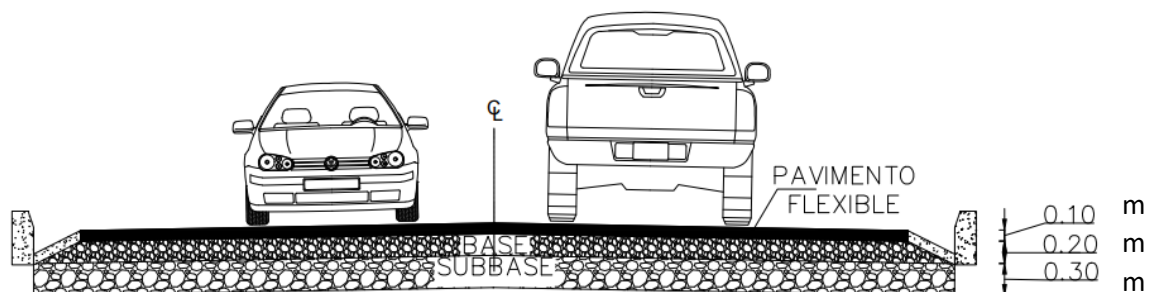
Nota. El rectángulo azul, representa los espesores de la carpeta asfáltica nueva, la base granular, la subbase granular y el espesor total del nuevo diseño. Elaborado por: Los autores.

El diseño de los nuevos espesores de la vía se realizó considerando los resultados de la evaluación del estado existente, las cargas del tráfico proyectadas y las características del suelo de fundación. Se aplicaron los métodos de diseño estructural de pavimentos establecidos en las normas técnicas ecuatorianas, utilizando programas de diseño especializados. Los cálculos permitieron determinar los espesores óptimos de las capas asfálticas y de la base granular para garantizar una vida útil de diseño de 20 años. La selección de los materiales se basó en criterios de calidad y durabilidad, considerando las condiciones climáticas de la zona y la disponibilidad de materiales locales. Los espesores propuestos permitirán mejorar la capacidad portante de la vía, reducir los costos de mantenimiento y aumentar la seguridad vial.

Aplicando el método de diseño AASHTO, se determinó que los espesores óptimos para las nuevas capas son de 10 cm para la capa asfáltica, 20 cm para la base granular y 30 cm para la sub base granular.

Figura 17.

Representación de nuevos diseños calculados.



Nota. Grafico dwg de un corte transversal de la vía. Elaborado por: Los autores

CAPÍTULO VI

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

6.1. Antecedentes

Un levantamiento topográfico es una representación detallada de un terreno, como el realizado en los 1.5 km de la Avenida Mariscal Sucre. Este proceso permite obtener información precisa sobre las alturas, pendientes y formas del terreno, utilizando sistemas de coordenadas como el UTM o las coordenadas geográficas. Estos datos son fundamentales para el diseño de obras civiles, ya que aseguran que la construcción se adapte perfectamente a las características del terreno y se minimicen los riesgos. En el caso de la Avenida Mariscal Sucre, el levantamiento topográfico ha sido crucial para diseñar una vía segura y eficiente, identificando previamente cualquier obstáculo natural o artificial que pudiera afectar la obra.

6.2. Sistema de coordenadas UTM

El sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) es fundamental para la ubicación precisa de puntos en la superficie terrestre, como los que se requirieron en el levantamiento topográfico de la Avenida Mariscal Sucre. Este sistema divide a la Tierra en zonas y permite representar cualquier lugar del planeta en un plano, utilizando como referencia un modelo matemático de la Tierra. Al proyectar la superficie curva de la Tierra sobre un plano, el UTM permite representar el terreno en mapas bidimensionales con una mínima distorsión.

En este proyecto, la utilización del UTM fue crucial para georreferenciar los puntos de control, calcular distancias y generar los planos topográficos necesarios para el diseño y construcción de la vía. La precisión de las coordenadas UTM obtenidas mediante equipos GPS garantizó la coherencia entre los trabajos de campo y los diseños realizados en software especializado.

6.3.Trabajo en campo

6.3.1. Equipo utilizado

Para obtener datos topográficos de alta precisión en el tramo de 1.5 km de la Avenida Mariscal Sucre, se emplearon equipos topográficos de última generación para obtener datos precisos y confiables: Estación total sokia cx-105 y Trimble GPS RTK Base Rover. La estación total permitió realizar mediciones de distancias, ángulos y desniveles con una precisión milimétrica, mientras que el receptor RTK proporcionó coordenadas tridimensionales de los puntos levantados en tiempo real. La combinación de ambos equipos permitió obtener un modelo digital del terreno (MDT) de alta resolución, el cual es fundamental para el diseño geométrico de la vía y la cuantificación de los movimientos de tierra. Además, se utilizó el RTK para georreferenciar los elementos existentes en la vía, como bordillos, alcantarillas y postes, facilitando así su ubicación en los planos.

Figura 18.

Equipo topográfico.



Nota. Equipo topográfico. Elaborado por: Los autores

6.4.Posicionamiento de puntos de control GPS Y BM

Los puntos de control constituyen la columna vertebral de cualquier levantamiento topográfico, proporcionando un marco de referencia geodésico preciso y estable. En el proyecto de mejora vial de la Avenida Mariscal Sucre, estos puntos desempeñaron un papel fundamental. Inicialmente, se seleccionaron y materializaron en la vía puntos estratégicos, los cuales fueron georreferenciados con alta precisión utilizando equipos GPS RTK y estación total. Esta red de puntos de control permitió establecer un sistema de coordenadas local, en relación a un sistema de referencia geodésico nacional. Posteriormente, todas las mediciones realizadas durante el levantamiento se referenciaron a estos puntos, garantizando así la coherencia y la precisión de los datos obtenidos. La importancia de los puntos de control radica en su capacidad para asegurar la continuidad de las mediciones, detectar posibles errores y proporcionar una base sólida para la generación de productos cartográficos detallados y confiables.

Además de los puntos de control, otro elemento fundamental en el levantamiento topográfico del proyecto de mejora vial de la Avenida Mariscal Sucre fueron los puntos BM (Banco de Medida). Estos puntos, materializados en el terreno mediante marcas permanentes, sirvieron para establecer un sistema de referencia vertical.

A diferencia de los puntos de control, que proporcionan coordenadas horizontales (latitud y longitud), los puntos BM definen cotas o elevaciones sobre un nivel de referencia, como el nivel del mar. La combinación de puntos de control y puntos BM permitió obtener una representación tridimensional precisa del terreno. Los puntos BM se establecieron en lugares estables, y se midieron con precisión utilizando niveles de precisión y miras.

Tabla 28.

Coordenadas de la Estación de Referencia Pimampiro (PIEC).

Datum:	WGS84	Unidad Angular:	DMS
Geoide:	EGM96	Unidad Lineal:	Metros
Proyección:	UTM 17N		
Puntos de Control			
Nombre	Latitud	Longitud	Alt. Elipsoidal
PIMAMPIRO (PIEC)	0°23'44.16370"N	77°56'22.48710"W	2.149.872

Nota. Se muestra las coordenadas de control. Elaborado por: Los Autores.

Tabla 29.

Puntos de control (GPS)

PUNTOS DE CONTROL GPS								
SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM 17N			DATUM:	WGSM84	GEOIDE:	EGM96	
Nombre	COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS84			COORDENADAS UTM WGS84 17 N			FACTOR DE ESCALA COMBINADO	
	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Norte	Este	Cota Optométrica	Cuadrícula a Plano	Plano a Cuadrícula
GPS1	0°11'47.72277"N	78°11'26.73216"W	2.718,767	21755,386	812722,532	2693,501	0,9996	1,0003
GPS2	0°12'39.98974"N	78°12'34.36986"W	2.708,845	23361,694	810629,089	2683,559	0,9996	1,0003
BM1	0°12'24.87744"N	78°12'05.56235"W	2.711,043	22897,307	811520,664	2685,764	1	1
BM2	0°12'20.35656"N	78°11'59.38845"W	2.709,305	22758,37	811711,751	2685,764	1	1

Nota. Se muestra los puntos de control y sus coordenadas. Elaborado por: Los Autores.

Figura 19.

Implantación del punto de control GPS.



Nota. Implantación del punto de control N°1. Elaborado por: Los autores

Figura 20.

Implantación del punto de control GPS.



Nota. Implantación del punto de control N°2. Elaborado por: Los autores.

Figura 21.

Croquis de ubicación del punto de control BM.



Nota. Implantación del punto BM 1. Elaborado por: Los autores a través de Google Earth.

Figura 22.

Croquis de ubicación del punto de control BM.



Nota. Implantación del punto BM 2. Elaborado por: Los autores a través de Google Earth.

6.5. Levantamiento topográfico

Para obtener una representación precisa y detallada del terreno donde se va a desarrollar el proyecto de mejora vial de la Avenida Mariscal Sucre, se llevó a cabo un levantamiento topográfico de alta precisión. Este proceso inició con el establecimiento de una red de control geodésico mediante una estación total, la cual sirvió como referencia para todas las mediciones posteriores. Posteriormente, se empleó tecnología GNSS RTK (Sistema de Navegación Global por Satélite en Tiempo Real) para determinar las coordenadas tridimensionales de numerosos puntos a lo largo del trazado vial. Un receptor GNSS RTK, actuando como rover, el cual capta señales de una base fija ubicada en un punto conocido, mismo que permitió corregir las mediciones en tiempo real y obtener resultados con una precisión centimétrica.

Además de los puntos de control principales, se establecieron puntos de control auxiliares a lo largo del recorrido para garantizar la continuidad y la calidad de los datos. Una vez recopilada la información en campo, se procedió a procesarla en software especializado de topografía, generando modelos digitales del terreno (MDT), perfiles longitudinales, secciones transversales y planos topográficos de alta resolución. Estos productos cartográficos sirvieron como base fundamental para el diseño geométrico de la vía, la estimación de volúmenes de movimiento de tierras y la planificación de las obras civiles.

Figura 23.

Recolección de los puntos topográficos.



Nota. Toma del punto topográfico. Elaborado por: Los autores.

Figura 24.

Levantamiento de la poligonal.



Nota. Toma del punto topográfico. Elaborado por: Los autores.

Figura 25.

Ajuste de la poligonal.



Nota. Toma del punto topográfico. Elaborado por: Los autores.

Figura 26.

Punto topográfico de la vía.



Nota. Toma del punto topográfico con detalles de la vía. Elaborado por: Los autores.

6.6. Trabajo de oficina

Una vez finalizado el levantamiento topográfico en campo, los datos recopilados por el equipo Hi-Target V300 TX/RX fueron exportados directamente a un archivo CSV (Comma Separated Values). Este formato de archivo, de carácter universal y fácil de leer por diversos programas, permitió una rápida transferencia de los datos a una hoja de cálculo de Excel. En la hoja de cálculo, se organizaron los datos en una estructura tabular, donde cada fila representaba un punto topográfico y cada columna corresponde a un atributo específico, como coordenadas X, Y, Z en el sistema de referencia geodésico UTM (Universal Transverse Mercator), código de punto, elevación, y descripción del punto. Esta organización facilitó la revisión y edición de los datos, permitiendo identificar y corregir posibles errores o inconsistencias. Posteriormente, el archivo CSV fue importado a Civil 3D; para garantizar una correcta importación. Asimismo, se definió el sistema de coordenadas UTM correspondiente a la zona en la que se realizó el proyecto.

Finalmente, se establecieron las correspondencias entre las columnas del archivo CSV y los atributos de los puntos en Civil 3D, asegurando así una correcta asociación de los datos, los cuales fueron importados a Civil 3D, una herramienta de diseño de ingeniería civil que permitió visualizar y analizar de manera integral la geometría del terreno. Con la ayuda de este software, se generó el Modelo Digital del Terreno, a partir del cual se realizaron estudios de pendientes, volúmenes de corte y relleno, y se identificaron los puntos críticos del proyecto.

Además, Civil 3D permitió diseñar las secciones transversales tipo, los perfiles longitudinales y los alineamientos horizontales y verticales de la vía, generando así un modelo tridimensional completo de la obra. Finalmente, se elaboraron los planos de proyecto, incluyendo los detalles constructivos, los cuales sirvieron como guía para la ejecución de las obras.

6.7. Tipo de Terreno

La identificación precisa del tipo de terreno en el tramo de 1.5 km de la Avenida Mariscal Sucre es crucial para determinar las características geotécnicas del suelo y seleccionar los materiales y métodos constructivos adecuados. Utilizando equipos RTK y estación total, se realizó un levantamiento detallado del terreno, permitiendo obtener información precisa sobre la topografía, pendiente, vegetación y posibles zonas de inestabilidad. Esta información, combinada con ensayos de laboratorio en muestras de suelo, permitió clasificar el terreno según su tipo (arcilloso, arenoso, rocoso, etc.) y determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Conocer estas características es fundamental para diseñar una estructura de pavimento adecuada y prevenir problemas como asentamientos, erosiones o deslizamientos.

Para determinar el tipo de terreno en el tramo de la Avenida Mariscal Sucre, se llevó a cabo un conjunto de actividades. En primer lugar, se realizaron perfiles topográficos utilizando la estación total para identificar zonas de pendiente y posibles cambios en la topografía. Posteriormente, se realizaron calicatas en puntos estratégicos a lo largo de la vía para obtener muestras de suelo inalteradas. Estas muestras fueron enviadas a un laboratorio especializado para realizar ensayos de granulometría, límites de Atterberg, densidad, y otros parámetros geotécnicos.

Los resultados de los ensayos, junto con la información obtenida en campo, permitieron elaborar un perfil estratigráfico del terreno y determinar su clasificación según los sistemas de clasificación de suelos (SUCS, AASHTO). Esta información fue fundamental para seleccionar los materiales de construcción y diseñar la estructura del pavimento.

De acuerdo al TPDA, escogemos la vía según los valores de diseño recomendados para carreteras de dos carriles y caminos vecinales de construcción una vía de clase I ya

que tenemos un TDA de 3.053 y al ser una vía existente que se encuentra en proyección de mejoramiento se le asigna como absoluta y montañosa, en la cual la velocidad de diseño será de 60 km/h, con radio mínimo de curvas horizontales de 110m, distancia de visibilidad para parada de 70m y distancia de visibilidad para rebasamiento de 415m y un ancho de pavimento de 7,3m

6.8.Poligonal

Para establecer un marco de referencia preciso en el levantamiento topográfico de la Avenida Mariscal Sucre, se procedió a la medición de una poligonal abierta. Esta poligonal, conformada por una serie de vértices conectados entre sí, permitió controlar la precisión de las mediciones y garantizar la coherencia de los datos obtenidos. Mediante el uso de una estación total, se midieron las distancias entre los vértices de la poligonal. Posteriormente, se realizó la poligonal lineal, para verificar la precisión de las mediciones. Los vértices de la poligonal sirvieron como puntos de apoyo para el levantamiento de detalle del terreno.

La medición de la poligonal se inició seleccionando una serie de puntos estratégicos a lo largo del tramo de la Avenida Mariscal Sucre. Estos puntos fueron señalizados en el terreno y se procedió a medir los ángulos horizontales y las distancias entre ellos utilizando una estación total.

Para garantizar la precisión de las mediciones, se realizaron varias repeticiones de cada distancia. Los datos obtenidos en campo fueron procesados en un software especializado de topografía, donde se realizó el cálculo de las coordenadas de cada vértice de la poligonal.

Tabla 30.*Nube de Puntos.*

NUMERAL	X	Y	COTA	DESCRIPCIÓN
1	22109.3841	812409.322	2693.5498	pt
2	22897.2887	811520.667	2685.8751	bm1
3	22215.5793	812293.969	2693.1784	medidor
4	22215.5793	812293.969	2693.1784	medidor
5	22109.3841	812409.322	2693.5498	pt
6	22897.2887	811520.667	2685.8751	bm1
7	22758.3752	811711.75	2684.1293	bm2
8	22758.3752	811711.75	2684.1293	bm2
9	22056.355	812471.974	2693.6823	medidor
10	22070.7147	812457.716	2694.311	medidor
11	22064.9085	812463.853	2694.1304	medidor
12	22070.7147	812457.716	2694.311	medidor
13	22102.1304	812430.009	2693.9304	medidor
14	22102.1304	812430.009	2693.9304	medidor
15	22117.1712	812414.656	2693.5635	medidor
16	22123.9547	812407.468	2693.443	medidor
17	22117.1712	812414.656	2693.5635	medidor
18	22123.9547	812407.468	2693.443	medidor
19	22145.3118	812382.794	2693.1868	medidor
20	22145.3118	812382.794	2693.1868	medidor
21	22170.4848	812353.833	2692.4562	medidor
22	22170.4848	812353.833	2692.4562	medidor
23	22180.4191	812341.634	2691.9929	sumidero
24	22180.4191	812341.634	2691.9929	sumidero
25	22182.4615	812341.217	2692.3165	medidor
26	22182.4615	812341.217	2692.3165	medidor
27	22181.0371	812337.077	2692.2527	pz
28	22181.0371	812337.077	2692.2527	pz
29	22189.2262	812334.793	2692.4774	medidor
30	22189.2262	812334.793	2692.4774	medidor
31	22212.8347	812311.086	2692.8588	medidor
32	22212.8347	812311.086	2692.8588	medidor
33	22214.3239	812309.153	2692.657	letrero
34	22214.9428	812302.357	2692.6172	pz
35	22214.9428	812302.357	2692.6172	pz
36	22242.1868	812280.38	2693.569	medidor
37	22242.1868	812280.38	2693.569	medidor
38	22253.7708	812275.567	2693.8978	pt

Nota. Puntos descargados del RTK con detalles de la vía. Elaborado por: Los autores

CAPÍTULO VII

ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTECNICO

7.1. Estudio de suelos.

El estudio geotécnico constituye un pilar fundamental en el diseño y construcción de la vía Mariscal Sucre. A través de una exhaustiva campaña de exploración y ensayos de laboratorio, se caracterizaron las propiedades físicas y mecánicas del suelo a lo largo del tramo de 1.5 km. Los resultados obtenidos permitieron identificar la composición granulométrica, la plasticidad, la densidad y la capacidad de soporte del suelo, así como la presencia de posibles elementos contaminantes o condiciones adversas. Esta información detallada fue de vital importancia para seleccionar los materiales de construcción adecuados, dimensionar las estructuras de soporte y establecer las medidas de estabilización necesarias, garantizando así la durabilidad y seguridad de la vía.

Con el objetivo de determinar las características geotécnicas del terreno a lo largo del tramo de la Avenida Mariscal Sucre, se realizó una campaña de exploración mediante la excavación de calicatas en puntos estratégicos. Las calicatas permitieron obtener muestras inalteradas y alteradas de suelo en diferentes profundidades. Posteriormente, las muestras fueron llevadas al laboratorio para realizar una serie de ensayos geotécnicos, tales como granulometría, límites de Atterberg, densidad, compactación y resistencia al corte. Estos ensayos permitieron caracterizar los suelos en términos de su composición, consistencia y capacidad portante, información esencial para el diseño de la estructura del pavimento y la selección de los materiales de construcción.

A continuación, se definen los ensayos realizados a cuatro calicatas extraídas a una profundidad de 1.50 m.

7.1.1. Límite Líquido

El límite líquido es un parámetro utilizado en la mecánica de suelos para describir la cantidad de humedad que un suelo necesita para pasar de un estado plástico a un estado líquido. Específicamente, corresponde al contenido de agua en el que el suelo comienza a comportarse como un líquido, perdiendo su capacidad de soportar cargas y fluyendo bajo una fuerza aplicada.

Este valor se determina mediante ensayos de laboratorio, como el de Casagrande, donde se mide el contenido de agua necesario para que una ranura en una muestra de suelo se cierre bajo un número estándar de golpes en un dispositivo especial. El límite líquido es clave para clasificar suelos y evaluar su comportamiento en proyectos de ingeniería, ya que influye en propiedades como la plasticidad, la estabilidad y la resistencia del terreno.

7.1.2. Límite Plástico

El límite plástico es un parámetro de la mecánica de suelos que indica el contenido mínimo de agua a partir del cual un suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico. En este estado, el suelo puede deformarse sin fracturarse, lo que significa que adquiere cierta ductilidad.

Para determinarlo, se realiza un ensayo de laboratorio en el que se mide la cantidad de agua que permite al suelo formar cilindros o hilos de 3 mm de diámetro sin romperse. Este límite es fundamental para clasificar suelos cohesivos y calcular su índice de plasticidad, que se utiliza para predecir el comportamiento del terreno en proyectos de ingeniería. El límite plástico es particularmente importante para evaluar la capacidad de compactación y la estabilidad de los suelos en condiciones húmedas.

7.1.3. Contenido de humedad

El contenido de humedad en suelos se refiere a la cantidad de agua presente en los poros del suelo, expresada como un porcentaje del peso seco del mismo. Este parámetro es fundamental en la mecánica de suelos, ya que influye directamente en sus propiedades físicas y mecánicas, como la cohesión, la compactación, la capacidad de carga y la plasticidad.

Para determinar el contenido de humedad, se realiza un ensayo de laboratorio donde se seca una muestra de suelo en un horno a una temperatura constante (generalmente 105-110°C) hasta alcanzar un peso constante. La diferencia entre el peso húmedo y el peso seco de la muestra permite calcular la proporción de agua presente.

El contenido de humedad es crucial para evaluar el comportamiento del suelo en condiciones naturales y durante su uso en proyectos de construcción, ya que afecta la estabilidad y el diseño de cimentaciones, pavimentos y estructuras de tierra.

7.1.4. Granulometría

La granulometría en suelos es el análisis que determina la distribución del tamaño de las partículas que componen un suelo. Este estudio clasifica las partículas en diferentes rangos, como grava, arena, limo y arcilla, basándose en su tamaño, y es fundamental para comprender las propiedades físicas del suelo. (Montero, 2003)

Existen dos métodos principales para realizar este análisis:

7.1.4.1. Tamizado: Se utiliza para partículas más grandes, como gravas y arenas, donde se pasan las muestras por una serie de tamices con aberturas decrecientes.

7.1.4.2. Sedimentación: Es empleado para partículas más pequeñas, como limo y arcilla, utilizando el principio de sedimentación en una suspensión líquida.

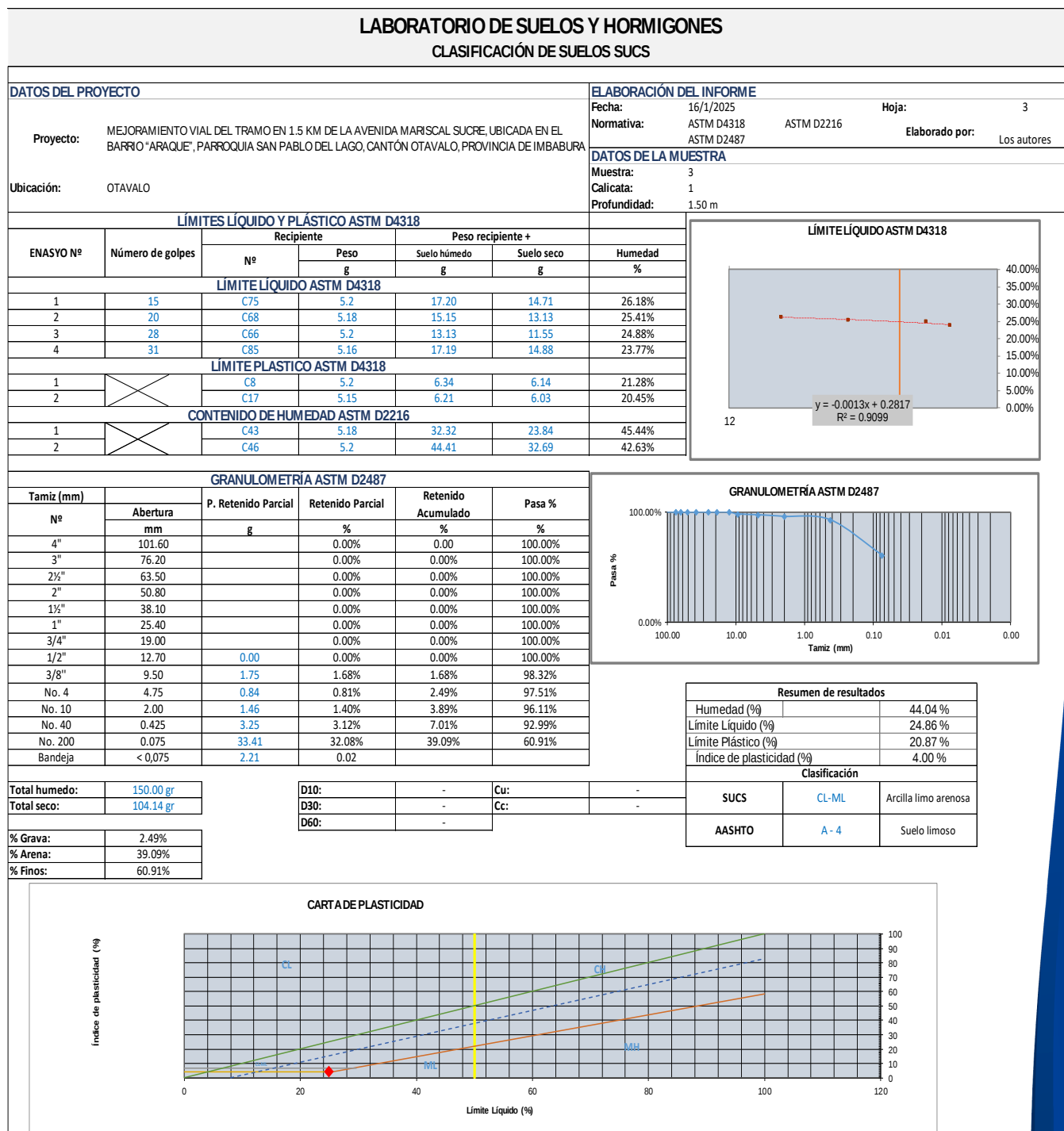
La granulometría es esencial en la ingeniería civil, ya que influye en propiedades del suelo como la permeabilidad, la capacidad de carga y la compactación. Este análisis también ayuda a clasificar los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) o el sistema de clasificación AASHTO, proporcionando información clave para el diseño y construcción de cimentaciones, carreteras y otras estructuras.

En las calicatas 3 y 4 se pudo determinar que el tipo de suelo corresponde a Arcilla Limo – Arenosa según la clasificación SUCS y A-4 según la clasificación AASHTO.

A continuación, se muestra un ejemplo de los resultados de laboratorio, correspondientes a la calicata 1 y la estratificación de cada calicata realizada.

Figura 27.

Resultados de laboratorio de suelos.



Nota. Informe de clasificación de suelos del ensayo SUCS. Elaborado por: Los autores

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en las muestras de suelo obtenidas en las calicatas permitieron identificar la presencia de suelos predominantemente CL – ML Arcillas Limosa Arenosa.

Se observó una variabilidad en las características geotécnicas a lo largo del perfil, con presencia de capas de suelo orgánico en algunos sectores. Los valores de los parámetros geotécnicos obtenidos, como la densidad, la humedad y la resistencia al corte, fueron utilizados para clasificar los suelos según los sistemas de clasificación establecidos (SUCS, AASHTO) y evaluar su capacidad portante. Esta información fue fundamental para dimensionar la estructura del pavimento, seleccionar los materiales de construcción y diseñar los sistemas de drenaje necesarios para garantizar la estabilidad de la vía.

Para conocer las propiedades de densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo, se realizaron ensayos Proctor modificado, se realizó un ensayo por calicata extraída.

7.1.5. Densidad seca máxima

La densidad seca máxima es un parámetro que representa la mayor densidad que puede alcanzar un suelo cuando se compacta en condiciones óptimas de contenido de humedad. Es un valor clave en la mecánica de suelos y se determina mediante ensayos de laboratorio, como el Proctor Estándar o el Proctor Modificado.

En estos ensayos, se compacta el suelo en un molde estándar en varias capas, aplicando una energía de compactación específica. Para cada nivel de compactación, se mide el peso del suelo seco y su contenido de humedad, obteniendo una curva de compactación. La densidad seca máxima corresponde al punto más alto de esta curva, mientras que el contenido de humedad óptimo es el nivel de agua que permite alcanzar dicha densidad.

Este parámetro es fundamental en el diseño y construcción de carreteras, cimentaciones y otras estructuras, ya que asegura que el suelo sea lo suficientemente resistente y estable para soportar cargas sin problemas de asentamientos excesivos o fallas.

7.1.6. Contenido de humedad óptimo

El contenido de humedad óptimo en suelos es el nivel específico de humedad en el que un suelo puede alcanzar su densidad seca máxima durante un proceso de compactación. Este parámetro se determina mediante ensayos de laboratorio, como el Proctor Estándar o el Proctor Modificado, donde se compacta el suelo en diferentes condiciones de humedad para trazar una curva de compactación.

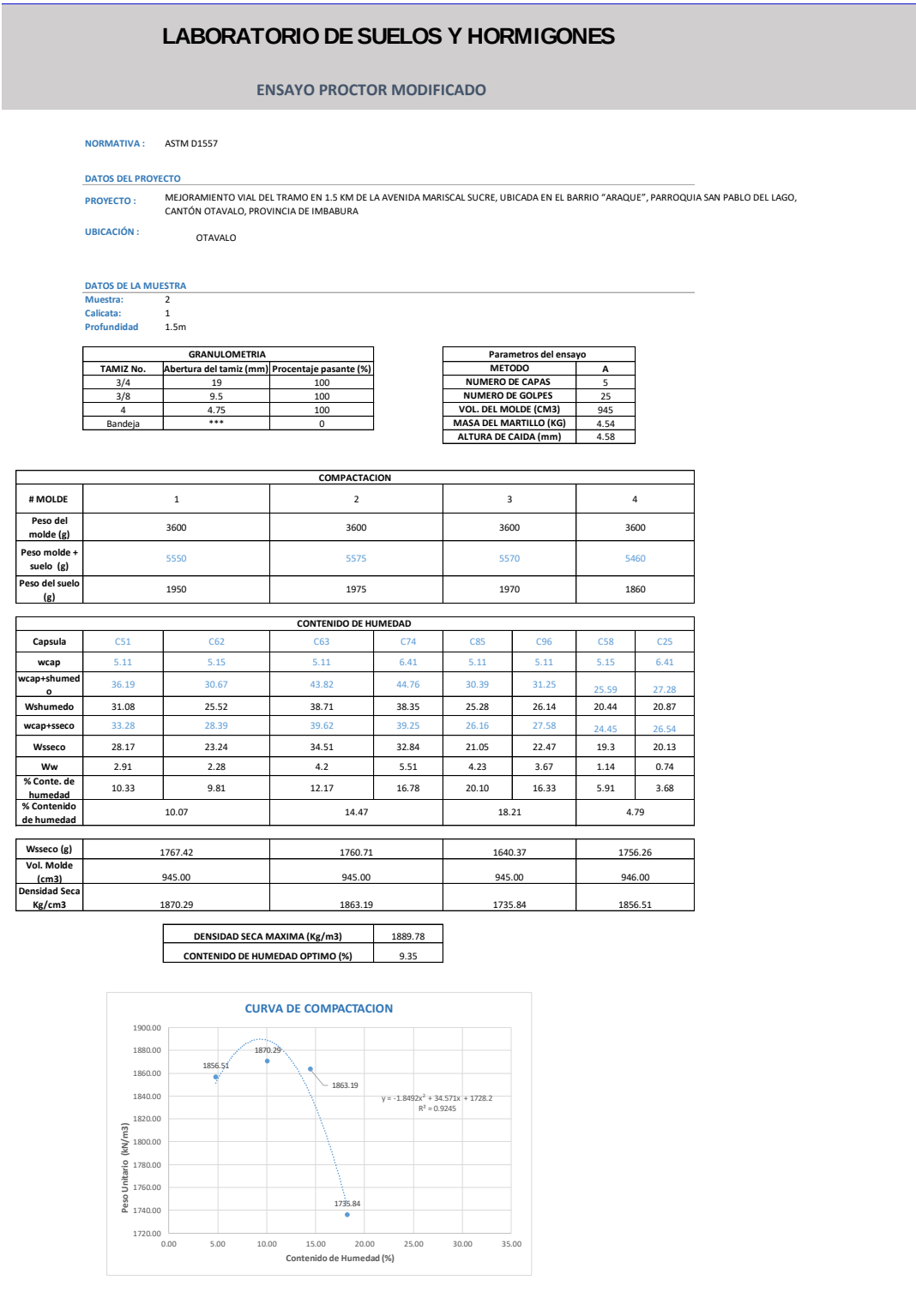
En esta curva, el contenido de humedad óptimo corresponde al punto donde la densidad seca es máxima. Si el suelo tiene menos agua que este nivel, la cohesión entre las partículas no es suficiente para alcanzar una densidad elevada. Por otro lado, si hay exceso de agua, los poros del suelo se llenan, desplazando partículas sólidas y reduciendo la densidad seca.

Este valor es fundamental en proyectos de ingeniería civil, ya que ayuda a determinar la cantidad adecuada de agua que debe añadirse al suelo durante la construcción para obtener la máxima compactación posible. Garantizar el contenido de humedad óptimo mejora la resistencia, estabilidad y capacidad de carga del suelo en aplicaciones como carreteras, cimientos y terraplenes.

A continuación, se muestra los resultados de laboratorio, obtenidos del Proctor de la calicata 1.

Figura 28.

Resultados ensayo Proctor Modificado.

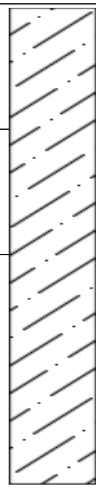


Nota. Informe de clasificación de suelos del ensayo proctor modificado. Elaborado por:

Los autores

Figura 29.

Resultados calicata 1.

Prof. (m)	Simbología	S.U.C.S	L.L%	L.P%	I.P%	W%	Descripción
0.00		SM	22.52	19.59	2.93	9.03	Arena limosa,contenido de humedad baja, no tiene presencia de contenido orgánico
0.50		SM	22.52	19.59	2.93	9.03	Arena limosa,contenido de humedad baja, no tiene presencia de contenido orgánico
1.00		SM	22.38	21.29	1.09	9.05	Arena limosa,contenido de humedad baja, no tiene presencia de contenido orgánico
1.50		SM	20.19	18.23	1.96	9.52	Arena limosa,contenido de humedad baja, no tiene presencia de contenido orgánico
SM Arena limosa							
Observaciones:							

Nota. Informe de la ubicación y descripción de la calicata 1. Elaborado por: Los autores

También se realizaron ensayos DCP, el ensayo DCP (Penetrómetro Dinámico de Cono) es una prueba de campo que se utiliza para evaluar la resistencia del suelo y determinar sus propiedades mecánicas de manera rápida y económica. Este ensayo consiste en introducir un cono metálico estandarizado en el suelo mediante golpes generados por un martillo de caída libre. El equipo mide la profundidad de penetración del cono por cada golpe, lo que permite calcular la resistencia del suelo.

Como resultado de los ensayos DCP realizados se obtuvo que el CBR promedio de sitio está entre 12 y 19%, para las cuatro muestras ensayadas. A continuación, se muestra los resultados de la muestra 1.

Figura 30.

Resultados ensayos DCP.

LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES

ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA (D.C.P.)

NORMATIVA : ASTM D 6951-03

DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO : MEJORAMIENTO VIAL DEL TRAMO EN 1.5 KM DE LA AVENIDA MARISCAL SUCRE, UBICADA EN EL BARRIO "ARAQUE", PARROQUIA SAN PABLO DEL LAGO, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA DE IMBABURA

UBICACIÓN : OTAVALO

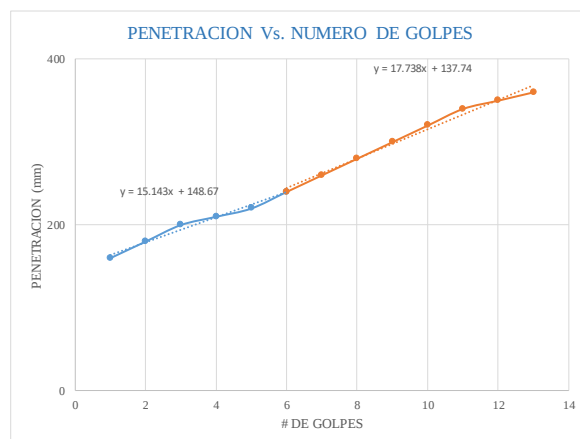
DATOS DE LA MUESTRA

Calicata: 1
Profundidad: 0.5-1 m

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO

Cono: 60°
Altura de caída: 575mm.
Martillo: 8kg

# De Golpes	Ensayo Penetración (mm)
0	0
1	160
2	180
3	200
4	210
5	220
6	240
7	260
8	280
9	300
10	320
11	340
12	350
13	360
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0



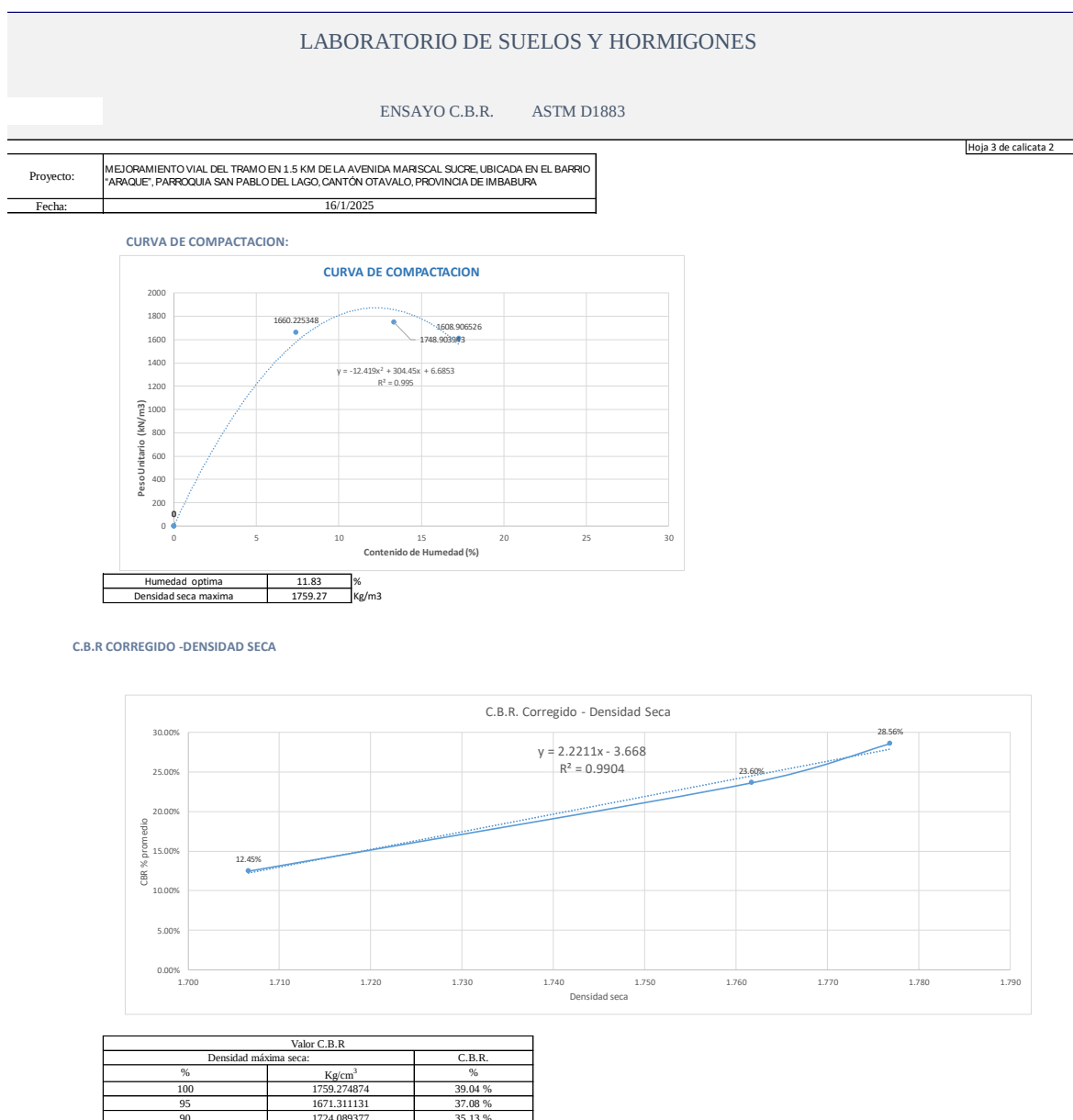
PENDIENTE		
m 1 (mm/golpe)	15.143	17.738
C.B.R. DE SITIO(%)	13.92	11.66
C.B.R. DE SITIO PROMEDIO(%) :	12.79	

Nota. Informe final del ensayo DCP (Dynamic Cone Penetrometer) de la calicata 1. Elaborado por: Los autores

Finalmente se realizaron ensayos CBR (Índice de Soporte California) que es una prueba de laboratorio o de campo que evalúa la capacidad de soporte de un suelo o material granular utilizado en la construcción de carreteras y pavimentos. Este índice compara la resistencia al esfuerzo de penetración de una muestra de suelo compactado

De los ensayos realizados se tiene que los valores del CBR en las muestras ensayadas varían entre 12 y 20%.

Figura 31.
Resultados ensayos CBR.



Nota. Informe final del ensayo CBR (Índice de Soporte California) de la calicata 1.

Elaborado por: Los autores

7.2. Análisis geomorfológico

El análisis geomorfológico del área de estudio de la Avenida Mariscal Sucre permitió identificar las principales unidades geomorfológicas presentes, así como los procesos geodinámicos activos. Mediante el uso de fotografías aéreas, imágenes satelitales y cartografía geomorfológica, se caracterizaron las formas del relieve, tales como pendientes, valles, terrazas fluviales y conos de deyección. Esta información fue crucial para evaluar la estabilidad de los taludes, la susceptibilidad a la erosión y los posibles riesgos geológicos, como deslizamientos o inundaciones. Además, se realizaron observaciones de campo para corroborar los datos obtenidos a través de la interpretación de imágenes y cartografía.

La zona de estudio se caracteriza por un relieve moderadamente accidentado, con pendientes que varían entre suaves y fuertes. La presencia de valles encajonados y taludes inestables condiciona el trazado de la vía y requiere de medidas de estabilización en algunos sectores. Los procesos geomorfológicos activos en la zona, como la erosión hídrica y la remoción en masa, pueden generar problemas de estabilidad en los taludes y afectar la durabilidad de la vía. Por otro lado, la presencia de depósitos aluviales en el fondo de los valles proporciona materiales adecuados para la construcción de la vía, pero también implica un riesgo de inundación en eventos extremos. Esta información geomorfológica fue fundamental para diseñar una vía segura y sostenible.

7.3. Riesgos Naturales

La evaluación de riesgos naturales en el área de influencia de la Avenida Mariscal Sucre se llevó a cabo mediante la identificación y análisis de los fenómenos naturales con mayor probabilidad de ocurrencia. Se consideraron los riesgos asociados a la geodinámica externa, como deslizamientos, erosiones y flujos de detritos, así como los riesgos hidrometeorológicos, como inundaciones y eventos extremos de precipitación. Para la

evaluación de estos riesgos se utilizaron mapas de peligros naturales, estudios históricos de eventos extremos y modelos numéricos. Los resultados de este análisis permitieron identificar las zonas más vulnerables y proponer medidas de mitigación adecuadas.

Los principales riesgos naturales identificados en el área de estudio son los deslizamientos y las erosiones, debido a la presencia de taludes inestables y suelos susceptibles a la erosión. Estos procesos pueden ser activados por eventos de precipitación intensa o sismos, generando daños en la vía, obstrucciones y poniendo en riesgo la seguridad de los usuarios. Además, se identificó el riesgo de inundaciones en zonas bajas, debido a la proximidad de cursos de agua y la ocurrencia de eventos extremos de precipitación. Estos riesgos pueden afectar la transitabilidad de la vía y generar daños en las estructuras.

7.4. Fuente de Materiales

La identificación de fuentes de materiales adecuados para la construcción del proyecto de mejoramiento vial de la Avenida Mariscal Sucre fue una etapa crucial. Se realizaron exploraciones de campo y consultas con proveedores locales para identificar potenciales fuentes de materiales como agregados pétreos (grava y arena), suelo de préstamo y material de subbase. Se priorizaron fuentes cercanas al proyecto para reducir los costos de transporte y minimizar el impacto ambiental. Además, se consideraron factores como la disponibilidad, calidad y volumen de los materiales para garantizar un suministro adecuado durante la ejecución de la obra.

Una vez identificadas las fuentes potenciales de materiales, se procedió a realizar una evaluación de su calidad y adecuación para los requerimientos del proyecto. Se tomaron muestras de los materiales y se llevaron a laboratorio para realizar ensayos geotécnicos como granulometría, límites de Atterberg, densidad, compactación y resistencia al corte. Estos ensayos permitieron determinar si los materiales cumplían con

las especificaciones técnicas establecidas en el diseño del pavimento. Además, se realizaron pruebas de durabilidad y resistencia a la fatiga para garantizar la calidad y durabilidad de los materiales utilizados en la construcción.

CAPÍTULO VIII

DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA

8.1. Normas de Diseño Geométrico

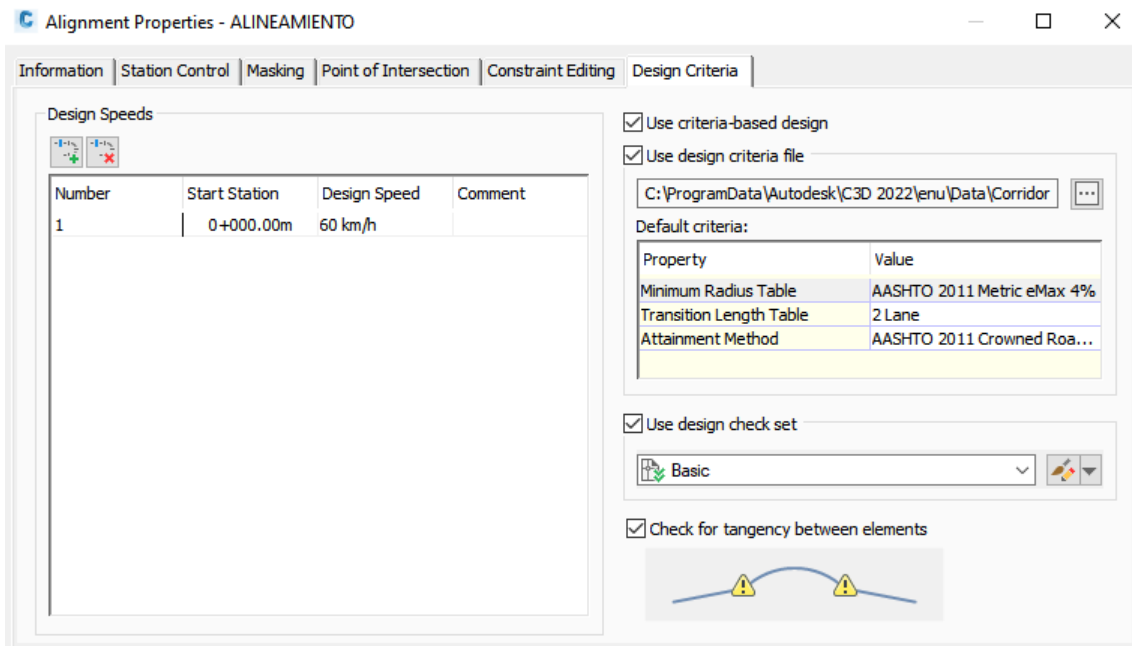
En el proyecto de mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre se ha aplicado la normativa MOP rigurosamente para garantizar que la vía cumpla con los estándares de calidad y seguridad establecidos. Los criterios de diseño geométrico, como los radios mínimos de curva, peraltes, pendientes longitudinales y transversales, han sido definidos considerando las características del terreno, el volumen de tráfico proyectado y las velocidades de diseño permitidas. La aplicación de estas normas ha permitido optimizar el trazado de la vía, mejorar la visibilidad y garantizar una conducción segura para todos los usuarios.

Los estudios de suelo, realizados mediante calicatas y ensayos de laboratorio, han sido fundamentales para adaptar las normas de diseño geométrico a las condiciones específicas del terreno. La capacidad portante del suelo, determinada a través de estos estudios, ha influido directamente en la selección de los perfiles transversales y los espesores de pavimento. Además, la estabilidad de los taludes, evaluada a partir de los resultados de los ensayos, ha permitido establecer las pendientes máximas admisibles y diseñar las obras de drenaje necesarias. De esta manera, se ha garantizado que el diseño geométrico de la vía sea compatible con las características geotécnicas del terreno, asegurando su durabilidad y seguridad.

Para determinar el radio mínimo de curva horizontal en la Avenida Mariscal Sucre, se aplicaron las disposiciones de la MOP, considerando la velocidad de diseño y el tipo de terreno. Los estudios de suelo permitieron establecer la capacidad portante del terreno, lo cual influyó en la selección del radio mínimo de curva.

Figura 32.

Normativa de diseño en Civil 3D.



Nota. Configuración de la normativa de diseño en el software de análisis. Elaborado por: Los Autores

8.2. Pendientes máximas y mínimas

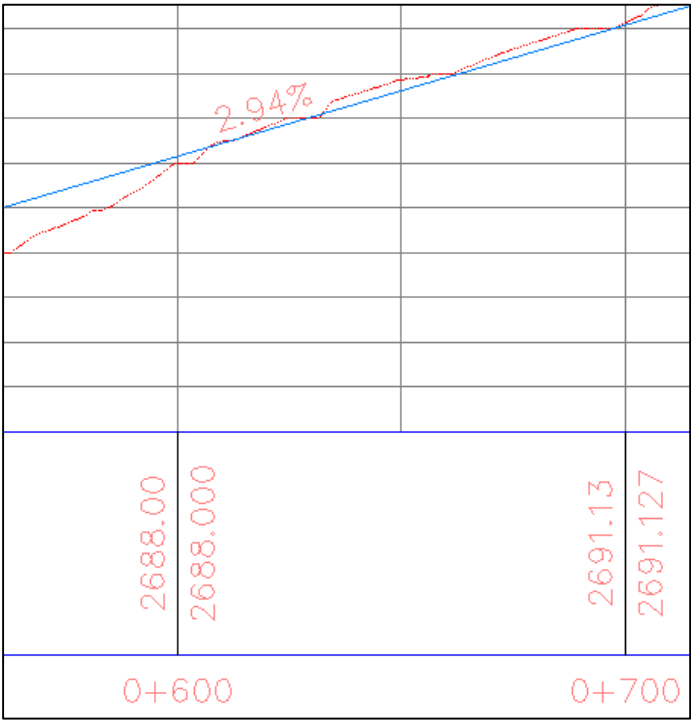
Las pendientes máximas y mínimas son elementos fundamentales en el diseño geométrico de una vía, ya que influye directamente en la seguridad, comodidad y capacidad de la misma. En el proyecto de mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre, se han establecido pendientes máximas y mínimas considerando las características topográficas del terreno y las normas técnicas vigentes. Las pendientes mínimas se han definido para facilitar el drenaje superficial y evitar la formación de charcos. Los estudios de suelo realizados han sido cruciales para determinar la capacidad portante del terreno y establecer las pendientes máximas admisibles.

Las pendientes máximas y mínimas han tenido un impacto significativo en el diseño geométrico de la Avenida Mariscal Sucre. Las pendientes longitudinales máximas se han definido considerando la velocidad de diseño y el tipo de vehículo, de manera que

se garantice una conducción segura y cómoda. Las pendientes transversales se han establecido para facilitar el drenaje superficial y evitar la acumulación de agua en la calzada. Además, se han diseñado obras de drenaje adicionales (cunetas), para complementar el sistema de drenaje y garantizar la estabilidad de la vía. La definición de las pendientes máximas y mínimas ha sido un proceso iterativo, en el que se han considerado las restricciones impuestas por el terreno y las necesidades de los usuarios.

Las pendientes máximas longitudinales en la Avenida Mariscal Sucre se han limitado al 7%, y pendiente mínimas del 0.5% sin embargo, las pendientes de acuerdo al diseño son bajas, de acuerdo con lo establecido en la MOP. Los estudios de suelo revelaron que el terreno presenta una capacidad portante adecuada para soportar las pendientes establecidas. Además, se han diseñado cunetas revestidas a lo largo de la vía para garantizar un drenaje eficiente.

Figura 33.
Pendientes de diseño.



Nota. Pendiente máxima obtenida en el diseño de la vía. Elaborado por: Los Autores

Como se puede observar en la imagen anterior, la pendiente longitudinal definitiva obtenida en el diseño de la vía es del 2.94%, por consiguiente, al comparar la pendiente con la normativa de diseño se corrobora que está dentro del rango admisible, por otra parte, la pendiente transversal adoptada para un drenaje óptimo es del 2%

8.3. Distancia de Visibilidad

La distancia de visibilidad es un factor crítico en el diseño geométrico de una vía, ya que garantiza la seguridad de los usuarios al permitirles anticipar obstáculos y realizar maniobras con suficiente tiempo. En el presente proyecto se han realizado análisis detallados de la distancia de visibilidad para paradas de 70 m y distancia de visibilidad para rebasamiento de 415m para garantizar que cumpla con los requisitos establecidos en las normas técnicas, y se han diseñado los elementos geométricos de la vía, tales como radios de curva horizontal de 110m, de manera que se asegure una visibilidad adecuada en todos los puntos críticos.

La topografía del terreno y los elementos del diseño vial, como los taludes, los puentes y los obstáculos laterales, influyen significativamente en la distancia de visibilidad. En el proyecto de la Avenida Mariscal Sucre, se ha realizado un análisis exhaustivo de la topografía existente para identificar los puntos donde la distancia de visibilidad podría verse comprometida, por lo que luego del análisis se ha determinado que en el tramo de vía analizado no existe puntos en los cuales dicha distancia podría estar comprometida.

8.4. Secciones y Elementos Típicos

Las secciones típicas son representaciones gráficas que muestran la configuración transversal de la vía en diferentes puntos característicos. En el proyecto de mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre, se han desarrollado diversas secciones típicas para adaptarse a las variaciones topográficas y a las condiciones del subsuelo. Estas secciones

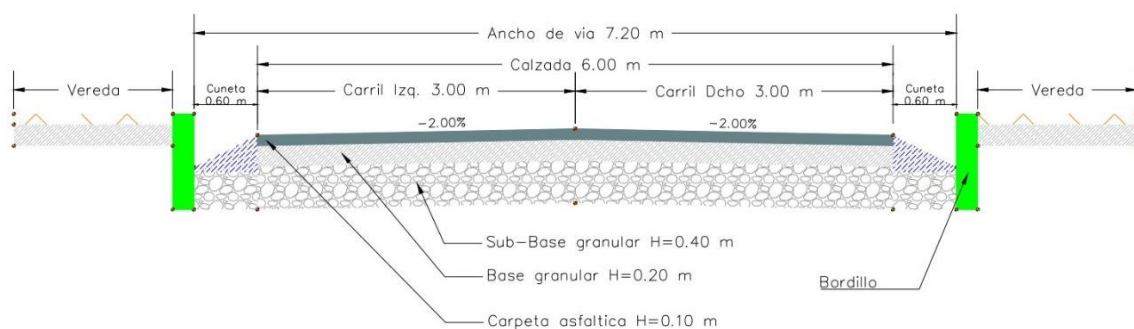
incluyen elementos como la calzada, los hombros, las cunetas, los taludes y las obras de drenaje. La definición de las secciones típicas ha sido fundamental para determinar los volúmenes de movimiento de tierra y los materiales necesarios para la construcción de la vía, así como para garantizar la seguridad y funcionalidad de la misma

Los estudios de suelo realizados en el proyecto han sido determinantes para el diseño de las secciones típicas. La capacidad portante del suelo ha influido en la selección de los espesores de las capas de pavimento y de la subbase. Las secciones típicas han sido diseñadas de manera que garanticen la estabilidad de la vía y minimicen el riesgo de fallas. La variabilidad de las condiciones del suelo a lo largo del trazado ha requerido el desarrollo de diferentes secciones típicas para adaptarse a cada tramo.

Las secciones típicas de la Avenida Mariscal Sucre han sido diseñadas considerando las características geotécnicas del terreno y las normas técnicas vigentes. Se han diseñado cunetas revestidas para garantizar un drenaje eficiente. Los materiales seleccionados para la construcción de la vía cumplen con las especificaciones técnicas establecidas y han sido obtenidos de fuentes locales.

Figura 34.

Secciones típicas de la vía.



Nota. Secciones típicas incluidas en el diseño de la vía. Elaborado por: Los Autores

Como se puede observar en la imagen, en el diseño se incluye las cunetas, bermas de seguridad y el espesor del pavimento con sus respectivas capas de base y subbase. Así mismo se observa que se ha dado pendiente suficiente para el drenaje dentro de la vía.

8.5.Diseño Horizontal

El diseño horizontal de una vía es un aspecto fundamental que determina su seguridad y comodidad. En el proyecto de mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre, se ha prestado especial atención al diseño de las curvas horizontales, asegurando que cumplan con los radios mínimos establecidos en las normas técnicas. Se han considerado factores como la velocidad de diseño, el peralte y la distancia de visibilidad para garantizar una transición suave entre las tangentes y las curvas. Un diseño horizontal adecuado contribuye a reducir la probabilidad de accidentes y a mejorar la experiencia de conducción de los usuarios.

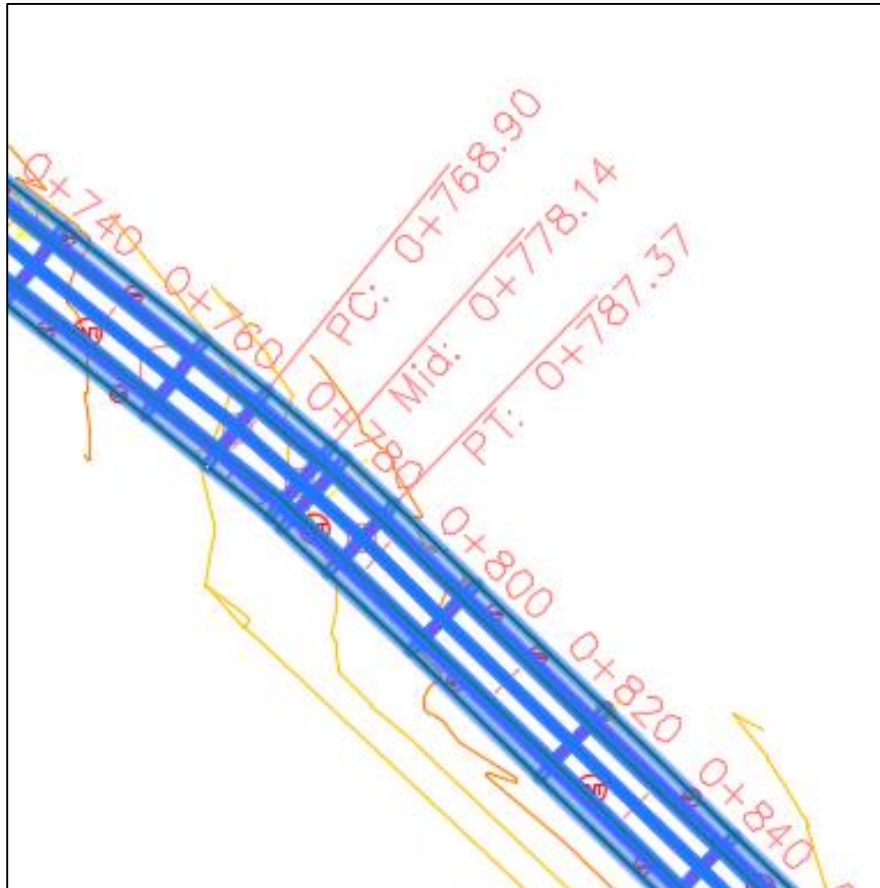
La topografía del terreno ha sido un factor determinante en el diseño horizontal de la Avenida Mariscal Sucre. Se han realizado ajustes al trazado original para adaptarse a las condiciones del terreno y minimizar los movimientos de tierra. Además, se han diseñado curvas horizontales con radios variables para adaptarse a las restricciones impuestas por la topografía y los obstáculos existentes. Los elementos del diseño horizontal, como los peraltes y las super elevaciones, se han dimensionado de acuerdo con las velocidades de diseño y los radios de curva, garantizando así la estabilidad y la seguridad de la vía.

El diseño horizontal de la Avenida Mariscal Sucre se ha considerando una velocidad de diseño de 60 km/h. Se han diseñado curvas horizontales con radios mínimos que garantizan una distancia de visibilidad adecuada para las velocidades de diseño. Los peraltes se han dimensionado para compensar las fuerzas centrífugas en las curvas y mejorar la estabilidad de los vehículos. Además, se han realizado ajustes al trazado para

adaptarse a las restricciones impuestas por la topografía, minimizando así los costos de construcción.

Figura 35.

Diseño horizontal de la vía.



Nota. Diseño de vía con curvas horizontales. Elaborado por: Los Autores

En el diseño horizontal de la vía se incluye las curvas con sus respectivos puntos de tangencia (PT) y puntos de comienzo de curva (PC), no ha sido necesario el diseño de clotoides.

En el diseño horizontal de acuerdo a la información levantada en sitio se ha determinado que el ancho de vía es de 3m, adicional la cuneta tiene 0.60m y la berma de 1.50m, lo que en total se tiene un ancho de carril de 5.10m para cada dirección de carril.

Tabla 31.*Tangentes y curvas horizontales.*

No.	Number	Type	Length	Radius	Start Station	End Station	PI Station
1	1	Line	19.928m		0+000.00m	0+019.93m	
2	2	Line	525.724m		0+019.93m	0+545.65m	
3	3	Line	204.765m		0+545.65m	0+750.42m	
4	4	Curve	55.415m	600.000m	0+750.42m	0+805.83m	0+778.15m
5	5	Line	201.966m		0+805.83m	1+007.80m	
6	6	Line	213.763m		1+007.80m	1+221.56m	
7	7	Line	101.773m		1+221.56m	1+323.33m	
8	8	Curve	19.650m	400.000m	1+323.33m	1+342.98m	1+333.16m
9	9	Line	72.855m		1+342.98m	1+415.84m	
10	10	Curve	35.799m	500.000m	1+415.84m	1+451.64m	1+433.75m
11	11	Line	48.303m		1+451.64m	1+499.94m	

Nota. Resultados finales de curvas y tangentes horizontales. Elaborado por: Los Autores

8.6.Diseño Vertical

El diseño vertical de una vía, definido por las pendientes longitudinales y las curvas verticales, es un aspecto crucial para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios. En el proyecto de mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre, se ha prestado especial atención al diseño del perfil longitudinal, buscando pendientes suaves y curvas verticales con radios adecuados. Esto permite una transición gradual entre los cambios de pendiente, evitando bruscos cambios de velocidad y mejorando la visibilidad. Un diseño vertical bien ejecutado contribuye a una conducción más segura y placentera, minimizando el riesgo de accidentes.

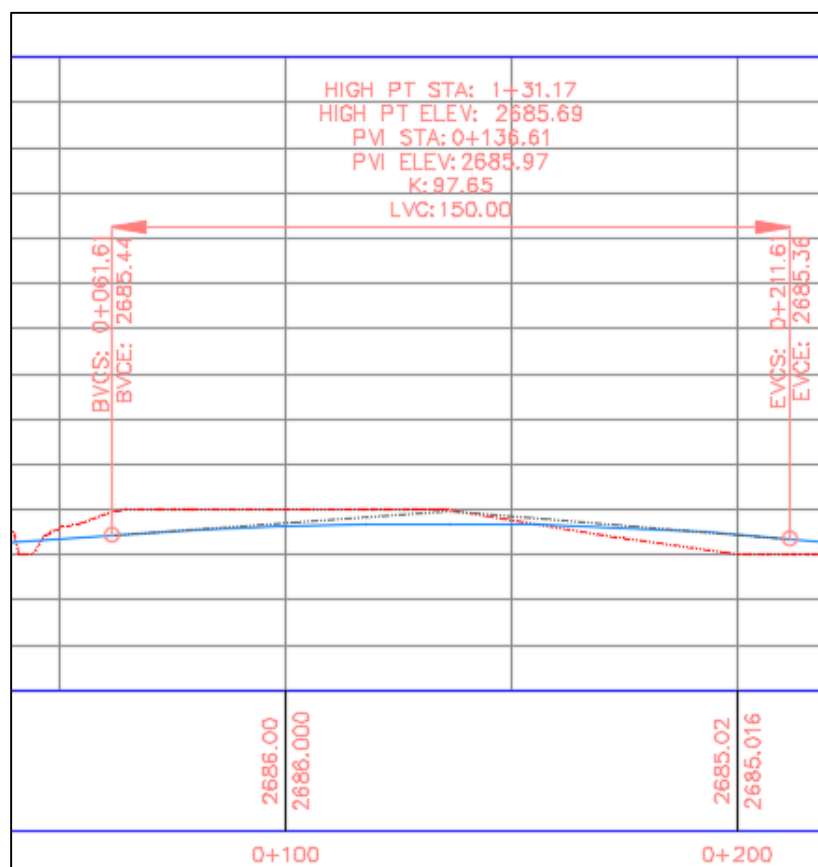
La topografía del terreno ha influido significativamente en el diseño vertical de la Avenida Mariscal Sucre. Se han realizado ajustes al perfil longitudinal original para adaptarse a las condiciones naturales del terreno, minimizando los movimientos de tierra y los costos de construcción. Las curvas verticales se han diseñado considerando la

distancia de visibilidad necesaria para garantizar la seguridad de los usuarios, especialmente en los puntos donde se producen cambios bruscos de pendiente. Además, se han incorporado elementos de drenaje, como cunetas y alcantarillas, para asegurar una adecuada evacuación de las aguas superficiales y evitar problemas de inundación.

El diseño vertical de la Avenida Mariscal Sucre se ha basado en las normas técnicas ecuatorianas, considerando una velocidad de diseño de 60 km/h. Se han establecido pendientes máximas y mínimas para garantizar la comodidad de los usuarios y facilitar el drenaje. Las curvas verticales se han diseñado con radios adecuados para asegurar una distancia de visibilidad suficiente en las zonas de transición.

Figura 36.

Diseño vertical de la vía.



Nota. Diseño de vía con curvas verticales. Elaborado por: Los Autores

En el diseño vertical de la vía se incluye las curvas con sus respectivos puntos de tangencia (PT) y puntos de comienzo de curva (PC), no ha sido necesario el diseño de clotoides.

Tabla 32.

Tangentes y curvas horizontales.

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius	Design Speed
1	0+000.00m	2685.000m					
2	0+136.61m	2685.973m	0.71%	67.000m	43.638	4363.752m	60 km/h
3	0+440.82m	2683.470m	-0.82%	67.699m	18.000	1800.000m	60 km/h
4	0+800.26m	2694.030m	2.94%	157.000m	47.385	4738.519m	60 km/h
5	1+331.92m	2692.035m	-0.38%	27.773m	18.000	1800.000m	60 km/h
6	1+499.94m	2693.997m	1.17%				

Nota. Resultados finales de curvas y tangentes verticales. Elaborado por: Los Autores

8.7.Volumen Corte y Relleno

El cálculo de los volúmenes de corte y relleno es un aspecto fundamental en el diseño de cualquier proyecto vial, ya que permite determinar la cantidad de material que debe ser excavado y transportado a las zonas donde se requiere relleno. En el proyecto de mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre, se ha realizado un detallado análisis de los volúmenes de corte y relleno a lo largo de todo el trazado. Este análisis ha permitido optimizar la distribución de los materiales de excavación, minimizando los costos de transporte y buscando un balance entre los volúmenes de corte y relleno. Un adecuado balance de tierras es esencial para garantizar la sostenibilidad económica y ambiental del proyecto.

La topografía del terreno y el diseño geométrico de la vía tienen una influencia directa en los volúmenes de corte y relleno. En el proyecto de la Avenida Mariscal Sucre, las variaciones en la cota del terreno han generado zonas de corte y relleno a lo largo de

todo el trazado. Se han realizado ajustes al perfil longitudinal y a las secciones transversales para optimizar los volúmenes de movimiento de tierras y minimizar los impactos ambientales. Los resultados del análisis de volúmenes han sido utilizados para definir las áreas de préstamo y botadero, así como para determinar la cantidad de material de préstamo que debe ser adquirido.

Los volúmenes de corte y relleno de la Avenida Mariscal Sucre se calcularon utilizando software de diseño especializado. Se realizaron múltiples secciones transversales a lo largo del trazado para obtener una estimación precisa de los volúmenes. El análisis de los resultados permitió identificar las zonas donde se requerían mayores volúmenes de excavación y las zonas donde se necesitaban rellenos. Se buscó un balance óptimo entre los volúmenes de corte y relleno para minimizar los costos de transporte y reducir el impacto ambiental del proyecto.

Figura 37.

Volumen de corte y relleno.

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
1+380.00	0.00	8.57	0.14	141.68	502.59	7978.14
1+400.00	0.00	9.98	0.00	185.53	502.59	8163.68
1+420.00	0.00	10.00	0.00	199.76	502.59	8363.44
1+426.61	0.00	10.19	0.00	66.75	502.59	8430.18
1+430.00	0.00	10.29	0.00	34.70	502.59	8464.89
1+433.77	0.00	10.39	0.00	39.02	502.59	8503.91
1+440.00	0.00	10.52	0.00	65.15	502.59	8569.06
1+440.93	0.00	10.53	0.00	9.80	502.59	8578.87
1+460.00	0.00	9.61	0.00	192.05	502.59	8770.92
1+480.00	0.00	7.21	0.00	168.20	502.59	8939.12
1+499.98	0.00	4.81	0.00	120.10	502.59	9059.22

Nota. Resumen de volúmenes de corte y relleno. Elaborado por: Los Autores

Como se observa en la imagen el volumen de corte es superior al de relleno, esto debido a que se tiene que excavar para colocar las capas de base y subbase, por ende, se corrobora que la topografía es correcta.

8.8. Curva de Masas

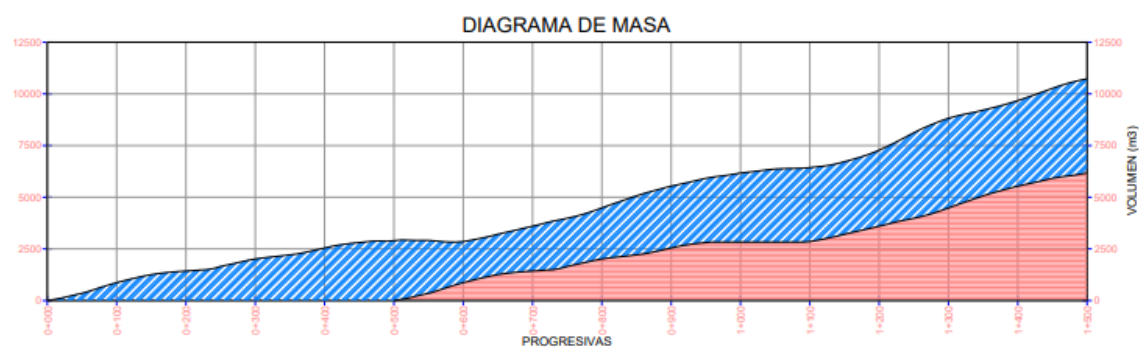
La curva de masas es una herramienta fundamental en la gestión de los volúmenes de corte y relleno en un proyecto vial. En el mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre, la construcción de esta curva permitió visualizar de manera gráfica la distribución de los volúmenes a lo largo del trazado. A través de ella, se identificaron las zonas de exceso y déficit de material, lo cual fue crucial para optimizar la planificación de los trabajos de excavación y relleno. Además, la curva de masas sirvió como base para determinar la distancia de acarreo promedio y calcular los costos asociados al movimiento de tierras.

El diseño geométrico de la vía, en particular el perfil longitudinal y las secciones transversales, influye directamente en la forma de la curva de masas. En el proyecto de la Avenida Mariscal Sucre, los cambios en la pendiente y los radios de curva generaron variaciones significativas en los volúmenes de corte y relleno. La curva de masas permitió visualizar cómo estos cambios se reflejaban en la distribución de los materiales a lo largo del trazado. Gracias a esta herramienta, se pudieron ajustar los diseños para optimizar los volúmenes de movimiento de tierras y minimizar los costos de construcción.

La curva de masas de la Avenida Mariscal Sucre se construyó utilizando un software de diseño especializado. A partir de las secciones transversales y del perfil longitudinal, se obtuvieron los volúmenes acumulados de corte y relleno en cada estación. El análisis de la curva permitió identificar varias zonas de compensación, lo que optimizó la distribución de los materiales de excavación y redujo los costos de transporte. Además, se identificaron algunas zonas donde fue necesario adquirir material de préstamo para completar los rellenos.

Figura 38.

Volumen de corte y relleno.



Nota. Resumen diagrama de masas. Elaborado por: Los Autores

CAPÍTULO IX

DISEÑO HIDRAÚLICO

9.1. Estación Hidrológica

Las estaciones meteorológicas son dispositivos o instalaciones diseñadas para medir y registrar las condiciones atmosféricas de una ubicación específica. Estas estaciones recopilan datos esenciales como temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, precipitación, entre otros, lo que permite analizar el clima local y realizar pronósticos meteorológicos.

Con los avances tecnológicos, las estaciones meteorológicas han evolucionado para incluir sensores de alta precisión y capacidad de conexión a Internet, lo que permite el monitoreo remoto. Además, los datos recopilados son integrados en plataformas digitales, facilitando el análisis y la visualización a través de software especializado. (Solis, 2024)

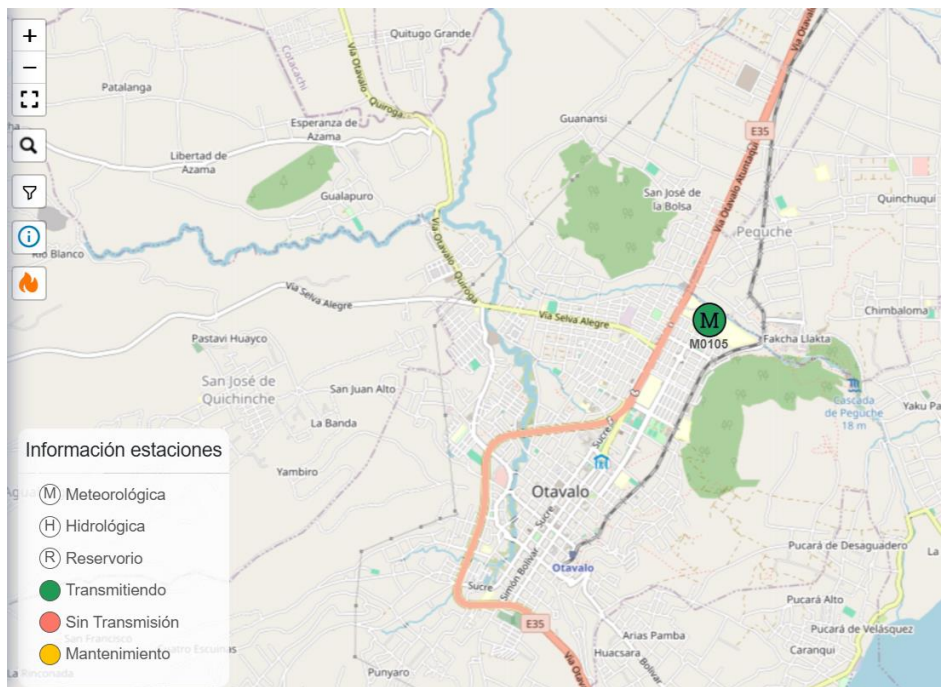
En Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) es el encargado de monitorear, analizar y proporcionar información sobre las condiciones meteorológicas, climáticas e hidrológicas del país. Fundado con el objetivo de apoyar la gestión ambiental, social y económica, el INAMHI juega un papel crucial en la predicción del clima, el monitoreo de fenómenos atmosféricos y la gestión de los recursos hídricos.

El INAMHI cuenta con una serie de estaciones meteorológicas a lo largo de todo el país, además en el año 2015 desarrolló en el Subproceso de Estudios e Investigaciones Hidrológicas la Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación en el país. (Inamhi, 2015)

Cerca del sitio del proyecto se ubica la estación meteorológica denominada M0105, como se muestra la siguiente Figura:

Figura 39.

Estación meteorológica en Otavalo.



Nota. Mapa de estación meteorológica de la ciudad de Otavalo. Fuente: INAMHI 2015

En el estudio mencionado del INAMHI se tiene que las ecuaciones de precipitación para la estación M0105 son:

Tabla 33.

Ecuaciones estación meteorológica M0105.

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0105	OTAVALO	5<30	$i = 139.3508 * T^{0.1925} * t^{-0.4694}$	0.9818	0.9640
		30<120	$i = 386.3558 * T^{0.1757} * t^{-0.7396}$	0.9948	0.9897
		120<1440	$i = 860.1085 * T^{0.1672} * t^{-0.9004}$	0.9987	0.9975

Nota. Valores referenciales tomados para calcular la precipitación del proyecto. Fuente:

INAMHI 2015

Para el periodo de retorno se elige uno de 5 años y un tiempo de concentración de 10 minutos.

$$i = 139.3508 * T^{0.1925} * t^{-0.4694}$$

De la ecuación anterior:

i es la intensidad de precipitación

T es el periodo de retorno en años

t es el tiempo de concentración

$$i = 139.3508 * 5^{0.1925} * 10^{-0.4694}$$

$$i = 64.46 \text{ mm/h}$$

9.2. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es un valor numérico que representa la proporción del agua de lluvia que, en lugar de infiltrarse en el suelo o evaporarse, fluye sobre la superficie terrestre como escorrentía superficial. Este parámetro es fundamental en el diseño de sistemas de drenaje pluvial y en estudios hidrológicos, ya que permite calcular la cantidad de agua que debe ser manejada por una infraestructura de drenaje, como alcantarillas o canales.

El coeficiente de escorrentía se utiliza en fórmulas como la ecuación racional para calcular el caudal de diseño en sistemas de drenaje. Este parámetro ayuda a dimensionar adecuadamente alcantarillas, canales y otros elementos, garantizando que puedan manejar el volumen de agua generado durante lluvias intensas, evitando inundaciones y daños a la infraestructura.

A continuación, se muestran valores referenciales de coeficientes de escorrentía para zonas urbanas:

Tabla 34.*Coeficiente de escorrentía zona rural.*

Superficie	Coeficiente de Escorrentía (C)	Fuente
Áreas completamente impermeables (asfalto, concreto)	0.90 - 1.00	Chow et al. (1988)
Áreas residenciales (lotes pequeños, alta densidad)	0.50 - 0.70	McCuen (1998)
Áreas residenciales (lotes grandes, baja densidad)	0.30 - 0.50	McCuen (1998)
Áreas comerciales o industriales	0.70 - 0.90	Viessman & Lewis (2003)
Áreas urbanas con vegetación	0.10 - 0.25	Chow et al. (1988)

Nota. Valores recomendados para el coeficiente de escorrentía según la superficie.

Fuente: INAMHI 2015

Para el proyecto en desarrollo se considerará la superficie de aportación para las cunetas la superficie de la vía, es decir asfalto por tanto se adopta un coeficiente de escorrentía de 1 siendo este el caso más crítico.

No se realizará un análisis minucioso de las áreas y tipos de aportación para el drenaje vial, considerando que existen viviendas en los costados de las vías los cuales ya cuentan con sistemas de alcantarillado combinado.

9.3.Método racional

El método racional es una técnica ampliamente utilizada en ingeniería hidrológica para calcular el caudal máximo de escorrentía superficial generado por una lluvia en una cuenca o área específica. Este método es especialmente práctico para diseñar sistemas de drenaje pluvial, como alcantarillas, canales y sistemas de recolección de agua de lluvia, en áreas pequeñas y de uso urbano.

La fórmula empleada para el cálculo del caudal es la siguiente:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Dónde:

Q es el caudal de diseño correspondiente al periodo de retorno escogido en m³/s

C es el coeficiente de escorrentía

I es la intensidad de precipitación en mm/h

A es el área de análisis en Ha

El área de aporte corresponde a la vía más el ancho de la cuneta, entonces el cálculo del área se define a continuación:

$$A = L_{vía} * (A_{vía} + A_{cuneta})$$

Donde;

A es el área de la vía

L. vía es la longitud de la vía en m

A. vía es el ancho de la vía

A. cuneta es el ancho de la cuneta

$$A = 1500m * (6m + 0.80m)$$

$$A = 10200 m^2 = 1.02 Ha$$

Finalmente se puede calcular el caudal con la fórmula del método racional.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

$$Q = \frac{0.9 * 64.46 mm/h * 1.02 Ha}{360}$$

$$Q = 0.164 \frac{m^3}{s}$$

El caudal de diseño debe ser repartido para las dos cunetas en partes iguales, considerando que, por el bombeo de la vía, la escorrentía se distribuirá de igual manera a ambas cunetas.

9.4.Cunetas

Una vez que se ha determinado el caudal de diseño se puede realizar el diseño de las cunetas utilizando la ecuación de Manning.

La ecuación de Manning es una fórmula ampliamente utilizada en hidráulica para calcular la velocidad del flujo de agua en canales abiertos o tuberías parcialmente llenas. Se basa en parámetros geométricos e hidráulicos del canal, junto con un coeficiente que representa la rugosidad de la superficie. Fue desarrollada por el ingeniero irlandés Robert Manning en 1889 y es una herramienta fundamental para el diseño de sistemas de drenaje y cunetas.

La ecuación de Manning se presenta a continuación:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

Donde:

V es la velocidad de flujo en la sección en m/s

n es el coeficiente de Manning (0.016 para cunetas de hormigón en condición regular)

R es el radio hidráulico en m

S es la pendiente de la cuneta en m/m

La ecuación anterior expresada en términos de caudal y aplicada para una sección trapezoidal de las siguientes características:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\left(b + \frac{ze + zi}{2} * y \right) * y \right) * \left(\frac{\left(\left(b + \frac{ze + zi}{2} * y \right) * y \right)}{b + (\sqrt{1 + ze^2} + \sqrt{1 + ze^2}) * y} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

Donde:

Q es el caudal de la cuneta en m³/s

n es el coeficiente de Manning

b es el ancho del fondo de la cuneta en m

ze es el coeficiente de talud exterior

zi es el coeficiente de talud interior

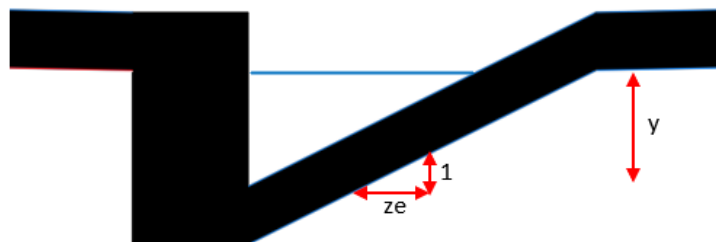
y es la altura del agua en la cuneta en m

S es la pendiente en m/m

Para el diseño se considera el siguiente tipo de cuneta:

Figura 40.

Cuneta triangular.



Nota. Imagen dwg de la cuneta diseñada. Elaborado por: Los Autores

De los cálculos realizados se tienen los siguientes resultados:

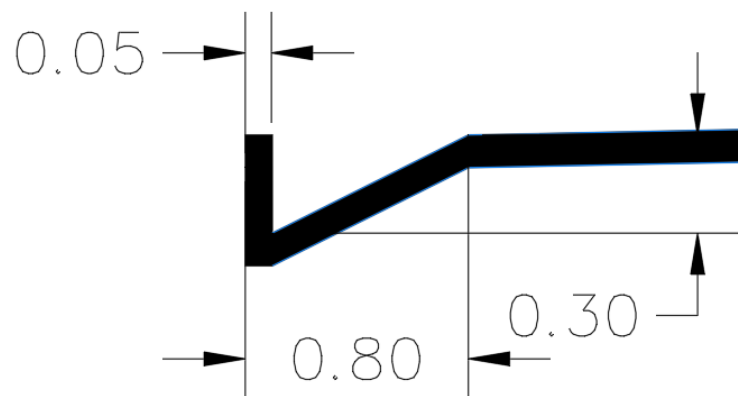
Tabla 35.

Dimensiones de cuneta.

CUNETA TRIANGULAR		
Zi	3.00	-
Ze	0.00	-
y	0.25	m
B	0.75	m
A	0.09	m ²
P	1.03	m
R	0.09	m
n	0.02	-
S	0.50	%
Q	82.00	lt/s
V	0.88	m/s

Nota. Resumen de valores con los que se diseñó la cuneta. Elaborado por: Los Autores

Entonces se tiene que el diseño de la cuneta es el siguiente:



9.5. Alcantarillado

El alcantarillado pluvial en una vía es un sistema diseñado para recolectar y conducir de manera eficiente el agua de lluvia que se acumula en la superficie de las carreteras y sus alrededores. Su objetivo principal es prevenir inundaciones, evitar daños a la infraestructura vial y garantizar la seguridad de los usuarios.

Los elementos principales de un alcantarillado son:

Sumideros: Rejillas o puntos de captación ubicados en los bordes de las vías que recogen el agua de lluvia. Están diseñados para captar el flujo superficial y minimizar su acumulación en la calzada.

Cunetas: Canales a superficie libre a lo largo de la vía que conducen el agua hacia los sumideros o colectores principales. Pueden ser revestidas de hormigón, adoquines o materiales naturales.

Tuberías o Colectores: Conducen el agua captada por los sumideros hacia puntos de descarga, como ríos, quebradas o sistemas de almacenamiento.

Cámaras de Inspección: Estructuras intermedias que permiten el acceso al sistema para tareas de mantenimiento y limpieza.

Drenajes Longitudinales y Transversales: Conducen el agua de lluvia a lo largo o a través de la vía para evitar su acumulación en zonas críticas.

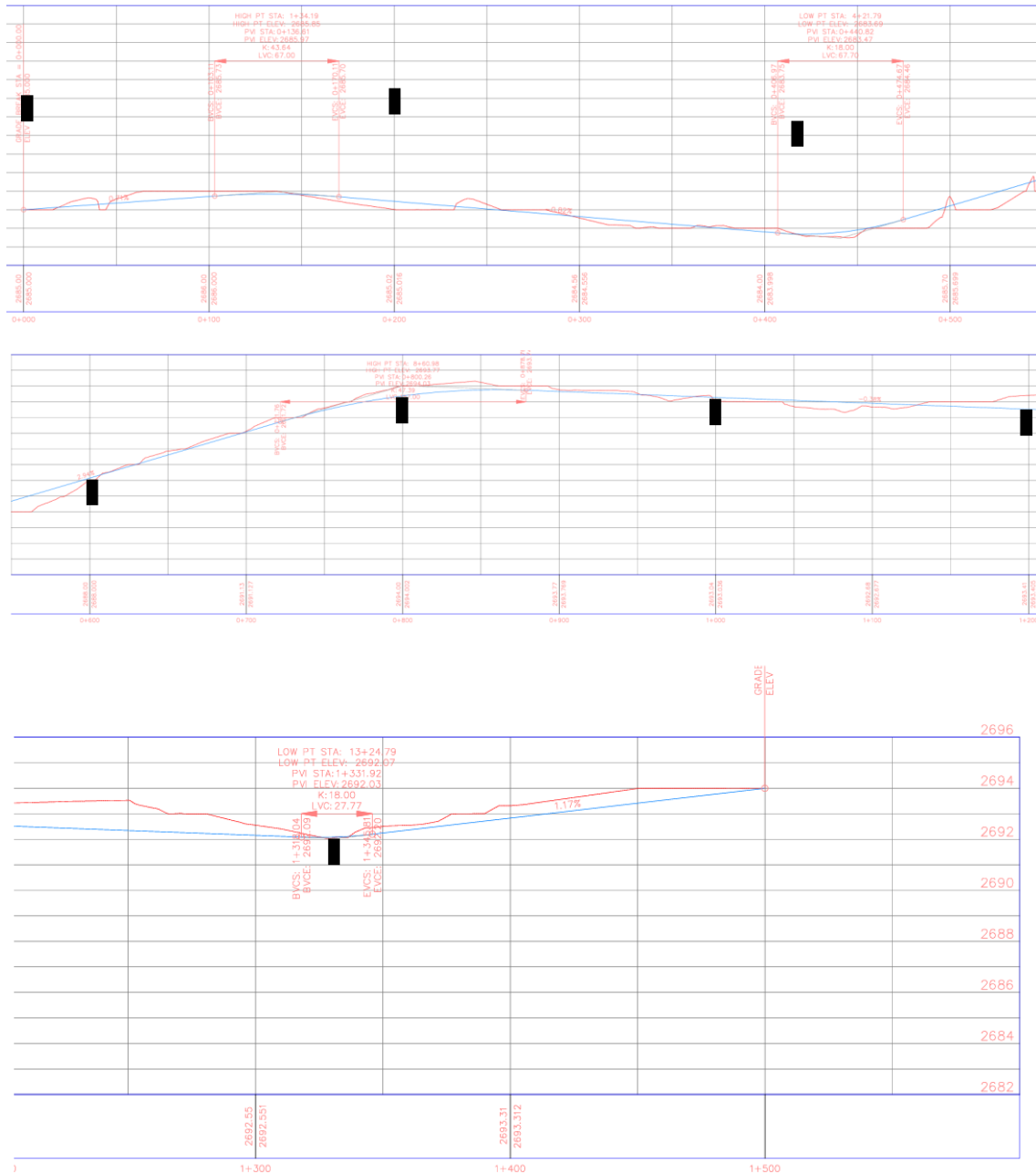
Descargas Finales: Puntos donde el agua recolectada es liberada de forma controlada a cuerpos de agua naturales o sistemas de infiltración.

9.5.1. Ubicación de alcantarillas

Se analiza el sentido de flujo del perfil longitudinal de la vía, de lo cual se puede concluir los siguientes puntos de ubicación de las alcantarillas:

Figura 41.

Ubicación alcantarillas.



Nota. Dibujos dwg del diseño de las alcantarillas. Elaborado por: Los autores

Los pozos de registro deberán ser ubicados conforme la imagen anterior, además se establecen las siguientes condiciones mínimas para el diseño de la red:

1. Las tuberías deberán ser de diámetro mayor o igual a 600 mm.

2. La profundidad mínima a la que se encuentre la cota clave de tuberías será de 1.50m.
3. La velocidad de flujo mínima será de 0.60 m/s y la velocidad máxima estará regulada por el tipo de material a utilizar.
4. La pendiente mínima será de 0.50 %, para que permita la autolimpieza de tubería y se evite sedimentación de materiales.
5. El diámetro interno de los pozos de revisión será de 0.90 metros para sistemas de recolección de agua lluvias.

CAPÍTULO X

PRESUPUESTO

10.1. Antecedentes

Dentro de los costos para la ejecución de obras de construcción se ha empleado el método de análisis de precios unitarios (APU), previo a la obtención del presupuesto referencial considerando los siguientes aspectos fundamentales para su elaboración: requerimientos de materiales, mano de obra, equipos y transporte, así como los costos directos e indirectos del proyecto.

Estos aspectos guiarán el desarrollo de un presupuesto referencial completo y preciso, que servirá como base para la planificación y ejecución del proyecto.

10.2. Alcance del estudio

El presente proyecto tiene como objetivo general determinar un presupuesto referencial de construcción a nivel de Factibilidad en términos financieros y económicos para la avenida Mariscal Sucre que circunvala el Lago San Pablo, abarcando la comunidad de Araque.

Para la determinación de los costos directos e indirectos se hace necesaria la elaboración del Análisis de Precios de cada uno de los rubros del proyecto, con estos se puede establecer en función de las cantidades de obra.

Se desarrollarán varias actividades específicas. En primer lugar, se calculará el costo horario de propiedad y operación de la maquinaria necesaria para la construcción y mantenimiento del proyecto. Este cálculo considerará factores como la depreciación, el mantenimiento, el combustible y otros costos operativos, asegurando una estimación precisa de los recursos necesarios.

Además, se realizará un análisis detallado de los precios unitarios de los materiales, mano de obra y equipos. Este análisis se llevará a cabo tanto en términos financieros, que reflejan los valores de mercado, como en términos económicos, que excluyen imposiciones fiscales y aranceles, y suman los subsidios si los hubiera. Este enfoque dual permitirá una comprensión completa de los costos involucrados.

10.3. Metodología del Estudio

10.3.1. Fase de campo

Esta fase contempla el levantamiento de información en el sitio del proyecto, donde se realizaron las siguientes operaciones:

1. Ubicación geográfica de cada una de las secciones del proyecto objeto del estudio.
2. Ubicación y medición de distancias de las minas disponibles para uso del proyecto.
3. Determinación de costos de materiales incidentes en el proyecto.
4. Verificación de las características particulares de cada sección del proyecto, que podrían incidir en su costo.

10.3.2. Fase de gabinete

Comprende dos etapas, la primera que corresponde a la recopilación de información de presupuesto de vías en ejecución a fin de efectuar un estudio comparativo de costos de mercado.

La segunda corresponde al trabajo, con el apoyo informático, de elaboración de los Análisis de Precios y Presupuesto.

10.4. Costos en la Construcción

10.4.1. Costo horario de propiedad y operación de maquinaria

El costo horario de propiedad y operación de maquinaria es un aspecto crucial en la planificación y ejecución de proyectos viales. Este costo se divide en dos componentes principales: el costo de propiedad y el costo de operación.

10.4.2. Costos de adquisición.

El costo de adquisición incluye todos los gastos relacionados con la compra y posesión de la maquinaria. Estos costos se distribuyen a lo largo de la vida útil del equipo y se calculan en base a los siguientes factores:

Valor de Adquisición (VA): Es el precio de compra de la maquinaria, incluyendo impuestos, fletes y seguros.

Depreciación (D): Representa la pérdida de valor del equipo con el tiempo. Se puede calcular de manera lineal o por horas de uso.

Intereses (I): Si la maquinaria se adquiere mediante financiamiento, los intereses del préstamo se incluyen en el costo de propiedad.

Seguros (S): El costo de asegurar la maquinaria contra daños, robos y otros riesgos.

Impuestos (T): Cualquier impuesto aplicable a la propiedad de la maquinaria.

10.4.3. Costos de operación

El costo de operación se refiere a los gastos incurridos durante el uso de la maquinaria. Estos costos varían según el tipo de equipo y las condiciones de trabajo, e incluyen:

Combustible (C): El costo del combustible necesario para operar la maquinaria.

Lubricantes y Filtros (L): Gastos en aceites, lubricantes y filtros necesarios para el mantenimiento del equipo.

Repuestos y Mantenimiento (M): Costos de piezas de repuesto y servicios de mantenimiento preventivo y correctivo.

Mano de Obra (MO): Salarios del personal encargado de operar y mantener la maquinaria.

Elementos de Desgaste (ED): Costos de componentes que se desgastan con el uso, como neumáticos y cadenas.

10.5. Calculo del Costo Horario

Importancia en Proyectos Viales: Determinar con precisión el costo horario de la maquinaria es esencial para la elaboración de presupuestos y la gestión de costos en proyectos viales. Un cálculo adecuado permite a los ingenieros y gerentes de proyecto tomar decisiones informadas sobre la selección y utilización de equipos, optimizando así los recursos y garantizando la rentabilidad del proyecto.

Para calcular el costo horario de la maquinaria, se suman los costos de propiedad y operación y se dividen por el número de horas efectivas de trabajo anual. La fórmula general es:

$$\text{Costo Horario} = \frac{\text{Costo de Propiedad} + \text{Costo de Operación}}{\text{Horas Efectivas de Trabajo Anual}}$$

Por ejemplo, si una excavadora de oruga tiene un costo de propiedad anual de \$28,800 y un costo de operación anual de \$19,200, y se espera que trabaje 960 horas al año, el costo horario sería:

$$\text{Costo Horario} = \frac{28800 + 19200}{960 \text{ horas}} \text{USD} = 50.00 \text{ USD/hora}$$

Tabla 36. Costo Horario de Maquinaria

Descripción	Costo de Propiedad (USD)	Costo de Operación (USD)	Horas Efectivas de Trabajo Anual	Costo Horario (USD)
Andamios	195.84	130.56	960	0.34
Bomba de agua	1,932.00	1,288.00	960	3.35
Camión sin acoplado	11,750.40	7,833.60	1920	10.20
Camioneta	9,792.00	6,528.00	1920	8.50
Cargadora Frontal	17,280.00	11,520.00	960	30.00
Compactador manual	3,214.08	2,142.72	960	5.58
Compresor de aire 260 cfm	6,961.92	4,641.28	640	18.13
Concretera	1,382.40	921.60	576	4.00
Cortadora de concreto piso disco 14"	2,640.00	1,760.00	800	5.50
Cortadora de hierro	1,440.00	960.00	960	2.50
Cortadora dobladora de hierro	2,467.20	1,644.80	1440	2.86
Encofrado metálico para bordillo	460.80	307.20	384	2.00
Equipo de pintura	883.20	588.80	960	1.53
Equipo topográfico (estación total)	9,011.52	6,007.68	768	19.55
Escoba autopropulsada 80 hp	10,700.48	7,133.76	640	27.88
Excavadora de oruga	28,800.00	19,200.00	960	50.00
Grúa móvil	15,408.00	10,272.00	960	26.75
Máquina selladora de fisuras	13,905.60	9,270.40	480	48.27
Martillo neumático	1,152.00	768.00	96	20.00
Mesa de corte	822.72	548.48	960	1.43
Motoniveladora	28,800.00	19,200.00	960	50.00
Motosierra	502.40	334.93	640	1.31
Plancha vibroapisonadora	1,440.00	960.00	480	5.00
Retroexcavadora	25,920.00	17,280.00	1440	30.00
Rodillo vibratorio liso	23,040.00	15,360.00	960	40.00
Sierra circular para madera	1,440.00	960.00	960	2.50
Soldadora	1,440.00	960.00	960	2.50
Taladro (rotopercusión) para piedra	1,297.92	865.28	640	3.38
Tanquero de agua	28,800.00	19,200.00	1920	25.00
Tractor	24,000.00	16,000.00	800	50.00
Vibrador	1,296.00	864.00	576	3.75
Volqueta 8 m3	34,560.00	23,040.00	1920	30.00

Nota. Resumen de costos. Fuente: Los Autores

10.6. Análisis de Precios Unitarios(APU)

En la elaboración de los Análisis de precios unitarios de los diferentes rubros de trabajo que intervienen en el proyecto, se determinan los costos directos de mano de obra, equipo, materiales y transporte que exige el proyecto

10.6.1. Costo de Mano de Obra

Para la determinación de los costos de mano de obra se utilizó los salarios mínimos establecidos por la Ley vigentes desde el 1 de Enero de 2024 y que se obtuvieron de la página web de la Contraloría General del Estado.

Tabla 37.

Salarios Minimos

Descripción	Salario mínimo
Albañil	4.19
Ayudante de Albañil	4.14
Ayudante de Carpintero	4.14
Ayudante de Maquinaria	4.26
Ayudante de Plomero	4.14
Cadenero	4.19
Carpintero	4.19
Chofer: Para camiones sin acoplados	5.89
Chofer: Tanqueros	6.08
Chofer: Volquetas	6.08
Electricista	4.19
Engrasador o abastecedor responsable en construcción	4.19
Fierrero	4.19
Ing. ambiental	4.67
Inspector de Obra	4.65
Laboratorista	4.65
Maestro Mayor de Ejecución de Obra	4.65
Op de Barredora Autopropulsada	4.42
Op De Cargadora Frontal	4.65
Op De Equipo Liviano	4.19
Op De Excavadora	4.65
Op De Grúa	4.65
Op De Motoniveladora	4.65
Op De Retroexcavadora	4.65
Op De Rodillo Autopropulsado	4.42
Op De Tractor De Ruedas	4.42
Op. De Compresor	4.42
Op. De Tractor Carriles O Ruedas	4.65

Descripción	Salario mínimo
Peón	4.14
Pintor	4.19
Plomero	4.19
Soldador	4.26
Técnico Obras Civiles	4.42
Topógrafo 2	4.65

Nota. Resumen de salarios mínimos. Elaborado por: Los Autores

10.6.2. Costo de Equipo

Para la determinación de los costos de equipo se efectuó el cálculo de costo horario de cada una del equipo mínimo a ser empleado en el proyecto. El costo de las herramientas menores se calculó como un 5% del costo total de la mano de obra.

Tabla 38.

Costo de Equipos

Descripción	Costo Horario (USD)
Andamios	0.34
Bomba de agua	3.35
Camioneta	8.50
Cargadora Frontal	30.00
Compactador manual	5.58
Compresor de aire 260 cfm	18.13
Concretera	4.00
Cortadora de concreto piso disco 14"	5.50
Cortadora de hierro	2.50
Cortadora dobladora de hierro	2.86
Encofrado metálico para bordillo	2.00
Equipo de pintura	1.53
Equipo de proyección	8.00
Equipo topográfico (estación total)	19.55
Escoba autopropulsada 80 hp	27.88
Excavadora de oruga	50.00
Franjeadora	18.23
Grúa móvil	26.75
Máquina selladora de fisuras	48.27
Martillo neumático	20.00
Mesa de corte	1.43
Motoniveladora	50.00

Descripción	Costo Horario (USD)
Motosierra	1.31
Plancha vibroapisonadora	5.00
Retroexcavadora	30.00
Rodillo vibratorio liso	40.00
Sierra circular para madera	2.50
Soldadora	2.50
Sonómetro	15.00
Tanquero de agua	25.00
Tractor	50.00
Vibrador	3.75
Volqueta 8 m3	30.00

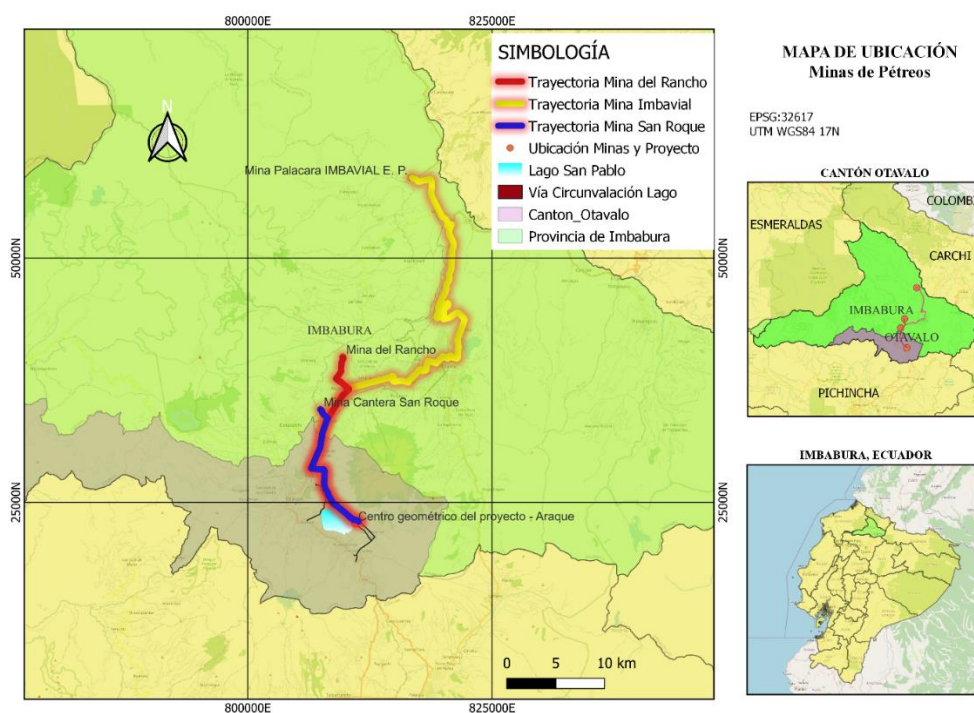
Nota. Resumen de costo horario de los equipos. Elaborado por: Los Autores

10.6.3. Costos de Transporte

Para la determinación de los costos de transporte, se calcularon las distancias desde las fuentes de materiales hasta el sitio de construcción, así como las distancias hacia las escombreras para el material excedente producto de las excavaciones.

Figura 42.

Mapa de Trayectoria de las Minas al proyecto



Nota. Mapa de ubicación de minas de pétreos. Elaborado por: Los Autores

Tabla 39.*Ubicación de Minas*

Ubicación Mina	Norte	Este	Distancia al Proyecto, km
Imbavial	34175	807073	60
San Roque	58173	816827	15
El Rancho	39955	809803	22

Nota. Distancia de ubicación de minas. Elaborado por: Los Autores

El costo del transporte se determinó considerando varios factores, entre ellos el tipo de material a ser transportado, ya que diferentes materiales pueden requerir distintos tipos de vehículos, condiciones de transporte y distancias. Es así como de las minas anteriormente señaladas se requirió el transporte para los siguientes materiales:

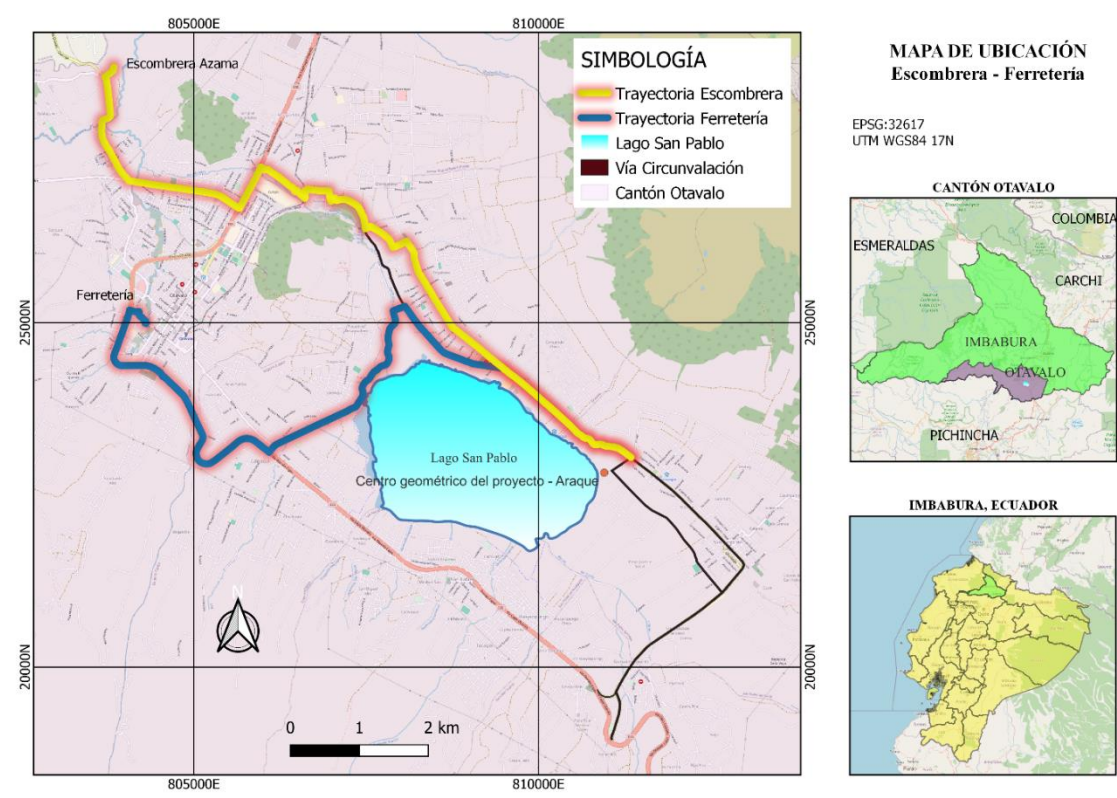
Tabla 40.*Costo de Transporte de Materiales Petreos*

Descripción	Unidad	Tarifa
Base Clase 2	m3-km	0.30
Subbase Clase 3	m3-km	0.30
Piedra Bola	m3-km	0.30
Ripio triturado	m3-km	0.30
Polvo de piedra	m3-km	0.30
Arena fina	m3-km	0.30
Piedra escollera	m3-Km	0.30

Nota. Resumen de Tarifa según el Material Transportado. Elaborado por: Los Autores

Por ejemplo, materiales pesados o voluminosos pueden incrementar significativamente los costos debido a la necesidad de equipos especializados y mayor consumo de combustible. En el siguiente mapa se puede observar la ubicación de la escombrera ubicada en Azama y también la ubicación de una de las ferreterías principales del Cantón Otavalo.

Figura 43.
Mapa de Trayectoria de Escombrera y Ferretería



Nota. Mapa de trayectoria de Escombreras y Ferretería. Elaborado por: Los Autores

Las distancias desde la escombrera y desde la ferretería, coincidentemente, resultan ser las mismas: 12 kilómetros hasta el centro geométrico del proyecto. Este hecho es notable, ya que facilita la logística y la planificación del transporte de materiales, optimizando así los recursos y tiempos de desplazamiento.

Tabla 41.
Ubicación de Escombreras y Ferretería

Ubicación	Norte	Este	Distancia al Proyecto, km
Escombrera Azama	28687	803750	12
Ferretería	25000	804300	12

Nota. Resumen de Distancia de escombreras y Ferretería al proyecto. Elaborado por: Los Autores

De los materiales disponibles en la ferretería, seleccionamos los más importantes, como el cemento y el hierro. Estos materiales son fundamentales para el proyecto y su costo de transporte puede calcularse en función de su peso. Esta selección permite una planificación más precisa del presupuesto y la logística, asegurando que se optimicen los recursos y se minimicen los costos adicionales. Además, al centrarnos en estos materiales principales, podemos garantizar una mayor eficiencia en el manejo y transporte, lo que contribuye al éxito general del proyecto.

Además, se tuvieron en cuenta las condiciones de las vías y la accesibilidad de las rutas, ya que estas pueden afectar tanto el tiempo de transporte como los costos asociados. Se realizó un análisis detallado de los costos operativos de los vehículos, incluyendo mantenimiento, combustible y mano de obra, para obtener una estimación precisa y completa de los costos de transporte.

Este enfoque integral asegura que todos los aspectos relevantes del transporte de materiales sean considerados, permitiendo una planificación eficiente y una gestión adecuada de los recursos durante la ejecución del proyecto.

En el Anexo E1 Se encuentran desarrollados los Análisis de Precios Unitarios en términos Económicos

10.7. Presupuesto de Construcción

Las cantidades de obra empleadas para el cálculo del presupuesto han sido obtenidas en el estudio de ingeniería a nivel preliminar. Presupuesto es el costo total del proyecto el cual se obtiene de la sumatoria de cada uno de los rubros que intervienen en el proyecto.

Tabla 42.*Resumen de presupuesto*

No.	RUBRO / DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO OFERTADO	PRECIO GLOBAL
	VIAL				432'048.26
	Trabajos Preliminares				780.00
1	Levantamiento topografico	km	1.50	200.00	300.00
2	Estudio de suelos	u	4.00	120.00	480.00
	Preparación del Terreno				35'581.40
3	Replanteo y nivelación con equipo topográfico (eje, laterales, referencias)	km	1.50	703.44	1'055.16
4	Reubicación de postes de energía eléctrica (Inc línea de transmisión)	u	10.00	510.25	5'102.50
5	Rotura de pavimento asfáltico incluye desalojo	m2	10'800.00	1.09	11'772.00
6	Derrocamiento a máquina veredas, bordillos y cunetas	m3	150.00	11.05	1'657.50
7	Excavación en suelo a maquina	m3	5'400.00	2.45	13'230.00
8	Transporte de material de excavación y remoción hormigón, material aprox 15km	m3-km	8'916.91	0.31	2'764.24
	Base y Subbase				125'665.20
9	Suministro de material granular para subbase	m3	3'240.00	21.41	69'368.40
10	Extendido y compactacion de subbase	m2	450.00	0.80	360.00
11	Suministro de material granular para base	m3	2'160.00	25.73	55'576.80
12	Extendido y compactacion de base	m2	450.00	0.80	360.00
	Hormigon Flexible				270'021.66
13	Bordillos de hormigón f'c=210 kg/cm2	m	100.00	14.60	1'460.00
14	Aceras de hormigón f'c=210 kg/cm2, e= 0.10m	m2	150.00	17.68	2'652.00
15	Reparación de acometidas de agua potable	u	210.00	38.47	8'078.70
16	Reparación de acometidas de alcantarillado	u	210.00	31.44	6'602.40
17	Reparación de tubería de presión 32-110mm	u	210.00	90.56	19'017.60
18	Alzada y Bajada de Pozos	u	28.00	155.02	4'340.56
19	Suministro de Hormigón Asfaltico incluye vertido y extendido	m3	1'080.00	187.08	202'046.40
20	Acero de refuerzo de barras fy = 4200 Kg/cm2	kg	300.00	2.48	744.00
21	Tubería PVC para subdrenes, D=160 mm	m	500.00	9.12	4'560.00
22	Geotextil para subdrén (tipo no tejido)	m2	10'800.00	1.90	20'520.00
	CUNETAS Y SUBDRENAJE				28'260.98
23	Remoción de hormigón (cunetas)	m3	90.00	27.37	2'463.30
24	Excavación para cunetas y encauzamientos (cunetas laterales)	m3	120.00	2.15	258.00
25	Hormigón estructural de cemento Portland Clase B, f'c = 210 kg/cm2 (cunetas, canales)	m3	135.00	176.72	23'857.20
26	Rejillas de HF sobre cajas de Revisión	u	4.00	158.77	635.08
27	Sumideros	u	4.00	261.85	1'047.40
	SEÑALIZACIÓN VIAL				5'348.97
28	Guardacamino doble	m	2.00	104.93	209.86
29	Marcas de pavimento (pintura blanca o amarilla) (e= 10cm)	m	1'500.00	1.38	2'070.00
30	Marcas de pavimento (pintura acrílica,Chevrones,Franjas, etc.)	m2	65.60	10.26	673.06

31	Señalización vertical	u	5.00	97.27	486.35
32	señalización Horizontal	km	0.30	449.31	134.79
33	Señales al lado de la carretera, preventivas complementaria	u	9.00	78.66	707.94
34	Señales al lado de la carretera de información	u	6.00	97.27	583.62
35	Señales al lado de la carretera, regulatorias	u	5.00	96.67	483.35
IMPACTOS AMBIENTALES					20'828.84
36	Letrina sanitaria	u	2.00	774.85	1'549.70
37	Comunicados radiales	u	6.00	6.00	36.00
38	Afiches concientización ambiental	u	30.00	0.90	27.00
39	Tríptico manual, folletos (seguridad y salud ocupacional)	u	30.00	0.60	18.00
40	Agua para control de polvo	m3	540.00	5.68	3'067.20
41	Monitoreo de ruido	u	1.00	233.47	233.47
42	Charla de concientización	u	2.00	190.27	380.54
43	Charla de adiestramiento (seguridad industrial y salud ocupacional)	u	2.00	190.27	380.54
44	Cinta de peligro	m	500.00	0.49	245.00
45	Escombrera (Disposición Final y Tratamiento Paisajístico de Zonas de Deposito)	m3	8'917.00	1.67	14'891.39
TOTAL					486'487.05

Nota. Resumen de Presupuesto General. Elaborado por: Los Autores

CAPÍTULO XI

SEÑALIZACIÓN VIAL

11.1. Alcance del Estudio

La señalización vial deberá cumplir con las Especificaciones Técnicas del MTOP; los Reglamentos y Normas Técnicas INEN vigentes.

Concretamente, la normativa de señalización aplicada al proyecto es, RTE-INEN-004-1:2011.

Además, se tiene en cuenta que los dispositivos de control del tránsito deben usarse solamente cuando un estudio de ingeniería haya indicado la necesidad de estos. Teniendo en cuenta, que, de forma general, cualquier dispositivo de control de tránsito debe cumplir los siguientes requisitos:

Desempeñar una función necesaria: Si la función que realiza el Dispositivo de control es innecesaria este será no solamente inútil, sino también perjudicial.

Ser visible y llamar la atención: Es de suma importancia que los usuarios adviertan la presencia de estos dispositivos, de lo contrario se volverán elementos inútiles, aunque sus demás cualidades sean las correctas.

Ser claros y fáciles de entender: El significado deber ser sumamente claro y simple, de manera que se lo comprenda de un vistazo.

Dar tiempo para responder: Los dispositivos deben estar colocados de tal manera que permitan suficiente tiempo y espacio para responder adecuadamente.

Infundir respeto: Todo dispositivo deberá infundir respeto de los usuarios y estos deber ser obligados a obedecer las indicaciones que se les transmitan.

11.2. Seguridad Vial

El estudio de señalización tiene como objetivo principal de reducir al mínimo los accidentes de tránsito, durante la ejecución de la obra como en la etapa operativa de la misma, dirigiendo a los usuarios hacia sus destinos, con eficiencia y seguridad, dando atención a los siguientes aspectos.

Control de accesos, intersecciones y enlaces. - Las vías que tienen una buena señalización en sus accesos a otras vías tienen menor índice de accidentes.

Velocidad. - Se debe distinguir dos aspectos en la influencia de la velocidad del tráfico sobre la seguridad: por una parte, la velocidad media de circulación y por otra la diferencia de velocidades entre los distintos vehículos. Al aumentar la velocidad media de circulación aumenta la gravedad de los accidentes, pero en cambio no varía la frecuencia de los mismos.

11.3. Medidas de seguridad

Entre las medidas de seguridad referentes a la carretera se consideran:

Medidas Preventivas. - Además de las que corresponden al diseño vial están la señalización y balizamiento, iluminación, restricciones a la circulación, etc.

Medidas Paliativa. - Para reducir la gravedad del accidente una vez producido, como la eliminación de obstáculos laterales evitables y proyecto adecuado de los inevitables, utilización de barreras de seguridad, evitando colisiones o vuelcos, auxilio rápido y eficaz al accidentado, etc.

11.4. Ingeniería de Tránsito

En vista de que el objetivo principal de la Ingeniería de Tránsito es la seguridad del usuario vial, los dispositivos de control de tránsito no deben presentar por sí mismo peligro alguno para los usuarios de las vías ni contribuir a la ocurrencia o gravedad de cualquier tipo de accidente.

La señalización vial ha sido dispuesta cumpliendo las especificaciones técnicas del MTOP y los reglamentos y normas técnicas INEN vigentes. Concretamente la última que está vigente es INEN-RTE-4-2011

La señalización persigue tres objetivos:

- Aumentar la seguridad de la circulación.
- Aumentar la eficacia de la circulación.
- Aumentar la comodidad de la circulación.

11.5. Señalización Vertical

La señalización vertical comprende dispositivos de control de tránsito instalados sobre soportes verticales, diseñados para regular, prevenir y orientar a los usuarios de las vías. Según el Reglamento técnico ecuatoriano instituto ecuatoriano de normalización (2011), “los dispositivos de control de tránsito informan a los usuarios de las regulaciones y dan prevención y guías necesarias para la operación segura, uniforme y eficiente” (p.3). La implementación de esta señalización en el tramo de 1.5 km de la avenida Mariscal Sucre es fundamental para garantizar la seguridad y el orden del tránsito.

11.5.1. Clasificación de las señales verticales de tránsito

La señalización vertical de tránsito se clasifica en diferentes categorías según su función y propósito, cumpliendo con lo establecido en el Reglamento técnico ecuatoriano instituto ecuatoriano de normalización (2011). Estas señales tienen como objetivo principal regular, advertir e informar a los usuarios, garantizando una circulación segura y eficiente en el tramo mejorado de la avenida Mariscal Sucre. Dentro del tramo de estudio se incluyen las siguientes señales:

11.5.1.1. Señales Reglamentarias

Las señales reglamentarias imponen obligaciones, prohibiciones o restricciones que los usuarios de la vía deben cumplir obligatoriamente. Estas son fundamentales para mantener el orden y la seguridad en el tránsito.

11.5.1.2. Señales Preventivas

Estas señales advierten sobre condiciones específicas de la vía que podrían representar riesgos potenciales para los conductores. Están diseñadas para alertar a los usuarios y fomentar una conducción más cuidadosa.

11.5.1.3. Señales Informativas

Las señales informativas proporcionan datos esenciales para la orientación y guía de los usuarios de la vía, facilitando su desplazamiento y mejorando su experiencia de tránsito.

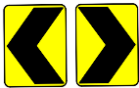
Señales especiales delineadoras (Tipo D). Delinean al tránsito que se aproxima a un lugar con cambio brusco (ancho, altura y dirección) de la vía, o la presencia de una obstrucción en la misma.

Señales y dispositivos para trabajos en la vía y propósitos especiales (Tipo T). Advierten a los usuarios sobre condiciones temporalmente peligrosas para ellos o para los trabajadores y equipos empleados en obras públicas sobre la vía. También protegen trabajos parcialmente realizados contra posibles daños.

Tabla 43.

Instalación de las Señales Verticales

Tipo	Señal	Descripción	Abscisas	Cantidad	Unidad
REGULATORIAS		Pare	0+000 0+350 1+400	3	U
		Límite de Velocidad	0+200 1+500	2	U
		Ceda el paso	0+373	1	U
		Puente Angosto	0+200 0+541 1+200	6	U
		Peatones en la vía	0+784	2	U
		Resalto/Reductor de velocidad	0+901 0+600 1+100	3	U
		Descenso Pronunciado	1+0.80	1	U
		Ascenso Pronunciado	1+233	1	U
		Animales en la vía	1+939	1	U

Tipo	Señal	Descripción	Abscisas	Cantidad	Unidad
DELINEA		D6-2A (I/D)	0+050	2	U
ZONAS		Señal de velocidad máxima de escuela	0+800	1	U
INFORMA		Serie Anticipada de advertencia de destino	0+00 1+300	2	U

Nota. Ubicación de las señalizaciones según el reglamento técnico ecuatoriano instituto ecuatoriano de normalización (2011). Fuente: Los Autores según INEN

11.6. Criterios de instalación

La ubicación de las señales verticales debe garantizar su visibilidad y funcionalidad, respetando las especificaciones técnicas del Reglamento técnico ecuatoriano instituto ecuatoriano de normalización (2011). Se implementarán señales en puntos estratégicos como intersecciones, zonas escolares, paradas de buses y áreas de riesgo. Además, la altura y distancia lateral de las señales se ajustará al entorno urbano o rural según corresponda.

Tabla 44.

Especificaciones de instalación de las Señales Verticales

Especificaciones de instalación de las señales verticales			
Categoría	Altura desde la calzada (m)	Distancia lateral (m)	Distancia de advertencia (m)
Zonas urbanas	2.00 (mín.)	0.30 a 1.00 (bordillo)	50 a 100 (preventivas)
Zonas rurales	1.50 (mín.)	≥ 2.00 (berma o espaldón)	100 a 150 (preventivas)

Señales aéreas

5.30 (zonas urbanas) N/A

Según el flujo vehicular y punto de conflicto

Nota. Datos adaptados del Reglamento técnico ecuatoriano instituto ecuatoriano de normalización (2011). Fuente: Los Autores según INEN

11.6.1. Especificaciones técnicas

Las señales deben cumplir con estándares de diseño y fabricación que garanticen su durabilidad y efectividad, según las especificaciones del Reglamento técnico ecuatoriano instituto ecuatoriano de normalización (2011).

Tabla 45.*Especificaciones técnicas de las señales verticales*

Especificaciones técnicas de las señales verticales

Elemento	Especificación
Material	Láminas de aluminio o acero galvanizado con recubrimiento retroreflectivo (ASTM D4956).
Colores	- Rojo: Señales reglamentarias.
	- Amarillo: Señales preventivas.
	- Blanco: Informativas.
Retroreflectividad	Tipo III o superior según normas ASTM.

Nota. Datos adaptados del Reglamento técnico ecuatoriano instituto ecuatoriano de normalización (2011). Fuente: Los Autores según INEN

11.6.2. Mantenimiento

Se realizarán inspecciones periódicas para garantizar la limpieza, retroreflectividad y estabilidad de las señales, siguiendo los lineamientos del Reglamento técnico ecuatoriano instituto ecuatoriano de normalización (2011).

11.7. Delineadores Horizontales

Los delineadores horizontales son dispositivos diseñados para mejorar la percepción de los límites de la calzada y guiar a los conductores en tramos específicos de la vía, especialmente en condiciones de baja visibilidad. De acuerdo con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-2:2011, estos dispositivos cumplen la función de complementar la señalización horizontal al proporcionar elementos visibles que incrementen la seguridad vial (INEN, 2011).

Tabla 46.

Especificaciones técnicas de las Señalización Horizontal

Descripción	Dimensiones	Cantidad	Unidad
Línea de separación de carril continua amarilla	Ancho mínimo 100 mm	312,10	m ²
Línea de separación de carril segmentada amarilla	Ancho mínimo 100 Long. Pintada 3.00m Espaciamiento Línea 9.00 m	17,17	m ²
Línea continua blanca	Ancho mínimo 100 mm	755,16	m ²
Línea Pare	Ancho mínimo 400 mm	8,14	m ²
Línea Ceda el Paso	Ancho 400 mm	6,20	m ²
Línea de detención	Ancho 200 mm	5,85	m ²
Tacha amarilla bidireccional	NTE INEN 004-2:2011	317	U
Tacha blanca unidireccional	NTE INEN 004-2:2011	629	U

Nota. Datos adaptados del Reglamento técnico ecuatoriano instituto ecuatoriano de normalización (2011). Elaborado por: Los Autores según INEN

11.7.1. Especificaciones técnicas

Los delineadores horizontales cumplirán con los estándares establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-2:2011, incluyendo las siguientes especificaciones (INEN, 2011):

Material

Fabricados con plástico de alta resistencia o policarbonato, con propiedades retro reflectantes para garantizar su funcionalidad nocturna.

Colores

Blanco: Para delimitar carriles en el mismo sentido de circulación.

Amarillo: Para separar carriles en sentidos opuestos.

Rojo: Para advertir accesos prohibidos o zonas críticas.

Retroreflectividad: Según los estándares ASTM D4956, Tipo IV.

Dimensiones

Altura no mayor a 2 cm y ancho de hasta 15 cm, garantizando resistencia al tráfico pesado.

Diseño

El diseño de la señalización debe asegurar que:

Su tamaño, contraste, colores, forma, composición y retro reflexión e iluminación se combinen de tal manera que atraigan la atención de todos los usuarios.

Su forma, tamaño, colores y diagramación del mensaje se combinen para que éste sea claro, sencillo e inequívoco.

Su legibilidad y tamaño correspondan al emplazamiento utilizado, permitiendo un tiempo adecuado de reacción.

Su tamaño, forma y mensaje concuerden con la situación que se realiza, contribuyendo a su credibilidad y acatamiento.

Sus características de color y tamaño se aprecien de igual manera durante el día, la noche y períodos de visibilidad limitada.

11.7.2. Mantenimiento

El mantenimiento de los delineadores horizontales incluirá inspecciones periódicas para garantizar su funcionalidad. En caso de desgaste o daño, los dispositivos serán reemplazados oportunamente para mantener la seguridad vial (INEN, 2011)

11.8. Ubicación de las Señales a lo Largo de la Vía

De acuerdo con los requisitos antes indicados y siguiendo las normativas y especificaciones técnicas, las señales deben satisfacer determinadas condiciones que se indican a continuación:

Las señales se deben instalar en el lado derecho de las vías, aunque en circunstancias especiales las mismas pueden duplicarse al lado izquierdo. Es necesario tomar precauciones cuando se instalan señales, para asegurar que no se obstruyen unas a otras o que su visibilidad sea reducida.

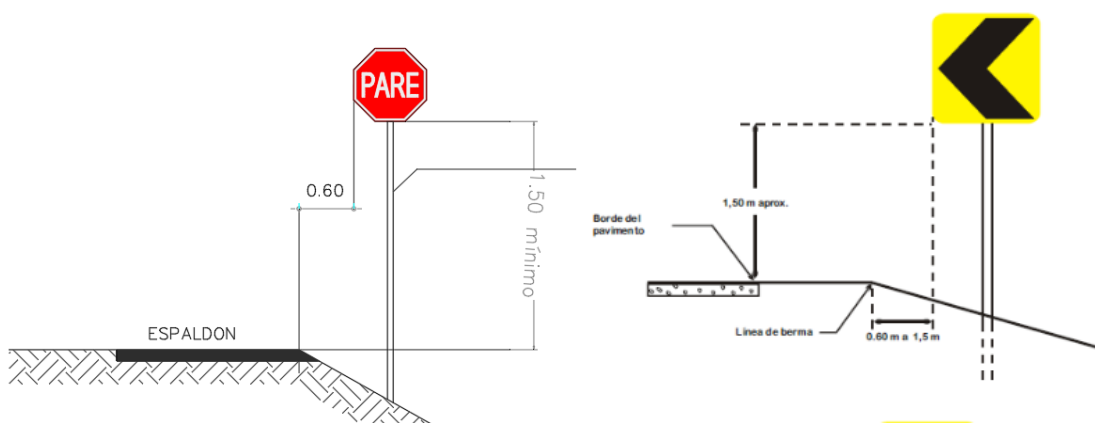
La colocación longitudinal de las señales está fijada por su naturaleza. Las señales regulatorias podrán colocarse en el sitio particular donde se aplica la regulación o un poco antes. Las preventivas deben ser ubicadas con la anticipación suficiente para que el

conductor reaccione de manera apropiada, a no menos de 75 m ni más de 225 m delante del sitio de riesgo.

En vías sin bordillos, la señal debe estar a una distancia libre de al menos 600mm del borde del espaldón, guardavía o cuneta, según corresponda. La separación en cualquier caso oscilara entre 2 y 5m del borde del pavimento de la vía.

Figura 44.

Ubicación longitudinal de las señales viales



Nota. Grafico referencial para la colocación de las señales a lo largo de la vía. Elaborado por: Los Autores según INEN

11.8.1. Líneas Longitudinales

Las líneas longitudinales se emplean para delimitar carriles y calzadas; para indicar zonas con y sin prohibición de adelantar; zonas con o sin prohibición de estacionar; y, para delimitar carriles de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos, por ejemplo, carriles exclusivos de bicicletas o buses y para advertir la aproximación a un cruce cebra.

Características:

Mensaje.

Además de separar y delinear calzadas o carriles, las líneas longitudinales, dependiendo de su forma y color también señalan los sectores donde se permite o prohíbe adelantar, virar a la izquierda, virar en "U" o donde se prohíbe estacionar.

Forma.

Las líneas longitudinales pueden ser continuas y segmentadas. Las primeras indican sectores donde está prohibido estacionar o efectuar las maniobras de rebasamiento y giros, y las segmentadas, donde dichas maniobras están permitidas.

Colores.

Los colores de las señalizaciones de pavimento longitudinales deben ser conforme a los siguientes conceptos básicos:

Líneas amarillas definen:

- Separación de tráfico viajando en direcciones opuestas
- Restricciones.
- Borde izquierdo de la vía (En caso de tener parterre)

Líneas blancas definen:

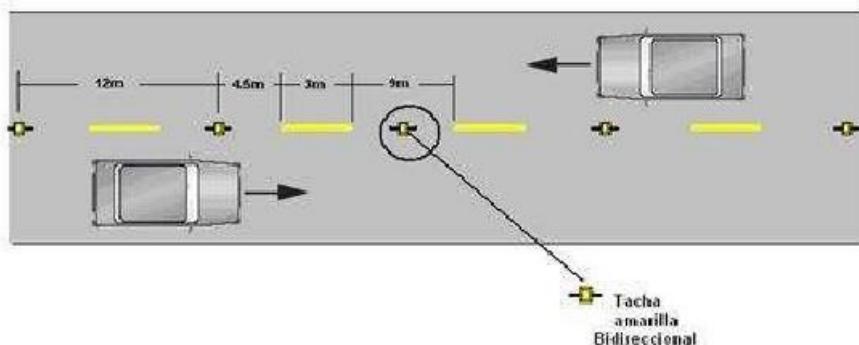
- La separación de flujos de tráfico en la misma dirección.
- Borde derecho de la vía (Berma).
- Zonas de estacionamiento
- Proximidad a un cruce cebra.

Dimensiones.

- El ancho de la línea será de 100 mm.

Figura 45.

Líneas segmentadas de separación de circulación opuesta.



Nota. Grafico referencial para la colocación de las líneas pintadas en la calzada. Fuente: RTE INEN 004-1:2011 (Primera Revisión)

11.9. Señalización temporal para trabajos en la vía y propósitos especiales.

La normativa de señalización vial ecuatoriana (INEN 004-1:2011) establece el uso de señales y dispositivos específicos para advertir a los usuarios de la vía sobre condiciones peligrosas durante la ejecución de obras. Estos elementos tienen como objetivo garantizar la seguridad de conductores, peatones y personal de trabajo.

La señalización vial es esencial para prevenir accidentes en situaciones donde las condiciones de la vía se ven afectadas, ya sea por obras de construcción, desastres naturales o cierres temporales. Las señales deben ser seleccionadas e instaladas correctamente para transmitir de manera clara y concisa la información necesaria a los conductores.

La clasificación de estas señales es la siguiente:

T1 Serie de aproximación a zona de trabajo (T1)

T2 Serie de cierre de carriles y de vías (T2)

T3 Serie de desvío (T3)

T4 Serie de condiciones en la vía (T4)

T5 Fin de zona de trabajo (T5)

Las señales de tránsito deben colocarse a una distancia mínima de un metro del borde de la carretera para evitar interferencias.

En carreteras fuera de las ciudades, las señales instaladas en postes deben ubicarse a una altura de entre 1 y 1.5 metros sobre la carretera.

En las ciudades, las señales junto a las aceras deben colocarse a 2.2 metros de altura para evitar ser obstruidas por vehículos estacionados. En otros lugares, como las islas de tráfico, se pueden aplicar las mismas alturas que en las zonas rurales.

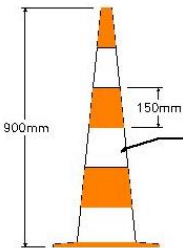
Las señales que advierten de un peligro inminente deben colocarse a una distancia adecuada del peligro. En las ciudades, esta distancia debe ser de entre 25 y 100 metros, mientras que en las carreteras puede ser de 100 a 200 metros.

Cuando una obra se mueve constantemente, las señales de advertencia también deben moverse para mantener la distancia correcta al peligro.

En el proyecto, se emplearon señales de tránsito de tipo A, diseñadas para vías con velocidades máximas de 50 km/h. A continuación, se detallan algunas de estas señales y sus dimensiones.

Tabla 47.

Instalación de las señalizaciones temporales para trabajos en la vía

Tipo	Señal	Descripción
Adelante trabajos en la vía		Se utiliza esta señal para dar avisos anticipados preventivos de que más adelante se están ejecutando trabajos viales.
Fin de trabajos en la vía		Esta señal indica el término de los trabajos en la vía, o zona adyacente a ella, con el mensaje fin de trabajos
Conos de tránsito		Los conos de tránsito se emplearán para delinear carriles temporales de circulación, especialmente en los períodos de secamiento de pinturas sobre el pavimento, en la conformación de carriles de tránsito que entran a zonas de reglamentación especial y en general en la desviación temporal del tránsito por una ruta.
Hombres trabajando		Esta señal se empleará para advertir la proximidad a un tramo de la vía que se ve temporalmente afectado por la ejecución de una obra que perturba el tránsito en la cazada o sus zonas aledañas.
Hombres con bandera		Esta señal se utiliza para dar avisos preventivos en horas diurnas y nocturnas, de que más adelante hay un trabajador dando instrucciones de control de tránsito.
Adelante desvío		Se empleará esta señal para advertir a los usuarios de las vías, la proximidad a un sitio en el cual se desvía la circulación del tránsito. Deberá indicarse la distancia a la cual se encuentra el desvío.
Termina desvío		También se señaliza la finalización de éste desvío

Nota. Ubicación de las señalizaciones temporales durante la ejecución de trabajos en la vía. Elaborado por: Los Autores según INEN

CAPÍTULO XII

EVALUACIÓN AMBIENTAL

12.1. Alcance

El alcance del presente proyecto incluye la realización del estudio de impacto y plan de manejo ambiental del proyecto: Mejoramiento vial del tramo en 1.5 km de la avenida mariscal sucre, ubicada en el barrio “Araque”, parroquia san pablo del lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura.

El proyecto abarca el análisis integral del área de influencia, la caracterización del entorno físico, social y ambiental, y la evaluación técnica y económica de alternativas que permitan optimizar la movilidad y garantizar la conectividad entre los sectores involucrados. Entre las actividades específicas de estudio de impacto y plan de manejo ambiental se incluyen el análisis de alternativas de las actividades del proyecto, la caracterización ambiental, los aspectos demográficos del área de influencia, la identificación de indicadores ambientales, la descripción del proyecto, la determinación del área de influencia, la evaluación de impactos ambientales, la valoración económica de los impactos negativos, el análisis legal aplicable al proyecto y el plan de manejo ambiental.

12.2. Área de influencia económica.

El análisis del área de influencia económica permite comprender cómo un proyecto de infraestructura impacta en la comunidad y en las actividades comerciales de su entorno. En el caso del mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre, con una longitud de 1.5 km en el Barrio Araque, Parroquia San Pablo del Lago, Cantón Otavalo, se espera que esta intervención beneficie tanto a los residentes como a los visitantes, al potenciar la conectividad y el desarrollo económico de la zona.

Esta avenida es un eje fundamental que conecta áreas residenciales, comerciales y de servicios. A lo largo del tramo existen distintos negocios y servicios que dependen directamente del estado de la vía para su funcionamiento y desarrollo. Además, la presencia de líneas de transporte público que recorren la avenida refuerza su importancia como vía de acceso clave para la comunidad y como soporte para las actividades económicas locales.

Los resultados esperados incluyen una mejora significativa en el acceso a los negocios, lo que incrementará el flujo comercial y contribuirá al crecimiento económico del área. Asimismo, el transporte público operará con mayor eficiencia, beneficiando a quienes utilizan este medio para desplazarse. La renovada infraestructura también facilitará el acceso a los atractivos turísticos cercanos, promoviendo un mayor dinamismo en el turismo y consolidando la importancia de la parroquia como uno de los principales destinos del cantón Otavalo. Durante la construcción, se generarán empleos tanto directos como indirectos, lo que fortalecerá la economía local en el corto plazo.

Sin embargo, como en todo proyecto de esta naturaleza, es posible que se presenten inconvenientes temporales. Entre ellos, las obras podrían ocasionar interrupciones en el acceso a los locales y molestias derivadas del ruido y el polvo, afectando momentáneamente a la comunidad. A pesar de estos desafíos, los beneficios a largo plazo, como una mayor conectividad, un desarrollo económico sostenido y una infraestructura moderna, compensan ampliamente los impactos negativos.

Proyectos similares ya realizados en la parroquia San Pablo del Lago refuerzan esta perspectiva. Por ejemplo, el adoquinado de una vía que conecta varias comunidades benefició a aproximadamente 2.500 moradores y fomentó el turismo, al ser esta parroquia un punto de gran atractivo dentro del cantón Otavalo (GAD Provincial de Imbabura,

2021). Este antecedente evidencia que intervenciones como el mejoramiento de la Avenida Mariscal Sucre pueden generar impactos positivos significativos, tanto en términos económicos como sociales.

Las principales características del área de implantación son:

Tabla 48.

Parámetros área de implantación, proyecto vial

Piso bioclimático:	Montañoso (más de 2300 msnm)
Tipo de suelo:	Arcilla – Limo arenosa
Pendiente del suelo:	Flancos suaves a moderados (pendiente no mayor al 25%)
Demografía (Población más cercana):	Entre 1.000 y 10.001 habitantes
Abastecimiento de agua población:	Agua potable
Evacuación de aguas servidas población:	Alcantarillado Fosa séptica
Electrificación:	Red pública
Vialidad y acceso a la población:	Vías principales Vías secundarias

Nota. Resumen de las características más importantes del área del proyecto Elaborado por: Los Autores.

12.3.Descripción del proyecto

El proyecto vial de 1.5 kilómetros se ubica en las parroquias: San Pablo, Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura, abarcando el barrio Araque. En la actualidad, el tramo priorizado en este proyecto cuenta con una capa de rodadura tipo asfalto. Las vías carecen de señalización vertical y horizontal adecuada, lo que compromete la seguridad de

peatones, conductores y turistas, especialmente en zonas turísticas concurridas como el Lago San Pablo.

El proyecto contempla la implementación de la capa de rodadura asfaltado, en donde se incluyen, entre los principales, los siguientes rubros: desbroce, rotura de pavimento actual a máquina, excavaciones a máquina, rellenos compactados, conformación de la subrasante, sub-base, implementación de aceras y bordillos de hormigón, reparación de acometidas de agua potable y alcantarillado, asfalto para imprimación, implementación de señalización, etc.

La fase del proyecto corresponde a estudios, es decir preinversión, la misma que consiste en la primera etapa dentro del proceso de inversión pública, por lo que, a través de la elaboración de los estudios, se ha definido la viabilidad e impacto técnico, económico – financiero, institucional, social y ambiental de este proyecto.

Tabla 49.

Descripción del proyecto

Fase	Descripción
Mejoramiento vial del tramo en 1.5 km de la avenida mariscal sucre.	Conformación de bodegas y campamento de obra, limpieza y desbroce del área de intervención, replanteo y nivelación, movimiento de tierras, implementación de carpeta asfáltica, desalojo del material, conformación de soluciones viales, limpieza final

Nota. Descripción de las actividades más representativas para el cuidado ambiental antes, durante y después de la ejecución del proyecto Elaborado por: Los Autores.

12.4.Caracterización ambiental.

La caracterización ambiental del área del proyecto es un paso esencial para entender las condiciones naturales del entorno donde se desarrollará el mejoramiento vial.

Este análisis permite identificar los elementos sensibles y los posibles impactos que podrían generarse durante la construcción de la Avenida Mariscal Sucre, en el Barrio Araque, Parroquia San Pablo del Lago, Cantón Otavalo.

El clima de la zona, clasificado como bosque húmedo montano, presenta temperaturas promedio entre 12 °C y 19 °C y precipitaciones anuales que alcanzan hasta 1000 mm. Estas condiciones climáticas no solo sustentan una biodiversidad rica, sino que también aumentan el riesgo de deslizamientos, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas durante temporadas de lluvias intensas. Este contexto climático resalta la necesidad de planificar cuidadosamente la intervención vial para evitar alteraciones negativas en el entorno.

Una de las principales riquezas ambientales de la zona es el Lago San Pablo, junto con las quebradas que lo alimentan, las cuales desempeñan un papel crucial en la regulación hídrica y el suministro de agua para actividades humanas y ecosistemas locales. Sin embargo, estas fuentes hídricas enfrentan presiones debido a la deforestación y el uso excesivo de agroquímicos en las áreas agrícolas cercanas. Esto ha generado un desequilibrio en algunos ecosistemas, afectando su capacidad de proporcionar servicios ambientales clave (Cevallos Suarez, 2015, p. 6)

Durante la fase de construcción, se prevén alteraciones temporales en el suelo, la calidad del aire y la cobertura vegetal debido al movimiento de maquinaria pesada. Estas actividades podrían generar ruido, polvo y cambios en la estabilidad del terreno. No obstante, con una planificación adecuada, es posible mitigar estos impactos y asegurar que el proyecto sea compatible con el entorno natural. La implementación de estrategias como sistemas de drenaje eficientes y la reforestación de áreas afectadas será clave para minimizar los riesgos y garantizar la sostenibilidad del proyecto.

12.5.Evaluación de impactos ambientales.

La evaluación de impactos ambientales del mejoramiento vial de la Avenida Mariscal Sucre es fundamental para identificar los efectos que este proyecto generará sobre el entorno natural y social. Este análisis se enfoca en equilibrar los impactos positivos y negativos, asegurando que el desarrollo de la infraestructura beneficie a la comunidad del Barrio Araque de manera sostenible.

Entre los impactos positivos, el proyecto mejorará significativamente la conectividad y accesibilidad, impulsando el comercio local y el turismo en la zona. Además, la infraestructura renovada incrementará la seguridad vial mediante la implementación de sistemas de drenaje y señalización. Estas mejoras no solo optimizarán la movilidad de los habitantes, sino que también promoverán el desarrollo económico al reducir tiempos de traslado y facilitar el transporte de bienes (Geovial Consultores Nacionales CIA. LTDA., 2014, p.172)

Durante la fase de construcción, se prevén impactos negativos temporales como la emisión de polvo y ruido generados por maquinaria pesada, lo que podría causar molestias a los residentes cercanos. Asimismo, el movimiento de tierras y la remoción de vegetación podrían aumentar la erosión del suelo y afectar las quebradas que alimentan al Lago San Pablo, un recurso vital para la comunidad y el ecosistema local (Geovial Consultores Nacionales CIA. LTDA., 2014, pp. 170-173; Cevallos Suarez, 2015, p.6)

Para mitigar estos impactos, se implementarán medidas como la hidratación constante del suelo para reducir el polvo, la reforestación de áreas afectadas tras la construcción y el mantenimiento preventivo de maquinaria para controlar emisiones y ruido. Estas acciones están contempladas en el Plan de Manejo Ambiental, con el objetivo

de minimizar los efectos negativos y garantizar la sostenibilidad del proyecto (Geovial Consultores Nacionales CIA. LTDA., 2014, p.175).

Tabla 50.

Evaluación de impactos ambientales desarrollados en el proyecto vial

Fase I: Construcción - Otras Actividades: Preliminares: Conformación de bodegas y oficinas	
Factor	Impacto
Socio - Económico	Accidentes a los pobladores y personal de trabajo, por ausencia de señalización prohibitiva, preventiva e informativa
Social	Accidentes laborales en bodegas o almacenamiento de materiales por ausencia de señalización prohibitiva, preventiva e informativa
Paisaje	Impacto visual por almacenamiento desordenado de material de construcción, equipos e insumos.
Suelo	Modificación de condiciones iniciales del terreno para implementación de bodegas, oficinas, facilidades constructivas y plantas de tratamiento.
Fase II: Construcción - Otras Actividades: Preliminares: Replanteo y nivelación	
Factor	Impacto
Social	Generación de accidentes laborales y peatonales, por ausencia de medidas de seguridad en actividades de replanteo y nivelación en el terreno
Socio - Económico	Generación de empleo local para actividades de replanteo y nivelación del terreno de implementación del proyecto vial
Fase III: Construcción - Otras Actividades: Excavación con maquinaria	
Factor	Impacto
Social	Generación de accidentes laborales por ausencia de medidas de seguridad en actividades de excavación a máquina y a mano
Aire	Generación de emisiones gaseosas y material particulado durante operación de la maquinaria para excavación del terreno y su nivelación hasta las especificaciones técnicas de los planos aprobados
Ruido	Generación de ruido y vibraciones en actividades de excavación principalmente a máquina durante la implementación del proyecto vial
Fase IV: Construcción - Otras Actividades: Construcción de bases – obras de arte menor	
Factor	Impacto
Suelo	Degradación del paisaje por inadecuado almacenamiento de escombros y material sobrante
Aire	Generación de material particulado (polvo), durante actividades de demolición

Social	Accidentes laborales, caídas de objetos, caídas a distinto nivel
Fase V: Construcción - Otras Actividades: Desalojo de material	
Factor	Impacto
Suelo	Degradación del paisaje y contaminación al suelo por inadecuado transporte y disposición final de escombros y otros materiales
Fase VI: Construcción - Otras Actividades: Estructura de pavimento	
Factor	Impacto
Suelo	Producción de residuos sólidos derivados de actividades pavimentación, la gestión inadecuada podría generar contaminación al suelo y degradación del paisaje
Ruido	Generación de ruido durante la implementación del asfalto y agregados pétreos, vibraciones producidas por maquinaria
Socio - Económico	Generación de empleo local para actividades de conformación de adoquín
Fase VII: Construcción - Otras Actividades: Construcción de estructuras	
Factor	Impacto
Ruido	Generación de ruido y vibraciones en actividades de conformación estructural de facilidades constructivas
Social	Accidentes laborales, caídas a desnivel, por falta de implementación y control de medidas de seguridad industrial durante las actividades de conformación estructural de los proyectos.
Fase VIII: Construcción - Otras Actividades: Señalización y marcación final	
Factor	Impacto
Suelo	Producción de residuos sólidos, cuya inadecuada gestión ambiental podría generar contaminación al suelo, en esta fase los acabados incluyen pintura de señalización, por lo que los productos involucrados deberán ser manejados adecuadamente
Social	Accidentes laborales, caídas a desnivel, por ausencia de implementación y control de medidas de seguridad industrial durante las actividades de acabados de los proyectos
Socio - Económico	Desarrollo e impulso del empleo local (contratación de mano de obra dentro del área de influencia de los proyectos)
Socio - Económico	Molestias con la población por interrupción de servicios básicos tales como: agua potable, electricidad, telefonía, interrupción de pasos peatonales y vehiculares, entre los principales
Fase IX: Construcción - Otras Actividades: Limpieza final de la zona de construcción	
Factor	Impacto
Suelo	Generación de residuos sólidos, los cuales deberán ser almacenados y gestionados adecuadamente, caso contrario generarían impacto ambiental al suelo y paisaje

Paisaje	Degradación paisajística por el inadecuado cierre y abandono de instalaciones provisionales, utilizadas durante la construcción del proyecto
---------	--

Fase X: Operación y Mantenimiento - Otras Actividades: Operación vial

Factor	Impacto
Suelo	Generación de residuos sólidos, contaminación por ausencia de gestión ambiental.
Agua	Generación de descargas líquidas, contaminación a los recursos hídricos por vertimiento de contaminantes
Aire	Generación de emisiones gaseosas, contaminación al aire producida por fuentes fijas.
Ruido	Generación de ruido durante operatividad y mantenimiento de la vía
Social	Mejoramiento del sistema vial y cada uno de sus componentes, alivio del tráfico vehicular
	Generación de accidentes vehiculares durante el funcionamiento del sistema vial
	Acceso a un sistema vial adecuado
Socio - Económico	Generación de empleo local

FaseXII: Operación y Mantenimiento - Otras Actividades: Mantenimiento vial

Factor	Impacto
Suelo	Contaminación al suelo por inadecuada gestión de residuos sólidos durante las fases de mantenimiento vial
Socio - Económico	Incremento de empleo local para actividades de limpieza y mantenimiento de instalaciones durante la operación del proyecto
Social	Accidentes laborales al personal vinculado a las actividades de mantenimiento del proyecto, para los cuales se deberá establecer y controlar el desarrollo del plan de seguridad y salud ocupacional

Nota. Se presenta la clasificación de fases para poder mitigar los impactos ambientales que pueden presentarse. Elaborado por: Los Autores.

12.6. Plan de manejo ambiental.

El Plan de Manejo Ambiental, se enmarca en la estrategia de prevención de la contaminación del ambiente circundante, en donde se desarrollarán las actividades de mejoramiento de la Av. Mariscal Sucre, que deberán ejecutarse en armonía con el desarrollo socioeconómico de las poblaciones cercanas a cada una de las cabeceras parroquiales de San Pablo, los mismos que se verán influenciados por el proyecto.

El Plan de Manejo Ambiental será aplicado durante y después de cada una de las fases del proyecto, debido a que se originarán impactos ambientales directos e indirectos, positivos y negativos, dentro de su ámbito de influencia. Si bien, las acciones causantes de impacto serán variadas, las afectaciones más significativas corresponderán a las fases de construcción del proyecto.

Ante esta situación se desarrolla el Plan de Manejo Ambiental (PMA), que es un documento técnico que contiene un conjunto estructurado de medidas destinadas a evitar, mitigar, restaurar o compensar los impactos ambientales negativos previsibles durante la ejecución de las obras programadas en cada fase del proyecto, enmarcados en una serie de planes y programas que deben cumplirse. Las medidas técnicas de mitigación de impactos que se proponen están destinadas a potenciar los impactos positivos, reducir o eliminar los negativos y compensar las pérdidas que se podrían ocasionar por la ejecución del proyecto.

Tabla 51.

Sub Plan de Manejo de Residuos y Desechos

Aspecto Ambiental	Medida Propuesta	Medio de Verificación de la medida
Gestión de residuos y desechos	Los residuos - desechos deben manejarse con un enfoque en el cual se promueva la minimización de la generación de los mismos y se deberá seguir el principio de jerarquización: 1. Prevención 2. Minimización de la generación en la fuente 3. Clasificación 4. Aprovechamiento y/o revalorización 5. Tratamiento 6. Disposición Final	Declaraciones Anuales de gestión de residuos-desechos peligrosos, no peligrosos y especiales Informe técnico anual que abarca el análisis de alternativas de gestión por residuo o desecho conforme a la jerarquización
Gestión de residuos / desechos no peligrosos	Escombros, residuos de material de construcción serán dispuestos en sitios específicos, que cuenten con las medidas de seguridad necesaria, así como la autorización administrativa ambiental correspondiente. Se deberá especificar la información de la disposición de estos residuos en la bitácora.	Registro fotográfico trimestral Informe anual de Inspección visual

Nota. Resumen de medidas propuestas según el aspecto ambiental. Elaborado por: Los Autores.

Figura 46.

Colores del recipiente según el residuo a disponer.

TIPO DE RESIDUO	COLOR DE RECIPIENTE	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO A DISPONER
Reciclables	Azul	 Todo material susceptible a ser reciclado, reutilizado. (vidrio, plástico, papel, cartón, entre otros).
No reciclables, no peligrosos.	Negro	 Todo residuo no reciclable.
Orgánicos	Verde	 Origen Biológico, restos de comida, cáscaras de fruta, verduras, hojas, pasto, entre otros. Susceptible de ser aprovechado.
Peligrosos	Rojo	 Residuos con una o varias características citadas en el código C.R.E.T.I.B
Especiales	Anaranjado	 Residuos no peligrosos con características de volumen, cantidad y peso que ameritan un manejo especial.

Nota. Se presenta la clasificación de los tipos de residuo y su correcto tratamiento para la ejecución del plan de manejo ambiental. Elaborado por: Los Autores.

CONCLUSIONES

Los análisis realizados revelan que el suelo predominante en la región está compuesto principalmente por limos de baja plasticidad, los cuales presentan un adecuado contenido de humedad y propiedades plásticas que lo hacen apropiado para la construcción de infraestructura vial. No obstante, el índice de CBR indica que, para garantizar la capacidad de soporte ante cargas pesadas, será conveniente considerar un tratamiento o estabilización del suelo, dado que su clasificación cualitativa se sitúa entre los niveles regular y bueno. Esta información destaca la importancia de implementar medidas de mejora del suelo para optimizar la durabilidad y seguridad de las obras viales proyectadas.

La cuenca de San Pablo presenta características morfométricas que favorecen un drenaje eficiente, con subcuencas predominantes de forma ensanchada o moderadamente alargada y un tiempo de concentración relativamente corto. Sin embargo, la inminente superposición de caudales en la subcuenca de transición del barrio Araque, especialmente durante temporadas de lluvia, aumenta el riesgo de inundaciones repentinas, como se evidencia en los resultados obtenidos, destacando la necesidad de implementar medidas adecuadas de manejo y control del agua para mitigar estos riesgos.

En conclusión, la caracterización ambiental permite identificar las particularidades del entorno y planificar medidas que aseguren un equilibrio entre el desarrollo vial y la protección de los recursos naturales. Esto no solo beneficia a la infraestructura del proyecto, sino también a la comunidad y al medio ambiente, promoviendo un desarrollo sostenible en el barrio Araque.

El análisis de factibilidad del proyecto de mejoramiento de la vía en el sector urbano de Araque, Imbabura, ha permitido establecer una base técnica y financiera sólida para su ejecución. Se ha determinado el costo horario de la maquinaria considerando factores clave como depreciación, mantenimiento y consumo de combustible, garantizando estimaciones precisas. Asimismo, el análisis de precios unitarios de materiales, mano de obra y equipos ha proporcionado una visión integral de los costos financieros y económicos. Finalmente, el presupuesto detallado asegura una planificación eficiente de los recursos, garantizando la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

El diseño y ejecución del proyecto de señalización horizontal y vertical han sido desarrollados conforme a las Especificaciones Técnicas del MTOP, garantizando el cumplimiento de los estándares de seguridad vial. La correcta selección de señales, materiales y dispositivos de control del tránsito, basada en estudios de ingeniería, permite optimizar su ubicación y funcionalidad, contribuyendo a una circulación más segura y eficiente en la vía.

RECOMENDACIONES

Para el proyecto de mejoramiento de la vía en la zona de San Pablo, es fundamental considerar las particularidades hidrológicas y de drenaje identificadas en la cuenca. Se recomienda implementar un diseño de infraestructura vial que incluya sistemas de drenaje adecuados, como alcantarillas y desagües pluviales, que permitan canalizar de manera eficiente las aguas superficiales y minimizar el riesgo de inundaciones.

Asimismo, es crucial realizar estudios geotécnicos detallados para evaluar la capacidad de carga del suelo y determinar la necesidad de estabilización en áreas críticas. La integración de soluciones de rehabilitación, como zanjas de infiltración y barreras vegetativas, puede contribuir a mejorar la capacidad de absorción del suelo y reducir el escurrimiento.

Además, se sugiere establecer un monitoreo continuo de los niveles de caudal y de las condiciones meteorológicas, para anticipar posibles eventos de inundación y permitir una respuesta oportuna. Estas medidas no solo optimizarán la funcionalidad de la vía, sino que también contribuirán a la seguridad y sostenibilidad del entorno vial y de las comunidades circundantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavements Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Andrade, A. M. (Julio de 2023). *Diseño vial para la rectificación y mejoramiento de la vía arterial secundaria ubicada entre el km 0+800 y km 2+000, de "Santa Rosa Alta de Uyumbicho", en la parroquia de Tambillo, cantón Mejía*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25214>
- Arciniegas, C. A. (Enero de 2004). *Manual de Drenaje de Carreteras*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/47d045df-7414-4456-8517-c47722b5b0e0/content>
- Arteaga, S. J. (27 de Mayo de 2021). *Cálculo de tasa de crecimiento de tránsito para proyecciones de tráfico promedio diario anual en Nicaragua*. Obtenido de <https://camjol.info/index.php/elhigo/article/view/11717/13545>
- Calo, D. H. (21 de Abril de 2010). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE HORMIGON*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50522392/Diseno_de_Pavimentos_Rigidos-libre.pdf?1480002940=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENO_DE_PAVIMENTOS_RIGIDOS.pdf&Expires=1710895575&Signature=PLmfVlaj2NBtR2oJlJLCebR8BMl07Hi3aW3XoPXveyNVY
- Coronado, J. (Noviembre de 2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35239676/manual-de-pavimentos-sieca1-libre.pdf?1414007249=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRed_vial_de_Nicaragua_2013.pdf&Expires=1709942617&Signature=f2KlybeiSqI7ndZrgft7jOxdSdIxz3jKS2EbWA6geFw~Kfsn
- GAD Provincial de Imbabura. (17 de Febrero de 2021). *GAD Provincial de Imbabura*. Obtenido de <https://www.imbabura.gob.ec/index.php/noticias/blog-noticias/19-vialidad-e-infraestructura/496-en-la-parroquia-san-pablo-de-lago-la-prefectura-puso-en-marcha-el-adoquinado-de-una-via-que-une-varias-comunidades>
- Gonzalez, M. A. (2021). *Alternativas para el mejoramiento de vías terciarias en Putumayo*. 2021. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/00562347-4ca6-4fdb-ba59-5dc683a6973a/content>
- Guevara, V. C. (01 de Julio de 2020). *etodologías de Investigación Educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigacion-acción)*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7591592.pdf>
- Inamhi. (2015). Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación. . 23-69.

- Jasso, J. A. (Marzo de 2014). *Estudio Geotécnico-Geofísico del comportamiento dinámico del subsuelo para el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, Mexico*. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/4547/1/1080253724.pdf>
- L, R. P. (23 de Noviembre de 2009). *El Levantamiento Topografico: Uso del GPS y Estacion Total*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35048760/articulo3-libre.pdf?1412786336=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEL_LEVANTAMIENTO_TOPOGRAFICO_USO_DEL_GPS.pdf&Expires=1709877343&Signature=QaBFGHSDHRe2xwyTt9bybCDqLaXsmR-7MaRGvRmNNdjZ3mCfjyUD
- Lozano, F. A. (2015). *Comparación de la eficiencia hidráulica en cunetas de secciones triangular, trapezoidal, y circular, usando proyectos de la Universidad de La Salle*. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1030&context=ing_civil
- Marcelo, R. C. (2015). *pos de Investigacion cientifica: Una simplificacion de la complicada incoherente nomenclatura y clasificacion*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63638739004.pdf>
- Montero, M. (2003). *Aplicación de técnicas de análisis multifractal a distribuciones de tamaño-volumen de partículas de suelo obtenidas mediante análisis por difracción de láser*. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica de Madrid: <https://oa.upm.es/id/eprint/292>
- Morales, M. S., Salas Plata Mendoza, J. A., & Rodríguez Esparza, A. (29 de Octubre de 2015). *Drenaje Pluvial: Manejo del drenaje pluvial mediante control de la fuente de escurrimientos superficiales*. Obtenido de <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/686>
- Oliverio Martínez, E. (Enero-Junio de 2017). *ESQUEMA DE MANTENIMIENTO Y MEJORAMIENTO en vías terciarias:*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1210/121052004009.pdf>
- Ospina, J. J. (2022). *Diseño Geometrico de Vías*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55513650/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo-libre.pdf?1515703095=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENO_GEOMETRICO_DE_VIAS_Ajustado_al_Ma.pdf&Expires=1710895855&Signature=DUQCH~Nk
- Públicas, M. d. (2003). *Normas de Diseño Geometrico de Carreteras*.
- Sánchez, F. (2016). *Materiales para base y sub base*.
- Solis, W. (2024). *Estación de control y monitorización meteorológica y sismológica autosustentable para la Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de Repositorio Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/42386>

Suárez, V. M. (2005). *Planteamiento de un marco teórico de la Educación Ambiental para un desarrollo sostenible*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53298385/Planteamiento_de_la_educacion_ambiental-libre.pdf?1495908781=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPlanteamiento_de_un_marco_teorico_de_la.pdf&Expires=1709880039&Signature=gODJnEp7lwlwZQ3Gf075ywwq