



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**MEJORAMIENTO DE LA VÍA “S46”, QUE CONECTA LA AV. MARISCAL
SUCRE Y LA AV. QUITUMBE ÑAN, EN LA PARROQUIA QUITUMBE,
CANTÓN QUITO, PROVINCIA PICHINCHA**

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

AUTORES: Alyson Dayana Coraquilla Elizalde

Jonathan Ariel Quezada Castillo

TUTOR: Byron Iván Altamirano León

Quito-Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Coraquilla Elizalde Alyson Dayana con documento de identificación N° 1753265907 y Quezada Castillo Jonathan Ariel con documento de identificación N° 2200380752; 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, 02 de agosto del 2024

Atentamente,



Alyson Dayana Coraquilla Elizalde
1753265907



Jonathan Ariel Quezada Castillo
2200380752

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

Nosotros, Coraquilla Elizalde Alyson Dayana con documento de identificación N° 1753265907 y Quezada Castillo Jonathan Ariel con documento de identificación N° 2200380752; 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 de la vía “S46”, que conecta la Av. Mariscal Sucre y la Av. Quitumbe Ñan, en la Parroquia Quitumbe, cantón Quito, provincia Pichincha”, 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.

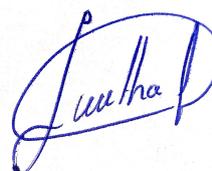
Quito, 02 de agosto del 2024

Atentamente,



Alyson Dayana Coraquilla Elizalde

1753265907



Jonathan Ariel Quezada Castillo

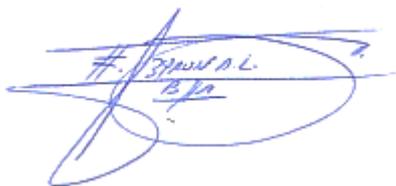
2200380752

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Byron Iván León Altamirano con documento de identificación N° 1709301590, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MEJORAMIENTO DE LA VÍA “S46”, QUE CONECTA LA AV. MARISCAL SUCRE Y LA AV. QUITUMBE ÑAN, EN LA PARROQUIA QUITUMBE, CANTÓN QUITO, PROVINCIA PICHINCHA, realizado por Coraquilla Elizalde Alyson Dayana con documento de identificación N° 1753265907 y por Quezada Castillo Jonathan Ariel con documento de identificación N° 2200380752, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 02 de agosto del 2024

Atentamente,



Ing. Byron Iván Altamirano León, MSc

1709301590

DEDICATORIA

A través de este proyecto técnico quiero agradecer primer a Dios por guiarme en este largo viaje y darme la fuerza necesaria para preservar. A mi valiente madre, este trabajo es resultado de tu amor, apoyo y sacrificio, te doy las gracias por tu perseverancia y ejemplo constante que han sido mi inspiración, cada día que trabajaste incansablemente, fueron semillas de fortaleza y mi éxito académico es un reflejo de tu inquebrantable dedicación. Esta tesis es mi modesta forma de agradecer por todo lo que has hecho por mí.

Un profundo agradecimiento a mi hermano quien ha logrado de su vida enseñarme la cultura del trabajo y estudio, la verdadera dedicación y esfuerzo constante para ser una mejor persona y profesional. Es un regalo que valoro más allá de las palabras. Esta tesis es el testimonio de su sacrificio y amor y un recordatorio de la importancia del trabajo duro y la educación en mi vida. Querido Alejandro, hoy cumpla uno de mis mayores sueños, y tú has sido mi mejor cómplice, mi mayor fan y mi compañero inseparable en este camino. Gracias por tu amor, por tus abrazos reconfortantes, por tus palabras de aliento y por tus consejos sabios. Gracias por creer en mí, por tu apoyo incondicional. Formas parte de este logro por ayudarme a encontrar mi camino, a descubrir mis talentos y a desarrollarlos. Este trabajo es una prueba de la capacidad de hacer realidad los sueños y de que en el camino Dios pone en el mejor momento una buena persona.

Por último, a mi hermana por ser parte del proceso y compartir varios sentimientos a lo largo de este camino, secretos y un armario abarrotado de ropa prestada, por darme una alegría a mi vida llamado Sebastián a quien amo con todo mi ser y de quien también aprendo y quien también forma parte de esta travesía y a quien dedico este proyecto.

Alyson Dayana Coraquilla Elizalde

DEDICATORIA

El presente proyecto técnico se lo dedico primero a Dios, a mis padres, a mi hermana, y a mi sobrina, que fueron parte fundamental para estar aquí, y seguir con mi sueño de ser un profesional, con los valores que me inculcaron de pequeño, siendo los primeros que me apoyaron y se esforzaron por que yo llegue hasta aquí, siendo una base importante para construir mi futuro, con momentos buenos y malos, pero siempre dando la cara a las adversidades que se nos presenten, siempre dándole gracias a Dios por todo lo que nos ha permitido vivir, y habernos unido cada vez más como familia, apoyándonos en cada momento por más difícil que sea, demostrándonos siempre que cada día va a ser mejor que el anterior.

También se lo dedico a mis compañeros que han estado también en esta etapa de mi vida y se han convertido en amigos en los que puedo confiar, pedir consejos y saber siempre que van a estar ahí para brindarme su apoyo incondicional y fuera de cualquier intención que no sea la de ayudar.

Jonathan Ariel Quezada Castillo

AGRADECIMIENTO

Con una profunda estima y reconocimiento, extiendo mi más sincera gratitud a mi tutor de tesis por su dedicación y por la guía que han sido fundamentales durante el desarrollo de este proyecto. Expreso mi gratitud a todos los docentes que influyen en este proyecto técnico por sus comentarios constructivos.

Mi gratitud a la Universidad Politécnica Salesiana por su excelencia académica y por brindarme todo el conocimiento a lo largo de toda esta vida universitaria.

A mi compañero de tesis le agradezco su invaluable apoyo, por compartir su tiempo y conocimientos junto a los míos y agradecer a todas las personas que estuvieron presentes durante esta travesía.

Agradezco a Dios por brindarnos mucha paciencia y fuerza para culminar y por guiarnos hasta lo último, a mis familiares por ser un apoyo fundamental y ser pacientes conmigo.

Alyson Dayana Coraquilla Elizalde

AGRADECIMIENTO

Mediante este proyecto quiero agradecer a todas las personas que forman parte de mi vida, y han sido pieza fundamental para que yo esté a nada de terminar con mi etapa Universitaria, empezando desde mis padres que me brindaron su apoyo incondicional, sus consejos, sus enseñanzas, impartirme los valores que son algo esencial en las personas, y más que nada por estar ahí cuando más los necesitaba. A mi hermana por ser un ejemplo de una persona que a pesar de todo lo que ha pasado siempre se ha mantenido fuerte y con una sonrisa. A mi sobrina por enseñarme a ser más sensible, comprensivo, y ver la vida de otra perspectiva. A mis amigos por estar cuando los necesitaba, brindarme su apoyo, consejos y por ser parte fundamental de esta etapa. A todos los ingenieros por compartir parte de su conocimiento, siendo una parte esencial para poder ser un gran profesional. Aunque algunos ya no sé encuentren dentro de esta institución, siempre tendré un recuerdo grato de los que formaron parte de esta etapa de mi vida, y este proyecto también va dedicado a todos ellos.

Jonathan Ariel Quezada Castillo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Problema de estudio	1
1.2.1. Antecedentes.....	1
1.2.2. Importancia y Alcance	2
1.2.3. Delimitación	3
1.2.3.1. Específica.....	3
1.2.3.2. Características.....	4
1.3. Justificación	6
1.4. Grupo Objetivo	6
1.5. Objetivos.....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Conceptos básicos de diseño y planificación vial.....	8
2.2. Normativas y regulaciones vigentes en el Ecuador para el mejoramiento vial .	9
2.3. Experiencias y proyectos similares en otras ciudades	10
CAPÍTULO III	12
METODOLOGÍA.....	12
3.1. Procedimientos para la recopilación de información y datos	12
3.2. Evaluación de los estudios técnicos realizados.....	12
CAPÍTULO IV.....	14
ESTUDIO TOPOGRÁFICO	14
4.1. Alcance	14
4.2. Equipos utilizados.....	14
4.3. Actividades realizadas en el levantamiento topográfico.....	15
4.4. Trabajos de Campo	15
4.5. Descripción de la planimetría y altimetría	17
CAPÍTULO V	19
ESTUDIO DE TRÁFICO	19
5.1. Alcance	19
5.2. Conteo de Tránsito	19
5.3. Determinación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....	21
5.4. Proyección del tráfico	26
5.5. Cálculo del número de ejes equivalentes ESALS's	31
CAPÍTULO VI.....	36
DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL	36
6.1. Antecedentes	36
6.2. Alineamiento Horizontal.....	36
6.3. Alineamiento Vertical	57

6.4.	Aspectos geométricos para la vía según Ordenanza 3457 (zona Urbana).....	62
6.5.	Volúmenes y Curva de Masas	65
CAPÍTULO VII		68
ESTUDIO GEOLÓGICO.....		68
7.1.	Estado Actual y Ubicación del proyecto	68
7.2.	Riesgo Sísmico en la zona de estudio	68
7.3.	Riesgo Volcánico.....	70
7.4.	Riesgo de Inundaciones	71
7.5.	Fuentes de materiales	72
7.6.	Trabajos de campo – Exploración y Muestreo de Suelos	75
CAPÍTULO VIII.....		82
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....		82
8.1.	Estudio de la capacidad de soporte del suelo y su influencia en el diseño del pavimento.....	82
8.2.	Selección de materiales y diseño de la estructura del pavimento para soportar las cargas de tráfico esperadas	86
8.3.	Consideraciones para la durabilidad y resistencia del pavimento	88
8.4.	Ensayo CBR y Resultados de La Investigación del Subsuelo	90
8.5.	Diseño Estructural de la Vía	93
8.6.	Número estructural de la Sub-base (SN3)	95
8.7.	Elección Espesores De Diseño	111
CAPÍTULO IX.....		123
DISEÑO HIDRÁULICO		123
9.1.	Alcance	123
9.2.	Información Básica	123
9.3.	Análisis Climatológico	126
9.4.	Alcantarillas existentes	127
9.5.	Cálculo de los parámetros de diseño.....	131
9.6.	Diseño de cuneta lateral.....	140
CAPÍTULO X		150
SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL.....		150
10.1.	Alcance.....	150
10.2.	Diseño de la Señalización vial en base a la normativa vigente.....	150
10.3.	Señalización vertical	150
10.4.	Señales de prevención (Código P)	159
10.5.	Señalización Horizontal	160
10.6.	Ubicación de la señalización en la vía s46.....	161
10.6.1.	Cantidades de señaléticas	163
CAPÍTULO XI.....		164
IMPACTO AMBIENTAL		164
11.1.	Introducción	164
11.2.	Objetivos	164
11.3.	Descripción del área de impacto	165

11.3.1.	Impacto socioeconómico.....	165
11.3.2.	Manejo de escombros.....	165
11.4.	Plan de manejo ambiental del proyecto.....	166
11.4.1.	Plan de mitigación y prevención de impactos.....	166
11.5.	Plan de restauración rutinaria de la vía	170
11.5.1.	Cierre del proyecto	171
CAPÍTULO XII.....		172
ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO		172
12.1.	Determinación de los Beneficios.....	172
12.2.	Costos del proyecto (Egresos).....	172
12.2.1.	Costos de Mantenimiento Vial	172
12.2.2.	Costos construcción del proyecto (Presupuesto).....	172
12.3.	Evaluación Económica y Financiera del Proyecto (Índice Financiero)	175
12.3.1.	VAN (Valor Actual Neto)	175
12.3.2.	TIR (Valor Actual Neto)	176
12.3.3.	Determinación de Beneficio-Costo B/C del proyecto	177
CONCLUSIONES		180
RECOMENDACIONES		182
BIBLIOGRAFÍA		183

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM WGS84 zona 17S	3
Tabla 2. Clasificación de los Terrenos en Función de las Pendientes Naturales	17
Tabla 3. Resumen del conteo de la Estación N°1 Abscisa: 0+131.23	22
Tabla 4. Resumen del conteo de la Estación N°2 Abscisa: 0+502.11	22
Tabla 5. Tráfico total existente de las Estaciones de conteo	23
Tabla 6. Desviación estándar del conteo diario	26
Tabla 7. Resumen del Tráfico semanal. Anual y futuro	28
Tabla 8. Valores de tasa de crecimiento	29
Tabla 9. Valores de TPDA proyectado	29
Tabla 10. Clasificación de la vía de acuerdo con el tráfico	30
Tabla 11. Clasificación funcional de la vía	31
Tabla 12. Factor de distribución por dirección	32
Tabla 13. Factor de distribución por carril	33
Tabla 14. Número de ejes equivalentes al inicio del periodo	34
Tabla 15. Número de ejes equivalentes total	35
Tabla 16. Relaciones entre velocidades de circulación y diseño	38
Tabla 17. Coeficientes de fricción lateral	40
Tabla 18. Gradiente Longitudinal (i) necesaria para el desarrollo del peralte	41
Tabla 19. Radios mínimos de curvas en función del Peralte (e) y el Coeficiente de fricción lateral (f)	46
Tabla 20. Distancia de visibilidad mínima para la parada de un vehículo (con correcciones por efecto de la gradiente longitudinal)	49
Tabla 21. Distancia de visibilidad para parada (m)	50
Tabla 22. Valores de diseño de las gradientes longitudinales máximas	58
Tabla 23. Distancia de visibilidad de parada	59
Tabla 24. Curvas verticales cóncavas mínimas	61
Tabla 25. Resumen de características técnicas Vía Colectora	63
Tabla 26. Ubicación del proyecto (zona 17S)	68
Tabla 27. Aceleración Máxima en Roca “Z” Según zona sísmica	70
Tabla 28. Valor “Z” según la zona del proyecto	70
Tabla 29. Resumen de las características de la Mina	73
Tabla 30. Resumen de la Granulometría Base clase II	74
Tabla 31. Resultado del ensayo de abrasión Base clase II	75
Tabla 32. Distancia entre Sondeos de suelo	75
Tabla 33. Coordenadas de Calicatas del Proyecto (zona 17S)	76
Tabla 34. Resultado de los ensayos de laboratorio	80
Tabla 35. Resultados de los ensayos CBR (muestras del proyecto)	90
Tabla 36. Niveles de tráfico	91
Tabla 37. Clasificación de las capas del pavimento	91
Tabla 38. Resultados del CBR con el porcentaje de percentil según la AASHTO 93 ..	92
Tabla 39. Clasificación de agregados de la sub-base	95
Tabla 40. Clases de agregados con su granulometría	96
Tabla 41. Porcentaje en peso de los tamices de la Clase 2 para la Base	99
Tabla 42. Características principales de la carpeta asfáltica	101

Tabla 43. Resumen del Tráfico Promedio Diario Anual y Ejes equivalentes de diseño	104
Tabla 44. Niveles de confiabilidad en función del tipo de carretera.....	104
Tabla 45. Desviación estándar normal en función de la confiabilidad (R).....	105
Tabla 46. Valores de diseño para la Desviación Estándar.....	106
Tabla 47. Índices de Serviciabilidad inicial	107
Tabla 48. Índices de Serviciabilidad final.....	107
Tabla 49. Precipitaciones anuales de la estación M003 Izobamba	110
Tabla 50. Valores de Precipitación en los meses de invierno	111
Tabla 51. Porcentaje de tiempo con la estructura expuesta a niveles de humedad.....	112
Tabla 52. Cálculo del número estructural de diseño	121
Tabla 53. Espesores de las capas	122
Tabla 54. Microcuencas de la Quebrada Shanshayacu	125
Tabla 55. Ubicación de las Alcantarillas del Proyecto.....	128
Tabla 56. Factores de Influencia	132
Tabla 57. Intensidad de precipitación	133
Tabla 58. Ecuaciones de intensidades.....	134
Tabla 59. Periodo de Retorno Tr.....	135
Tabla 60. Coeficiente de Escorrentía C	136
Tabla 61. Coeficientes de Escorrentía para los tipos de terreno	137
Tabla 62. Coeficiente de Manning	139
Tabla 63. Velocidades del material	139
Tabla 64. Parámetros para Cunetas.....	145
Tabla 65. Resumen del Tráfico Promedio Diario Anual y Ejes equivalentes de diseño	152
Tabla 66. Señal doble vía.....	153
Tabla 67. Señal no rebasar	154
Tabla 68. Señal de límite máximo de velocidad	155
Tabla 69. Señal parada de bus.....	156
Tabla 70. Tabla de dimensiones de la señal	156
Tabla 71. Señal normalizada de curvas.....	157
Tabla 72. Señal de semáforos	158
Tabla 73. Señal de reductor de velocidad	159
Tabla 74. Distancia de las señales preventivas	160
Tabla 75. Espesor señales horizontales.....	160
Tabla 76. Señaléticas Lado Izquierdo	161
Tabla 77. Señaléticas Lado Derecho.....	162
Tabla 78. Cantidades de señaléticas a utilizar.....	163
Tabla 79. Prevención y calidad del aire	166
Tabla 80. Contaminación y calidad del suelo	168
Tabla 81. Plan de capacitación ambiental.....	169
Tabla 82. Plan de la calidad del agua.....	170
Tabla 83. Restauración Rutinaria de la Vía	170
Tabla 84. Cierre de proyecto.....	171
Tabla 85. Presupuesto de Mantenimiento Semanal	172
Tabla 86. Presupuesto de Mantenimiento Anual	173
Tabla 87. Presupuesto total del proyecto	174

Tabla 88. Cálculo del VAN del Proyecto	176
Tabla 89. Cálculo del TIR del Proyecto.....	177
Tabla 90. Cálculo beneficio - costo	178
Tabla 91. Tabla de Resultados Beneficio/Costo	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Proyecto	4
Figura 2. Estado actual de la vía	5
Figura 3. Característica negativa de la vía	5
Figura 4. Registro de los puntos topográficos	16
Figura 5. Recolección de puntos importantes de la vía	16
Figura 6. Planimetría de la vía S46 (Faja topográfica)	17
Figura 7. Pendientes Longitudinales Naturales del proyecto	18
Figura 8. Ubicación de las estaciones de conteo en el proyecto	20
Figura 9. Clasificación vehicular del Proyecto	21
Figura 10. Composición del tráfico	23
Figura 11. Velocidades de Diseño con respecto a las características de la vía	37
Figura 12. Relaciones entre las velocidades de Diseño y de Circulación	38
Figura 13. Desarrollo del peralte y longitud de transición en una curva	42
Figura 14. Esquema para determinar el sobreechanco de un carril de tránsito en una curva	44
Figura 15. Distancia mínima de visibilidad para el rebasamiento de un vehículo	51
Figura 16. Anchos de la calzada	52
Figura 17. Curva circular simple	54
Figura 18. Empalme espiral-circulo-espiral (simétrico)	55
Figura 19. Curvas obtenidas con el diseño horizontal de la vía	57
Figura 20. Alineamiento vertical del primer tramo	64
Figura 21. Alineamiento vertical segundo tramo	64
Figura 22. Curvas de masas primer carril	66
Figura 23. Curvas de masas segundo carril	66
Figura 24. Elementos del empalme espiral-circulo-espiral (simétrico)	67
Figura 25. Ecuador, zonas sísmicas del proyecto	69
Figura 26. Mapa de Riegos Volcánicos	71
Figura 27. Mapa de Riegos de Inundaciones	72
Figura 28. Imagen aérea de la cantera proveedora de los materiales	73
Figura 29. Curva granulométrica Base clase II	74
Figura 30. Ubicación Calicatas de muestreo	76
Figura 31. Capas del pavimento flexible	83
Figura 32. Capas del pavimento rígido	85
Figura 33. Diseño de estructura vial	94
Figura 34. Diseño de estructura vial	95
Figura 35. Faja granulométrica agregado Clase III	96
Figura 36. Ábaco para el coeficiente estructural a3 y el Módulo resiliente del agregado para la Sub-base	98
Figura 37. Faja y curva granulométrica del agregado Base Clase 2	99
Figura 38. Ábaco para el coeficiente estructural a2 y el Módulo resiliente del agregado para la Base	100
Figura 39. Ábaco para el coeficiente estructural a1 y el Módulo resiliente de la carpeta asfáltica	102
Figura 40. Ubicación de la estación meteorológica	109

Figura 41. Número estructural de la subrasante	113
Figura 42. Número estructural de la subrasante	115
Figura 43. Representación de las capas que conforma la estructura vial	116
Figura 44 Número estructural de la capa de asfalto	117
Figura 45. Número estructural de la Base	118
Figura 46. Número estructural de la sub-base	120
Figura 47. Espesores de diseño	122
Figura 48. Hidrografía del proyecto	124
Figura 49. Geomorfias del sur de Quito, cerca del proyecto.	127
Figura 50. Ubicación de alcantarillas en el proyecto.	128
Figura 51. Ubicación 1 Alcantarilla.	129
Figura 52. Ubicación 2 Alcantarilla.	129
Figura 53. Ubicación 3 Alcantarilla.	130
Figura 54. Ubicación 4 Alcantarilla.	130
Figura 55. Ubicación 5 Alcantarilla.	131
Figura 56. Cunetas en la construcción.	141
Figura 57. Cuneta Triangular.	142
Figura 58. Detalle cuneta tipo.	144
Figura 59. Precipitaciones máximas en 24 horas absolutas registradas en las estaciones.	145
Figura 60. Área de aportación de la vía.	146
Figura 61. Características de la cuneta lateral.	147
Figura 62. Características de la alcantarilla transversal	149
Figura 63. Señales informáticas	151
Figura 64. Señal de Pare	152
Figura 65. Señalética Doble Vía	153
Figura 66. Señalética No rebasar	154
Figura 67. Señalética Límite de Velocidad	155
Figura 68. Señalética Parada de bus	156
Figura 69. Señalética de curvas	157
Figura 70. Señalética para Semáforos	158
Figura 71. Señalética para reductores de velocidad	159

RESUMEN

El presente proyecto técnico está ubicado en el cantón Quito, Parroquia Quitumbe, el cual conecta dos avenidas de afluencia vehicular alta como son la Av. Mariscal Sucre y la Av. Quitumbe Ñan, cuenta con una longitud de 750m pero mantiene un diseño inicial de 2 carriles y consecutivamente se ensancha hasta los 4 carriles. El objetivo de este se basa en solventar las necesidades evidentes como el estado actual de la vía y el aumento de la densidad poblacional. En este proyecto se mantendrá la cantidad de carriles, pero se buscará una mejora significativa en función de los resultados que presenten los estudios en campo y el posterior análisis, partiendo del levantamiento topográfico el cual nos muestra de forma más clara las características físicas en las que se asienta el proyecto. Posterior a esto se estudia el volumen de vehículos que transitan para así determinar el tipo de vía correspondiente. Con todos los resultados obtenidos se procede a realizar el diseño geométrico de la vía, además determinamos las cargas que soportará la misma para después diseñar la estructura del pavimento necesario. También, se desarrollará un estudio hidrológico con el cual se fundamentará la colocación de cunetas y alcantarillas en el caso de ser necesario en el proyecto, A su vez, se implementará la señalización correspondiente tanto vertical como horizontal. Además, se realizará un estudio del impacto ambiental que causará el mismo, por último, se realizará un análisis económico-financiero, el cual nos permitirá conocer indicadores como el VAN, TIR, y el costo-beneficio que obtendremos con la materialización del presente proyecto.

Palabras Clave: Densidad poblacional, Volumen vehicular, Diseño Geométrico, Diseño Estructural, Estudio Ambiental, Señalización Vertical y Horizontal.

ABSTRACT

The present technical project is located in the Quito canton, Quitumbe Parish, which connects two avenues with high vehicular traffic such as Av. Mariscal Sucre and Av. Quitumbe Ñan, has a length of 750 m but maintains an initial design of 2 lanes and subsequently widens to 4 lanes. The objective of the project is based on solving the evident needs such as the current state of the road and the increase in population density.

In this project, the number of lanes will be maintained, but a significant improvement will be sought based on the results presented by the field studies and the subsequent analysis, starting from the topographic survey which shows us more clearly the physical characteristics on which the project is based. After this, the volume of vehicles that transit is studied in order to determine the corresponding type of road.

With all the results obtained, we proceed to carry out the geometric design of the road, in addition we determine the loads that it will support in order to later design the structure of the necessary pavement. A hydrological study will also be carried out to justify the installation of gutters and sewers if necessary for the project. In turn, the corresponding vertical and horizontal signage will be implemented. In addition, a study of the environmental impact that the project will cause will be carried out. Finally, an economic-financial analysis will be carried out, which will allow us to know indicators such as NPV, IRR, and the cost-benefit that we will obtain with the materialization of this project.

Keywords: Population density, Vehicle volume, Geometric Design, Structural Design, Environmental Study, Vertical and Horizontal Signaling

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1. Introducción

El presente proyecto técnico se realizó con la finalidad de desarrollar el diseño geométrico y estructural de la vía “S46”, en la Parroquia Quitumbe, con características sostenibles y que garantice cubrir las necesidades presentes, y que a largo plazo mantenga su funcionalidad, y cumpla con el objetivo para el cual se pensó realizar este proyecto, siempre buscando un beneficio que sea superior a la inversión.

El diseño, análisis y estudio que se realizó, está basado en las normativas actuales que rigen la construcción en el país, como lo son la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras MTOP – 2003, Especificaciones Generales para la Construcción de caminos y puentes MOP 001 F 2002, y en la norma de Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO – 93, con las cuales tomamos de referencia las características de la vía; radios de curvatura, pendientes, anchos mínimos, entre otros aspectos. Además, hicimos uso del software AUTOCAD Civil 3D esencial para el diseño final del proyecto.

1.2. Problema de estudio

1.2.1. Antecedentes

La vía S46 ubicada entre la Av. Mariscal Sucre hasta Quitumbe Ñan en la ciudad de Quito, se encuentra en muy mal estado, actualmente hay personas y vehículos que utilizan la frecuentemente, convirtiéndola en una vía de vital importancia para la población de barrios aledaños e incluso de personas que se desplazan desde otros lugares de la ciudad. Sin embargo, esta calle no presenta unas condiciones óptimas para la circulación de vehículos ya que actualmente las autoridades pertinentes no han realizado ninguna intervención y se mantiene únicamente conformada con tierra, y en consecuencia

existe levantamiento de polvo que se genera durante el tránsito, además hundimientos causados por las lluvias y acumulación de agua dentro de la misma.

Al tener esta calle en esas condiciones hemos considerado realizar un mejoramiento que nos permita una movilización adecuada y mejorar considerablemente la experiencia al transitar por la vía. Para lo cual se realizará un trazado geométrico y determinar la estructura de pavimento.

1.2.2. Importancia y Alcance

El proyecto de mejoramiento de la vía S46, atraviesa zonas de alta densidad poblacional y actividad comercial, lo que enfatiza la necesidad de mejorar la eficiencia del transporte y promover el desarrollo económico local.

La seguridad vial es otro aspecto fundamental en la importancia de este proyecto. El mejoramiento detallado permitió identificar puntos críticos, implementar medidas de prevención de accidentes y garantizar la integridad de quienes transitan por la vía, tanto conductores como peatones. Un enfoque centrado en la seguridad vial contribuirá a reducir la siniestralidad y sus consecuencias negativas en la comunidad.

El alcance del presente proyecto abarca un análisis exhaustivo de las condiciones actuales de la vía S46, mediante estudios técnicos, análisis de tráfico y evaluación de la infraestructura existente.

Este proyecto de mejoramiento de la vía S46 será conveniente, pues tiene el propósito de transformar esta vía en una calle segura, eficiente, sostenible y amigable con el entorno, que responda a las demandas de movilidad de la ciudad de Quito y mejore la calidad de vida de sus habitantes.

1.2.3. Delimitación

El proyecto de la vía “S46” conecta dos grandes arterias viales las cuales son, la Av. Mariscal Sucre y la Av. Quitumbe Ñan, ubicadas en la Parroquia Quitumbe.

1.2.3.1. Específica

La ubicación del proyecto se encuentra en las siguientes coordenadas:

Tabla 1.

Coordenadas UTM WGS84 zona 17S

	Abscisa	Este	Norte	Elevación
Inicio	0+000.00	771720.9657	9965691.8730	2957.497
Fin	0+752.35	772446.6000	9965679.6000	2944.538

Nota. Se detalla las coordenadas exactas de inicio y fin del proyecto. Elaborado por: Los Autores.

Estas coordenadas fueron tomadas con la ayuda del GPS Garmin Etrex 32x.

Figura 1.

Ubicación del Proyecto



Nota. Con línea roja se indica la vía del presente proyecto, indicando el punto de inicio y fin de la misma. Elaborado por: Los Autores en base a Google Earth Pro.

1.2.3.2. Características

Cuenta con dos carriles en los primeros 270 m y 4 carriles (2 por sentido) en los últimos 480 m. Debido a las condiciones climáticas la vía presenta irregularidades en todo el trayecto, también en puntos específicos se puede evidenciar el desnivel en donde se encuentran los pozos de alcantarillado, y esto dificulta el correcto uso de la vía y el tránsito de los vehículos.

Figura 2.

Estado actual de la vía



Nota. Se observa un tramo de 4 carriles de la vía de estudio. Elaborador por: Los Autores.

Figura 3.

Característica negativa de la vía



Nota. Se evidencia uno de los pozos de la alcantarilla sanitaria como obstáculo en la vía.
Elaborado por: Los Autores

1.3. Justificación

El presente proyecto plantea mejorar el estado de la vía y de los vehículos ya que es una conexión entre dos calles principales, entonces tiene como finalidad conducir a una mejora de la infraestructura. Esto da un beneficio para los moradores que están ubicados alrededor de esta vía, proporcionando una mayor movilidad de personas, bienes y servicios, también nos sirve para dar impulso económico de las zonas por donde atraviesan y conduce la misma.

Este proyecto se desarrollará con la ayuda de los laboratorios que cuenta la Universidad Politécnica Salesiana para realizar los ensayos necesarios y posteriormente se finalizará con el diseño de la vía.

El presente proyecto tiene la proyección de 20 años que asegura un desarrollo sustentable y adecuada construcción de la vía con el debido mantenimiento para conservar el estado de la vía y su funcionalidad durante el tiempo de vida útil.

1.4. Grupo Objetivo

Es importante considerar la accesibilidad que dará a diferentes barrios como la Ecuatoriana, Quitumbe, La Concordia 1, Ejercito Nacional, Pueblo solo Pueblo, para personas con movilidad reducida y otros grupos vulnerables que habitan dentro de la zona. Un correcto diseño de la vía garantizará que todos los ciudadanos puedan utilizarla de manera segura y sin impedimentos. También se considera que este proyecto beneficiará directamente al desarrollo de la población, pues brindará un mejor desplazamiento tanto peatonal como de vehículos, y con ello se protege la integridad de estos, que a diario transitan por la vía.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general:

- Realizar el Mejoramiento de la vía S46, que conecta la Av. Mariscal Sucre y la Av. Quitumbe Ñan, ubicada en el sur de Quito, a través de un procedimiento técnico y aplicación de normas para así tener una mejor movilidad para los habitantes cercanos.

1.5.2. Objetivos específicos:

- Realizar el levantamiento topográfico mediante puntos de control para conocer la topografía de la vía.
- Determinar el tráfico promedio diario anual mediante conteo manual para conocer el tipo de vehículos y volumen de tráfico que circula por la vía.
- Realizar el estudio de suelos a través de ensayos de laboratorio para conocer el tipo de suelo en el que se encuentra la vía.
- Desarrollar el trazado geométrico de la calle a través del levantamiento topográfico y el software civil 3D para lograr la funcionalidad, comodidad, y seguridad de la vía.
- Realizar el diseño estructural de la vía en base a la normativa para asegurar la estabilidad de la vía y su buen uso.
- Determinar el presupuesto del proyecto mediante el análisis de precios unitarios para conocer la cantidad necesaria que se utilizará para la elaboración del proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos básicos de diseño y planificación vial

2.1.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico de una vía consiste en tomar las características de un tramo o sección existente con ayuda de un equipo de estación total, con la finalidad de poder recopilar información importante para el proyecto. Según (Gámez Morales, 2015), “En todo levantamiento topográfico es de gran importancia y extrema necesidad referenciar los puntos y estaciones más importantes” (p. 127). Ante lo citado, se debe tomar en cuenta siempre las referencias o puntos estratégicos para optimizar el levantamiento y obtener datos confiables.

2.1.2. Diseño Geométrico

El diseño geométrico de una vía o sección que conduce de un punto a otro consiste en determinar las dimensiones necesarias de ésta, en base a la normativa vigente MOP 2003. “Se encarga de determinar las características geométricas de una vía a partir de factores como el tránsito, topografía, velocidades” (Agudelo Ospina, 2002, p. 43-44). Por este motivo es de vital importancia tomar en cuenta en qué condiciones se encuentra sección o la vía la cual se analizará.

2.1.3. Pavimento Asfáltico

El pavimento asfáltico es una superficie o capa compuesta por material bituminoso. “Normalmente consiste en una carpeta de rodamiento de agregados minerales recubiertos y sementados con asfalto y una o más bases o sub-bases” (Romero,

2015, p. 4). Por este motivo se debe diseñar correctamente con la AASHTO 1993 la estructura en la que está asentada la vía la cual va a soportar las cargas actuales y futuras.

2.1.4. Presupuesto

El análisis económico en un proyecto decide en gran parte la viabilidad y encamina el desarrollo de éste. Según (Burbano Ruiz, 2011), “Es un método sistemático y formalizado para lograr las responsabilidades directivas de planificación, coordinación y control” (p. 23). Ante lo citado, se rescata la importancia del análisis presupuestario puesto que debe estar presente dentro de cada proyecto si se busca siempre un equilibrio en la viabilidad de éste.

2.2. Normativas y regulaciones vigentes en el Ecuador para el mejoramiento vial

2.2.1. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras y Puentes (MOP-001-F 2002)

Publicadas por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, estas especificaciones abarcan los requerimientos técnicos para la construcción y mantenimiento de carreteras y puentes, incluyendo materiales, procedimientos constructivos, y estándares de calidad.

2.2.2. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras MOP

Proporciona los criterios y directrices para el diseño geométrico de las carreteras, incluyendo alineación horizontal y vertical, secciones transversales, intersecciones y accesos.

2.2.3. Ordenanza 3457 Normas de Arquitectura y Urbanismo

Esta normativa busca mejorar las condiciones del hábitat estableciendo normas mínimas de diseño y construcción que aseguren funcionalidad, seguridad, estabilidad e higiene en espacios urbanos y edificaciones. Además, se enfoca en prevenir y controlar la contaminación y el deterioro ambiental. La conservación y mejora de inmuebles de interés cultural se llevará a cabo conforme a la Ley de Patrimonio Cultural, su Reglamento, el Código Municipal y otras disposiciones relevantes establecidas por los organismos competentes.

2.2.4. Reglamento de Seguridad Vial

establece las normas de seguridad que deben observarse durante la construcción y mantenimiento de carreteras, con el fin de proteger tanto a los trabajadores como a los usuarios de la vía. Incluye señalización, dispositivos de control de tráfico y procedimientos de emergencia.

2.2.5. Estudios de Impacto Ambiental (EIA)

Regulaciones que buscan mitigar el impacto ambiental de los proyectos viales, obligando a la realización de estudios de impacto ambiental (EIA) y la implementación de medidas de mitigación, compensación y manejo ambiental durante y después de la construcción.

2.3. Experiencias y proyectos similares en otras ciudades

En Ecuador, se han realizado diversos proyectos y programas enfocados en el mejoramiento vial para mejorar la infraestructura, reducir tiempos de viaje, y fomentar el desarrollo económico y social.

La Carretera Panamericana es una de las principales vías del país y conecta a Ecuador con Colombia en el norte y con Perú en el sur. Los tramos como Rumichaca-Riobamba han sido ampliados y mejorados para facilitar el tránsito y reducir los tiempos de viaje. El principal objetivo con el que se buscó el mejoramiento de esta carretera fue mejorar la conectividad entre las regiones y promover el comercio y el turismo.

La rehabilitación de la Ruta Viva que conecta a Quito con el valle de Tumbaco y el aeropuerto internacional Mariscal Sucre incluyó la construcción de pasos elevados, túneles y puentes para agilizar el tráfico, con la finalidad de descongestionar la ciudad de Quito y mejorar el acceso al aeropuerto. Creando un impacto directo en los tiempos de desplazamiento hacia y desde el aeropuerto, y mejora en la calidad de vida de los habitantes del valle de Tumbaco.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Procedimientos para la recopilación de información y datos

3.1.1. Levantamiento topográfico

Para el proyecto realizaremos el levantamiento topográfico, en el estado que se encuentra actualmente la vía que une la Av. Mariscal Sucre y la Av. Quitumbe Ñan, por medio del uso de la Estación total Leica TS03.

3.1.2. Análisis de tráfico y flujo vehicular

Se llevará a cabo un estudio de tráfico de conteo manual de vehículos que transitan diariamente la vía, y se registrarán los resultados para el posterior análisis y cálculos de diseño.

3.2. Evaluación de los estudios técnicos realizados

3.2.1. Ensayo de suelos

Se realizarán ensayos de las muestras obtenidas in situ de la vía en las abscisas 0+075, 0+350, 0+550, en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, para poder obtener las propiedades y características del suelo existente.

3.2.2. Trazado Geométrico vial y Diseño estructural del Pavimento

Para cumplir con el objetivo de mejorar el trazado geométrico de la calle S46, analizaremos la información topográfica obtenida para identificar zonas de pendientes pronunciadas, curvas peligrosas y otros puntos críticos que puedan afectar el trazado actual. Basándonos en esta información, diseñamos propuestas para mejorar el trazado

geométrico de la vía S46. Este diseño será realizado considerando los parámetros establecidos en las Normas MTOP – 2003 Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 001 F 2002 Especificaciones Generales para la Construcción de caminos y puentes, y en la Norma AASHTO – 93 Diseño de Estructuras de Pavimento, en función de las características topográficas obtenidas de los estudios realizados. Además, seleccionaremos los materiales más apropiados para cada capa del pavimento y definiremos su espesor mediante ensayos de laboratorio. Para diseñar una estructura de pavimento resistente y duradera que soporte los esfuerzos provocados por los transportes, llevaremos a cabo un cálculo detallado del tráfico esperado en la vía. Tomaremos en cuenta el tráfico actual y proyectado para los próximos años, con el fin de garantizar un diseño adecuado para futuras demandas que requiera la estructura.

3.2.3. Presupuesto

Elaboraremos un presupuesto detallado que incluirá todos los aspectos del proyecto, contemplando gastos administrativos y contingencias. Esta tarea se ajustará al Manual para la Revisión de Costos y Presupuestos – Managua.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

4.1. Alcance

En este proyecto de mejoramiento de la vía “S46”, en el levantamiento topográfico se utilizó la Estación total Leica TS03 para obtener la geometría inicial, partiendo con puntos de control estratégicos para abarcar mayor distancia en menor tiempo. Con el fin de realizar el trazado geométrico paralelo al diseño preliminar de la misma. Es de vital importancia la ejecución de este estudio ya que nos facilita con la información requerida como la altimetría y planimetría del terreno. Para posteriormente realizar de forma rápida el diseño geométrico de la vía, como también los cálculos de corte y relleno y en la elaboración de presupuestos referenciales.

Para este proyecto se utilizó el sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) y WGS 84 (World Geodetic System 1984), con una ubicación en la zona 17S y conecta dos grandes avenidas que son la Av. Quitumbe Ñan y Av. Mariscal Sucre la cual beneficia el desplazamiento a diferentes lugares aledaños por lo que esta vía es frecuentemente utilizada por los moradores y su estado actual condiciona el tránsito en la misma.

4.2. Equipos utilizados

Para obtener la topografía se utilizó el equipo compuesto por:

- Estación total Leica TS03 de precisión 2 segundos
- GPS Diferencial FOIF A90 de precisión RTK ± 8 mm Hz
- trípode
- base nivelante
- 1 prisma

- 1 bastón porta prisma

4.3. Actividades realizadas en el levantamiento topográfico

El levantamiento realizado en campo comienza registrando el punto de inicio y fin de la vía con ayuda del GPS Diferencial FOIF A90, desde la Av. Mariscal Sucre donde se observa el inicio del proyecto hasta donde conecta con la otra avenida Quitumbe Ñan, es decir el punto final. En esta vía se puede evidenciar la diferencia de elevaciones desde el inicio hasta el final, pero principalmente en la sección donde se expande la vía a 4 carriles es en donde existe un descenso y posterior aumento en las cotas de esta.

4.4. Trabajos de Campo

Una vez ubicado el punto de inicio, se nivela la estación total, mientras que otra persona se ubica con el bastón y el prisma en la sección de la vía en la que se tomará el primer punto, estando este al ras del bordillo y lo más recto posible, con la finalidad de conocer las dimensiones de la vía previo al diseño que se realizará.

La persona que esta con la estación toma las coordenadas disparando una luz en dirección al prisma que sostiene la otra persona, esta última deberá moverse paralelo al bordillo durante toda la sección vial. Este proceso se realiza varias veces hasta culminar toda la vía en estudio.

Figura 4.

Registro de los puntos topográficos



Nota. Descripción del primer punto tomado con la estación total. Elaborado por: Los Autores.

Figura 5.

Recolección de puntos importantes de la vía



Nota. Registro de la pendiente más baja de la vía mediante la estación total. Fuente: Los Autores.

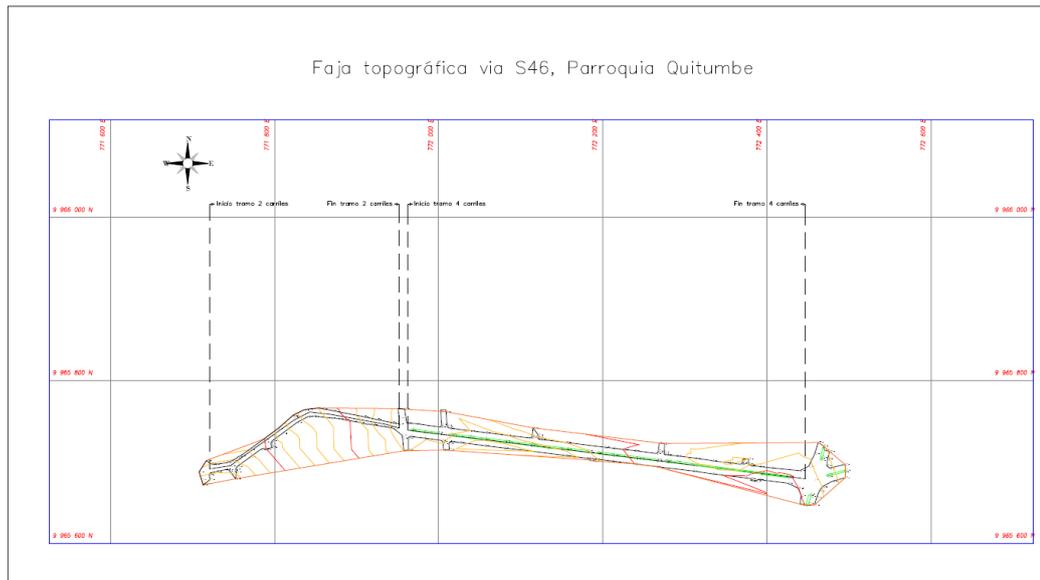
Los datos obtenidos del levantamiento topográfico se encuentran en el **ANEXO 1**

4.5. Descripción de la planimetría y altimetría

Una vez concluido con el levantamiento se procedió a importar los datos al software Civil 3D con el que se obtuvieron 633 puntos y los cuales generan una superficie de 36 920 m² representada en una faja topográfica.

Figura 6.

Planimetría de la vía S46 (Faja topográfica)



Nota. Se presenta la planimetría de la vía. Elaborado por: Los autores

En las normas centroamericanas, sección 4-63 establecen los siguientes criterios para clasificar el tipo de terreno en función de la pendiente (G).

Tabla 2.

Clasificación de los Terrenos en Función de las Pendientes Naturales

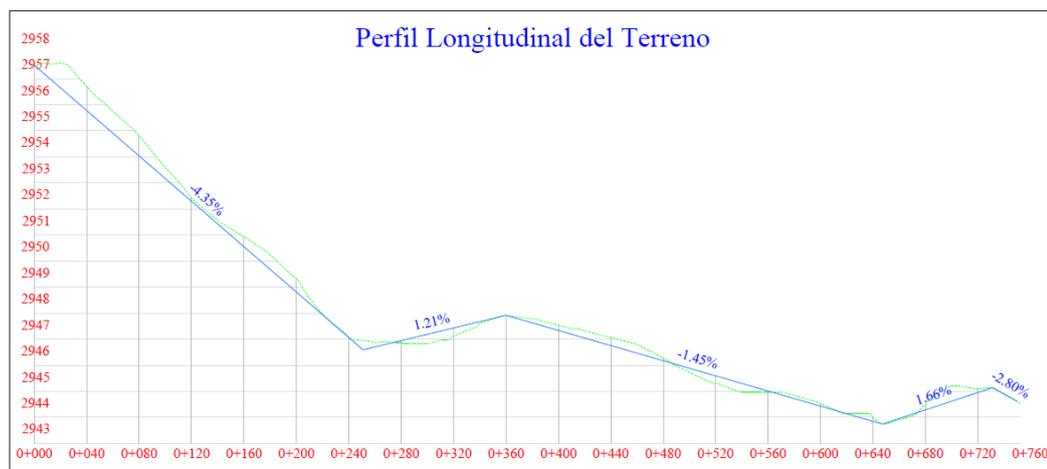
Tipo de Terreno	Rangos de Pendientes (%)
Llano o plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 15$
Montañoso	$15 > G \geq 30$

Nota. Rangos de pendientes según el tipo de terreno a utilizar. Fuente: (Ing. Sergio Navarro Hudiel, 2011)

Con los resultados obtenidos se conoce que la topografía de la vía es de tipo Llano o Plano puesto que posee pendientes naturales de máximo 4.3% y también se observa que la altitud mínima es de 2944 m.s.n.m. y la altitud máxima es de 2957 m.s.n.m.

Figura 7.

Pendientes Longitudinales Naturales del proyecto



Nota. En el perfil longitudinal se muestra las tangentes (líneas azules) con su respectiva pendiente. Elaborado por: Los Autores.

CAPÍTULO V

ESTUDIO DE TRÁFICO

5.1. Alcance

Se llevó a cabo un estudio de tráfico de conteo manual de vehículos que transitan diariamente la vía, y se registraron los resultados para el posterior análisis y cálculos de diseño. Estos valores obtenidos fueron proyectados para un periodo de 20 años lo cual nos permite conocer la clasificación a la que pertenece la vía en base a la norma actual de Diseño Geométrico de Carreteras MOP – 2003.

Posteriormente se calcularon las cargas vehiculares a la cual será expuesta la vía en función a un número de ejes equivalentes de 8.2 ton ESAL's y con ello se obtuvo el diseño en función de la estructura del pavimento.

5.2. Conteo de Tránsito

Para un estudio definitivo, se debe tener por lo menos un conteo manual de 7 días seguidos durante 24 horas, esto en una semana que no esté afectada por eventos especiales. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 14)

Para el registro de vehículos que transitan en la vía se localizó la primera estación de conteo manual en la abscisa 0+131.23 y la segunda estación en la abscisa 0+502.11 por un periodo de 13 horas diarias durante 7 días consecutivos del 19 hasta el 25 de octubre del 2023 desde las 05:00 am hasta las 18:00 pm.

Figura 8.

Ubicación de las estaciones de conteo en el proyecto



Nota. Se presenta los puntos donde se realizó el conteo de vehículos. Elaborado por: Los Autores.

Se clasificaron los vehículos bajo los siguientes conceptos:

- **Livianos:** Son los automóviles, camionetas de dos ejes con tracción sencilla y en las cuatro ruedas, así como también camionetas con cajón y camiones livianos de reparto. (ROJAS, 2011)
- **Buses:** Son aquellos que tienen dos o más ejes, seis o más ruedas, destinados al transporte de pasajeros, o cualquier vehículo de servicio público. (ROJAS, 2011)
- **Pesados:** son vehículos destinados al transporte, ya sea de pasajeros o de materiales y los cuales poseen 1 o más ejes sencillos. (ROJAS, 2011)
- **Motos:** no fueron considerados para este proyecto debido a que no influyen de manera significativa en los resultados.

5.2.1. Trabajos de campo

Se planificó previo al conteo, la impresión de hojas con la clasificación de vehículos para realizar el conteo manual de los mismos, después nos ubicamos en dos puntos estratégicos distintos con una persona en cada punto de Estación de conteo y se realizó el registro vehicular durante el tiempo establecido para obtener un volumen de vehículos que transitan de forma cotidiana por la vía de estudio.

Los datos obtenidos del conteo vehicular se encuentran en el **ANEXO 2**

5.3. Determinación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

Para continuar con el proyecto se procesaron los datos obtenidos durante el registro de vehículos que transitan la vía para la posterior a esto determinar el TPDA.

Después de procesar los datos se clasificó los tipos de vehículos acorde a la tabla Nacional de Pesos con la finalidad de obtener las diferentes cargas a aplicarse sobre la vía.

Figura 9.

Clasificación vehicular del Proyecto

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS		
				LARGO	ANCHO	ALTO
2D			CAMIÓN DOS EJES PEQUEÑO 7 T	5.00	2.60	3.00
2DA			CAMIÓN DOS EJES MEDIANO 10T	7.50	2.60	3.50
2DB			CAMIÓN DOS EJES GRANDE 18 T	12.60	2.60	4.10
V2DB			VOLQUETA 2 EJES 18 T	12.60	2.60	4.10
3A			CAMIÓN 3 EJES 27 T	12.20	2.60	4.10

Nota. Pesos de los ejes que circulan en la vía del proyecto. Fuente: (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012)

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos mediante el conteo manual durante los 7 días de una semana y en las 2 estaciones.

Tabla 3.*Resumen del conteo de la Estación N°1 Abscisa: 0+131.23*

Conteo vehicular (Estación 1)								
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	
Tipo de Vehículo	Juev.	Vier.	Sáb.	Dom.	Lun.	Mart.	Miér.	
Liviano (2D)	248	226	216	214	205	222	208	
Bus (2DA)	150	150	150	150	150	150	150	
Pesados	Camión 2 Ejes (2DB)	11	18	16	9	7	5	11
	Volqueta (V2DB)	1	4	3	4	3	1	2
	Camión 3 Ejes (3A)	1	0	0	0	0	2	4
Total	411	398	385	377	365	380	375	

Nota. Se detalla número de vehículos que circulan en la vía durante una semana en la primera estación de conteo. Elaborado por: Los Autores.

Tabla 4.*Resumen del conteo de la Estación N°2 Abscisa: 0+502.11*

Conteo vehicular (Estación 2)								
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	
Tipo de Vehículo	Juev.	Vier.	Sáb.	Dom.	Lun.	Mar.	Miér.	
Liviano (2D)	210	262	223	208	259	238	267	
Bus (2DA)	0	0	0	0	0	0	0	
Pesados	Camión 2 Ejes (2DB)	23	21	19	16	25	22	9
	Volqueta (V2DB)	0	0	0	0	0	1	2
	Camión 3 Ejes (3A)	1	0	0	0	0	0	0
Total	234	283	242	224	284	261	278	

Nota. Se detalla número de vehículos que circulan en la vía durante una semana en la segunda estación de conteo. Elaborado por: Los Autores.

Después se contabilizó la cantidad total entre las dos estaciones, es decir, el tráfico total durante cada uno de los días.

Tabla 5.

Tráfico total existente de las Estaciones de conteo

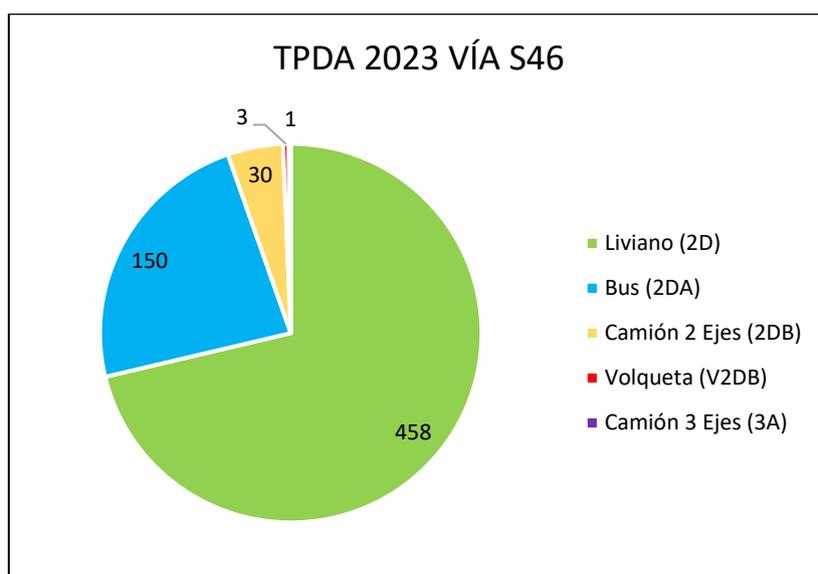
Tráfico total Día									
Tipo de vehículo	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Tota 1	Prom .
Liviano (2D)	458	488	439	422	464	460	475	3206	458
Bus (2DA)	150	150	150	150	150	150	150	1050	150
Camión 2 Ejes (2DB)	34	39	35	25	32	27	20	212	30
Pesados									
Volqueta (V2DB)	1	4	3	4	3	2	4	21	3
Camión 3 Ejes (3A)	2	0	0	0	0	2	4	8	1
Total	645	681	627	601	649	641	653	4497	642

Nota. En la tabla se muestra el total de vehículos registrados en las dos estaciones de conteo durante una semana. Elaborado por: Los Autores.

Con esto se muestra un gráfico para dimensionar la diferencia de vehículos que transitaron en los 7 días con respecto a cada tipo de vehículo.

Figura 10.

Composición del tráfico



Nota. Se representa de forma gráfica el volumen de vehículos que circulan en la vía. Elaborado por: Los Autores.

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se realizó un ajuste con los siguientes factores de tráfico promedio diario:

$$TPDA = T_o \cdot F_d \cdot F_s \cdot F_m \quad (1)$$

Donde:

T_o = Tráfico promedio diario observado

F_d = Factor diario

F_s = Factor semanal

F_m = Factor mensual

5.3.1. Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)

Para poder obtener el número total de vehículos que pasan por la vía, por un tramo en una semana, se calcula con la cantidad de vehículos que circulan por la vía en una semana completa dividido para 7 (cantidad de días en una semana).

$$TPDS = \frac{5}{7} \times \sum \frac{D_n}{m} + \frac{2}{7} \times \sum \frac{D_e}{m} \quad (2)$$

Donde:

D_n = Cantidad de vehículos en días normales (lunes a viernes)

D_e = Cantidad de vehículos en días feriados (sábado y domingo)

m = Número de días que se realizó el conteo

$$TPDS = 642$$

5.3.2. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

Para determinar el TPDA se tomó en cuenta la media muestral o tránsito promedio diario semanal (TPDS), debido a que el tráfico es un parámetro que afecta a las características geométricas y su respectivo diseño.

$$TPDA = TPDS \pm A \quad (3)$$

Donde:

A = Máxima diferencia entre TPDA - TPDS

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

$$A = K \cdot \sigma \quad (4)$$

Donde:

K = Desviación estándar de conteos

σ = Error estándar de la media

La desviación estándar muestral S, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n - 1}} \quad (5)$$

Dónde:

TD_i = Volumen del tránsito del día i.

TPDS = Tráfico promedio diario semanal

n = Tamaño de la muestra en número de días de aforo (7)

Para la distribución normal usamos valores de confiabilidad del 90% por ello el valor de correspondiente a un coeficiente de confianza K=1.64.

Tabla 6.

Desviación estándar del conteo diario

Día	Conteo diario	Diferencia TDi-TPDS	Diferencia al cuadrado (TDi-TPDS) ^2
Jueves 19	645	3	7
Viernes 20	681	39	1488
Sábado 21	627	-15	238
Domingo 22	601	-41	1716
Lunes 23	649	7	43
Martes 24	641	-1	2
Miércoles 25	653	11	112
		Total	3606

Nota. Se indica el cálculo para la desviación estándar del total de vehículos en una semana. Elaborado por: Los Autores.

En el cálculo de la desviación estándar muestral S se obtuvo:

$$S = 22.67$$

El error estándar de la media:

$$\sigma = 8.50$$

El valor de la máxima diferencia entre el TPDA y TPDS:

$$A = 13.94$$

Conociendo los valores del TPDS y A, se obtuvo el valor del Tráfico promedio diario anual:

$$\text{TPDA1} = 656$$

$$\text{TPDA2} = 628$$

5.4. Proyección del tráfico

5.4.1. Tráfico futuro

El volumen del tráfico futuro comprende aspectos como el aumento del tránsito al ocurrir una ampliación en la vía existente, con volúmenes de tráfico asignado.

$$TF = TPDA + TG + TD \quad (6)$$

Donde:

TPDA = Tráfico promedio diario anual

TG = Tráfico Generado

TD = Tráfico desarrollado

5.4.1.1. Tráfico Generado

Generalmente, el tráfico generado se produce dentro de los dos años siguientes a la terminación de las mejoras o construcción de una carretera. En el país aún no se dispone de estudios respecto al comportamiento de tráfico generado, pero es conveniente disponer de un valor que relacione el grado de mejoramiento con el volumen de tráfico. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003)

Al tránsito generado se deben de asignar tasas de incremento entre el 5% y el 25% del tránsito actual, con un período de generación de uno o dos años después de que la carretera ha sido abierta al servicio. (T., MSc. Ing. Douglas Méndez, 2009)

Con esto se calculó el volumen de tráfico generado con un incremento promediado del 15%, con lo que se tiene:

$$TG = 15\% TPDA \quad (7)$$

$$TG = 98 \text{ vehículos}$$

5.4.1.2. Tráfico Desarrollado

Este tráfico se genera por la introducción de las nuevas áreas explotadas dentro del área de influencia una vez habilitada la vía. Al no contar con encuestas origen destino el MOP 2003 establece un valor entre el (5-8) % del TPDA. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003)

En este caso no se cuenta con encuestas origen destino, por ende, se tomó un valor promediado de 6.5%, de lo que se obtiene:

$$TD = 6.5\% TPDA \quad (8)$$

$$TD = 43 \text{ vehículos}$$

Con esto se obtiene un valor de tráfico futuro de:

$$TF = 797 \text{ vehículos}$$

Tabla 7.

Resumen del Tráfico semanal. Anual y futuro

Tipo de vehículo	TPDS		TPDA		TF	
		%		%		%
Liviano (2D)	458	71.29	468	71.29	569	71.29
Bus (2DA)	150	23.35	153	23.35	186	23.35
Camión 2 Ejes (2DB)	30	4.71	31	4.71	38	4.71
Pesados Volqueta (V2DB)	3	0.47	3	0.47	4	0.47
Camión 3 Ejes (3A)	1	0.18	1	0.18	1	0.18
Total	642	100.00	656	100.00	797	100.00

Nota. Los valores obtenidos para el tráfico futuro o proyectado se encuentran en la tercera columna. Elaborado por: Los Autores.

Para calcular el volumen de vehículos que transitarán en un determinado número de años se utilizó la siguiente fórmula:

$$Tp = Ta (1 + i)^n \quad (9)$$

Donde:

Tp = Tráfico proyectado

Ta = tráfico actual

i = tasa de crecimiento

n = número de años proyectados

Para continuar debemos conocer los valores de tasa de crecimiento en función de los tipos de vehículos en un tiempo estimado.

Tabla 8.

Valores de tasa de crecimiento

Periodo	Liviano	Bus	Camión
2023-2028	3.57	1.78	1.74
2028-2033	3.25	1.62	1.58

Nota. Se indican los valores en base al tipo de vehículo y el año de estudio. Fuente: (MOP, 2002)

Con estos factores se procede a calcular el tráfico promedio diario anual, en un tiempo estimado de 20 años:

Tabla 9.

Valores de TPDA proyectado

		Livianos	Bus	Pesados	
n	Años	3.57	1.78	1.74	TPDA
0	2023	569	186	43	797
1	2024	589	190	43	822
2	2025	610	193	44	847
3	2026	632	196	45	873
4	2027	654	200	46	900
		3.25	1.62	1.58	
5	2028	667	202	46	915
6	2029	689	205	47	941
7	2030	711	208	48	967
8	2031	734	212	48	995
9	2032	758	215	49	1023
10	2033	783	219	50	1051
11	2034	808	222	51	1081
12	2035	835	226	52	1112
13	2036	862	229	52	1144
14	2037	890	233	53	1176
15	2038	919	237	54	1210
16	2039	948	241	55	1244

17	2040	979	245	56	1280
18	2041	1011	249	57	1316
19	2042	1044	253	58	1354
20	2043	1078	257	58	1393

Nota. El valor total del TPDA proyecta se muestra al final de la tabla resaltado. Elaborado por: Los Autores.

Con esto se obtuvo un valor de 1393 vehículos en los 20 años para lo cual será diseñada la vía y con el cual se contemplarán estudios y cálculos posteriores.

5.4.2. Clasificación de la vía bajo normativa (MOP 2003)

Con el resultado obtenido este proyecto obtiene un TPDA de 1393 vehículos para 20 años, de acuerdo con la normativa MOP 2003 se clasifica la vía S46 como una vía clase II es decir está en el rango de 1000 a 3000 vehículos.

Tabla 10.

Clasificación de la vía de acuerdo con el tráfico

Cuadro de carreteras en función del tráfico Promedio Diario Anual	
Clase de Carretera	Trafico Proyectado TPDA
RI-RII	Más de 8000
I	3000 a 8000
II	1000 a 3000
III	300 a 1000
IV	100 a 300
V	Menos de 100

Nota. RI-RII se definen a las autopistas. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003)

En la normativa del Ministerio de Obras Públicas MOP 2003 clasifica a las vías según su función.

Tabla 11.

Clasificación funcional de la vía

Cuadro de carreteras en función del TPDA		
Función	Clase de carretera	TPDA
	RI-RII	Más de 8000
Corredor Arterial	I	3000 a 8000
	II	1000 a 3000
	I	3000 a 8000
Colectora	II	1000 a 3000
	III	300 a 1000
Vecinal	IV	100 a 300
	V	Menos de 100

Nota. El tipo de vía se muestra en función del TPDA obtenido para el proyecto Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003)

Deduciendo con esto, que la vía de este proyecto se define como vía Colectora Clase II.

5.5. Cálculo del número de ejes equivalentes ESALS's

Las diferentes cargas que actúan en el proyecto producen diferentes fallas y esto produce una respuesta diferente por parte de la calzada en función de los materiales y según la intensidad a la que es expuesta. Para el tránsito se define los ejes equivalentes que influyen en los daños a lo largo del tiempo.

La ecuación que seleccionada corresponde a la AASHTO 1993 para los Ejes Equivalentes es:

$$N_t = N \cdot F_c \cdot F_d \cdot 365 \cdot \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \quad (10)$$

Donde:

N_t = Número de ejes equivalentes

N = Número de ejes equivalentes al inicio del periodo de diseño

F_c = Factor Carril

F_d = Factor dirección

n = Número de años de proyección

i = Tasa de crecimiento

5.5.1. Factor de dirección

Se trata del porcentaje total de vehículos contabilizados por dirección, es decir por cada carril de la vía. “En la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual deducirse del conteo de tránsito efectuado”. (Casprowitz Arias, 2010)

Tabla 12.

Factor de distribución por dirección

Flujo vehicular que pasará por dirección	FD ¹⁰
40-60%	0.5
70-30%	0.7
100%	1.0

Nota. El factor escogido resaltado para el volumen de tráfico esperado. Fuente: (AASHTO, 1993)

Se escogió el valor de 0.5, puesto que la vía presenta un flujo vehicular equitativo y su distribución por carriles será uniforme.

5.5.2. El factor carril

Esto depende de la cantidad de carriles que existen en la vía. “Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril”. (Casprowitz Arias, 2010)

Tabla 13.

Factor de distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección	FC ¹¹
1	1.0
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Nota. La distribución se muestra en base a los carriles de la vía de estudio. Fuente: (AASHTO, 1993)

Se escogió el valor de 1 puesto que nos ayuda a contemplar en los dos casos de la vía, es decir con uno y dos carriles, manteniéndonos en el rango de los dos casos de la tabla.

Para los factores equivalentes de carga (Daño) se utilizó el método AASHTO Simplificado, la cual se basa en el impacto de los vehículos sobre la calzada y las representa en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Eje simple rueda simple FEC} = \left(\frac{\text{Carga del eje}}{6.6} \right)^4 \quad (11)$$

$$\text{Eje simple rueda doble FEC} = \left(\frac{\text{Carga del eje}}{8.2} \right)^4 \quad (12)$$

$$\text{Eje tandem FEC} = \left(\frac{\text{Carga del eje}}{15} \right)^4 \quad (13)$$

$$\text{Eje tridem FEC} = \left(\frac{\text{Carga del eje}}{23} \right)^4 \quad (14)$$

Con esto determinamos los valores ESAL's para un tiempo de 10 y 20 años, contando con que los vehículos livianos no representan cargas significativas hacia el pavimento, no obstante, los de tipo pesado (incluido los buses) si generan cargas de daño en el pavimento.

La siguiente tabla resumen el Número de ejes equivalentes al inicio del periodo de diseño, es decir con el TPDA del año base (2023), en función de la carga de cada vehículo que tránsito en la vía según el conteo manual:

Tabla 14.

Número de ejes equivalentes al inicio del periodo

Tipo Vehículo	Tipo De Eje	Carga	FEC	TPDA	ESAL's	N
Bus (2DA)	Simple	3	0.0427	153	0.5737	88
	S-R-D	7	0.5311			
Camión 2 ejes (2DB)	Simple	7	1.2654	31	4.5037	139
	S-R-D	11	3.2383			
Volqueta (V2DB)	Simple	7	1.2654	3	4.5037	14
	S-R-D	11	3.2383			
Camión 3 ejes (A)	Simple	7	1.2654	1	4.4259	5
	Tándem	20	3.1605			

Nota. El número de ejes obtenidos está función de los factores de tráfico. Elaborado por: Los Autores.

Para el cálculo de los ejes equivalentes en el periodo de diseño (20) se realizó la siguiente tabla:

Tabla 15.

Número de ejes equivalentes total

Tipo Vehículo	N	Fd	Fc	i (%)	Nt
Bus (2DA)	88			1.62	375786
Camión 2 ejes (2DB)	139				591233
		0.5	1		
Volqueta (V2DB)	14			1.58	59549
Camión 3 ejes (A)	5				21267
Total de ejes equivalentes					1 047 835

Nota. Se detalla los ejes equivalentes para el periodo de 20 años para el proyecto. Elaborado por: Los Autores.

Los cálculos obtenidos para el número total de ejes equivalentes se encuentran en el **ANEXO 3**

CAPÍTULO VI

DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL

6.1. Antecedentes

EL presente proyecto está enfocado al mejoramiento y rehabilitación de la vía en estudio, por ende, se busca mantener en la medida de lo posible la alineación de la vía asentada, no obstante, el diseño será ajustado a las condiciones topográficas actuales de la vía en pro de su mejoramiento tanto de alineamiento horizontal como vertical, siempre y cuando la normativa lo establezca y permita dicho diseño lo óptimo para solventar las necesidades expuestas.

6.2. Alineamiento Horizontal

Primero comenzamos por determinar el eje del proyecto, es decir la vía en estudio, en el plano horizontal, formado por tangentes o trazos rectos, unidas por círculos llamados curvas horizontales, estos pueden ser curvas circulares o espirales.

La normativa actual MOP 2003 nos presenta las características necesarias que debe cumplir el proyecto, los cuales son la velocidad de diseño, Radio mínimo de curvas horizontales, Distancias de visibilidad tanto para parada como rebasamiento, Peraltes, Sobreancho, entre otros aspectos que hacen de nuestra vía eficaz y transitable.

6.2.1. Velocidad de diseño y circulación

Se trata de la velocidad máxima con la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. Esta velocidad se elige en función de las condiciones físicas y topográficas del terreno, de la importancia del camino, los volúmenes del tránsito y uso de la tierra, tratando de que su valor sea el máximo compatible con la seguridad, eficiencia,

desplazamiento y movilidad de los vehículos. En base a esta característica se calculan los elementos geométricos de la vía para su alineamiento horizontal y vertical. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 27)

Figura 11.

Velocidades de Diseño con respecto a las características de la vía

NORMAS	CLASE I 3000 - 8000 TPDA (1)						CLASE II 1000 - 3000 TPDA (1)						CLASE III 300 - 1000 TPDA (1)						CLASE IV 100 - 300 TPDA (1)						CLASE V MENOS DE 100 TPDA (1)																							
	RECOM			ABSOLUTA			RECOM			ABSOLUTA			RECOM			ABSOLUTA			RECOM			ABSOLUTA			RECOM			ABSOLUTA																				
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M															
Velocidad de diseño (K.P.H.)	110	100	80	100	80	60	100	90	70	90	80	50	90	80	60	80	60	40	80	60	50	60	35	25(9)	60	50	40	50	35	25(9)	40	30	20(9)															
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	275	160	275	210	75	275	210	110	210	110	42	210	110	75	110	30	20	110	75	42	75	30	20(9)																		
Distancia de visibilidad para parada (m)	180	160	110	160	110	70	160	135	90	135	110	55	135	110	70	110	70	40	110	70	55	70	35	25	70	55	40	55	35	25																		
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	830	690	565	690	565	415	690	640	490	640	565	345	640	565	415	565	415	270	480	290	210	290	150	110	290	210	150	210	150	110																		
Peralte	MÁXIMO = 10%																		10% (Para V > 50 K.P.H)						8% (Para V < 50 K.P.H)																							
Coefficiente "K" para: (2)																																																
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2																		
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3																		
Gradiente longitudinal (3) máxima (%)	3	4	6	3	5	7	3	4	7	4	6	8	4	6	7	6	7	9	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14																		
Gradiente longitudinal (4) mínima (%)	0,50%																																															
Ancho de pavimento (m)	7,30						7,30						7,00						6,70						6,70						6,00						6,00						4,00 (8)					
Clase de pavimento	Carpeta Asfált. y Hormigón												Carpeta Asfáltica												Carpeta Asfáltica o D.T.S.B						D.T.S.B. Capa Granular o						Capa Granular o Empedrado											
Ancho de espaldones (5) estables (m)	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	0,5	0,60 (C.V. Tipo 6 y 7)												-----																	
Gradiente transversal para pavimento (%)	2,0																																															
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 (6) - 4,0						2,0 - 4,0						2,0 - 4,0						2,0 - 4,0						4,0 (C.V. Tipo 5 y 5E)						-----																	
Curva de transición	USENSE ESPIRALES CUANDO SEA NECESARIO																																															
Carga de diseño	HS - 20 - 44; HS - MTOP; HS - 25																																															
Ancho de calzada (m)	SERÁ LA DIMENSION DE LA CALZADA DE LA VÍA INCLUIDOS LOS ESPALDONES																																															
Ancho de aceras (m)	0,5 m mínimo a cada lado																																															
Mínimo derecho de vía (m)	Según el Art. 3º de la Ley de Caminos y el Art. 4º del Reglamento aplicativo de dicha Ley																																															
LL = TERRENO PLANO O = TERRENO ONDULADO M = TERRENO MONTAÑOSO																																																

- 1) El TPDA indicado es el volumen promedio anual de tráfico diario proyectado a 15 - 20 años, cuando se proyecta un TPDA en exceso de 7000 en 10 años debe investigarse la necesidad de construir una autopista. (Las normas para esta serán parecidas a las de la Clase I, con velocidad de diseño de 10 K.P.H. más para clase de terreno - Ver secciones transversales típicas para
- 2) Longitud de las curvas verticales: $L = KA$, en donde K = coeficiente respectivo y A = diferencia algebraica de gradientes, expresado en tanto por ciento. Longitud mínima de curvas verticales: $L_{mín} = 0,60 V$, en donde V es la velocidad de diseño expresada en kilómetros por hora.
- 3) En longitudes cortas menores a 500 m se puede aumentar la gradiente en 1% en terrenos ondulados y 2% en terrenos montañosos, solamente para las carreteras de Clase I, II y III. Para Caminos Vecinales (Clase IV) se puede aumentar la gradiente en 1% en terrenos ondulados y 3% en terrenos montañosos, para longitudes menores a 750 m.
- 4) Se puede adoptar una gradiente longitudinal de 0% en rellenos de 1 m. a 6 m. de altura, previo análisis y justificación.
- 5) Espaldón pavimentado con el mismo material de la capa de rodadura de la vía. (Ver Secciones Típicas en Normas). Se ensanchará la calzada 0,50 m más cuando se prevé la instalación de guarda caminos.
- 6) Cuando el espaldón está pavimentado con el mismo material de la capa de rodadura de la vía.
- 7) En los casos en los que haya bastante tráfico de peatones, úsese dos aceras completas de 1,20 m de ancho.
- 8) Para tramos largos con este ancho, debe ensancharse la calzada a intervalos para proveer refugios de encuentro vehicular.
- 9) Para los caminos Clase IV y V, se podrá utilizar $VD = 20 \text{ Km/h}$ y $R = 15 \text{ m}$ siempre y cuando se trate de aprovechar infraestructuras existentes y relieve difícil (escarpado).

NOTA: Las Normas anotadas "Recomendables" se emplearán cuando el TPDA es cerca al límite superior de las clases respectivas o cuando se puede implementar sin incurrir en costos de construcción. Se puede variar algo de las Normas Absolutas para una determinada clase, cuando se considere necesario el mejorar una carretera existente siguiendo generalmente el trazado

Nota. Los valores a utilizar para el diseño geométrico de la vía se encuentran encerrado de color rojo. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003)

En base a esta tabla, conociendo que el presente proyecto se enfoca en el mejoramiento de la vía (Absoluta), la misma que por el estudio de tráfico se conoce es de Clase II y la cual cuenta con una topografía correspondiente a relieve Llano, se tomará para el diseño una velocidad de 90 km/h.

Después determinamos la velocidad de circulación, la cual en la MOP 2003 nos brinda una tabla valores de velocidad de circulación respecto al volumen de tránsito y la velocidad de diseño en km/h.

Tabla 16.

Relaciones entre velocidades de circulación y diseño

Velocidad De Diseño En Km/H	Velocidad De Circulación En Km/H		
	Volumen De Tránsito Bajo	Volumen De Tránsito Intermedio	Volumen De Tránsito Alto
25	24	23	22
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	44	42
60	55	51	48
70	63	59	53
80	71	66	57
90	79	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

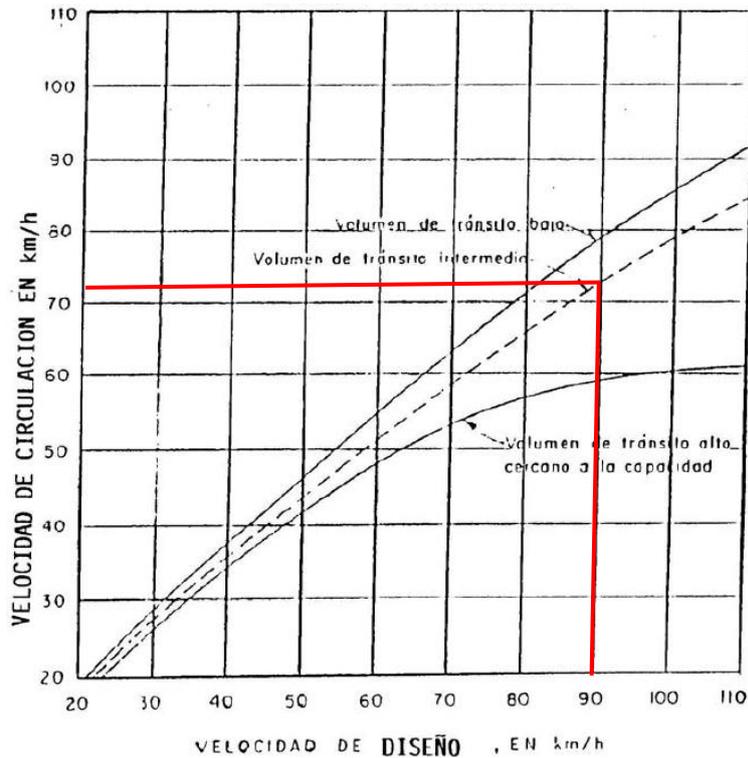
Nota. La velocidad de circulación para el diseño se encuentra en función del volumen de tráfico. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003)

Por lo tanto, en función del tráfico (intermedio) y tomando en cuenta que la velocidad de diseño es de 90 km/h, el valor de Velocidad de circulación es de 73 km/h.

Otra forma de deducir el valor es mediante la siguiente gráfica:

Figura 12.

Relaciones entre las velocidades de Diseño y de Circulación



Nota. Se presenta la gráfica realizado con la relación entre diseño y circunstancia. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 33)

6.2.2. Peralte de la curva

6.2.2.1. Peralte

El peralte se recomienda para vías de dos carriles un peralte máximo del 10% para carreteras y caminos con capas de rodadura asfáltica, de concreto o empedrada para velocidades de diseño mayores a 50 Km/h, y del 8% para caminos con capa granular de rodadura (Caminos vecinales tipo 4, 5 y 6) y velocidades hasta 50 Km/h. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 57)

Para obtener el peralte la norma indica la siguiente ecuación:

$$e = \frac{V^2}{127 R} - f \tag{15}$$

Donde:

e = Peralte de la curva m/m (metro por metro ancho de calzada)

V = Velocidad de diseño (km/h)

R = Radio de la Curva (m)

f = Coeficiente de fricción lateral (tabla)

Tabla 17.

Coeficientes de fricción lateral

Velocidad en Km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Coeficiente de fricción lateral	0.18	0.172	0.164	0.157	0.149	0.141	0.133	0.126	0.118	0.11	0.10	0.094	0.087

Nota. Se encerró el valor de fricción lateral utilizado para el proyecto. Fuente: (Manual de Diseño Geométrico de Carreteras INV, 2008)

6.2.2.2. Longitud de tangencial

Es la longitud necesaria para empezar a inclinar transversalmente la calzada en la tangente a partir de un punto anterior al “TE” de la curva espiralizada que se va a peraltar o, en el caso de la curva circular de un punto anterior al inicio de la transición de tal manera que la faja exterior de la calzada pase de su posición inclinada por el bombeo a la posición horizontal en el punto de inicio de la transición. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 61)

Dicha normativa establece la siguiente ecuación para la longitud de aplanamiento:

$$N = \frac{b \cdot p}{2 \cdot i} \quad (16)$$

Donde:

N = Longitud de aplanamiento (m)

i = Gradiente de borde (%)

b = Ancho de calzada (m)

p = Pendiente transversal de calzada (%)

Tabla 18.

Gradiente Longitudinal (i) necesaria para el desarrollo del peralte

Vd, km/h	Valor de (i), %	Máxima pendiente equivalente
20	0.800	1:125
25	0.775	1:129
30	0.750	1:133
35	0.725	1:138
40	0.700	1:143
50	0.650	1:154
60	0.600	1:167
70	0.550	1:182
80	0.500	1:200
90	0.470	1:213
100	0.430	1:233
110	0.400	1:250
120	0.370	1:270

Nota: Se resalta de la tabla los valores utilizados. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 60)

Por ende, con la tabla anterior se deduce que el valor de la gradiente longitudinal (i) es 0.470.

6.2.2.3. Longitud de Transición

La longitud de transición sirve para efectuar la transición de las pendientes transversales entre una sección normal y otra peraltada alrededor del eje de la vía o de uno de sus bordes. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 61).

Condiciones:

- La diferencia entre las pendientes longitudinales de los bordes y el eje de la calzada no debe ser mayor a los valores máximos indicados en la **Tabla 18.**

Gradiente Longitudinal (i) necesaria para el desarrollo del peralte

- La longitud de transición según el primer criterio debe ser mayor a la distancia necesaria de un vehículo que transita a una velocidad de diseño determinada durante 2 segundos, es decir:

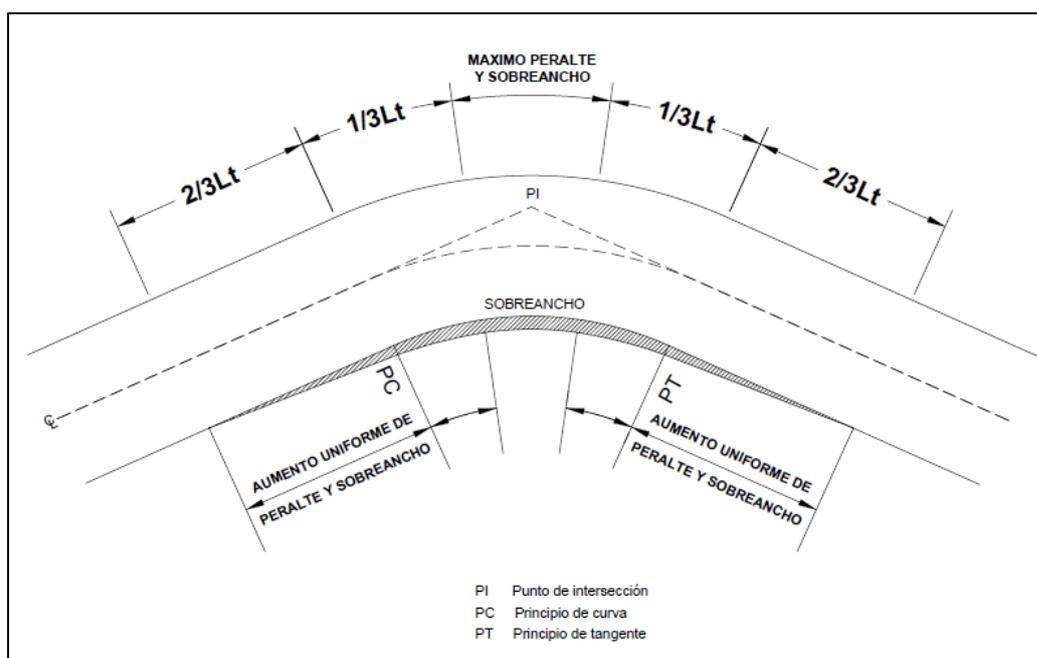
$$L_{\min} = 0.56 V \quad (17)$$

Valor considerado como mínimo absoluto que puede utilizarse solamente para caminos con relieve montañoso difícil, especialmente en las zonas de estribaciones y cruce de la cordillera de los Andes.

- La longitud de transición para caminos de 4 y 6 carriles se incrementa en 1,5 y 2,5 veces con respecto a la longitud para caminos de 2 carriles.

Figura 13.

Desarrollo del peralte y longitud de transición en una curva



Nota. Imagen referencial de una curva para el diseño horizontal. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003)

Para calcular la longitud de transición la norma indica la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{e \cdot b}{2 \cdot i} \quad (18)$$

Donde:

L_t = Longitud de transición (m)

i = Gradiente de borde (%)

b = Ancho de calzada (m)

e = Peralte de la curva (%)

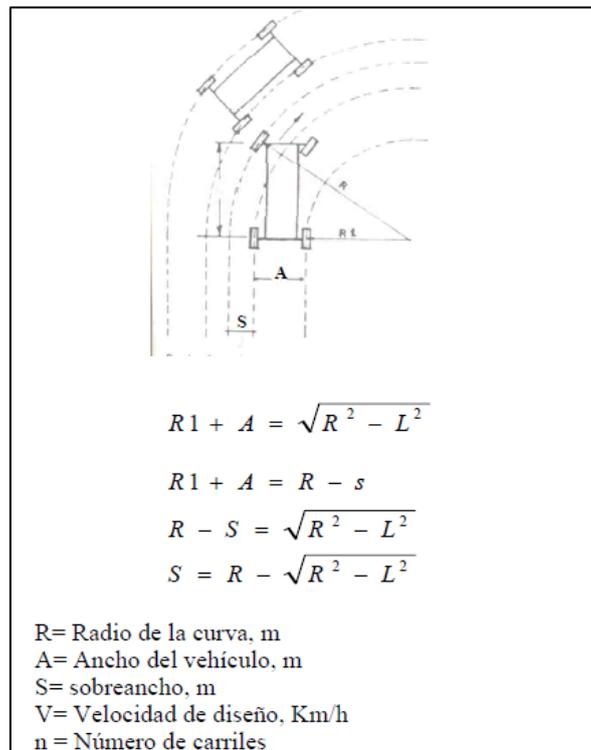
6.2.2.4. Sobreancho

El objeto del sobreancho en la curva horizontal es el de posibilitar el tránsito de vehículos con seguridad y comodidad, es necesario introducir los sobreanchos por las siguientes razones:

- a) El vehículo al describir la curva ocupa un ancho mayor ya que generalmente las ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de la descrita por las ruedas delanteras, además el extremo lateral delantero, describe una trayectoria exterior a la del vehículo.
- b) La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el centro de su carril debido a la menor facilidad para apreciar la posición relativa de su vehículo dentro de la curva. Esta dificultad aumenta con la velocidad, pero disminuye a medida que los radios de la curva son mayores. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 69).

Figura 14.

Esquema para determinar el sobreancho de un carril de tránsito en una curva



Nota. Se muestra la geometría de la curva con sobreancho. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 70)

La normativa MOP, 2003 contempla la siguiente fórmula para calcular el sobreancho de la curva:

$$S = \frac{0.105 \cdot V_d}{\sqrt{R}} \quad (19)$$

Donde:

S = Sobreancho (m)

V_d = Velocidad de diseño (km/h)

R = Radio de la curvatura

6.2.3. Radios mínimos de curvatura horizontal

El radio mínimo de la curvatura horizontal es el valor más bajo que posibilita la seguridad en el tránsito a una velocidad de diseño dada en función del máximo peralte (e) adoptado y el coeficiente (f) de fricción lateral correspondiente. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 37)

El radio mínimo (R) en condiciones de seguridad puede calcularse según la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)} \quad (20)$$

Donde:

R = Radio mínimo de una curva horizontal (m)

Vd = Velocidad de diseño (km/h)

f = Coeficiente de fricción lateral

e = Peralte de la curva m/m (metro por metro ancho de la calzada)

Tabla 19.*Radios mínimos de curvas en función del Peralte (e) y el Coeficiente de fricción lateral**(f)*

Velocidad de diseño (km/h)	"f" Máximo	Radio Mínimo Calculado				Radio Mínimo Recomendado			
		e=0.10	e=0.08	e=0.05	e=0.04	e=0.10	e=0.08	e=0.05	e=0.04
20	0.35		7.52	7.55	8.08		15	20	20
25	0.315		12.48	13.12	13.88		20	25	25
30	0.284		10.47	20.5	21.67		25	30	30
35	0.255		25.79	30.52	32.7		30	35	35
40	0.221		41.55	44.65	48.27		42	45	0
45	0.206		55.75	59.94	54.82		58	50	65
50	0.19		72.91	78.74	85.69		55	60	80
60	0.185	106.97	115.7	125.95	138.28	110	120	130	140
70	0.16	164.55	157.75	185.75	203.07	150	170	165	205
80	0.14	209.97	229.05	251.97	27.97	210	230	255	280
90	0.154	272.55	295.04	328.78	385.55	225	300	330	310
100	0.13	342.35	374.95	414.42	483.18	350	375	415	455
110	0.124	475.34	487.04	517.8	580.95	430	470	620	585
120	0.12	515.39	505.92	529.92	708.88	520	570	630	710

Nota. Se indica el valor de radio mínimo para la vía de estudio. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 38)

Criterios para adoptar los valores del radio mínimo:

- Cuando la topografía del terreno es montañosa escarpada.
- En las aproximaciones a los cruces de accidentes orográficos e hidrográficos.
- En intersecciones entre caminos entre sí.
- En vías urbanas.

Con las características del presente proyecto; velocidad de diseño de 90 km/h y un peralte de 10% (capa de rodadura asfáltica) el Radio mínimo recomendado es de 225 m.

6.2.4. Distancia de Visibilidad de Parada y Rebasamiento

6.2.4.1. Distancia de visibilidad de Parada

Cuando el vehículo circula en curva, sea esta horizontal o vertical, el factor visibilidad actúa en forma determinante en su normal circulación, por lo que la distancia de visibilidad de parada es la distancia mínima necesaria para que un conductor que transita cerca de la velocidad de diseño vea un objeto en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él. Por lo tanto es la mínima distancia de visibilidad que debe proporcionarse en cualquier punto de la carretera.

La mínima distancia de visibilidad (d) para la parada de un vehículo es igual a la suma de dos distancias; una, la distancia (d_1) recorrida por el vehículo desde el instante en que el conductor avizora un objeto en el camino hasta la distancia (d_2) de frenaje del vehículo, es decir, la distancia necesaria para que el vehículo pare completamente después de haberse aplicado los frenos. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 181)

Estas dos distancias corresponden al tiempo de percepción y reacción, y al recorrido del vehículo durante el frenaje, respectivamente:

$$d = d_1 + d_2 \quad (21)$$

La distancia recorrida durante el tiempo de percepción más reacción se calcula por la siguiente fórmula:

$$d_1 = 0.7 V_c \quad (22)$$

Donde:

d_1 = distancia recorrida durante el tiempo de percepción más reacción (m)

V_c = velocidad de circulación del vehículo (km/h)

La distancia de frenaje se calcula utilizando la fórmula de la “carga dinámica” y tomando en cuenta la acción de la fricción desarrollada entre las llantas y la calzada, es decir que:

$$d_2 = \frac{V_c^2}{254 f} \quad (23)$$

Donde:

d_2 = distancia de frenaje sobre la calzada a nivel (m)

V_c = velocidad de circulación (km/h)

f = coeficiente de fricción longitudinal.

El coeficiente de fricción longitudinal (f) para pavimentos mojados está representada por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1.15}{V_c^{0.3}} \quad (24)$$

Donde:

f = coeficiente de fricción longitudinal

V_c = velocidad de circulación (km/h)

Entonces tenemos los siguientes valores:

$d_1 = 51.10$ m

$d_2 = 66.09$ m

$f = 0.32$ (coeficiente de fricción longitudinal)

$d = 117$ m (distancia de visibilidad de Parada)

Tabla 20.

Distancia de visibilidad mínima para la parada de un vehículo (con correcciones por efecto de la gradiente longitudinal)

Velocidad de Diseño - Vd (kph)	Velocidad de Circulación		GRADIENTE "G" %							
		Coefficiente de fricción longitudinal	-12	-9	-6	-3	3	6	9	12
20	20	0.468	13.75	13.7	13.6	13.27	14.34	14.13	14.06	14.02
25	24	0.443	16.47	16.4	16.26	15.78	17.33	17.02	16.91	16.85
30	28	0.423	19.18	19.08	18.89	18.25	20.35	19.93	19.77	19.69
35	33	0.403	22.55	22.42	22.15	21.27	24.18	23.59	23.37	23.26
40	37	0.389	25.23	25.07	24.73	23.63	27.28	26.54	26.27	26.13
45	42	0.375		28.36	27.98	26.52	31.22	30.26	29.91	
50	46	0.365		30.98	30.47	28.78	34.42	33.25	32.83	
60	55	0.345		36.82	35.09	33.71	41.75	40.07	39.47	
70	63	0.332			40	37.89	48.44	46.22		
80	71	0.32			40.99	41.9	55.28	52.45		
90	79	0.31			45.81	45.73	62.28	58.76		
100	86	0.302			50.54	48.93	68.54			
110	92	0.296				51.57	74			
120	100	0.286				56.14	84.24			

Nota. Se indica de la tabla los gradiente mínimos y máximos a utilizar. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 188)

Según esta tabla las distancias mínimas de parada en función a la velocidad de diseño de 90 km/h, va desde 45.81 m hasta 45.73 m (para gradientes de -6 y -3 respectivamente), sin embargo, para gradientes positivas va desde 62.28 m hasta 58.76 m.

La norma MOP en función del TPDA clase de vía II y del tipo de proyecto (Mejoramiento-Absoluta) nos indica que la distancia de visibilidad de parada es de:

Tabla 21.

Distancia de visibilidad para parada (m)

CLASE II		
1000-3000 TPDA		
ABSOLUTA		
LL	O	M
135	110	55

Nota. En el presente cuadro se indican las distancias respectivas de parada en (m). Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 469)

Para lo cual tenemos una distancia de parada de vehículos mínima de 135 m.

6.2.4.2. Distancia de visibilidad de Rebasamiento

La distancia de visibilidad para el rebasamiento se determina en base a la longitud de carretera necesaria para efectuar la maniobra de rebasamiento en condiciones de seguridad. Aunque puede darse el caso de múltiples rebasamientos simultáneos, no resulta práctico asumir esta condición; por lo general, se considera el caso de un vehículo que rebasa a otro únicamente. Usualmente, los valores de diseño para el rebasamiento son suficientes para facilitar ocasionalmente rebasamientos múltiples. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 193)

Figura 15.

Distancia mínima de visibilidad para el rebasamiento de un vehículo

V_d , Km/h	VELOCIDADES DE LOS VEHICULOS, Km/h.		DISTANCIA MINIMA DE REBASAMIENTO, METROS	
	REBASADO	REBASANTE	CALCULADA	RECOMENDADA
25	24	40	----	(80)
30	28	44	----	(110)
35	33	49	----	(130)
40	35	51	268	270 (150)
45	39	55	307	310 (180)
50	43	59	345	345 (210)
60	50	66	412	415 (290)
70	58	74	488	490 (380)
80	66	82	563	565 (480)
90	73	89	631	640
100	79	95	688	690
110	87	103	764	830 *
120	94	110	831	830

Nota. Valor utilizado con margen de seguridad por sobrepasar la velocidad de rebasamiento los 100 kph, () valores utilizados para los caminos vecinales. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 198)

Por lo tanto, para una velocidad de diseño de 90 km/h la distancia de visibilidad de rebasamiento es de 640 m.

6.2.5. Secciones de vía a adoptarse

6.2.5.1. Ancho de la calzada

Para determinar el ancho de la calzada en nuestro proyecto utilizamos la siguiente tabla de la normativa MOP 2003, la cual en función del TPDA nos indica los valores del ancho de la calzada.

Figura 16.

Anchos de la calzada

ANCHOS DE LA CALZADA			
Clase de Carretera		Ancho de la Calzada (m)	
		Recomendable	Absoluto
R-I o R-II	> 8000 TPDA	7,30	7,30
I	3000 a 8000 TPDA	7,30	7,30
II	1000 a 3000 TPDA	7,30	6,50
III	300 a 1000 TPDA	6,70	6,00
IV	100 a 300 TPDA	6,00	6,00
V	Menos de 100 TPDA	4,00	4,00

Nota. Tenemos diferentes anchos de calzadas presentados en el cuadro. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 228)

En función del TPDA obtenido en este proyecto utilizamos un ancho de calzada de 6.5 m para los dos carriles.

6.2.5.2. Parterre

En la vía de este proyecto a partir del segundo tramo en donde existe una ampliación de 2 a 4 carriles ya existe un parterre intermedio con árboles, césped y su estructura de hormigón, por ello se mantendrá para este proyecto las dimensiones del parterre actual de 2m.

6.2.5.3. Cunetas

El diseño de las cunetas para esta vía se detallará en el apartado hidrológico, porque es de gran importancia para este proyecto pues se busca captar la escorrentía de forma eficaz en toda la extensión de la vía.

6.2.6. Tangentes

Son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se lo llama PI y al ángulo de definición, formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se lo denomina “ α ” (alfa).

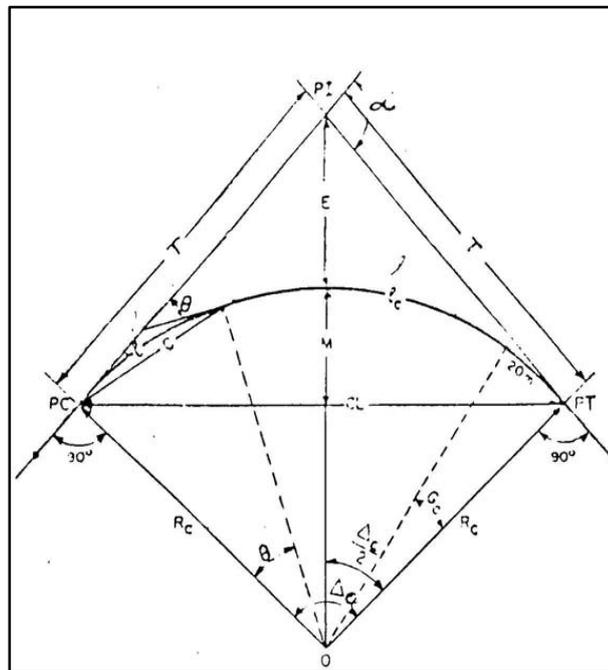
Las tangentes van unidas entre sí por curvas y la distancia que existe entre el final de la curva anterior y el inicio de la siguiente se la denomina tangente intermedia. Su máxima longitud está condicionada por la seguridad. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 36)

6.2.7. Curvas Circulares

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas y pueden ser simples o compuestas. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 37)

Figura 17.

Curva circular simple



Nota. Se presentan los diferentes elementos de una curva circular. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 39)

Donde:

PI = Punto de intersección de la prolongación de las tangentes

PC = Punto en donde empieza la curva simple

PT = Punto en donde termina la curva simple

α = Ángulo de deflexión de las tangentes

Δ_c = Ángulo central de la curva circular

θ = Ángulo de deflexión a un punto sobre la curva circular

G_c = Grado de curvatura de la curva circular

R_c = Radio de la curva circular

T = Tangente de la curva circular o subtangente

E = External

M = Ordenada media

C = Cuerda

CL = Cuerda larga

l = Longitud de un arco

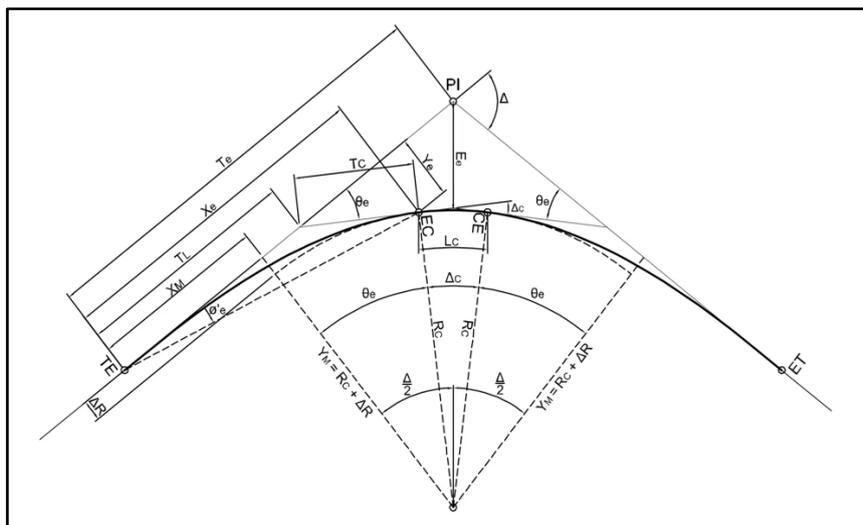
le = Longitud de la curva circular

6.2.8. Curvas Espirales

La espiral Clotoide corresponde a la espiral con más uso en el diseño de carreteras y sus bondades con respecto a otros elementos geométricos curvos, permiten obtener carreteras cómodas, seguras y estéticas. (Manual de Diseño Geométrico de Carreteras INV, 2008, p. 99)

Figura 18.

Empalme espiral-circulo-espiral (simétrico)



Nota. Se indica los diferentes elementos del empalme espiral. Fuente: (Manual de Diseño Geométrico de Carreteras INV, 2008, pág. 104)

Donde:

Θ_e = Deflexión de espiral:

LT = Longitud total de la curva

L = Longitud del TE cualquier punto de la espiral

P.I = Punto de Intersección de 2 alineaciones consecutivas

T.E = Punto cambio de tangente a espiral

E.C = Punto cambio de espiral a circular

R = Radio de la curvatura circular

C.E = Punto cambio de circular a espiral

E.T = Punto cambio de espiral a tangente

X, Y = Coordenada rectangular de cualquier punto de la espiral

U = Tangente larga de la espiral

V = Tangente corta de la espiral

Ce = Cuerda larga de la espiral

K = Abscisa de Pc desplazada desde Te

Le = Longitud mínima de espiral

α = Angulo de deflexión de las tangentes principales

6.2.9. Resultados obtenidos del Diseño Horizontal

El diseño horizontal nos ayuda a mejorar de forma longitudinal la vía de este proyecto, al finalizar se obtiene una tabla con las curvas que se añadieron para darle la forma más optima y acorde a la norma vigente MOP 2003.

Figura 19.

Curvas obtenidas con el diseño horizontal de la vía

Curve Table: Alignments					
Curve #	Radius	Length	Chord Direction	Start Point	End Point
C1	30.00	24.94	N77° 00' 48.38"E	(209.00,1146.38)	(232.61,1151.83)
C2	59.78	28.60	N66° 54' 18.11"E	(115.85,1085.08)	(141.90,1096.19)

Nota. Se muestran las características de las curvas del diseño horizontal. Elaborado por: Los Autores.

6.3. Alineamiento Vertical

El perfil vertical de una carretera es tan importante como el alineamiento horizontal y debe estar en relación directa con la velocidad de diseño, con las curvas horizontales y con las distancias de visibilidad. En ningún caso se debe sacrificar el perfil vertical para obtener buenos alineamientos horizontales. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 205)

6.3.1. Gradiente máxima

En general, las gradientes a adoptarse dependen directamente de la topografía del terreno y deben tener valores bajos, en lo posible, a fin de permitir razonables velocidades de circulación y facilitar la operación de los vehículos.

De acuerdo con las velocidades de diseño, que dependen del volumen de tráfico y de la naturaleza de la topografía, en la siguiente tabla se indican de manera general las gradientes medias máximas que pueden adoptarse. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 205)

La Gradiente y Longitud máximas, pueden adaptarse a los siguientes valores:

Para gradientes del:

8—10% La longitud máxima será de: 1.000 m.

10—12% La longitud máxima será de: 500 m.

12—14% La longitud máxima será de: 250 m.

En longitudes cortas se puede aumentar la gradiente en 1 por ciento, en terrenos ondulados y montañosos, a fin de reducir los costos de construcción (Para las vías de 1º, 2º y 3º clase). (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 206)

Tabla 22.

Valores de diseño de las gradientes longitudinales máximas

Clase de Carretera		Valor Recomendable			Valor Absoluto		
		L	O	M	L	O	M
R-I o R-II	> 8000 TPDA	2	3	4	3	4	6
I	3000 a 8000 TPDA	3	4	6	3	5	7
II	1000 a 3000 TPDA	3	4	7	4	6	8
III	300 a 1000 TPDA	4	6	7	6	7	9
IV	100 a 300 TPDA	5	6	8	6	8	12
V	Menos de 100 TPDA	5	6	8	6	8	14

Nota: Se resalto la Gradiente Máxima del Proyecto. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 205)

El presente proyecto fue analizado en base a los resultados obtenidos como una vía Clase II (TPDA 1000 a 3000), con relieve Llano (L), se utilizaron gradientes de 4% máximo puesto que buscamos mantener la geometría vertical de la vía.

6.3.2. Gradiente Mínima

La gradiente longitudinal mínima usual es de 0,5 por ciento. Se puede adoptar una gradiente de cero por ciento para el caso de rellenos de 1 metro de altura o más y cuando el pavimento tiene una gradiente transversal adecuada para drenar lateralmente las aguas de lluvia. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 206)

6.3.3. Curvas Verticales

6.3.3.1. Curvas Verticales Convexas

La longitud mínima de las curvas verticales se determina en base a los requerimientos de la distancia de visibilidad para parada de un vehículo, considerando una altura del ojo del conductor de 1,15 metros y una altura del objeto que se divisa sobre la carretera igual a 0,15 metros. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 209)

Esta longitud es expresada con la siguiente fórmula:

$$L = K A \quad (25)$$

Donde:

L = Longitud de curva vertical (m)

A = Diferencia algebraica de gradientes (%)

K = Coeficiente de carretera curvas convexas

La presente normativa MOP 2003 nos facilita valores mínimos del coeficiente K en función de las velocidades de diseño en km/h:

Tabla 23.

Distancia de visibilidad de parada

Velocidad de diseño (kph)	Distancia de Visibilidad para Parada-"s" (m)	Coeficiente $K=S^2/426$	
		Calculado	Redondeado
20	20	0.94	1
25	25	1.47	2
30	30	2.11	2
35	35	2.88	3
40	40	3.76	4
45	50	5.87	6
50	55	7.1	7

60	70	11.5	12
70	90	19.01	19
80	110	28.4	28
90	135	42.78	43
100	160	60.09	60
110	180	76.06	80
120	220	113.62	115

Nota. La distancia de visibilidad de parada. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 211)

El presente proyecto cuenta con una velocidad de 90 km/h por lo cual, la tabla nos da un valor calculado de 42.78 y redondeado a 43. Con estos valores partiremos con el diseño, sin embargo, como lo indica la tabla, estos son valores mínimos y se podría modificar en cuanto al proyecto lo amerite.

6.3.3.2. Curvas Verticales Cóncavas

Por motivos de seguridad, es necesario que las curvas verticales cóncavas sean lo suficientemente largas, de modo que la longitud de los rayos de luz de los faros de un vehículo sea aproximadamente igual a la distancia de visibilidad necesaria para la parada de un vehículo. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 212)

La longitud de una curva vertical cóncava según la normativa esta expresada:

$$L = K A \quad (26)$$

Donde:

L = Longitud de curva vertical (m)

A = Diferencia algebraica de gradientes (%)

K = Coeficiente de carretera curvas cóncavas

La normativa MOP 2003 también nos indica los valores mínimos del coeficiente K en función de las velocidades de diseño en km/h:

Tabla 24.

Curvas verticales cóncavas mínimas

Velocidad de diseño (kph)	Distancia de Visibilidad para Parada-"s" (m)	Coeficiente $K=S^2/122+3.5S$	
		Calculado	Redondeado
20	20	2.08	2
25	25	2.98	3
30	30	3.96	4
35	35	5.01	5
40	40	6.11	6
45	50	8.42	8
50	55	9.62	10
60	70	13.35	13
70	90	18.54	19
80	110	23.87	24
90	135	30.66	31
100	160	37.54	38
110	180	43.09	43
120	220	54.26	54

Nota: Se encuentra resaltado el valor de la distancia en m para realizar la curva cóncava vertical. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 213)

Para este proyecto utilizamos el coeficiente que nos muestra la tabla, redondeado 31 correspondiente a la velocidad de diseño que es de 90 km/h sin embargo estos valores pueden cambiar en medida de lo que la vía requiera para un diseño óptimo.

6.3.3.3. Longitud mínima de las curvas verticales

La norma MOP 2003 indica que la longitud mínima absoluta de las curvas verticales, expresada en metros esta presentada por la siguiente fórmula:

$$L \text{ mín} = 0.6 Vd \quad (27)$$

Donde:

L mín. =Longitud mínima de curva vertical (m)

Vd = Velocidad de diseño para cada tramo (m)

6.3.3.4. Curvas Verticales Asimétricas

Tienen mucha aplicación cuando se trata de ajustar el proyecto vertical a rasantes existentes, o en las rampas de intercambiadores, ya que son mucho más versátiles que las curvas simétricas. (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, p. 214)

6.4. Aspectos geométricos para la vía según Ordenanza 3457 (zona Urbana)

Conociendo el contexto de la presente vía de estudio, tratándose así de una vía Colectora por el volumen de tráfico que capta. En función a la Ordenanza 3457 que contiene las normas de Arquitectura y Urbanismo, expuesta por El concejo Metropolitano de Quito, indica:

Vía Colectora

Sirven de enlace entre las vías arteriales secundarias y las vías locales, su función es distribuir el tráfico dentro de las distintas áreas urbanas; por tanto, permiten acceso directo a zonas residenciales, institucionales, de gestión, recreativas, comerciales de menor escala. El abastecimiento a locales comerciales se realizará con vehículos de tonelaje menor (camionetas o furgones). (Ordenanza 3457 Concejo Metropolitano de Quito, 2003, p. 31)

Cuenta con las siguientes características funcionales:

- Recogen el tráfico de las vías del sistema local y lo canalizan hacia las vías del sistema arterial secundario.
- Distribuyen el tráfico dentro de las áreas o zonas urbanas.

- Favorecen los desplazamientos entre barrios cercanos.
- Proveen acceso a propiedades frentistas.
- Permiten una razonable velocidad de operación y movilidad.
- Pueden admitir el estacionamiento lateral de vehículos.
- Los volúmenes de tráfico son relativamente bajos en comparación al de las vías jerárquicamente superiores.
- Se recomienda la circulación de vehículos en un solo sentido, sin que ello sea imperativo.
- Admiten la circulación de líneas de buses urbanos.

Esta ordenanza también presenta las siguientes características técnicas:

Tabla 25.

Resumen de características técnicas Vía Colectora

Características Técnicas	
Velocidad de proyecto	50 km/h
Velocidad de operación	20 - 40 km/h
Distancia paralela entre ellas	1000 - 500 m.
Control de accesos	Todas las intersecciones son a nivel.
Número mínimo de carriles	4 (2 por sentido)
Ancho de carriles	3,50 m.
Carril estacionamiento lateral	Mínimo 2,00 m.
Distancia de visibilidad de parada	40 km/h = 45 m.
Radio mínimo de curvatura	40 km/h = 50 m.
Gálibo vertical mínimo	5,50 m.
Radio mínimo de esquinas	5 m.
Separación de calzadas	Separación con señalización horizontal. Pueden tener parterre mínimo de 3,00 m.
Longitud máxima vías sin retorno	300 m.
Aceras	Mínimo 2,50 m. como excepción 2 m.

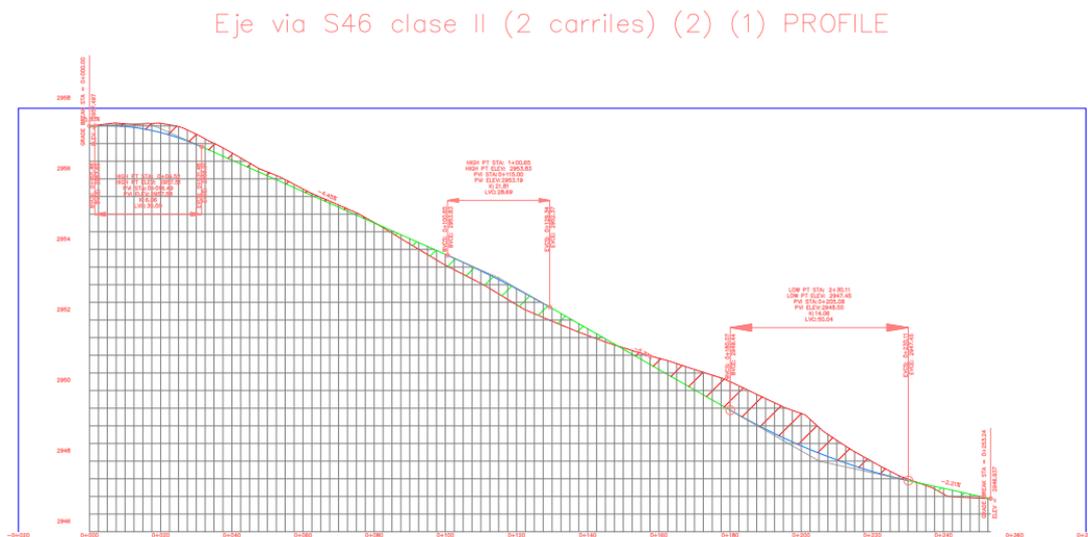
Nota: Se presenta un resumen para las vías colectoras diferentes características a utilizar en el proyecto. Fuente: (Ordenanza 3457 Concejo Metropolitano de Quito, 2003)

6.4.1. Resultados obtenidos del Diseño Vertical

Con los siguientes gráficos se representa de forma clara lo que será el diseño visto de manera vertical a la topografía.

Figura 20.

Alineamiento vertical del primer tramo



Nota. Se presenta el alineamiento del primer tramo con las curvas del diseño. Elaborado por: Los Autores mediante el Civil 3D

Figura 21.

Alineamiento vertical segundo tramo



Nota. Se muestra en el gráfico el alineamiento del segundo tramo con todas las curvas diseñadas verticalmente. Elaborado por: Los Autores mediante el Civil 3D

El diseño de la vía tanto vertical como horizontal se encuentra representado en el ANEXO 4

6.5. Volúmenes y Curva de Masas

6.5.1. Volúmenes de Corte y Relleno

La determinación del volumen de tierras comprendido entre dos perfiles transversales consecutivos, normales al eje de una carretera, debe abordarse considerando las superficies de corte y/o terraplén que dichas secciones presentan y la distancia entre ellas. (NEVI-12-MTOP, 2013, p. 331)

En general las secciones no deben distar más de 20 m, si el terreno presenta singularidades resulta indispensable tomar perfiles intermedios, que permitan enfrentar secciones en que la hipótesis de variación moderada se cumpla. Sin embargo, no es lícito intercalar secciones aisladas a menor distancia; si se estima que un tramo requiere ser analizado con mayor precisión, todo el tramo se ubicará con dicha distancia reducida. (NEVI-12-MTOP, 2013, p. 331)

Las secciones homogéneas son las que presentan solo corte o solo terraplén y las secciones mixtas son las que presentan corte y terraplén al mismo tiempo.

En el caso de presentarse secciones homogéneas del mismo tipo (corte-corte o terraplén-terraplén) la fórmula para calcular el volumen es:

$$V = \frac{S1 + S2}{2} \cdot d \quad (28)$$

Donde:

S1 y S2 = Superficies comprendidas entre la línea de terreno y la línea del proyecto

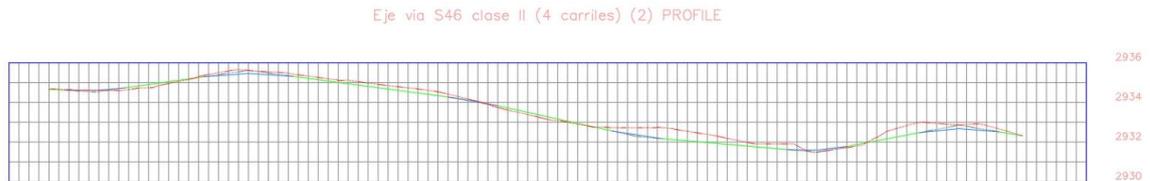
d = distancia entre las secciones consideradas

6.5.2. Curva de masas

Para tener una idea gráfica de lo que será este proyecto en cuanto a movimiento de tierra, se presenta a continuación los siguientes gráficos.

Figura 22.

Curvas de masas primer carril



Nota. Con línea azul, roja, y verde para el terreno natural, alineamiento vertical y la faja topográfica respectivamente. Elaborado por: Los autores con ayuda del Civil 3D

Figura 23.

Curvas de masas segundo carril



Nota. Se presenta las curvas de masas del segundo tramo. Fuente: Civil 3D Elaborado por: Los Autores con ayuda del civil 3D

Figura 24.

Elementos del empalme espiral-circulo-espiral (simétrico)

Volume Summary							
Name	Type	Cut Factor	Fill Factor	2d Area (sq m)	Cut (Cu. M.)	Fill (Cu. M.)	Net (Cu. M.)
VIA S46	fill	1.000	1.000	36920.02	3690.96	4498.72	807.77<Fill>
Totals							
				2d Area (sq m)	Cut (Cu. M.)	Fill (Cu. M.)	Net (Cu. M.)
Total				36920.02	3690.96	4498.72	807.77<Fill>

* Value adjusted by cut or fill factor other than 1.0

Nota. Se presenta la tabla de los resultados de corte y relleno. Elaborado por: Los Autores mediante el software civil 3D.

CAPÍTULO VII

ESTUDIO GEOLÓGICO

7.1. Estado Actual y Ubicación del proyecto

La vía correspondiente se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, parroquia Quitumbe, cantón Quito en la cual se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 26.

Ubicación del proyecto (zona 17S)

Inicio Vía S46			Fin Vía S46		
Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)
771720.9657	9965691.8730	2957.497	772446.600	9965679.600	2944.538

Nota: Se detalla en que parte está situado el proyecto con sus respectivas coordenadas
Elaborado por: Los Autores, 2024

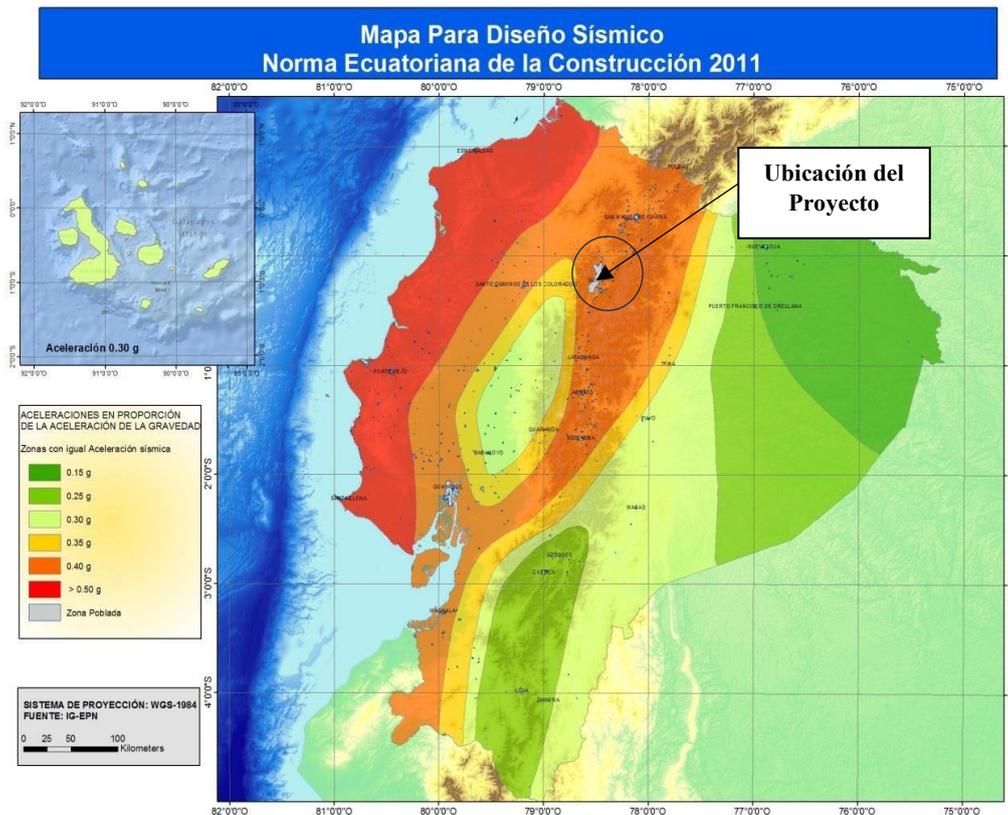
Es una vía donde tiene mucha frecuencia vehicular como son los vehículos livianos (los de uso personal) y los vehículos pesados ya que en una parte de la vía se encuentra un depósito de materiales de construcción por lo tanto se necesita de vehículos pesados. Posee una longitud de 752.35m Además debemos tener en cuenta que la mitad de la vía es de dos carriles mientras que la otra mitad es de 4 carriles con un ancho de 6 metros.

7.2. Riesgo Sísmico en la zona de estudio

Debemos considerar que el riesgo sísmico de la zona es alto y es de vital importancia para un adecuado diseño para la estructura de la vía la cual debe ser correcta para garantizar la seguridad, estabilidad y durabilidad de esta.

Figura 25.

Ecuador, zonas sísmicas del proyecto



Nota: Se colocó en donde está situado el proyecto y poder diferenciar las zonas sísmicas.
Fuente: (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2009)

Este gráfico de la norma NEC 2015, “el mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años)”, también presenta en diferentes colores la dimensión de riesgo de cada zona, hemos calculado el valor sísmico “Z” (Aceleración Máxima de la roca) que es necesaria para el diseño de estructuras.

Tabla 27.*Aceleración Máxima en Roca "Z" Según zona sísmica*

Valores del Factor Z						
Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	\geq 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Nota: Se siguen los pasos para determinar el factor Z. Fuente: (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION, 2015)

Tabla 28.*Valor "Z" según la zona del proyecto*

Parroquia	Cantón	Provincia	Z
Quitumbe	Quito	Pichincha	0.4

Nota: Se identifico el valor de Z. Fuente: (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION, 2015)

En las tablas 9 y 10 presenta el área proyectada donde define que corresponde a la zona V considerándose una zona de peligro sísmico alto y su coeficiente Z es de 0.4.

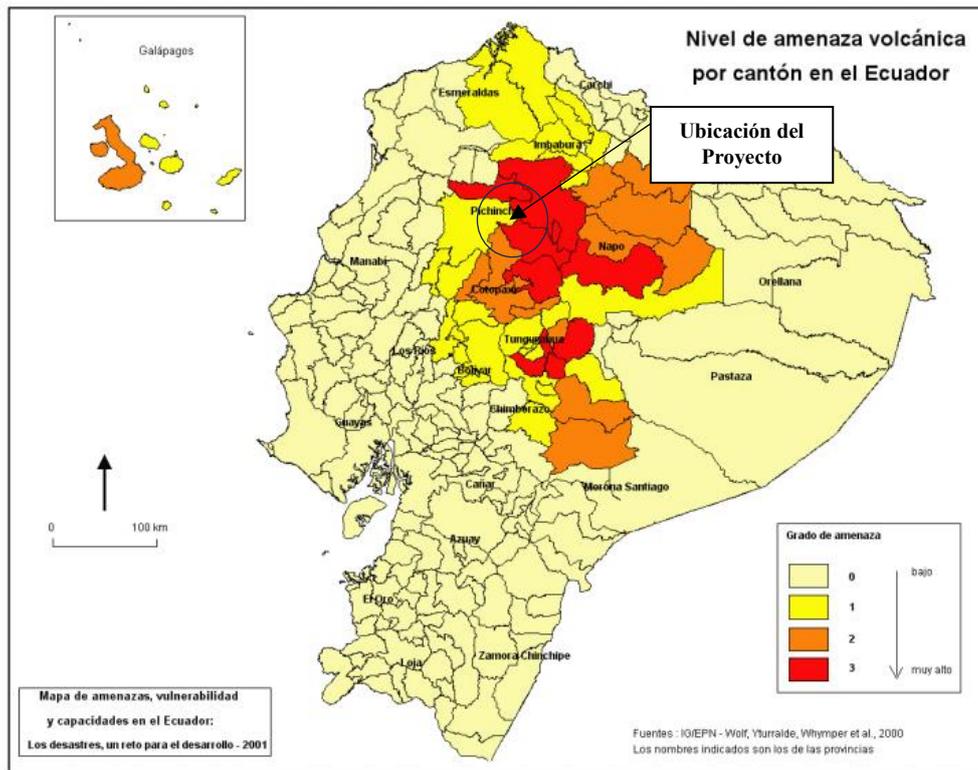
7.3. Riesgo Volcánico

El presente proyecto está expuesto a movimientos geodinámicas por los volcanes que tenemos a nuestro alrededor y la más cercana es el volcán Cotopaxi que actualmente se encuentra activo y así mismo varios que en el momento se encuentran inactivos.

En el gráfico esta detallado si el lugar posee amenazas sísmicas.

Figura 26.

Mapa de Riegos Volcánicos



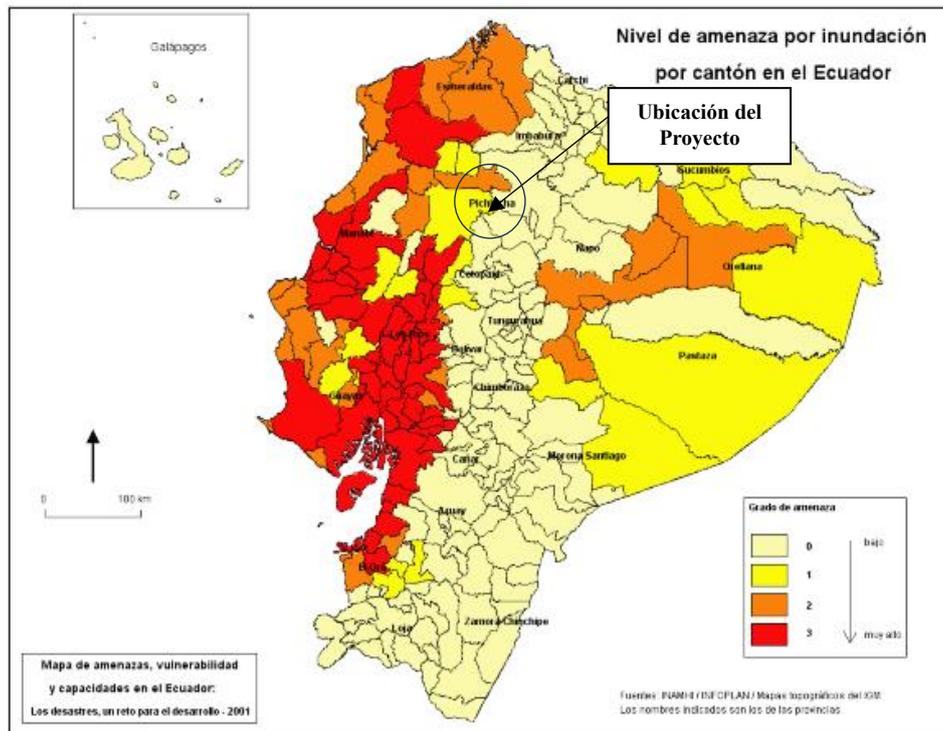
Nota: Se situó la ubicación del proyecto para identificar los diferentes riesgos volcánicos.
Fuente: (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION, 2015)

7.4. Riesgo de Inundaciones

En el siguiente grafico podemos observar que no se presentan riesgos a inundaciones:

Figura 27.

Mapa de Riesgos de Inundaciones



Nota: Se ubico en donde este proyecto para ver si existen riesgos de inundaciones. Fuente: (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION, 2015)

Aquí debemos considerar que se pueden ocurrir una afectación de un 50% a 100% a la infraestructura vial por los deslizamientos en las épocas de lluvias.

7.5. Fuentes de materiales

Las fuentes de materiales nos permiten identificar los materiales existentes alrededor de la zona que estamos estudiando, esto nos ayuda a tener un lugar de extracción de material para la construcción de la vía, en sus diferentes capas, como la sub-base y base.

Con el levantamiento realizado se analizaron diferentes opciones de las Minas las cuales podrían aportar el material que necesitamos para nuestro proyecto, entre ellas estaban la Mina de San Antonio, Pífo y Rancho La Paz, conociendo así que la más

accesible en cuanto a distancia es la Cantera Rancho La Paz, ubicada al sur de la provincia de Pichincha km 14 vía Alóag-Santo Domingo de los Tsáchilas, Parroquia Alóag. La distancia que existe entre la cantera y la ubicación del proyecto es de 35.8 km.

Figura 28.

Imagen aérea de la cantera proveedora de los materiales



Nota. Se muestra la extensión de la Cantera de donde se obtendrá el material pétreo. Elaborado por: Los Autores con el software Google Earth Pro, 2024

Tabla 29

Resumen de las características de la Mina

Mina	Área de explotación m²	Este	Norte	Zona
Rancho la Paz	20 hectáreas	762750.66	9950466.71	17S

Nota: Se detalla algunos datos necesarios de la cantera. Elaborado por: Los autores.

7.5.1. Ensayos de la Base y Sub-base de la mina Rancho la Paz

A continuación, se muestra una tabla y la curva granulométrica de la Base Clase

II de la mina Rancho la Paz:

Tabla 30.

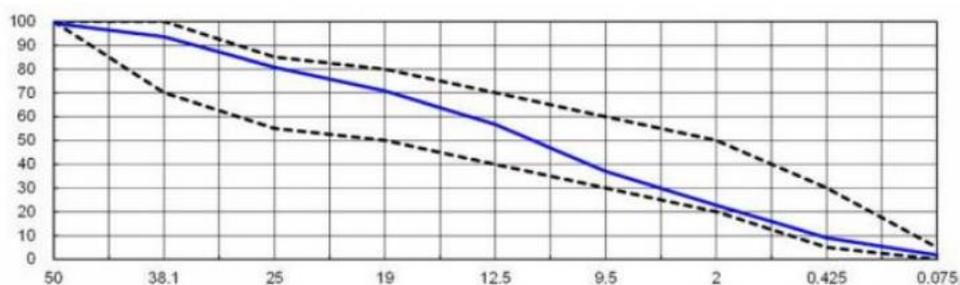
Resumen de la Granulometría Base clase II

Tamiz N°	Abertura (mm)	Ret. Parcial (gr)	Ret. Acum (gr)	Retenid o (%)	Que pasa (%)	Límite	
						Mínim o	Máxim o
2 1/2"	63	0	0	0	100	100	100
2"	50	524	524	0.7	99.3	100	100
1 1/2"	38.1	4155	4679	6.5	93.5	70	100
1"	25	z	13944	19.3	80.7	55	85
3/4"	19	7154	21098	29.2	70.8	50	80
3/8"	12.5	10215	31313	43.3	56.7	40	70
N° 4	9.5	14245	45558	63	37	30	60
N° 10	2	10352	55910	77.3	22.7	20	50
N° 40	0.425	9871	65781	90.9	9.1	5	30
N° 200	0.075	5245	71026	98.2	1.8	0	5
Bandeja		1321	72347	100	0		

Nota: Se realizó en ensayo de Granulometría y se detalla en la presente tabla. Fuente: (GAD CANTON MEJIA, 2019).

Figura 29.

Curva granulométrica Base clase II



Nota: Se presenta la gráfica de la curva de granulometría de la base clase II. Fuente: (GAD CANTON MEJIA, 2019)

Además, se muestra los valores del ensayo de Abrasión:

Tabla 31.

Resultado del ensayo de abrasión Base clase II

Ensayo de abrasión	
Tipo de gradación	A
Masa inicial de la muestra (gr)	5093
Masa retenida en el tamiz No 12 después de 500 revoluciones (gr)	3015
Masa que pasa el tamiz No 12 (gr)	2078
Porcentaje de desgaste	40.8

Nota: Se presenta el total del ensayo de abrasión de la Base clase II. Fuente: (GAD CANTON MEJIA, 2019)

7.6. Trabajos de campo – Exploración y Muestreo de Suelos

Para los trabajos en campo se comenzó con la visita al lugar en donde está ubicado el proyecto para comenzar con los respectivos muestreos. Se debe tener en cuenta que para el CBR se debe tomar muestras con una distancia de 250 a 500 metros especificado en la tabla:

Tabla 32.

Distancia entre Sondeos de suelo

Tipo de Proyecto	Espaciamiento (m)
Edificios Multi pisos	10-30
Edificios industriales de una planta	20-60
Carreteras	250-500
Presas y diques	40-80

Nota: Se detalla la distancia entre sondeos del suelo según el proyecto a realizar. Fuente: (Braja M. Das, 2001)

En la siguiente tabla se presentan las coordenadas donde está ubicada cada calicata de muestreo:

Tabla 33.

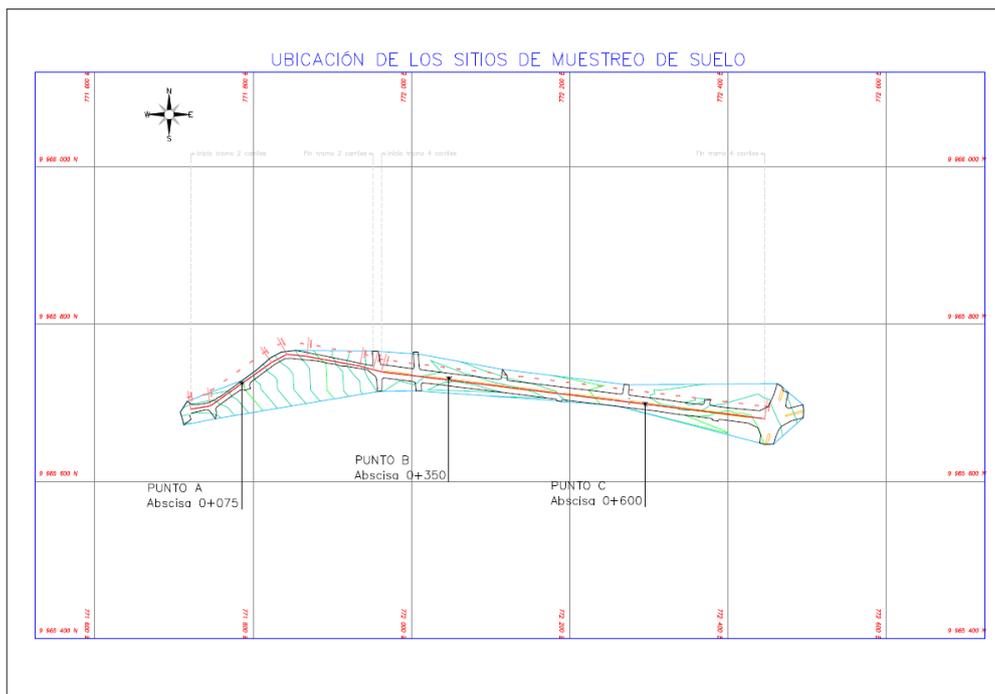
Coordenadas de Calicatas del Proyecto (zona 17S)

Vértice	Este	Norte	Elevación	Abscisa
Punto A	771785.9058	9965724.4239	2955.099	0+075
Punto B	772047.4696	9965730.5205	2947.645	0+350
Punto C	772295.3859	9965698.0563	2944.529	0+600

Nota: Se detalla la ubicación de las calicatas donde se cogieron las muestras a ensayar.
Elaborado por: Los Autores.

Figura 30.

Ubicación Calicatas de muestreo



Nota: Se detalla en la gráfica la ubicación de las calicatas en el proyecto. Elaborado por: Los Autores.

Para poder estudiar el suelo en la que será construido el proyecto se necesita de unos estudios al mismo, en este caso realizamos calicatas con una distancia de 275 y 250m acorde a lo establecido en la Norma (NTP 339.162 ASTM, para calicatas y

trincheras), con una profundidad de 1.50m para que con ello podremos desarrollar los ensayos para la clasificación SUCS – ASHTO y ensayos necesarios a estudiarse.

7.6.1. Ensayos de Laboratorio

Una vez tomadas las muestras en el lugar donde está ubicado el proyecto, se traslada el material al laboratorio para el estudio de diferentes ensayos para cada muestra.

7.6.1.1. Contenido de Humedad

Este método de ensayo de contenido de humedad se describe la determinación la cantidad de agua que posee mediante su masa seca estudiada en laboratorio, de un suelo, etc. Donde la reducción de la masa por secado es debido a la pérdida de agua. (Norma ASTM D 2216, 2017)

7.6.1.2. Límites de consistencia

Tenemos dos tipos de límites, el límite líquido y límite plástico detallados a continuación:

Límite Líquido (LL). El contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en un límite arbitrariamente definido entre los estados líquidos y plásticos. Este contenido de agua es definido como el contenido de agua en el cual una porción pequeña de suelo colocada en una copa estándar y cortada por un surco de dimensiones estándar fluirán juntos en la base del surco por una distancia de 13 mm cuando se somete a 25 golpes a la copa cayendo 10 mm en un aparato estándar de límite líquido operado a una razón de 2 golpes por segundo. (ASTM D4318-84, 2009)

Límite Plástico (LP). El contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en el límite entre los estados plástico y quebradizo. El contenido de agua en el cual un suelo no puede ser más deformado al enrollarlo en 3.2 mm en diámetro de hebra sin desmenuzarlo. (ASTM D4318-84, 2009)

7.6.1.3. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico es un procedimiento manual o mecánico por el cual se separan las partículas constitutivas del agregado según el tamaño que posee, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas hasta el tamaño más mínimo. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría). (ASTM C 136)

7.6.1.4. Compactación

Este ensayo consta en procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en moldes con un pisón que cae de una altura de 18 pulgadas produciendo energía de compactación de 56 000lb-pie/pie³ (2700kN-m/m³). (ASTM D 1557, 2006)

7.6.1.5. Determinación del CBR

Este ensayo describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos llamado valor de la relación de soporte, conocido como

CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza sobre suelo preparado en el laboratorio en condición húmeda y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Este método se utiliza para determinar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub-base. (ASTM D - 1883, 2006)

7.6.2. Clasificación de suelos

Hay varios métodos para determinar el tipo de suelo, los cuales deben ajustarse a criterios como el uso, las necesidades específicas y la aplicación requerida. Para nuestro proyecto técnico, vamos a definir dos clasificaciones de suelos que son más comunes en los proyectos viales.

7.6.2.1. Clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUC), desarrollado por Arthur Casa Grande en 1942 y estandarizado por la norma ASTM D2487, facilita la determinación del tipo de suelo a través del análisis de su granulometría y los límites de Atterberg.

Este método divide los suelos en dos categorías: suelos de grano grueso, que incluyen gravas y arenas con menos del 50% que pasa a través de la malla No. 200; y suelos de grano fino, que tienen un 50% o más que pasa a través de la malla No. 200. (Braja M. Das, 2001, p. 39)

El método SUCS indica las siguientes nomenclaturas para clasificar los suelos:

- Suelos granulares: grava(G), arena (S), bien graduado (W), P (mal graduado).

- Suelos finos: limo (M)arcilla), alta comprensibilidad (H) y baja comprensibilidad (L)
- Para suelos orgánicos: turba (Pt)

7.6.2.2. Clasificación AASHTO

El sistema American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928, está regido por la normativa ASTM D 3282 y es ampliamente empleado en proyectos de infraestructura vial.

Los suelos agrupados como A-1, A-2 y A-3 consisten en materiales granulares donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz No. 200. Por otro lado, los suelos clasificados como A-4, A-5, A-6 y A-7 tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz No. 200 y se componen principalmente de limo y arcilla. (Hilker Urdanivia , 2019, p. 25)

Tabla 34.

Resultado de los ensayos de laboratorio

Resultados de los ensayos SUCS y AASHTO			
Muestra	1	2	3
Abscisa	0+075	0+350	0+600
Lado			
Profundidad	1,5 m	1,5 m	1,5 m
Granulometría (% Pasa)			
3/4"	98.61	86.39	99.07
3/8"			
N.º 4	20.43	15.33	56.95
N.º 10	12.67	10.10	16.63
N.º 20			
N.º 40	5.11	6.93	6.93
N.º 60			
N.º 100			
N.º 200	1.15	1.66	1.16

Humedad natural (%)	7.24%	3.39%	19.29%
Limite liquido	46.90	-	-
Índice plástico	32.89	-	-
Índice de grupo (IG)	14.02	-	-
Clasificación SUCS	ML	N.P	N.P
Clasificación AASHTO	A-7	A-3	A-3

Nota: N.P hace referencia a los materiales no plásticos. Elaborado por: Los Autores.

Los ensayos realizaos para la clasificación SUCS y AASHTO se encuentran en el

ANEXO 5

CAPÍTULO VIII

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

8.1. Estudio de la capacidad de soporte del suelo y su influencia en el diseño del pavimento

8.1.1. Tipos de pavimentos

8.1.1.1. Pavimento flexible

También conocido como pavimento asfáltico, está compuesto por una estructura de materiales granulares en capas llamadas sub-base, base y carpeta asfáltica, el cálculo de estas está fundamentado por la MTOP y la AASHTO 1993.

Al presentar una mejor rigidez en la capa de rodadura, el pavimento flexible tiende a deformarse mayoritariamente, causando tensiones en la subrasante. Las continuas cargas y deformaciones verticales son causantes de depreciaciones en la capa de rodadura (parte exterior de la estructura)

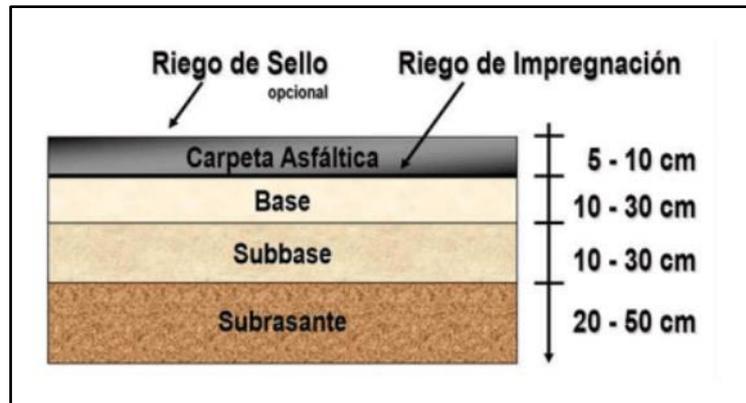
Este tipo de pavimento se caracteriza por ser económicos, y cuentan con una vida útil de entre 10 a 15 años, sin embargo, un punto negativo es que necesitan mantenimiento periódicamente para mantener su resistencia y vida útil.

8.1.1.1.1. Capas que intervienen en el Pavimento flexible

El pavimento asfáltico debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la intemperie y a otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las terracerías los esfuerzos por las cargas del tránsito. (CONSTRUNEIC, 2024)

Figura 31.

Capas del pavimento flexible



Nota. Se indican las diferentes capas de un pavimento flexible. Fuente: (CONSTRUNEIC, 2024)

8.1.1.1.2. Capa asfáltica o de rodadura

Esta capa es fundamental en el diseño porque recibe directamente las cargas vehiculares, transfiriéndolas a las capas inferiores. Puede ser fabricada mediante procesos de calor o frío, teniendo un papel importante en la resistencia contra las tensiones generadas por el tráfico al cual será diseñado, así como la protección o impermeabilización evitando la filtración de agua hacia las capas internas.

La capa de rodadura debe ser capaz de soportar las tensiones causadas por variaciones de temperatura y diferentes volúmenes de tráfico, siendo crucial su resistencia para garantizar un rendimiento duradero y eficaz frente al continuo cambio de factores ambientales y de tráfico. Lo que implica mantener la integridad funcional y estructural del pavimento.

8.1.1.1.3. Base

Es un componente que se encarga de transferir las tensiones generadas en la capa de rodadura debido al tráfico vehicular. Está compuesto por áridos, cal, asfalto y otros

materiales estabilizantes. Además, se adapta para absorber los esfuerzos horizontales que provienen de las capas inferiores y evita la infiltración de agua hacia elementos situados más abajo.

8.1.1.1.4. Sub-base

Este componente es responsable de transferir, resistir y distribuir las cargas que soporta de manera uniforme, mientras también se adapta a cambios de volumen y elasticidad para prevenir el deterioro del pavimento.

La sub-base juega un papel crucial al evitar la infiltración de agua hacia las capas internas, utilizando materiales de menor calidad y costo en comparación con otras capas. Puede estar compuesta de materiales estabilizados o no estabilizados.

La capa de sub-base se colocará sobre la subrasante previamente preparada y aprobada, de conformidad con las alineaciones, pendientes y sección transversal señaladas en los planos. (MOP, 2002, pág. IV 38)

8.1.1.1.5. Subrasante

Es la capa superior en la superficie, ya sea en cortes o rellenos, y es la estructura que soporta todo el peso del tráfico vehicular. Por lo tanto, esta capa no se ve afectada por ninguna carga.

La subrasante es la capa superior terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (cortes y rellenos), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La subrasante consiste en un suelo que a menudo puede mejorarse, ya que puede ser afectada por las cargas de diseño generadas por el tráfico. (Carrera Villamagua & Yuquilema Paucar, 2024, pág. 118)

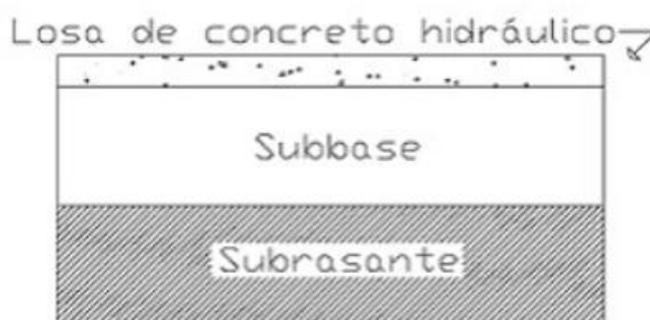
8.1.1.2. Pavimento rígido

El pavimento rígido, también conocido como pavimento hidráulico, está compuesto por una losa de concreto simple o armado que se coloca sobre una base o subbase. Se caracteriza por su capacidad para distribuir eficientemente las cargas vehiculares debido a la alta rigidez y módulo de elasticidad de la losa, lo que ayuda a absorber los esfuerzos generados por el tráfico y reduce las tensiones en la subrasante.

Es importante mencionar que el pavimento rígido implica costos significativos, principalmente debido al armado de acero que requiere. Sin embargo, ofrece una vida útil prolongada de 20 a 40 años y necesita poco mantenimiento, gracias en parte a las juntas entre las losas y su resistencia a eventos naturales. Por estas razones, este tipo de pavimento se considera una opción duradera y estructuralmente robusta para proyectos viales a largo plazo. (Carrera Villamagua & Yuquilema Paucar, 2024, pág. 119)

Figura 32.

Capas del pavimento rígido



Nota. Se indican las capas respectivas a un pavimento rígido. Fuente: (Ingeniarc, 2020)

8.1.1.2.1. Capa de hormigón

El pavimento de hormigón ya sea simple o reforzado con acero y compuesto por cemento Portland, se encuentra en la parte superior de la estructura vial. Este sistema constructivo prescinde de una capa base debido a la capacidad portante inherente de la

losa y su capacidad para resistir la subrasante. Se deben seguir recomendaciones específicas, adaptándose al tráfico ligero donde el espesor de la losa puede ser menor a 20 cm, mientras que, para pistas de aeropuertos con cargas vehiculares más pesadas, el espesor puede llegar hasta los 40 cm.

Este tipo de estructura ofrece una alta resistencia a las cargas vehiculares al trabajar bajo flexión y distribuir eficientemente las cargas hacia las capas inferiores. Además, proporciona protección contra la infiltración del agua, presenta una notable resistencia al desgaste y, debido a su color, mejora la seguridad del tráfico vehicular durante la noche. La elección de este pavimento se basa en su durabilidad, resistencia y capacidad para ofrecer condiciones seguras en diversas situaciones. (Carrera Villamagua & Yuquilema Paucar, 2024, pág. 120)

8.1.1.2.2. Sub-base

La losa de hormigón se instala sobre una capa de suelos naturales de alta calidad. Cuando estos suelos no cumplen con las condiciones óptimas, se requiere agregar una subbase, que consiste en material granular, para asegurar que se cumplan todas las funciones estructurales necesarias. (Carrera Villamagua & Yuquilema Paucar, 2024, pág. 120)

8.2. Selección de materiales y diseño de la estructura del pavimento para soportar las cargas de tráfico esperadas

8.2.1. Subrasante

Con el valor de CBR de diseño en función de los ensayos realizados en el laboratorio se empezó con el diseño del pavimento analizando el estudio de la subrasante,

en donde se calculará el módulo resiliente, y con esta característica podremos determinar los daños y deformaciones que se presentarán en la vía a lo largo del tiempo de diseño.

La presencia de deformaciones en la vía se ven ligadas a la baja estabilidad de la subrasante, por diferentes razones; desplazamiento lateral, falla por corte, o por infiltraciones de agua, lo que causa corrugación en la vía.

La norma AASHTO 1993 presenta las siguientes funciones en función del CBR:

$$\text{Si } \text{CBR} \leq 7.2\%; \text{ MR} = 1500 \cdot \text{CBR} \text{ (psi)} \quad (29)$$

$$\text{Si } 7.2\% < \text{CBR} \leq 20\%; \text{ MR} = 3000 \cdot \text{CBR}^{0.65} \text{ (psi)} \quad (30)$$

$$\text{Si } \text{CBR} > 20\%; \text{ MR} = 436 \cdot \text{Ln CBR} + 241 \text{ (psi)} \quad (31)$$

8.2.2. Sub-base

Los agregados que se emplean deberán tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles y la porción que pase el tamiz N.º 40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25. La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30%. (MOP, 2002, pág. IV 38)

8.2.3. Base

En el capítulo IV la norma MOP F 001 (2002) plantea las siguientes características que se atribuirán a la capa base:

El límite líquido de la fracción que pase el tamiz N.º 40 deberá ser menor de 25 y el índice de plasticidad menor de 6. El porcentaje de desgaste de abrasión de los agregados será menos del 40% y el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor al 80%. (MOP, 2002, pp. IV-48).

8.2.4. Carpeta asfáltica

La capa externa del pavimento flexible está hecha de materiales pétreos y productos asfálticos, permitiendo el tránsito de vehículos. Esta capa debe cumplir con ciertas características, como resistir el movimiento de las llantas y tener buena estabilidad.

8.3. Consideraciones para la durabilidad y resistencia del pavimento

La durabilidad y resistencia del pavimento son aspectos cruciales para asegurar la funcionalidad y vida útil de las infraestructuras viales en Ecuador. El diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos deben cumplir con una serie de normativas y estándares que garantizan la calidad y desempeño esperados. Entre estas normativas se destacan las especificaciones del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y las directrices de la Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) aplicables en el contexto ecuatoriano.

Selección de Materiales

La elección de materiales adecuados es fundamental para la durabilidad y resistencia del pavimento. Los materiales pétreos y productos asfálticos deben cumplir con especificaciones técnicas que aseguren su capacidad para soportar las cargas vehiculares y resistir las condiciones climáticas adversas. En Ecuador, el MOP establece los requisitos mínimos para los agregados y mezclas asfálticas, incluyendo propiedades como la granulometría, la resistencia al desgaste y la adhesión al asfalto.

Diseño Estructural

El diseño estructural del pavimento debe considerar factores como el volumen y tipo de tráfico, las condiciones del suelo y el clima de la región. Las normas AASHTO,

complementadas por las especificaciones locales del MOP, proporcionan una guía detallada para el diseño de cada capa del pavimento. Es esencial realizar un análisis de las cargas vehiculares esperadas y utilizar modelos de diseño que garanticen una distribución adecuada de estas cargas a través de las diferentes capas del pavimento.

Control de Calidad y Construcción

La durabilidad del pavimento también depende de un control de calidad riguroso durante su construcción. Las normativas ecuatorianas establecen procedimientos de ensayo y verificación para asegurar que los materiales y técnicas de construcción cumplan con los estándares requeridos. Es crucial llevar a cabo pruebas de compactación, resistencia y calidad de los materiales in situ y en laboratorio, siguiendo las metodologías establecidas por el MOP y AASHTO.

Mantenimiento y Rehabilitación

El mantenimiento periódico y la rehabilitación oportuna son esenciales para prolongar la vida útil del pavimento. Las normas locales recomiendan estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo, como sellado de fisuras, reparaciones superficiales y renovación de la capa de rodadura. La implementación de programas de mantenimiento basados en la evaluación continua del estado del pavimento ayuda a prevenir deterioros mayores y a mantener la infraestructura en condiciones óptimas.

Consideraciones Ambientales

El diseño y construcción de pavimentos en Ecuador deben también incorporar consideraciones ambientales para minimizar el impacto negativo en el entorno. Las normativas del MOP incluyen directrices para la gestión de residuos de construcción, el

uso de materiales reciclados y la mitigación de la contaminación durante el proceso constructivo. Estas prácticas no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también pueden mejorar la durabilidad del pavimento al promover el uso de materiales de alta calidad y técnicas constructivas eficientes.

8.4. Ensayo CBR y Resultados de La Investigación del Subsuelo

8.4.1. Cálculo del CBR (Capacidad portante del suelo)

Este ensayo (CBR) se utiliza para evaluar las características mecánicas del suelo, considerando su humedad y densidad. Los resultados obtenidos del CBR son esenciales para el diseño de pavimentos flexibles y el procedimiento se ajusta a las normativas de ASTM 1557. Para llevar a cabo el ensayo CBR, se extrajeron muestras in situ que luego fueron trasladadas al laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana para realizar el ensayo en cuestión y conocer más a detalle el suelo que se asienta en la vía de nuestro proyecto.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados, destacando la información clave derivada de este ensayo, fundamental para la toma de decisiones en el diseño y construcción del presente proyecto:

Tabla 35.

Resultados de los ensayos CBR (muestras del proyecto)

N muestra	Abscisa	Humedad natural	Humedad óptima (%)	Densidad Max seca (kg/cm³)	CBR (%)
1	0+075	7.24%	13.09%	2.14	44.00
2	0+350	3.39%	11.40%	2.16	66.00
3	0+600	19.29%	22.4%	1.85	16.00

Nota. Se muestra los valores de resultado del ensayo CBR realizado en el laboratorio. Elaborado por: Los Autores.

8.4.2. Cálculo del CBR de diseño

Para obtener un diseño óptimo del pavimento el Instituto Americano del Asfalto (MS-1) plantea un porcentaje representativo de 87.5% en base al tráfico de vehículos que transitan por la vía del proyecto, y con este valor se obtiene el Módulo Resiliente (M_R), otra característica importante del material al absorber energía sin deformarse de forma permanente.

Tabla 36.

Niveles de tráfico

Nivel de tráfico ESAL's	Valor de la Subrasante de Diseño
10.000 o menos	60
Entre 10.000 y 1'000.000	75
1'000.000 o más	87.5

Nota. Se detalla para el CBR los diferentes niveles de tráfico. Fuente: (AASHTO, 1993)

En la siguiente tabla se encuentra la clasificación de la Subrasante, Sub-base y Base en función del CBR (California Bering Ratio):

Tabla 37.

Clasificación de las capas del pavimento

C.B. R	Clasificación
0-5	Subrasante muy mala
5-10	Subrasante mala
10-20	Subrasante regular a buena
20-30	Subrasante muy buena

30-50	Sub-base buena
50-80	Base buena
80-100	Base muy buena

Nota. Se indican las diferentes capas de pavimento en base al CBR. Fuente: (Villalaz, 2004, p. 113)

Con los ensayos realizados a nuestras muestras representativas del suelo en el que se asentará nuestro proyecto, tenemos los siguientes cálculos:

Tabla 38.

Resultados del CBR con el porcentaje de percentil según la AASHTO 93

N muestra	Abscisa	CBR (%)	CBR ordenado (%)	Acumulado	% Acumulado	Percentil
1	0+075	44.00	66	66	52.38	
2	0+350	66.00	44	110	87.30	61
3	0+600	16.00	16	126	100.00	

Nota. Se presentan los resultados de CBR realizados en el laboratorio de la universidad. Elaborado por: Los Autores.

Con esto nos da como resultado un valor de CBR igual a 61%, correspondiente al suelo en donde se encuentra situada la vía de este proyecto.

Para este proyecto se calculó el Módulo resiliente en base al CBR de diseño obtenido anteriormente (61%) y se deduce que:

$$MR = 4326 \ln CBR + 241$$

$$MR = 18024.6 \text{ psi}$$

8.5. Diseño Estructural de la Vía

El diseño estructural de una vía en rehabilitación es un proceso fundamental para asegurar la durabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial. Este diseño requiere una evaluación exhaustiva de las condiciones existentes de la vía y la aplicación de normativas específicas que guíen las decisiones técnicas. En Ecuador, se utilizan las normas AASHTO 1993, complementadas con regulaciones locales, para llevar a cabo este proceso de manera efectiva.

La primera etapa en el diseño estructural de una vía en rehabilitación implica una evaluación detallada del estado actual de la carretera. Esto incluye la inspección visual y el análisis de las capas estructurales existentes, así como la identificación de daños y fallas. Con esta información, se pueden determinar las necesidades específicas de rehabilitación y las mejoras necesarias para prolongar la vida útil de la vía.

El método de diseño según AASHTO 1993 se basa en la teoría de la capa elástica múltiple y considera varios factores críticos, como las características del tráfico, las condiciones climáticas, las propiedades de los materiales y la confiabilidad requerida. La normativa proporciona una guía detallada para la selección y diseño de cada capa del pavimento, asegurando que se cumplan los requisitos de resistencia y durabilidad.

En el contexto ecuatoriano, se deben considerar además las normativas locales, como las especificaciones del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y otras regulaciones pertinentes. Estas normativas complementan las directrices de AASHTO y proporcionan parámetros específicos adaptados a las condiciones locales, como el tipo de suelo y las características geográficas de la región.

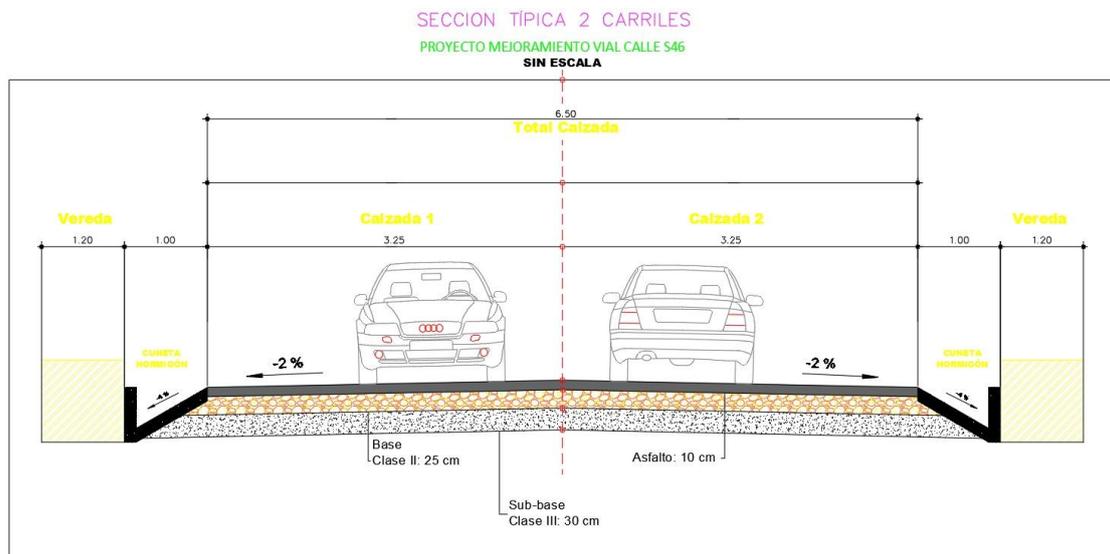
Uno de los aspectos esenciales en el diseño estructural es la elección de los materiales adecuados. Para la capa de rodadura, se suelen utilizar mezclas asfálticas

compuestas de materiales pétreos y productos asfálticos que aseguren una buena resistencia al desgaste y estabilidad. La selección de estos materiales debe realizarse conforme a las especificaciones técnicas establecidas, garantizando así un desempeño óptimo bajo las condiciones de tráfico y clima previstas.

Asimismo, el diseño debe considerar la confiabilidad y la capacidad de carga de la vía. La normativa AASHTO incluye tablas que especifican los niveles de confiabilidad recomendados para distintos tipos de caminos, lo que permite adaptar el diseño a las exigencias específicas del tráfico vehicular. Esto es crucial para asegurar que la vía rehabilitada pueda soportar las cargas previstas durante su vida útil sin comprometer su integridad estructural.

Figura 33.

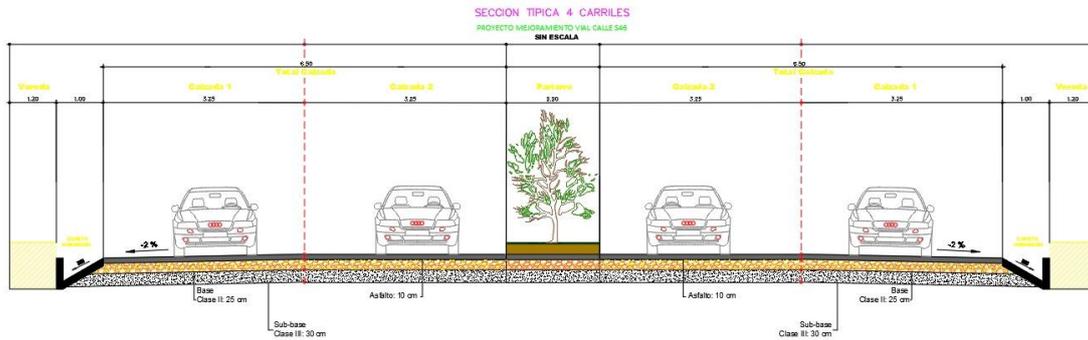
Diseño de estructura vial



Nota. Se indican el diseño de la vía especificado la estructura del primer tramo. Elaborado por: Los Autores mediante el software Civil 3D

Figura 34.

Diseño de estructura vial



Nota. Se indican el diseño de la vía especificado la estructura del primer tramo. Elaborado por: Los Autores mediante el software Civil 3D

8.6. Número estructural de la Sub-base (SN3)

La siguiente tabla clasifica la clase del agregado en función de los límites granulométricos del mismo:

Tabla 39.

Clasificación de agregados de la sub-base

Clase 1	Son subbases construidas con agregados obtenidos por trituración de roca o gravas, graduados uniformemente dentro de los límites de granulometría, por lo menos el 30% del agregado deberá realizarse por trituración.
Clase 2	Son subbases construidas con agregados obtenidos mediante la trituración o cribado en yacimientos de piedras o de gravas y graduados uniformemente dentro de los límites de la granulometría.
Clase 3	Son sub-base construidas con agregados naturales que se hallen graduados uniformemente dentro de los límites indicados de granulometría.

Nota: Se especifica los tipos de los agregados. Fuente: (MOP, 2002, pág. IV.38)

Con el valor de CBR (61%) obtenido con las muestras del suelo, se puede tomar como opción el no colocar la capa de sub-base, sin embargo, se debe tener en cuenta las propiedades que aporta la capa de Sub-base, además de su costo, pues se trata de un material más económico que la Base.

En la siguiente tabla se muestra la granulometría para cada clase de agregados a utilizarse.

Tabla 40.

Clases de agregados con su granulometría

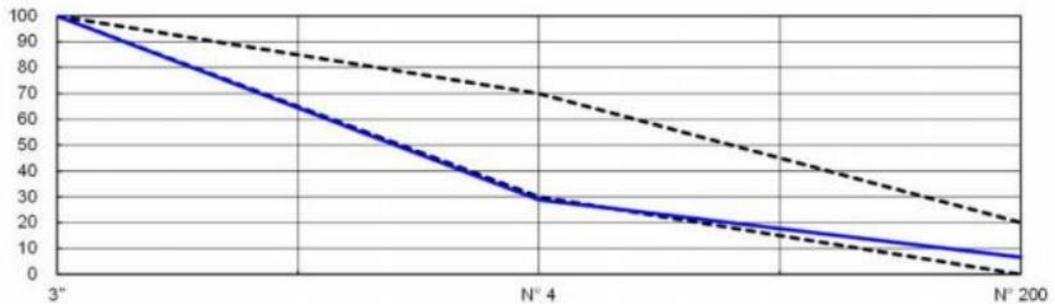
Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
3" (76.2 mm)	.....	.....	100
2" (50,4 mm)	.....	100	.....
1 1/2 (38,1 mm)	100	70 -100	.....
N.º 4 (4,75 mm)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
N.º 40 (0,425 mm)	10-35	15 - 40	.....
N.º 200 (0,075mm)	0 - 15	0 -20	0 - 20

Nota. Se muestra la granulometría de cada clase de agregados. Fuente: (MOP, 2002, pág. IV.39)

A continuación, se muestra la curva granulométrica y la faja del agregado que se utilizará en el proyecto, obtenida en la cantera Rancho la Paz.

Figura 35.

Faja granulométrica agregado Clase III



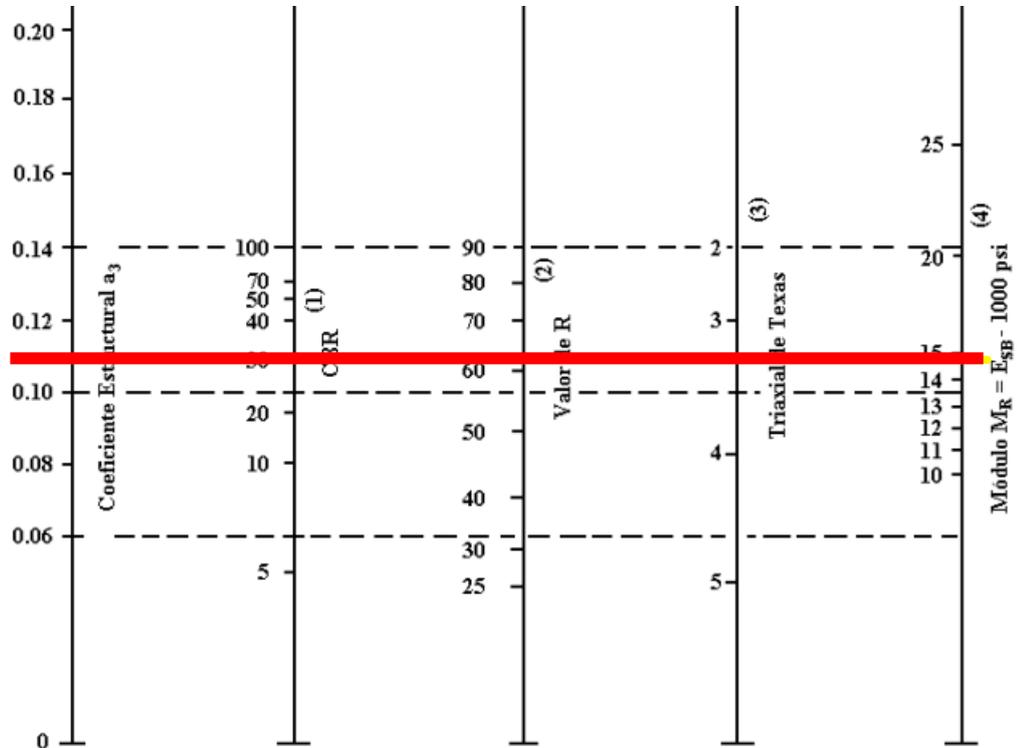
Nota. Se muestra la faja granulométrica del agregado para la Sub-base de la cantera Rancho la Paz. Fuente: (GAD CANTON MEJIA, 2019)

Los porcentajes de abrasión del material a utilizar de esta cantera nos da como resultado 45.93%, con lo cual se determina que es apto para construir la Sub-base del presente proyecto.

Para obtener el Módulo resiliente de la Sub-base para el proyecto, la AASHTO no muestra el siguiente ábaco.

Figura 36.

Ábaco para el coeficiente estructural a_3 y el Módulo resiliente del agregado para la Sub-base



Nota. Determinación del coeficiente a_3 y el Módulo resiliente para la capa Sub-base.
Fuente: (AASHTO, 1993)

Con esto tenemos que:

$CBR = 30\%$ (mínimo establecido por la norma)

$M_r = 14\ 500$ psi

$a_2 = 0.11$

8.6.1. Número estructural de la Base (SN2)

Para el diseño de la Base se tomaron las condiciones mínimas que establece la MOP 001 F 2002, para lo cual se escogió la clase 2 para la Base de agregados para el proyecto.

Tabla 41.

Porcentaje en peso de los tamices de la Clase 2 para la Base

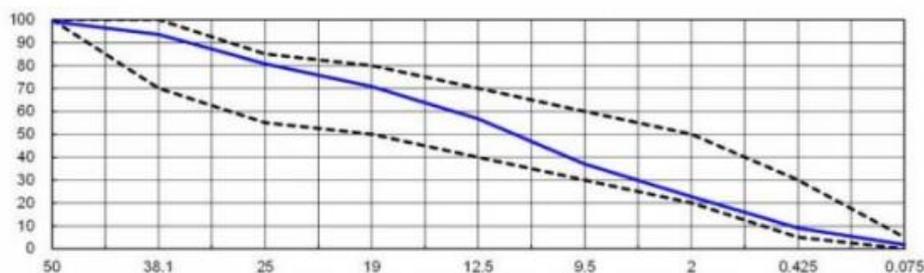
Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm)	100
3/4" (19.0 mm)	70 -100
3/8 (9,5 mm)	50 - 80
N.º 4 (4,76 mm)	35 -65
N.º 10 (2,00 mm)	25 - 50
N.º 40 (0,425 mm)	15 - 30
N.º 200 (0,075 mm)	3 -15

Nota. Se presenta la tabla Clase 2 en función de la granulometría. Fuente: (MOP, 2002, pág. IV.40)

Además, se indica la faja granulométrica de la Base Clase 2 establecida:

Figura 37.

Faja y curva granulométrica del agregado Base Clase 2

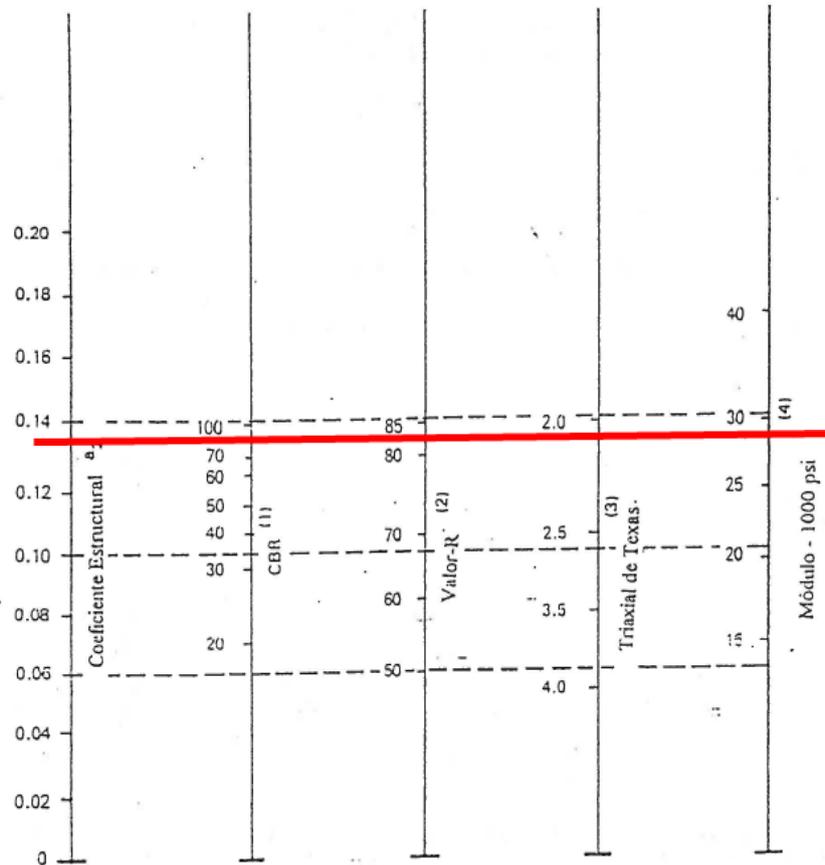


Nota. Se muestra la faja granulométrica del agregado para la Base de la cantera Rancho la Paz. Fuente: (GAD CANTON MEJIA, 2019)

A continuación, se procedió a calcular el Módulo Resiliente (M_r) y el coeficiente a_2 , de acuerdo con el ábaco establecido por la AASHTO 93:

Figura 38.

Ábaco para el coeficiente estructural a_2 y el Módulo resiliente del agregado para la Base



Nota. Determinación del coeficiente a_2 y el Módulo resiliente para la capa Base. Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 146)

Con esto tenemos que:

CBR = 80% (mínimo establecido por la norma)

$M_r = 28\ 000$ psi

$a_2 = 0.125$

8.6.2. Número estructural de la capa de rodadura

La normativa MOP 001 F 2002 incluye una tabla que relaciona la carpeta asfáltica con el volumen de tráfico de la vía y especifica sus principales características.

Tabla 42.

Características principales de la carpeta asfáltica

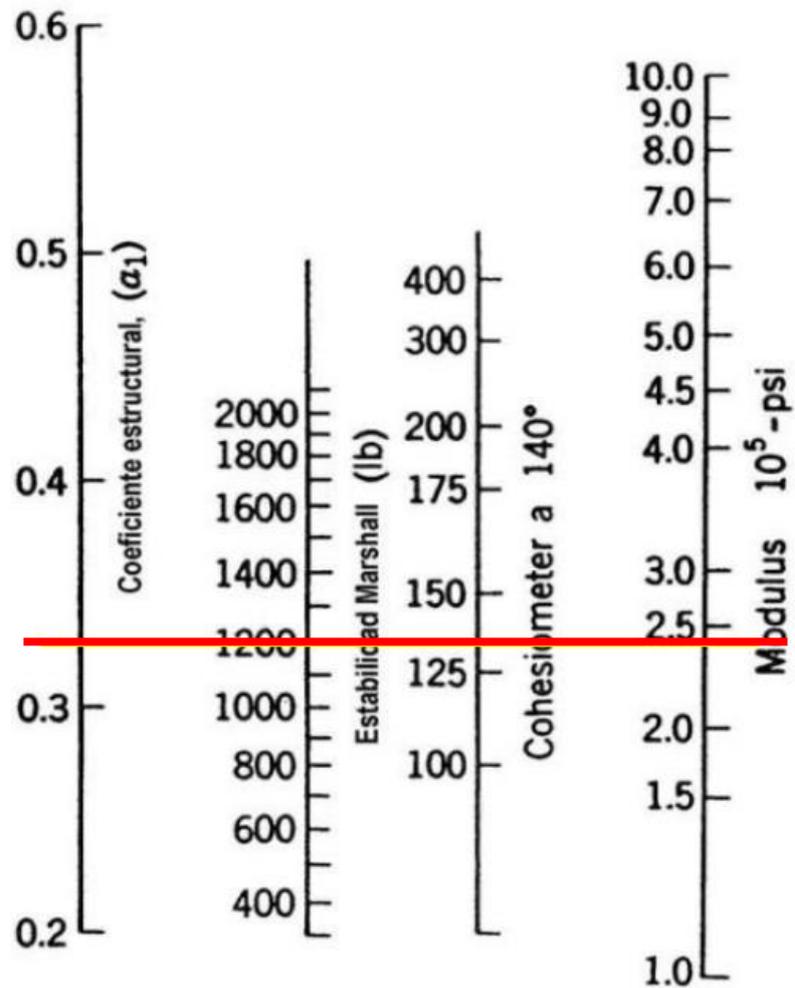
Tipo de tráfico	Muy pesados		Pesado		Medio		Liviano	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Criterios Marshall	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De golpes/ Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	.....	1800	.....	1200	.....	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
Capa de rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
Capa intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
Capa de base	3	9	3	9	3	9	3	9
% vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5 (MOP F001-2002)							
Relación Filler/ betún	0.8	12	0.8	12				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
Capa de rodadura	70	.....	70	.....			
Intermedia o base	60	.....	60	.....			

Nota. Criterios Marshall en función del tráfico vehicular. Elaborado por: Los Autores, 2024. Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 105)

Para este proyecto se consideró un tráfico medio, y tomamos los valores mínimos de los criterios de Marshall, que establecen una estabilidad de 1200 lb. Con este aspecto del material procedemos a determinar el coeficiente estructural a 1 del siguiente ábaco que nos brinda la norma AASHTO 93:

Figura 39.

Ábaco para el coeficiente estructural a_1 y el Módulo resiliente de la carpeta asfáltica



Nota. Determinación del coeficiente a_1 y el Módulo resiliente. Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 152)

Con esto tenemos que:

$M_r = 240\,000$ psi (Módulo resiliente)

$a_1 = 0.32$

8.6.3. Diseño del pavimento flexible (AASHTO 1993)

Para realizar el diseño del pavimento flexible o asfáltico utilizamos el método que indica la AASHTO 1993 el cual se basa en el número estructural, buscando aumentar la

resistencia del suelo aumentando las capas de la sub-base, base y la capa asfáltica que soportarán las cargas producidas por los vehículos que transitarán por la sección diseñada.

La siguiente fórmula que se encuentra en la AASHTO 93 pág. 19:

$$\log_{10}W_{18} = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.2 \quad (32)$$

$$+ \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1.094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}Mr - 8.07$$

Donde:

W18 = Número de ejes equivalentes, ESAL's

Zr = Desviación estándar normal

So = Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento de la estructura

ΔPSI = Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial de diseño, Po y el índice de serviciabilidad terminal de diseño, Pf

MR = Módulo de resiliente (psi)

SN = Número estructural indicativo del espesor total de pavimento requerido

W18 = Número de ejes equivalente o ESAL's

8.6.3.1. Resumen TPDA y Carga vehicular de diseño

El tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de vehículos, el cual representa el flujo para el cual se diseñó este proyecto en un periodo de tiempo por norma de 20 años, **Tabla 9**, y con el cual ha sido posible obtener la carga vehicular total de ejes equivalentes para el mismo tiempo de diseño, el cual se observa en la **Tabla 9**, dichos valores se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 43.*Resumen del Tráfico Promedio Diario Anual y Ejes equivalentes de diseño*

Periodo de diseño	Tiempo	TPDA diseño	Ejes equivalentes ESAL's
2023-2043	20 años	1393	1 047 835

Nota. Se detalla un resumen realizado de los tráficos promedios anuales. Elaborado por: Los Autores.

8.6.3.2. Confiabilidad de Diseño (R) y Desviación Estándar (Zr)

Es un parámetro que mide cómo los cambios climáticos y la carga vehicular afectan la vía. La normativa AASHTO proporciona una tabla que detalla el tipo de camino y la confiabilidad recomendada para cada caso.

Tabla 44.*Niveles de confiabilidad en función del tipo de carretera*

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada (R)	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Nota. Se detalla la tabla de confiabilidad en la zona urbana. Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 137)

Ya establecidos los parámetros en el Capítulo de Estudio de Tráfico como una carretera colectoras Clase II en función del conteo vehicular realizado, y conociendo también que la vía está ubicada en la zona urbana de la ciudad de Quito, se determinó el grado de confiabilidad $R = 85\%$, un valor que está dentro del rango que muestra la tabla.

Una vez obtenido la confiabilidad pasamos a determinar la desviación estándar de la siguiente tabla:

Tabla 45.

Desviación estándar normal en función de la confiabilidad (R)

Confiabilidad R, (%)	Desviación estándar normal (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Nota. Valores de desviación estándar (Zr). Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 196)

En base a la tabla tomamos un valor de desviación estándar $Z_r = -1.037$ para un grado de confiabilidad $R = 85\%$.

8.6.3.2.1. Desviación Estándar (So)

La desviación estándar combinada (So), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como, por ejemplo, construcción, medio ambiente,

incertidumbre del modelo. La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de S_o comprendidos entre 0.40 y 0.50. (Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos, 2013, p. 163)

En la misma norma AASHTO 1993 nos indica la siguiente tabla sobre los valores de desviación estándar:

Tabla 46.

Valores de diseño para la Desviación Estándar

Desviación Estándar (S_o) AASHTO 1993	
Pavimentos Rígidos	0.30-0.40
Pavimentos flexibles	0.40-0.50
Construcción nueva	0.45
Sobre capas	0.5

Nota. Desviación estándar total utilizada en el proyecto. Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 107)

En la tabla nos presenta un rango de valores para pavimentos flexibles que es nuestro caso de diseño, con lo cual escogimos un promedio de estos, que corresponde finalmente un valor de $S_o = 0.45$

8.6.3.2.2. Índice de serviciabilidad (Δ PSI)

El índice de serviciabilidad presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece. (Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos, 2013, p. 164)

La norma AASHTO 1993 establece en su manual de diseño estructural de pavimento:

- El índice de serviciabilidad inicial (Pi) es una estimación hecha por el usuario del PSI inmediatamente después de la construcción. (Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos, 2013, p. 23)

Tabla 47.

Índices de Serviciabilidad inicial

Índice de serviciabilidad inicial (Pi)	
Pavimentos flexibles	4.2
Pavimentos Rígidos	4.5

Nota. Se presenta los valores de serviciabilidad inicial para pavimento flexible. Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 23)

- El índice de serviciabilidad terminal o final (Pt) es el nivel más bajo aceptable antes que el recapado o la reconstrucción lleguen a ser necesarios, para una clase particular de carretera. (Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos, 2013, p. 24)

Tabla 48.

Índices de Serviciabilidad final

Índice de serviciabilidad final (Pt)	
Carreteras principales	2.5-3.0
Carreteras con clasificación mejor	2
Carreteras relativamente menores, donde las condiciones económicas determinan qué gastos iniciales deben ser mantenidos bajos	1.5

Nota. Índice de serviciabilidad final para el presente proyecto. Elaborado por: Los Autores. Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 24)

Para este proyecto se escogieron para el Índice de serviciabilidad inicial (Pi) de 4.2, puesto que se desarrollará el diseño de pavimento flexible y el Índice de serviciabilidad final (Pt) de 2.

Posterior se determinó la variación de serviciabilidad (Δ PSI):

$$\Delta\text{PSI} = P_i - P_t \quad (33)$$

$$\Delta\text{PSI} = 4.20 - 2.00 = 2.20$$

8.6.4. Espesores de la estructura del pavimento

Para entender cómo funcionará el drenaje, es importante analizar las diferentes capas que influirán en el diseño de la estructura. Estos datos son cruciales especialmente para la base y la subbase no tratadas, ya que es más complicado gestionar el drenaje en la capa de asfalto.

También es fundamental calcular el porcentaje de tiempo durante el cual la estructura estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación. A continuación, se presenta la fórmula correspondiente:

$$\text{TH} = \frac{\text{Precipitaciones mensuales (invierno)} \cdot 100}{\text{Total de precipitaciones anuales}} \quad (34)$$

Para analizar las precipitaciones anuales se obtuvieron los datos del informe emitido por el INAMHI. Previo a esto se escogió la estación meteorológica más cercana a nuestro proyecto del siguiente mapa:

Tabla 49.*Precipitaciones anuales de la estación M003 Izobamba*

año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total /año	Promedio/mes
2001	144,8	168,2	226,3	133,6	102	38,2	36,1	12,4	91,4	7,9	119	192,6	1272,50	106,04
2002	94	93,4	201,4	248	132,7	69,7	26,5	11,8	22,9	129,6	185	243,6	1458,60	121,55
2003	144,7	104,4	111,5	183,7	118	117,8	7,9	32,2	101,3	153,2	200,1	110,5	1385,30	115,44
2004	58,9	66,1	74,8	150,4	147,4	24,3	28,6	3,1	98,7	136,3	152,7	187,7	1129,00	94,08
2005	33,3	201,4	210,2	115,7	100,1	66,8	50,6	53,9	84,1	83,7	105,8	159,4	1265,00	105,42
2006	93,3	188,8	167,5	262	76,3	92,2	13,1	23,6	51,6	76,5	245,9	174,6	1465,40	122,12
2007	171,3	55,1	229,9	264,3	243,6	59,7	62,6	34,8	16,4	201,9	326,2	117,8	1783,60	148,63
2008	246,6	275,5	263,5	257	216,4	111,5	28,5	96,7	103,1	199,5	108	126	2032,30	169,36
2009	295,4	186,6	262,4	189,9	102,8	48,2	7,1	29	9,7	86,4	88,8	209,9	1516,20	126,35
2010	45,6	103,7	114,2	289,2	149,2	100,4	196,2	52,5	79,5	89,7	249,4	304,8	1774,40	147,87
2011	138,3	193,3	143,7	262,4	92,8	61,4	69,4	76,7	56,9	197,6	30,4	164,9	1487,80	123,98
2012	254,3	227,3	197,4	219,3	64,9	10,6	19,8	20	20,5	167	169	30,5	1400,60	116,72
2013	43,7	230,5	128,1	101,9	239	9,8	8,3	43,5	38,9	191,5	45,9	79,6	1160,70	96,73
2014	177,9	135,4	242,3	141,6	186,9	43,3	12,5	49,9	78,5	132,1	112,8	79,8	1393,00	116,08
2015	94,9	78,9	233,3	152,2	102,4	10,6	30	6,6	21,4	118,2	193,4	49,7	1091,60	90,97
2016	166,6	103,7	185,2	318,7	131,4	44,3	18,4	10,6	82	110,9	28,9	193,3	1394,00	116,17
2017	171,3	170,6	331,1	163,5	227,7	149,7	5,1	42,1	53,8	113	124,4	170,4	1722,70	143,56
2018	84,9	181,3	217,4	176,1	191,5	30,2	12	23,9	45,4	89,1	253,1	44,7	1349,60	112,47
2019	105,5	212	235,1	155,4	103,6	62,5	24,9	0	84	168	194,8	132,3	1478,10	123,18
Promedio	134,28	162,48	205,41	198,50	151,44	67,78	33,72	33,13	69,76	124,10	150,09	144,68	1475,38	122,95

Nota. Se presenta el total de precipitación anual de la estación M003. Elaborado por: Los Autores mediante informe de (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2009)

Con esto se tiene que la suma de los meses en los que ocurre la época de invierno:

Tabla 50.

Valores de Precipitación en los meses de invierno

Meses (invierno)	Promedio Precipitación
Diciembre	144.68
Enero	134.28
Febrero	162.48
Marzo	205.41
Total	646.85

Nota. Se presentan los valores utilizados para la precipitación de cada mes de invierno, Elaborado por: Los autores.

Con esto, se obtuvo el porcentaje de tiempo en que la estructura está expuesta a lo largo de todo el tiempo de los años para los que se obtuvo la información:

$$TH = \frac{646.85 \cdot 100}{1475.38} = 43.84 \%$$

8.7. Elección Espesores De Diseño

Para obtener los espesores de diseño, debemos obtener antes los coeficientes estructurales, previo a esto debemos encontrar los porcentajes de tiempo de la estructura expuesta a niveles próximos a la saturación.

Para esto la AASHTO 93 nos brinda la siguiente tabla:

Tabla 51.

Porcentaje de tiempo con la estructura expuesta a niveles de humedad

Calidad del drenaje	% de tiempo con la estructura expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.5	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.9
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.8
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.7

Nota. La calidad de drenaje para las capas a diseñar. Elaborado: Los Autores Fuente: (AASHTO, 1993)

En función a la tabla anterior, tomando en cuenta una calidad de drenaje Buena y con él % antes obtenido (TH), se determinó el coeficiente (m2) de drenaje para la Base $m_2 = 1.00$ y el coeficiente (m3) para la Sub-base $m_3 = 0.9$

8.7.1. Determinación del Número Estructural

Para obtener el número estructural de la capa Base para nuestro proyecto, nos apoyamos en el software de la AASHTO 1993, el cual se basa en las ecuaciones de la propia normativa e insertando los valores necesarios, nos puede aportar con el valor requerido para seguir con el diseño del pavimento.

A continuación, se muestra el software mencionado:

Figura 41.

Número estructural de la subrasante

The screenshot shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93". It is divided into several sections for data entry:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for "Pavimento flexible" (selected) and "Pavimento rígido".
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing "Reliability (R)" and an empty text box for "So".
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for "PSI inicial" and "PSI final", both empty.
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for "Mr" followed by "psi", which is empty.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four text boxes for "Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)", "Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)", "Coeficiente de transmisión de carga - (J)", and "Coeficiente de drenaje - (Cd)", all empty.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for "Calcular SN" (selected) and "Calcular W18". Next to "Calcular SN" is a text box containing "W18 =" followed by an empty input field.
- Número Estructural:** A text box containing "SN =" followed by an empty input field.
- Buttons:** "Calcular" and "Salir" buttons at the bottom.

Nota. Valor obtenido del suelo natural (subrasante) a través del programa ecuaciones de la AASHTO 93. Elaborado por: Los Autores mediante AASHTO 93.

Para obtener el Número estructural, el programa requiere de los siguientes factores:

- **Tipo de Pavimento**

En el caso de este proyecto se escogió Pavimento flexible

- **Desviación estándar normal (Zr) y la confiabilidad (R)**

El valor tomado para la confiabilidad se encuentra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (85%) y para la desviación estándar se tomó el valor de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (-1.037)

- **Serviciabilidad inicial (Pi) y final (Pt)**

El valor de la serviciabilidad inicial se encuentra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (4.2) y el valor de serviciabilidad final en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (2.0)

- **Desviación estándar total (So)**

El valor tomado se encuentra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (0.45)

- **Módulo resiliente de la subrasante (Mr)**

En función de los estudios de suelos en laboratorio, y en base al ensayo CBR obtenido se obtuvo un valor de 2033.34 psi

- **Total, de ejes Equivalentes**

El valor obtenido de tráfico en ejes equivalentes para el periodo de diseño se encuentra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (1 047 835)

Con esto se procedió a ingresar en el software los datos y calcular el valor del Número estructural:

Figura 42.

Número estructural de la subrasante

Ecuación AASHTO 93	
Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> 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	Módulo resiliente de la subrasante Mr 024.64034 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 <input checked="" type="radio"/> Calcular SN W18 = 1047835 <input type="radio"/> Calcular W18	Número Estructural SN = 2.36
Calcular	Salir

Nota. Valor obtenido del suelo natural (subrasante) a través del programa ecuaciones de la AASHTO 93. Elaborado por: Los Autores mediante la AASHTO 93

Como resultado tenemos que, el valor del número estructural es de 2.36 de la Subrasante, es decir este valor es el mínimo Número estructural requerido.

8.7.2. Elección de los espesores finales

En función del número estructural obtenido, se puede realizar el cálculo de las capas del pavimento flexible. Para esto ocupamos la siguiente ecuación.

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \quad (35)$$

La fórmula para determinar los espesores.

$$D_i = \frac{SN_i}{a_i \cdot m_i} \quad (36)$$

Donde:

SN = Número estructural

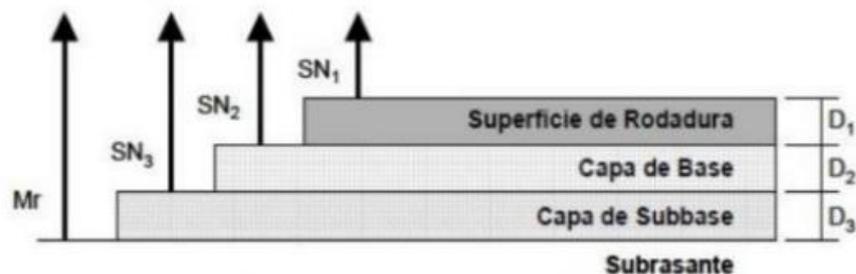
a1, a2, a3 = Coeficientes estructurales

D1, D2, D3 = Espesores de capa (plg)

m2, m3 = coeficientes de drenaje

Figura 43.

Representación de las capas que conforma la estructura vial



Nota. Se indica la representación de capas de una estructura vial. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003)

Con el uso del mismo software, a continuación, se obtuvieron los Números estructurales de las capas que conforman la estructura del pavimento.

8.7.2.1. Cálculo del espesor de la carpeta asfáltica

Para la obtención de los espesores se inició calculando el número estructural con ayuda del software Ecuación AASHTO 93 y en base a los parámetros antes mencionados, como la confiabilidad, la desviación estándar, la serviciabilidad, etc.

Figura 44

Número estructural de la capa de asfalto

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

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confianza (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing '85 % Zr=-1.037' and a text box for 'So' with the value '0.45'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2).
- Módulo resiliente de la subrasante:** Text box for 'Mr' (240000 psi).
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. A text box for 'W18' contains the value '1047835'.
- Número Estructural:** A text box for 'SN' contains the value '0.76'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons are located at the bottom.

Nota. Valor obtenido del suelo natural (subrasante). Elaborado por: Los Autores a través del programa ecuaciones de la AASHTO 93.

Teniendo:

$$SN1 = 0.76$$

$$a1 = 0.32$$

Si:

$$SN1 = a1 \cdot m1$$

Entonces:

$$D1 = \frac{SN1}{a1}$$

$$D1 = \frac{0.76}{0.32}$$

$$D1 = 2.83 \text{ plg} = 6.03 \text{ cm}$$

Con esto debemos redondear a valores constructivos:

$$D1 = 6.5 \text{ cm} = 2.56 \text{ pulg}$$

Como este valor es inferior al valor mínimo referencial de la AASHTO, para este proyecto se tomará un valor de 3 plg (Mínimo para la capa asfáltica) que indica la norma AASHTO 93.

8.7.2.2. Cálculo del espesor de la Base

Para el cálculo de la Base el proceso es similar al anterior, con la diferencia de que para esta capa se utiliza otro valor de Módulo resiliente.

Figura 45.

Número estructural de la Base

Ecuación AASHTO 93	
Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido	Confianza (R) y Desviación estándar (So) 85 % Zr=-1.037 So = 0.45
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial 4.2 PSI final 2	Módulo resiliente de la subrasante Mr 28000 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 <input checked="" type="radio"/> Calcular SN W18 = 1047835 <input type="radio"/> Calcular W18	Número Estructural SN = 2.00
Calcular	Salir

Nota. Valor obtenido de la Base a través del programa ecuaciones de la AASHTO 93. Elaborado por: Los Autores mediante el software AASHTO 93.

Teniendo:

$$SN2 = 2.00$$

$$a2 = 0.125$$

$$m2 = 1$$

Si:

$$SN2 = a2 \cdot m2 \cdot D2$$

Entonces:

$$D2 = \frac{SN2 - SN1}{a2 \cdot m2}$$

$$D2 = \frac{2 - 0.76}{0.125 \cdot 1}$$

$$D2 = 9.92 \text{ plg} = 25.20 \text{ cm}$$

Con esto debemos redondear a valores constructivos:

$$D2 = 25 \text{ cm} = 9.84 \text{ pulg}$$

Este valor cumple con el mínimo que establece la norma AASHTO 93 (6 plg) por ello se toma este valor de diseño para la capa Base del proyecto.

8.7.2.3. Cálculo del espesor de la Sub-base

Para la capa de Sub-base de igual manera se trata de otro Módulo resiliente, el cual se obtuvo del ábaco antes mencionado.

Figura 46.

Número estructural de la sub-base

Nota. Valor obtenido de la Sub-base a través del programa ecuaciones de la AASHTO 93.
Elaborado por: Los Autores mediante la AASHTO 93.

Teniendo:

$$SN3 = 2.55$$

$$a3 = 0.11$$

$$m3 = 0.9$$

Si:

$$SN3 = a3 \cdot m3 \cdot D3$$

Entonces:

$$D3 = \frac{SN3 - SN2}{a3 \cdot m3}$$

$$D3 = \frac{2.55 - 2.00}{0.11 \cdot 0.9}$$

$$D3 = 5.56 \text{ plg} = 14.11 \text{ cm}$$

Con esto debemos redondear a valores constructivos:

$$D3 = 15 \text{ cm} = 5.91 \text{ pulg}$$

Con los valores obtenidos de los espesores de las capas a utilizar, se obtuvo con la siguiente tabla, el número estructural de diseño.

Tabla 52.

Cálculo del número estructural de diseño

Capa	Espesor calculado				
	plg	cm	a	m	SN
Carpeta asfáltica	3.00	7.62	0.32		0.96
Base	9.84	25.00	0.125	1	1.23
Sub-base	5.91	15.00	0.11	0.9	0.58
SN diseño =					2.77

Nota. Valor obtenido de número estructural de diseño. Elaborado por: Los Autores

Con el valor del número estructural obtenido y en base al número estructural requerido podemos comenzar a diseñar, puesto que:

$$\text{SN diseño} > \text{SN requerido}$$

A continuación, se presentan los valores de diseño de las capas que conforman la estructura del pavimento.

Tabla 53.

Espesores de las capas

Capa	Espesor calculado		Espesor asumido	
	plg	cm	cm	plg
Carpeta asfáltica	3.00	7.62	10	3.94
Base	9.84	25.0	25	9.84
Sub-base	5.91	15.0	30	11.81

Nota. Valores de los espesores en medidas constructivas. Elaborado por: Los autores

Figura 47.

Espesores de diseño

Espesores del pavimento flexible

	(plg)	(cm)
Carpeta asfáltica	3.94	10.0
Base Clase 2	9.84	25.0
Sub-base Clase 3	11.81	30.0

Nota. Se presenta los valores constructivos de los espesores. Elaborado por: Los Autores.

CAPÍTULO IX

DISEÑO HIDRÁULICO

9.1. Alcance

En esta parte se describe y se diseñara un sistema de drenaje vial para toda el agua que pasa a lo largo en la parte superficial y costados, debemos conocer que la vía tiene diferentes pendientes superiores adyacentes para la vida útil de la estructura y así tenga mayor duración, entonces se debe canalizar y parte importante es evacuar mediante una estructura de acondicionamiento de manera en que no cause daños en la carretera o tenga algunas afectaciones superficiales y de descarga.

9.2. Información Básica

Para el desarrollo del drenaje vial se deben realizar diferentes parámetros:

9.2.1. Cartografía y topografía

Para obtener un buen diseño de drenaje vial es muy importante la cartografía y la topografía. Para el diseño y para las áreas de aportación de cunetas se recomienda la topografía en escala 1:1000, para trazados de aportación para alcantarillas se recomienda una escala 1:50000. Esta información la cual tiene una gran parte de proyecto vial fue sacada de la Carta Básica Nacional del IGM.

9.2.2. Hidrografía

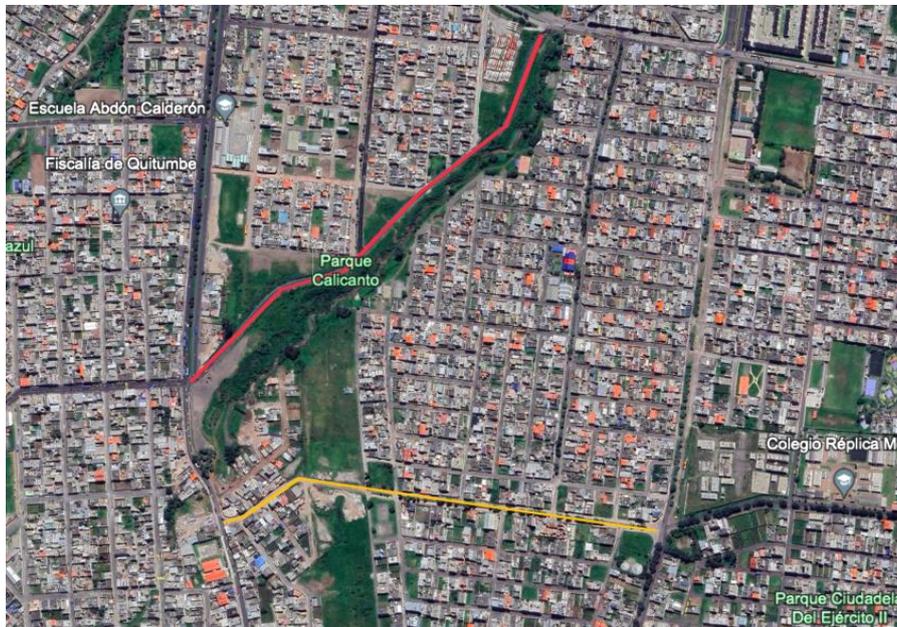
En el área de influencia en la vía se presenta que cerca de pocos kilómetros del proyecto se encuentra la “Quebrada Shanshayacu” de un tramo de 1600 metros y comprende que son 6.4 hectáreas, donde es depositado todas las aguas provenientes de lluvias de la vía S46. Las máximas precipitaciones son más concurrentes en el sur de

Quito y se van decreciendo al norte y las máximas intensidades se encuentran alrededor de 43 mm en media hora, y un estimado de lluvia es de 172 días al año.

En el sistema hidrográfico se conforma de ríos de montaña provenientes del río Guayllabamba, nacidas de las estribaciones del volcán Atacazo, Rucu, Cotopaxi, Ilinizas, Guagua Pichincha, Sincholagua. La quebrada Shanshayacu proviene del volcán Atacozo.

Figura 48.

Hidrografía del proyecto



Nota. Se señala la ubicación de la quebrada Shanshayacu y del proyecto. Elaborado por: Los Autores mediante el software Google Earth Pro.

9.2.3. información Hidrometeorológica

Para poder encontrar la escorrentía actual en el área de estudio provenientes de las precipitaciones pluviales. Para el análisis pluviométricas de la región afectada por el proyecto fluvial proviene de los antecedentes básicos y de información que proviene del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017)

Se debe determinar las diferentes intensidades de precipitación relacionadas con la frecuencia y duración, debemos tener en cuenta que el INAMIH las publicaciones que realiza son periódicas y son análisis estadísticos de las intensidades para ser calculadas como las ecuaciones pluviométricas, la intensidad frecuencia – duración. (Normas de diseño de carreteras MOP, 2003)

La microcuenca de esta quebrada está ubicada en la parroquia Guamaní lo que es la parte alta, La Ecuatoriana, Quitumbe donde desemboca al ala quebrada El Capulí.

Tabla 54.

Microcuencas de la Quebrada Shanshayacu

Quebrada	Microcuenca	Subcuenca	Cuenca
Las Cuadras			
Chapiseta de Pasacucho			
Aliso			
Ortega			
Calicanto	Q. Shanshayacu	Rio Machángara	Rio Guayllabamba
San Jose Sur o Tillicucho			
Ayarmona			
Calipiedra			
de Monjas			

Nota. Se presenta las diferentes microcuencas existentes en el lugar donde está situado el proyecto. Elaborado por: Los Autores mediante el informe de (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017).

9.3. Análisis Climatológico

9.3.1. Características climáticas

Actualmente la caracterización climática es utilizada para la planificación del uso de la tierra y lo que es el ordenamiento territorial de cuencas, también nos permite el análisis de la respuesta que presenta una cuenca hidrográfica. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Pangua, 2018)

Se han realizado diferentes trabajos en esa quebrada con el fin de que la descarga del agua lluvias y servidas de los barrios Turubamba Bajo, Unión Popular y El comercio no puedan afectar lo que es la estabilidad del talud y ocasionen daños a las zonas aledañas. Esta quebrada está unida por la quebrada Ortega y el Carmen y finalmente desemboca al río Machángara.

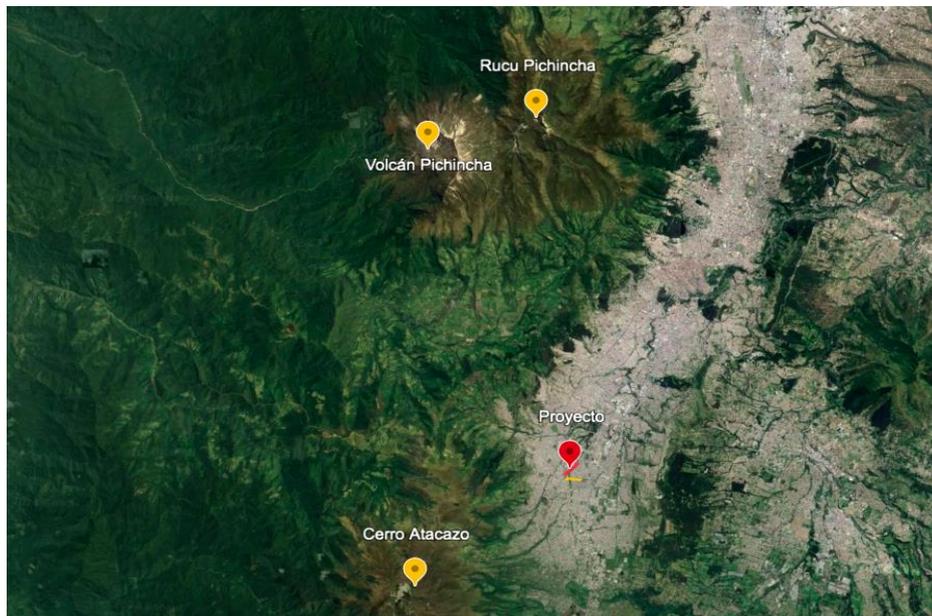
Esta zona posee un clima mesotérmico semihúmedo, el cual es caracterizado por sus precipitaciones anuales de 500 a 2000 mm, su temperatura varía de 12 a 20° C también posee en este caso dos estaciones de lluvias que oscilan entre febrero a mayo y de octubre a noviembre.

9.3.2. Geomorfología

Esta quebrada tiene una morfología más suave y menos erosionado, esta cuenca contiene una fosa tectónica o un graben, también relleno con material volcanosedimentarios cuaternarios, en este momento se encuentra cubiertos con una capa fuerte de cangahua y ceniza volcánica reciente. El levantamiento que fue realizado tiene una relación con una falla geológica desde Tambillo hasta la Mitad del Mundo (Quito DMQ, 2015).

Figura 49.

Geomorfias del sur de Quito, cerca del proyecto.



Nota. Se ubicó los volcanes más cercanos al proyecto. Elaborado por: Los Autores mediante Google Earth Pro.

9.3.3. Geología Local

Esta quebrada forma parte del sistema hidrológico de la Subcuenca del Quito de la parte sur, en esta parte es importante la litología y estratigrafía ya que en esta parte lo que predomina es los materiales sedimentarios, rocas, volcansedimentos, depósitos aluviales y flujos.

9.4. Alcantarillas existentes

En el proyecto existe alcantarillado sanitario que permiten el paso del agua provenientes de las viviendas aledañas o de la misma vía. Son exactamente 5 pozos de alcantarillas sanitarias que están situadas a lo largo de la carretera y las cuales forman parte de la red de alcantarillado presente en el proyecto.

En la siguiente tabla se muestran las ubicaciones de las alcantarillas.

Tabla 55.

Ubicación de las Alcantarillas del Proyecto

Número	Abscisa	Tipo de Estructura
1		
2		
3		Pozos de alcantarillado Sanitario
4		
5		

Nota. Se detalla el abscisado donde se ubican las diferentes alcantarillas al largo del proyecto. Elaborado: Los Autores.

En la siguiente figura se detalla la ubicación de cada una de las alcantarillas situadas en el proyecto a desarrollarse.

Figura 50.

Ubicación de alcantarillas en el proyecto.



Nota. Detallado de la ubicación de las alcantarillas existentes. Los Autores mediante el software Google Earth Pro.

Se muestra de forma fotográfica la ubicación de las alcantarillas en la vía a continuación:

Figura 51.

Ubicación 1 Alcantarilla.



Nota: Se presenta la fotografía de la primera alcantarilla del proyecto. Elaborado: Los Autores.

Figura 52.

Ubicación 2 Alcantarilla.



Nota: Se presenta la fotografía de la primera alcantarilla del proyecto. Elaborado: Los Autores.

Figura 53.

Ubicación 3 Alcantarilla.



Nota: Se presenta la fotografía de la primera alcantarilla del proyecto. Elaborado: Los Autores.

Figura 54.

Ubicación 4 Alcantarilla.



Nota: Se presenta la fotografía de la primera alcantarilla del proyecto. Elaborado: Los Autores.

Figura 55.

Ubicación 5 Alcantarilla.



Nota: Se presenta la fotografía de la primera alcantarilla del proyecto. Elaborado: Los Autores.

9.5. Cálculo de los parámetros de diseño

9.5.1. Período de retorno

El periodo de retorno es “El número de años que en promedio se presenta un evento determinado de igual o mayor intensidad se llama periodo de retorno, intervalo de recurrencia o simplemente frecuencia” (INAMHI, 2015, p. 8).

Este factor es importante en el diseño pues nos brinda una probabilidad de ocurrencia de un evento natural, basándose en la vida útil del proyecto, la seguridad, y el ámbito económico. A continuación, se presenta la siguiente fórmula:

$$TR = \frac{1}{1 - (1 - k)^{\frac{1}{n}}} \quad (37)$$

Donde:

TR = Período de retorno (años)

k = Riesgo asumido en función del período de retorno

n = Vida útil del proyecto (años)

En la siguiente tabla se muestran los períodos de retorno que brinda la normativa NEVI 12:

Tabla 56.

Factores de Influencia

Tipo de obra	Tipo de vía	Periodo de retorno (T, años)		Vida útil supuesta (n, años)	Riesgo de falla (%)	
		Diseño	Verificación		Diseño	Verificación
Puentes y viaductos	Carreteras	200	300	50	22	15
	Camino	100	150	50	40	28
Alcantarillas (S>2 m2) o H terraplén ≥ 10m y estructuras enterradas	Carreteras	100	150	50	40	28
	Camino	50	100	30	45	26
Alcantarillas S<2 m2	Carreteras	50	100	50	64	40
	Camino	25	50	30	71	45
Drenaje de la plataforma	Carreteras	10	25	10	65	34
	Camino	5	10	5	67	41
Defensas de riberas	Carreteras	100	-	20	18	-
	Camino	100	-	20	18	-

Nota. Se presenta los factores influyentes en función del tipo de obra. Fuente: (NEVI-12-MTOP, 2013)

9.5.2. Tiempo de concentración

Se define como “la duración de la tormenta es el tiempo que transcurre desde que inicia la precipitación hasta que ésta cesa. Se considera a la duración de la lluvia de diseño igual al tiempo de concentración del área en estudio” (INAMHI, 2015, p. 8).

Este factor es de gran importancia para el diseño, pues con él se podrá conocer el caudal máximo necesario para el diseño hidráulico de la vía. La ecuación de Kirpich nos ayudará a obtener este valor mediante la siguiente ecuación:

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385} \quad (38)$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del área de drenaje (m)

ΔH = Diferencia de la elevación superior e inferior (m)

9.5.3. Intensidad de precipitación

Este parámetro se utiliza dependiendo de la zona geográfica y el número de años en la que se va a diseñar el proyecto. Y así “Definimos a la intensidad como la cantidad de agua de lluvia que cae en un punto, por unidad de tiempo y ésta es inversamente proporcional a la duración de la tormenta” (INAMHI, 2015, p. 8).

Para este proyecto se utilizaron los valores de los parámetros de lluvias intensas de la estación meteorológica M003 llamada Izobamba correspondientes al año 2015.

Dicha estación se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas:

Tabla 57.

Intensidad de precipitación

Estación	Cuenca	Este	Norte
M003 Izobamba	Río de Esmeraldas	772119	9959514

Nota. Se presenta las coordenadas de la estación M003 Izobamba. Elaborado por: Los Autores.

Esta estación cuenta con las siguientes ecuaciones de intensidades en función del intervalo de tiempo.

Tabla 58.

Ecuaciones de intensidades

Zona	Código	Nombre estación	Intervalos de tiempo (minutos)	Ecuaciones	R	R ²
				$i=164.212*T^{0.1650}*t^{-}$		
			5<30	0.4326	0,9825	0,9652
2	M0003	Izobamba	30<120	$i=371.072*T^{0.1575}*t^{-}$ 0.6771	0,9947	0,9895
			120<1440	$i=929.503*T^{0.1614}*t^{-}$ 0.8773	0,9990	0,9981

Nota: Se presentan los valores de R y R². Elaborado por: Los Autores.

Donde:

ITR: Intensidad de precipitación (mm/hora)

IdTR: Intensidad de lluvia máxima para una duración de tormenta de 24 horas con periodo de retorno asociado (mm/hora).

Tc o t: Duración de intensidad, igual al denominado tiempo de concentración (min)

Tr: Periodo de retorno (años).

Tabla 59.*Periodo de Retorno Tr*

T (min)	Periodo de Retorno Tr (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	91,8	106,7	119,7	139,2	156,1	175,0
10	68,0	79,1	88,7	103,1	115,6	129,7
15	57,1	66,4	74,4	86,6	97,0	108,8
20	50,4	58,6	65,7	76,4	85,7	96,1
30	41,4	47,8	53,3	61,6	68,7	76,6
60	25,9	29,9	33,3	38,5	43,0	47,9
120	15,6	18,1	20,2	23,4	26,2	29,3
360	5,9	6,9	7,7	8,9	10,0	11,2
1440	1,8	2,0	2,3	2,6	3,0	3,3

Nota. Intensidad máxima en función del periodo de retorno y tiempo de duración.

Fuente: (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017)

Con la información obtenida de la tabla se procedió a calcular la intensidad de la lluvia utilizando la ecuación correspondiente a la estación M003 para una duración en el diseño de cunetas de 25 años y un tiempo de concentración de 10 minutos.

9.5.4. Coeficiente de Escorrentía

“Este coeficiente establece la relación que existe entre la cantidad total de lluvia que precipita y la que escurre superficialmente; su valor dependerá de varios factores: permeabilidad del suelo, morfología de la cuenca, pendiente longitudinales y cobertura vegetal” (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 298)

El coeficiente de escorrentía que se utilizará para este proyecto se lo obtuvo de la siguiente tabla en base a la topografía del terreno.

Tabla 60.*Coefficiente de Escorrentía C*

		Coefficiente De Escorrentía (C)				
Cobertura Vegetal	Tipo Suelo	Pendiente Del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		50%	20%	5%	1%	
Sin Vegetación	Impermeable	0,8	0,75	0,7	0,62	0,65
	Semipermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Permeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
Cultivos	Impermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Semipermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Permeable	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2
Pastos Vegetación Ligera	Impermeable	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45
	Semipermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Permeable	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15
Hierba, Grama	Impermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Semipermeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
	Permeable	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
Bosques Densa Vegetación	Impermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Semipermeable	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
	Permeable	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05

Nota. Se presenta los coeficientes de escorrentía para el diseño del proyecto. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 299)

En la siguiente tabla se muestran los valores de coeficiente de escorrentía en función de la superficie.

Tabla 61.

Coefficientes de Escorrentía para los tipos de terreno

Tipo de Terreno	Coefficiente de escorrentía
Pavimentos de adoquín	0,50 – 0,70
Pavimentos asfálticos	0,70 – 0,95
Pavimentos en concreto	0,80 – 0,95
Suelo arenoso con vegetación y pendiente 2% - 7%	0,15 – 0,20
Suelo arcilloso con pasto y pendiente 2% - 7%	0,25 – 0,65
Zonas de cultivo	0,20 – 0,40

Nota. Se presenta los valores de coeficiente de escorrentía. Fuente: (NEVI-12-MTOP, 2013)

El coeficiente de escorrentía escogido para este proyecto es de 0.75 debido a que se diseñará la vía con el tipo pavimento asfáltico.

9.5.5. Caudal de diseño

Es la cantidad de agua que pasará sobre la superficie de la vía en un tiempo determinado a causa de las precipitaciones, y para su diseño se utilizará el método racional, debido a que con esta técnica se puede realizar de forma óptima el diseño tanto de cunetas como del alcantarillado si lo es necesario.

9.5.6. Método Racional

Es un proceso en el que es crucial entender las características del terreno. Es fundamental tener en cuenta que las zonas que contribuyen no deben exceder los 25 km². A continuación se muestra la fórmula matemática siguiente

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} \quad (39)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de precipitación (mm/h)

A = Área de aportación (Ha)

9.5.7. Velocidad de flujo

Se refiere al flujo de agua que ocurre dentro de las estructuras de drenaje, causando desgaste en su superficie. Se empleará la fórmula de Manning que se indica a continuación.

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (40)$$

Donde:

V = Velocidad de flujo (m/s)

R = Radio hidráulico de la sección transversal (m)

S = Pendiente longitudinal

N = Coeficiente de Manning

9.5.8. Cunetas

Es una construcción de drenaje por la cual el agua fluye hacia una tubería de desagüe en una carretera, facilitando la evaluación de las precipitaciones durante el invierno. Se presenta la siguiente tabla para calcular el coeficiente de Manning, donde es crucial considerar el tipo de material utilizado en las cunetas.

Tabla 62.*Coefficiente de Manning*

Tipos De Cunetas	Coefficiente de Manning
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0.020 - 0.025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0.025 - 0.035
En tierra con ligera vegetación	0.035 - 0.045
En tierra con vegetación espesa	0.040 - 0.050
En tierra excavada mecánicamente	0.028 - 0.033
En roca, superficie uniforme y lisa	0.030 - 0.035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0.035 - 0.045
Cunetas y canales revestidos	
Hormigón	0.013 - 0.017
Hormigón revestido en gunita	0.016 - 0.022
Encachado	0.020 - 0.030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0.017 - 0.020
Paredes encachadas, fondo de grava	0.023 - 0.033
Revestimiento bituminoso	0.013 - 0.016

Nota. Coeficiente Manning. Fuente: Lemos, Drenaje Vial y subterráneo, 1999.
Elaborado por: Los Autores.

En la siguiente tabla se muestran valores de velocidades para el diseño de las cunetas.

Tabla 63.*Velocidades del material*

Material	Velocidad (m/s)	Material	Velocidad (m/s)
Arena fina	0.45	Pizarra suave	2
Arcilla arenosa	0.5	Grava gruesa	3.5
Arcilla ordinaria	0.85	Zampeado	3.4 - 4.5

Arcilla firme	1.25	Roca sana	4.5 - 7.5
Grava fina	2	Hormigón	4.5 - 7.5

Nota. Velocidad de diseño para las cunetas. Fuente. MOP, 2003. Elaborado por: Los Autores.

9.5.9. Alcantarillado

Para el presente proyecto se realizó el diseño de alcantarillado para un punto en específico (pendiente más baja), pues se estima que con el diseño de cunetas laterales son suficientes para mantener la vía transitable y pueden evacuar de forma óptima el caudal que se pueda producir, pero con el diseño de una alcantarilla se busca solventar la necesidad para el segundo tramo en donde existe más área de aportación.

9.6. Diseño de cuneta lateral

“El drenaje longitudinal comprende las obras de captación y defensa, cuya ubicación será necesario establecer, calculando el área hidráulica requerida, sección, longitud, pendiente y nivelación del fondo, y seleccionando el tipo de proyecto constructivo” (MOP, 2003, p. 254).

Cunetas triangulares

Las cunetas triangulares son una parte crucial de la infraestructura de drenaje en nuestra vía, situadas entre el borde de la carretera y el talud de corte para gestionar el agua de manera efectiva. En nuestro estudio vial, hemos elegido utilizar cunetas triangulares debido a las fuertes lluvias que caracterizan la región durante el invierno.

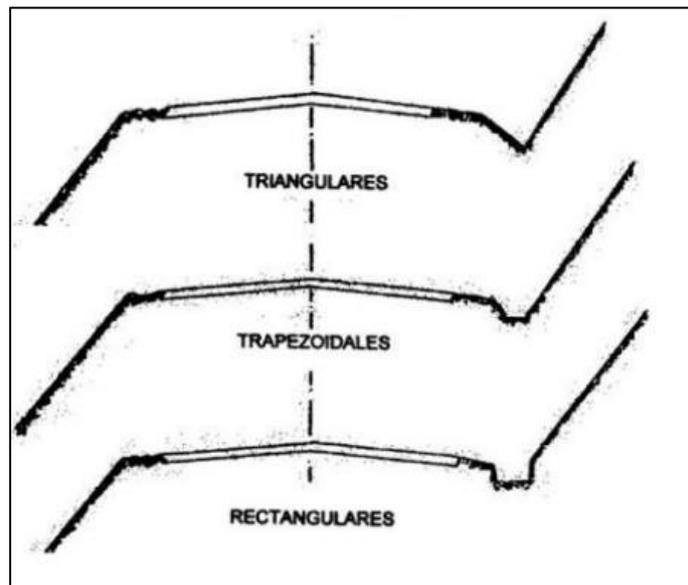
Esta elección se basa en su capacidad para permitir un drenaje eficiente del agua acumulada, ayudando a prevenir problemas como inundaciones y asegurando la durabilidad de la carretera. A continuación, presentamos una tabla detallada que describe

las consideraciones importantes sobre las cunetas triangulares, resaltando su papel esencial en la gestión adecuada de las aguas pluviales en nuestro proyecto vial.

A continuación, se muestra las formas de cunetas más utilizadas:

Figura 56.

Cunetas en la construcción.

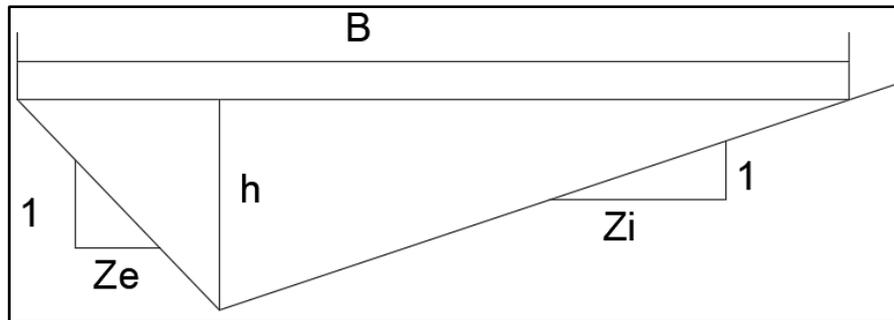


Nota. Se presenta las figuras de cunetas más usadas en la construcción. Fuente: (Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP, 2003, pág. 256)

Para solventar el drenaje de precipitaciones que ocurren en la zona del proyecto vial se tomó en cuenta el diseño de cunetas triangulares por aspectos importantes como su construcción y seguridad al ocurrir eventos con precipitaciones altas.

Figura 57.

Cuneta Triangular.



Nota. Se presenta los componentes de la cuneta triangular a utilizarse en el diseño.
Fuente: (Carrera Villamagua & Yuquilema Paucar, 2024)

Donde

h = Altura de la cuneta

Z_e = Talud del lado menor

Z_i = Talud del lado mayor

B = Espejo de agua

A continuación, se muestra las fórmulas necesarias para el cálculo de los componentes de la cuneta triangular:

Espejo de Agua (B):

$$B = (Z_i + Z_e) \cdot h$$

Área (A):

$$A = \frac{(Z_i + Z_e) \cdot h^2}{2}$$

Perímetro mojado (P):

$$P = \left(\sqrt{1 + Zi^2} + \sqrt{1 + Ze^2} \right) \cdot h$$

Radio Hidráulico (R):

$$R = \frac{A}{P}$$

Además, se debe cumplir la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{calculado}}$$

Los datos meteorológicos necesarios para calcular las crecidas incluyen las intensidades de lluvia para distintos periodos de retorno, teniendo en cuenta las duraciones correspondientes y la magnitud de los tiempos de concentración de cada subcuenca.

Los periodos de registro de datos meteorológicos no son uniformes, lo que complica la definición de un periodo común para análisis climatológicos espaciales basados en series existentes, especialmente porque muchas estaciones no han operado de manera regular. Los registros de datos no son continuos, con años incompletos y, en algunos casos, lagunas de varios meses o incluso años con datos faltantes.

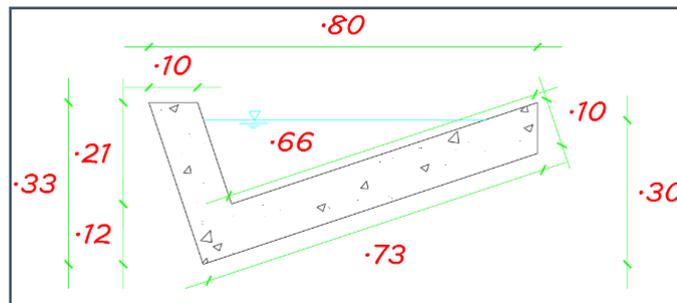
Las precipitaciones presentan una distribución espacial muy variable debido tanto a la orografía como a otros factores condicionantes. Generalmente, la temporada de lluvias comienza en octubre y se extiende hasta mayo, con una distribución bimodal y dos picos máximos en octubre y entre marzo y abril. El mes más lluvioso es marzo-abril, con valores promedio que varían entre 169.2 mm en Izobamba y 126.2 mm en Quito (INAMHI).

La temporada más seca abarca desde junio hasta septiembre, siendo julio el mes más seco, con valores promedio de precipitación entre 20.2 mm en Quito (INAMHI) y 27.0 mm en Quito Observatorio. Las precipitaciones mensuales y anuales más altas se

registran en la parte sur del distrito, disminuyendo hacia el norte, mientras que en el oeste las precipitaciones son mayores y disminuyen hacia el este.

Figura 58.

Detalle cuneta tipo.



Nota. Detalle de la cuneta con las dimensiones. Fuente: *Civil 3D*

Para iniciar con los cálculos tenemos que la intensidad horaria “I” a utilizarse es de 53.93 mm/h correspondiente a un período de retorno de 25 años y duración de 10 minutos. Además, el área de aportación que tendremos corresponde al ancho de la vía que es igual a una longitud de 6.5m, respecto a la sección típica de cuneta seleccionada.

Para el coeficiente de escurrimiento lo determinamos en base al material de revestimiento que en este caso es asfalto por ende tomando el promedio de los valores que indica la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** corresponde un valor de $C = 0.82$, también se toma el valor de escurrimiento del talud de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que corresponde a $C = 0.4$

Figura 59.

Precipitaciones máximas en 24 horas absolutas registradas en las estaciones.

Estación	Altitud	Precipitación máxima diaria absoluta observada - mm											
		En	Fe.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Izobamba	3.058	50,3	71	84,5	47,8	66,8	35,8	44	35,1	38,8	47	54,7	71,4
Iñaquito-INAMHI	2.789	40,4	60,3	44,4	60,2	54	56,8	37,1	71,6	55,1	61,6	44,6	52,9
Quito-Aeropuerto	2.794	45,1	60,8	76,2	59,0	61,8	46,1	26,4	29,4	45,6	65,5	51,6	60,9
La Chorrera	3.165	53	67,5	60,1	78	90,2	90,3	25,5	60	32	94	140	50

Nota. Se presenta los valores de precipitaciones máximas por mes de la estación M003 Izobamba. Fuente: (Caiza, 2012)

Para el diseño se recomienda una cuneta triangular con una lámina de agua de 0.21 m de profundidad y 0.70 m de ancho, construida con hormigón simple de 10 cm de espesor y una resistencia de $f'c=180 \text{ Kg/cm}^2$. Se colocarán las cunetas en una longitud del primer tramo hasta la abscisa 0+253 y a partir del segundo tramo hasta la abscisa 0+488.

Para evitar la erosión de las cunetas se deberá limitar la velocidad en la que pase el agua, a tal punto de no convertirse en un depósito de sedimentos. Con esto la velocidad mínima que se recomienda para el diseño es de 0.70 s/m, y la velocidad máxima admisible de 4.5 m/s indicado en la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..*

A continuación, se realiza un resumen de los parámetros utilizados para el diseño de la cuneta:

Tabla 64.

Parámetros para Cunetas

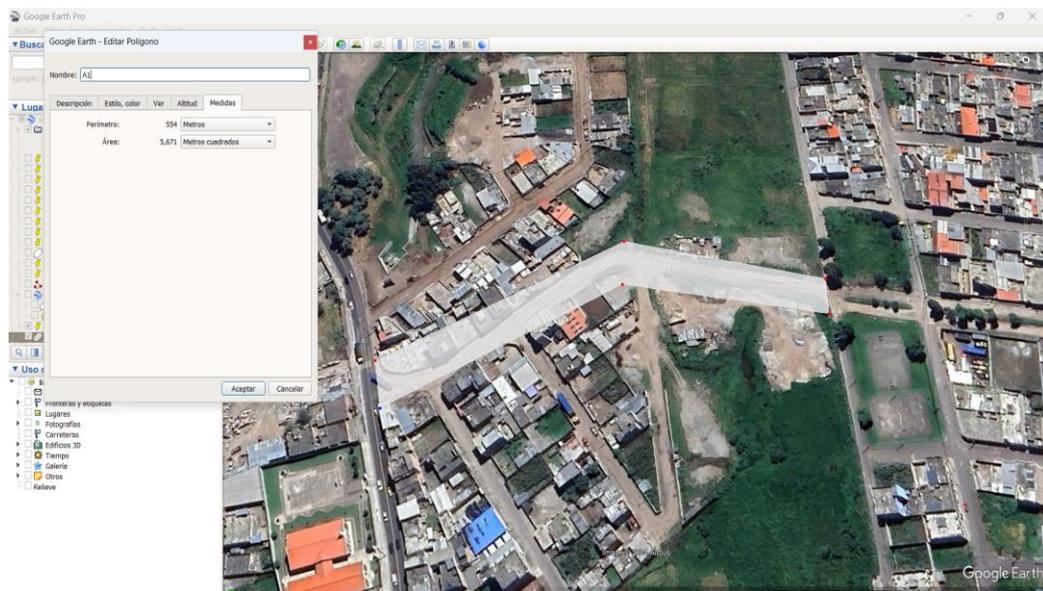
Datos	
n	0.015
So	2.00%

TR	25	años
ITR	53.93	mm/h
Ancho de vía	6.5	m
C vía	0.82	
zi	3.00	
ze	0.33	
H	21.00	cm
B	0.70	m
Área cuneta	0.073	m ²
Perímetro	0.885	m
Radio Hidráulico	0.083	m

Nota: Se presenta los diferentes parámetros que serán utilizados para el diseño de las cunetas. Elaborado por: Los Autores.

Figura 60.

Área de aportación de la vía.



Nota: Se detalla el área de aportaciones situadas en la vía. Fuente: Google Earth, 2024.

Con esto se tiene que:

$$A = 18.47 \text{ m}^2$$

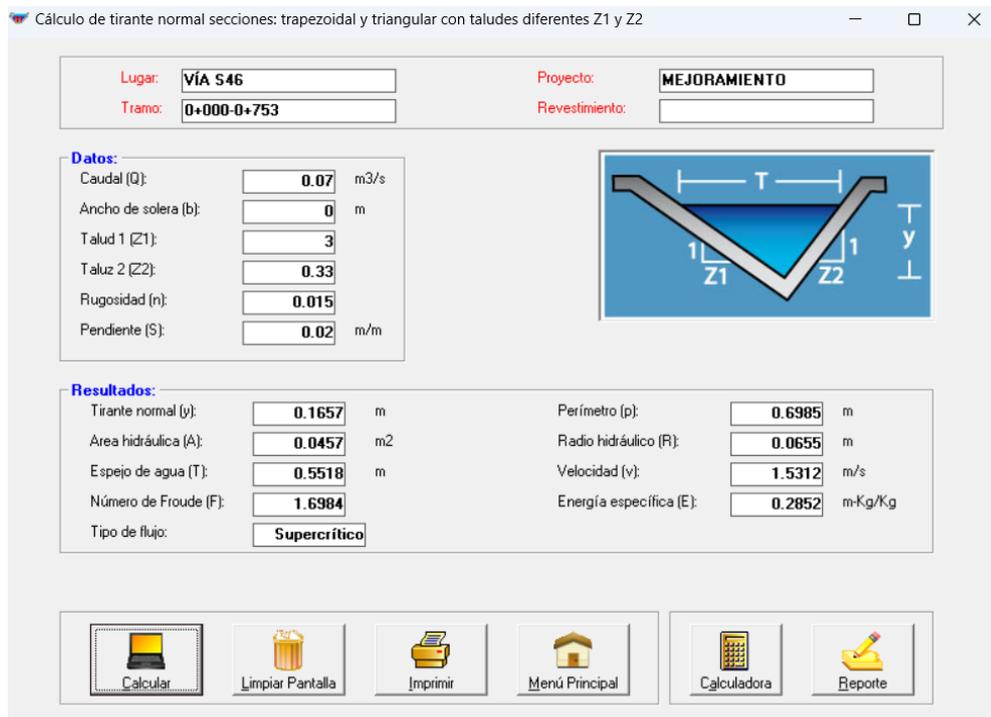
$$\text{Intensidad máxima} = 53.93 \text{ mm/h}$$

$$Q \text{ (caudal)} = 0.07 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con ayuda del software H canales se puede obtener las características de la cuneta tanto para el lado izquierdo como del lado derecho, ingresando los valores antes mencionados, obteniendo así los siguientes resultados:

Figura 61.

Características de la cuneta lateral.



Nota: Se presentan los valores de la cuneta lateral realizados mediante un Software.
Fuente: Software h Canales. Elaborado por: Los Autores.

Resultados obtenidos de la cuneta mediante HCANALES:

Tirante normal (y): 0.1657 m

Área hidráulica (A): 0.0457 m²

Perímetro mojado (p): 0.6985 m

Radio hidráulico (R): 0.0655 m

Espejo de agua (T): 0.5518 m

Velocidad (v): 1.5312 m/s

Energía específica(E): 0.2852 m-Kg/kg

Número de Froude (F): 1.6984

Tipo de flujo: Supercrítico

Cálculo para el alcantarillado en la cota 0+253

En este punto en específico se encuentra la pendiente más baja de la topografía, por ello se diseñó la siguiente alcantarilla capaz de receptor el agua que desemboque de las estructuras de drenaje longitudinal.

Figura 62.

Características de la alcantarilla transversal

Cálculo del tirante normal, sección circular

Lugar: Proyecto:
Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q): m³/s
Diámetro (d): m
Rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m

Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.3588"/> m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="1.0105"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1508"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1492"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.4502"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="3.3157"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.8291"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.9191"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

Calculadora Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora Reporte

Nota: Se presentan los valores de la cuneta lateral realizados mediante un Software.
Fuente: Software HCanales. Elaborado por: Los Autores.

Resultados:

Tirante normal (y): 0.3588 m

Área hidráulica (A): 0.1508 m²

Perímetro mojado (p): 1.0105 m

Radio hidráulico (R): 0.1492 m

Espejo de agua (T): 0.4502 m

Velocidad (v): 3.3157 m/s

Energía específica(E): 0.9191 m-Kg/Kg

Número de Froude (F): 1.8291

Tipo de flujo: Supercrítico

CAPÍTULO X

SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL

10.1. Alcance

Para el diseño de la señalización y la seguridad vial se debe tomar en cuenta la frecuencia de movilidad y a la velocidad que circulan los vehículos, además del ancho que contiene la vía, el tráfico, la correcta calidad del material y los mantenimientos que se vayan haciendo a la superficie y a la estructura.

10.2. Diseño de la Señalización vial en base a la normativa vigente

Hemos utilizado la normativa:

- Señalización Vertical –RTE–INEN-004-3
- Señalización Horizontal – RTE-INEN-004-2
- Pinturas de señalamiento de tráfico –RTE-INEN-004-1-042
- Señales de vías requisitos –RTE-INEN-004-3
- Reflectividad en materiales –ASTM D4956
- Demarcadores reflectivos –RTE-INEN-2-282

Los cuales nos permite colocar las señales correspondientes para información y prevención.

10.3. Señalización vertical

La señalización vertical es importante ya que nos ayuda para la movilización y respetar las señales que se indican para prevención de accidentes. Son instrucciones que se deben cumplir de forma obligatoria. Básicamente trata de ubicar información de rutas, direcciones, la cual nos ayuda a brindar información ya que puede ser un mensaje, forma, símbolo o color.

Estas señales deben ser retro reflectivas ya que deben ser llamativas para las personas ya sea en la noche o en el día, tenemos diferentes señales verticales como:

10.3.1. Señales Informáticas (Código I)

En estas señales trata de informar a las personas sobre las direcciones, rutas y ubicaciones. Debemos considerar que la ubicación correcta de la señal de información será desde el nivel de la vía a 1.50 metros de altura, para los postes de los kilometrajes correspondiente a las zonas rurales se colocan de 450 mm * 600 mm y para poblado de 1800 mm x 600 mm. (REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO INEN 004-1 P. R., Señalización Vial Parte 1. Señalización Vertical, 2011, p. 138).

Figura 63.

Señales informáticas



Nota: Se distinguen las diferentes señales informáticas a usar en el proyecto. Fuente: (INEN, 2011)

10.3.2. Señales de Regulación (Código R)

En este caso regulan el movimiento del tránsito e indican cuando se aplica un requerimiento legal, la falta del cumplimiento de sus instrucciones constituye una infracción de tránsito. (REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO INEN 004-1 P. R.,

Señalización Vial Parte 1. Señalización Vertical, 2011, p. 138). Estas señales son de uso importante ya que son sancionadas si no se las cumple.

Se clasifican en:

Serie de prioridad de paso R1

“serán instaladas en las entradas a una intersección o en puntos específicos donde se requiera aplicar las reglamentaciones contenidas en estas señales” (REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO INEN 004-1 P, 2011, p. 16).

Pare (R1-1)

Estos son utilizados en intersecciones, en la que da la información que está ubicada en la vía secundaria y le obliga a detenerse, para incorporarse a una vía principal.

Figura 64.

Señal de Pare



Nota: Se indica la señal de pare, para indicar que los vehículos deben detenerse si otro vehículo se acerca. Fuente: (INEN, 2011)

Tabla 65.

Resumen del Tráfico Promedio Diario Anual y Ejes equivalentes de diseño

Código No.	Dimensiones (mm)	Dimensiones (mm) y
		serie de letras
R1 – 1A	600 x 600	200 Ca

R1 – 1B	750 x 750	240 Ca
R1 – 1C	900 x 900	280 Ca

Nota: Se presentan las dimensiones dependiendo del código a utilizar. Fuente: (INEN, 2011)

10.3.3. Serie de movimiento y dirección (R2)

“Obligación de los conductores de circular solo en la dirección indicada por flechas de las señales” (RTE INEN 004-1, 2011, p. 19).

Doble vía (R2-2)

Estas son colocadas en los cruces o intersecciones en ambos sentidos, para dar a entender que ese carril tiene doble sentido, esta señal se colocan en ambos lados de la vía.

Figura 65.

Señalética Doble Vía



Nota: Se indica la señalética de doble vía donde las personas pueden circular en los dos sentidos. Fuente: Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-1, 2011 (p. 20)

Tabla 66.

Señal doble vía

Código No.	Dimensiones (mm)	Dimensiones (mm) y serie de letras
R2 – 2A	900 x 300	100 Cm
R2 – 2B	1350 x 450	140 Cm

Nota: Se presentan las dimensiones dependiendo del código a utilizar. Fuente: (INEN, 2011)

10.3.4. No rebasar (R2-13)

Esta señal nos da a entender que está prohibido rebasar cuando es un solo carril en cada sentido y deben ser colocados en los dos sentidos de la vía. Esto posee un símbolo y orla negro, círculo rojo retro reflectivo y fondo blanco retro reflectivo.

Figura 66.

Señalética No rebasar



Nota: Se presenta la señalética de no rebasar de acuerdo a la normativa. Fuente: (INEN, 2011)

Tabla 67.

Señal no rebasar

Código No.	Dimensiones (mm)
R2 – 13A	600 x 600
R2 – 13B	900 x 900
R2 – 13C	1200 x 1200

Nota: Se presentan las dimensiones dependiendo del código a utilizar. Fuente: (INEN, 2011)

10.3.5. Límite máximo de velocidad (R4-1)

Es la señal que nos indica la velocidad máxima a la que se puede circular, previo a un estudio de la velocidad de diseño, la operación y tipo de vía. Estos se consideran en múltiplos de 10. Esta señalética contiene símbolo y orla negros, círculo rojo retro reflectivo, fondo blanco retro reflectivo.

Figura 67.

Señalética Límite de Velocidad



Nota: Se presenta la señal a la velocidad que se deben conducir los vehículos. Fuente: (INEN, 2011)

Tabla 68.

Señal de límite máximo de velocidad

Código No.	Dimensiones (mm)
R4 – 1 A	600 x 600
R4 – 1 B	750 x 750
R4 – 1 C	900 x 900

Nota. Se presentan las dimensiones dependiendo del código a utilizar. Fuente: (INEN, 2011)

10.3.6. Parada de bus (R5 - 6)

Está ubicado en las partes en las que el bus puede parar para dejar y recoger pasajeros sin causar ningún peligro a los autos ni a las personas.

Figura 68.

Señalética Parada de bus



Nota: Se presenta la señal de parada de buses ubicado en un lugar específico de la vía.
Fuente: (INEN, 2011)

Tabla 69.

Señal parada de bus

Código No.	Dimensiones (mm)
R5 – 6	450 x 600

Nota: Se detalla las dimensiones que se ocupa para paradas de buses. *Fuente:* Reglamento (INEN, 2011)

10.3.7. Señales preventivas o código P

Esta determinado por la velocidad de circulación en una vía, en situaciones especiales en donde el 85 percentil de velocidad excede los 110 km/h, pueden usarse señales de 1200 mm x 1200mm. (REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO INEN 004-1 P, 2011).

Tabla 70.

Tabla de dimensiones de la señal

85 percentiles	Dimensión (mm)
velocidad km/h	De la señal

Menos de 60	600 x 600
70 – 80	750 x 750
Más de 90	900 x 900

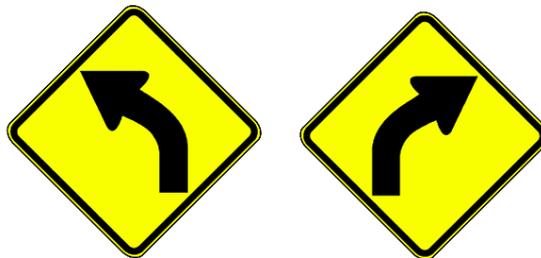
Nota: Esta tabla detalla las diferentes dimensiones dependiendo de la velocidad. Fuente: (INEN, 2011, pág. 50)

10.3.8. Curva abierta izquierda (P1-2I) derecha (P1-2D)

Estos son instalados antes de la llegada a una curva abierta ya sea a la izquierda o derecha, para que conductor logre ver y reduzca la velocidad.

Figura 69.

Señalética de curvas



Nota: Se indica las señales que esta próxima una curva en la vía. Fuente: (INEN, 2011, pág. 52)

Tabla 71.

Señal normalizada de curvas

Código	Dimensiones (mm)
P1-2A (I o D)	600 x 600
P1-2B (I o D)	750 x 750
P1-2c (I o D)	900 x 900

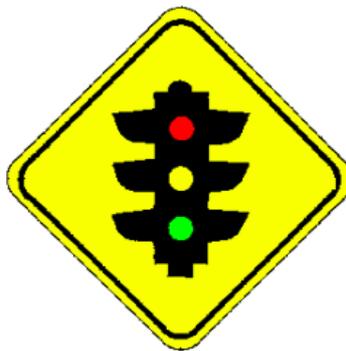
Nota: Se presenta las diferentes dimensiones acordes al código que se va a utilizar.
Fuente: (INEN, 2011, pág. 52)

10.3.9. Aproximación a semáforo (P3-4)

En esta señalética da a entender al conductor que hay un cruce intervenido por un semáforo, en la cual el vehículo se debe detener cuando el semáforo se ponga en color rojo.

Figura 70.

Señalética para Semáforos



Nota: Se presenta la señalética que demuestra que un semáforo está cerca. *Fuente:* (INEN, 2011, pág. 67)

Tabla 72.

Señal de semáforos

Código No.	Dimensiones (mm)
P3-4A	600 x 600
P3-4B	750 x 750
P3-4C	900 x 900

Nota: Diferentes dimensiones acordes al código a utilizar. *Fuente:* (INEN, 2011, pág. 67)

10.3.10. Reductor de velocidad (P6-2)

Esta señal se la utiliza para comunicar al conductor que está próximo a un reductor de velocidad, en este caso existía 1 solo reductor de velocidad.

Figura 71.

Señalética para reductores de velocidad



Nota: Se indica la señalética para reductores de velocidad Fuente: (INEN, 2011, pág. 75)

Tabla 73.

Señal de reductor de velocidad

Código No.	Dimensiones (mm)
P6-2A	600 x 600
P6-2B	750 x 750
P6-2C	900 x 900

Nota: Diferentes dimensiones de acuerdo con el código a utilizar. Fuente: (INEN, 2011, pág. 75)

10.4. Señales de prevención (Código P)

En este caso se debe tener en cuenta que debe tener una distancia muy discreta por eso debe ayudar a los conductores a evitar accidentes y se puedan localizar lo antes posible.

Tabla 74.

Distancia de las señales preventivas

Velocidad km/h	Dimensión (mm) De la señal
Menos de 60	600 x 600
70 – 80	750 x 750
Más de 90	900 x 900

Nota: Se presentan las dimensiones dependiendo de la velocidad a utilizar. Fuente: (INEN, 2011, pág. 50)

10.5. Señalización Horizontal

“La señalización horizontal se emplea para regular la circulación, advertir o guiar a los usuarios de la vía, por lo que constituye un elemento indispensable para la seguridad y la gestión de tránsito” (Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-2, 2011).

Se deben prevenir los accidentes de tránsito y obtener un buen flujo de vehículos en horas pico. “Toda señal deber ser instalada de tal manera que capte oportunamente la atención de los usuarios de distintas capacitaciones visuales, cognitivas y psicomotoras, otorgando a estos la facilidad y el tiempo suficiente para distinguirla de su entorno, leerla, entenderla, seleccionar la acción o maniobra apropiada y realizarla con seguridad y eficiencia” (Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-2, 2011, p.4).

Tabla 75.

Espesor señales horizontales

Mínimo zona urbana	300 (micras) en seco
--------------------	----------------------

Mínimo zona rural 250 (micras) en seco

Nota: Se presentan las micras para los espesores horizontales de la señalética. Fuente: (INEN, 2011, pág. 6)

10.5.1. Clasificación de señales horizontales

Tenemos una clasificación según su forma en las cuales constan en:

- a) Líneas Longitudinales: estas líneas son utilizadas para los carriles y calzadas, son zonas con o sin prohibición de adelantar o que no puedan estacionarse.
- b) Líneas transversales: estas son utilizadas en los cruces de vehículos o en cruces peatonales o también de bicicletas.
- c) Símbolos y leyendas: Estas están creadas para poner una advertencia a la persona que está conduciendo o a su vez si esa zona es exclusiva para buses o para taxis, solo troles.
- d) Otras señalizaciones como chevrones, etc.

10.6. Ubicación de la señalización en la vía s46

Se analizó todo lo que necesita la vía para ser bien transitada y evitar accidentes y tráfico, se realizó un plano con la colocación de las señales siguiendo la norma RTE-INEN 004 y se detalla la ubicación con su respectiva abscisa en la vía. **ANEXO 6**

Tabla 76.

Señaléticas Lado Izquierdo

Abscisa	Código	Nombre de Señal
0+010	R2 - 2	Doble Vía

0+175	P1 - 1D	Curva Abierta Izquierda
0+253	R1 - 1	Pare
0+253	P3 -4	Semáforo
0+000	P3 - 4	Semáforo
0+045	R1 -1	Pare
0+155	R1 - 1	Pare
0+310	R1 - 1	Pare
0+410	R1 - 1	Pare

Nota: Se presentan las señales que serán colocadas en el proyecto de acuerdo con su abscisado. Elaborado: Los Autores

Tabla 77.

Señaléticas Lado Derecho

Abscisa	Código	Nombre de Señal
0+016.49	R5 - 6	Parada de bus
0+027.5	R1 - 1	Pare
0+077.5	R1 - 1	Pare
0+110	P1 - 1 I	Curva Abierta Derecha
0+250	P3 - 4	Semáforo
0+000	P3 - 4	Semáforo
0+000	R1 - 1	Pare
0+050	R1 - 1	Pare
0+230	R1 - 1	Pare
0+430	R1 - 1	Pare
0+475	R2 - 2	Doble vía

Nota: Se presentan las señales que serán colocadas en el proyecto de acuerdo con su abscisado. Elaborado: Los Autores

10.6.1. Cantidades de señaléticas

Tabla 78.

Cantidades de señaléticas a utilizar

Resumen de señales	Cantidades
Doble vía	2
Pare	11
Semáforo	4
Curva abierta derecha	1
Curva abierta izquierda	1
Parada de bus	1

Nota: Se presentan la cantidad de señales que serán colocadas en el proyecto de acuerdo con su abscisado. Elaborado: Los Autores

CAPÍTULO XI

IMPACTO AMBIENTAL

11.1. Introducción

En esta área de estudio el impacto ambiental trata de caracterizar la situación actual de recursos físicos, plantas, cultural y socioeconómico, etc. Se realiza este estudio para la determinación de las zonas vulnerables previo a un diagnóstico ambiental.

Posterior a eso se evalúa el impacto ambiental bien sean negativos o positivos, permanentes o temporales por las etapas que tiene el proyecto de la construcción vial y su mantenimiento. También se informa que para el plan de manejo ambiental se implementaran y utilizaran medidas ambientales de a la evaluación adecuada que se realice, se adjuntara presupuesto y un cronograma de implementación.

11.2. Objetivos

La vía del proyecto está ubicada en el sur de Quito, que contiene varios problemas como hundimientos, deformaciones viales y no contiene señalización vial, en ocasiones cuando llueve dificulta la circulación vehicular ya que la gran parte de la vía se encuentra en tierra.

Se consigue obtener un buen mejoramiento para la vía ya que es una conexión entre dos calles principales como son la Quitumbe Ñan y la Av Mariscal Sucre, esta vía es muy utilizada por los moradores.

Se propuso este proyecto ya que en las situaciones que se encuentra no es adecuada y es por esa razón que se propuso un mejoramiento, fomentando un mejoramiento para el desarrollo del sector.

11.3. Descripción del área de impacto

11.3.1. Impacto socioeconómico

En esta localización consta de una población de 288 620 habitantes con un incremento poblacional de 26.88%. Entre estos tenemos diferentes barrios con diferentes poblaciones como por ejemplo el barrio Terranova tiene una población de 1978 habitantes y la Ciudadela el Ejercito tiene 4753 habitantes dando así una aproximación de 7000 habitantes incluidos los barrios ilegales ya que no se tiene información exacta de esos.

La zona donde está ubicado el proyecto está comprendida entre los barrios Terranova y Ciudadela El Ejercito y también algunos barrios no legalizados, por esa razón hay muchas afectaciones en la vía y constan de muchas limitaciones porque no tienen derechos y ningún beneficio como un barrio legalizado, lo más importante es el agua potable y el alcantarillado. La mayoría de los habitantes de ese barrio están dedicados a la crianza de animales y dedicación a la agricultura.

11.3.2. Manejo de escombros

Esta parte es importante ya que se debe organizar con eficacia los residuos de construcción durante la ejecución del proyecto. Se deben clasificar e identificar los escombros hasta para que al final sean depositados, tomando en cuenta las normativas y la seguridad a lo que corresponde. Se trata de reutilizar lo que sirve para así reducir el impacto ambiental para garantizar una gestión buena de los desechos generados.

Todo el material que sea retirado del proyecto será colocado en la escombrera El Troje ubicada en la 9 de octubre N26-56 y Santa María, el precio unitario por metro cubico es de 0.57 ctvs. El material será trasladado por medio de volquetas.

11.4. Plan de manejo ambiental del proyecto

11.4.1. Plan de mitigación y prevención de impactos

Con esto se lleva a evitar diferentes afectaciones al proyecto por eso se realiza un cronograma en el cual especifique la prevención y calidad del aire, contaminación y calidad del suelo, capacitación ambiental y calidad del agua.

11.4.1.1.1. Prevención y calidad del aire

Debemos saber que estas son causadas por la maquinaria que es utilizada en el proyecto, por el humo que emite gases y eso es lo que contamina el aire.

Tabla 79.

Prevención y calidad del aire

Aspectos Ambientales	Impacto	Medio De Verificación	Duración		
			Inicio	Tiempo	Fin
Calidad del aire	Daño a la calidad del aire	Se recomienda a toda la maquinaria y conductores manejar con una velocidad baja para no ocasionar levantamiento de polvo y se hará control mediante registros fotográficos	Inicio de proyecto	Cada año	Fin de proyecto
	Generación de Ruido	Realizar mantenimiento a la	Inicio de proyecto	Durante el proyecto	Fin de proyecto

	<p>maquinaria que se utilizara en el proyecto y obedecer normas del GAD de Mejía con los tipos de ruidos y se llevara un control por medio de informes de mantenimientos realizados</p>			
	<p>Se analizará lugares aptos para el almacenamiento del material para prevención de inconvenientes con los moradores, cuando se transporte material se recomienda cubrir en la volqueta para que el material no caiga y se registraran por medio de fotografías</p>	Inicio de proyecto	Durante el proyecto	Fin de proyecto
Provisión de material				
	<p>Se hará control de polvos con tanqueros</p>	Inicio de proyecto	Durante el proyecto	Fin del proyecto

de agua
para evitar
el
levantamie
nto del
suelo se
controlará
mediante
registros
fotográfico
s

Nota: Se presentan el plan de prevención y calidad del aire a implementarse. Elaborado por: Los Autores

11.4.1.1.2. Contaminación y calidad del suelo

Es para dar un beneficio a los moradores del sector y también para el proyecto para obtener un buen resultado.

Tabla 80.

Contaminación y calidad del suelo

Aspectos Ambientales	Impacto	Medio De Verificación	Duración		
			INICIO	TIEMPO	FIN
Calidad del suelo	Contaminación de los suelos	Se tomará control del almacenamiento de combustibles y varios productos de ese tipo y se dará mantenimiento a las maquinarias para	Inicio de proyecto	Semanal	Fin de proyecto

evitar fugas dentro
del proyecto

Nota: Se presentan el plan de contaminación y calidad del suelo a implementarse.
Elaborado por: Los Autores

11.4.1.1.3. Capacitación Ambiental

Es recomendable elaborar capacitaciones para el personal que deben tener en claro el daño que se puede ocasionar al medio ambiente si es que no se cumple con lo que se pide.

Tabla 81.

Plan de capacitación ambiental

Aspectos Ambientales	Impacto	Medio De Verificación	Duración		
			Inicio	Tiempo	Fin
Prevención ambiental	Daños ambientales	Se hablará sobre los desechos tóxicos y para mejor se darán charlas sobre el correcto almacenamiento y manejo de esos desechos.	Inicio de proyecto	Durante el proyecto	Fin de proyecto

Nota: Se presentan el plan de capacitación ambiental a implementarse. Elaborado por: Los Autores.

11.4.1.1.4. Calidad del agua

Se trata de usar el agua sin desperdicios y ocupar el agua de la mejor manera posible.

Tabla 82.

Plan de la calidad del agua

Aspectos Ambientales	Impacto	Medio De Verificación	Duración		
			Inicio	Tiempo	Fin
Calidad del agua	Uso del agua	Mantener control del uso del agua mediante avanza el proyecto y el control del tanquero.	Inicio de proyecto	Semanal	Fin de proyecto

Nota: Se presentan el plan de calidad del agua a implementarse. Elaborado por: Los Autores

11.5. Plan de restauración rutinaria de la vía

Se realizo un programa de Rehabilitación con el objetivo de que las áreas que sufren impactos ambientales.

Tabla 83.

Restauración Rutinaria de la Vía

Aspecto Ambiental	Impacto	Propuestas	Ubicación	Indicadores	Verificación	Plazo
Perdida de vegetación	Calidad del suelo e Impacto ambienta	Se necesita sembrar especies que sean nativas de la zona tomando en cuenta que el terreno debe estar libre	A los alrededores de la vía S46	(Número de árboles plantados / Número de árboles proyectados) x 100	Se verificará mediante registros fotográficos	1 mes

Las
dimensiones
de los hoyos
de plantación
de 30x30 a
40x40 cm

Nota: Se presentan el plan de restauración rutinaria de la vía. Elaborado por: Los Autores

11.5.1. Cierre del proyecto

Uno de los objetivos es tratar de tener un buen uso de las áreas del proyecto y terminar todo adecuadamente y sin ningún inconveniente.

Tabla 84.

Cierre de proyecto

Aspectos Ambientales	Impacto	Medio De Verificación	duración		
			Inicio	Tiempo	Fin
Entrega de las áreas	Comunicación con el Ministerio del Ambiente	Se debe comunicar cuando se culmine la obra	Inicio de proyecto	Durante el proyecto	Fin de proyecto
Desalojo de residuos	Contaminación	Se debe realizar limpiezas rutinarias para tener en orden el proyecto	Inicio de proyecto	Durante el proyecto	Fin de proyecto

Nota: Se presentan el plan de cierre de proyecto a implementarse. Elaborado por: Los Autores.

CAPÍTULO XII

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

12.1. Determinación de los Beneficios

La determinación de los beneficios para esta clase de proyectos se basa principalmente en ahorrar costos, debemos tomar en cuenta que tenemos diferentes costos como son la operación, mantenimiento, transporte, etc. Hay muchas maneras para poder economizar en este proyecto por ejemplo en el uso del combustible tener un control y bajar la velocidad dentro o fuera.

12.2. Costos del proyecto (Egresos)

12.2.1. Costos de Mantenimiento Vial

El mantenimiento y la conservación de la vía es el mayor propósito a futuro de este proyecto, dentro de esto tenemos diferentes actividades que se deben tomar en cuenta para conservar el buen estado de la vía, para esto se debe realizar un presupuesto anual sobre los recursos económicos y se requiere que el personal que va a trabajar sea capacitado y ese costo debe constar en el presupuesto anual.

El mantenimiento se los va a realizar de forma semanal en lo que dure el proyecto y también se hará anualmente.

12.2.2. Costos construcción del proyecto (Presupuesto)

Tabla 85.

Presupuesto de Mantenimiento Semanal

Descripción	Cantidad (m3)	Precio Unitario	Mantenimientos	Total
Alcantarillado	5	18	4	360
Cunetas	750	10	4	30000

Total	30360
--------------	--------------

Nota: Se presenta el presupuesto elaborado para el mantenimiento vial semanal para la vía. Elaborado por: Los Autores.

Tabla 86.

Presupuesto de Mantenimiento Anual

Descripción	Cantidad (m3)	Precio Unitario	Mantenimientos	Total
Alcantarillado	5	18	1	90
Cunetas	750	10	1	7500
Bacheos	1500	8	1	12000
			Total	19590

Nota: Se presenta el presupuesto elaborado para el mantenimiento vial semanal para la vía. Elaborado por: Los Autores.

Con el análisis se determinó que el presupuesto que se necesitara para el mantenimiento de la vía para los años por la que fue proyectada en este caso para (20 años) es de \$49 950.

Tabla 87.*Presupuesto total del proyecto*

No. Orden	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
PRELIMINARES					
1	Desbroce, desbosque y limpieza	ha	0,848	128,16	108,63000
2	Replanteo y nivelación	km	0,753	43,62	32,85000
3	Excavación a máquina del terreno	m3	5.509,73	24,52	135.098,46 000
4	Desalojo de materiales extraídos	m3/km	1.073,00	16,74	17.961,980 00
Obras de Alcantarillado					
5	Excavación para cunetas triangulares	m3	290,00	12,25	3.552,50
6	Desalojo de materiales extraídos	m3/km	293,50	36,80	10.800,80
7	Cuneta triangular 1x0,40 de hormigón simple f'c=210kg/cm2, e=10cm	m	1.450,00	240,59	348.856
8	Excavación para el alcantarillado	m	3,50	28,39	99,37
9	Colocación de tubería de PVC D=500mm	m	7,00	95,18	666,26
Calzada					
10	Suministro y colocación de la sub base clase III, e=30cm	m3	1.468,35	32,24	47.339,60
11	Suministro y colocación de la base clase II, e=25cm	m3	1.223,63	24,34	29.783,03
12	Colocación de la capa asfáltica	m3	489,45	21,32	10.435,07
13	Movilización de material para sub-base III (distancia=35,8 km)	m3/km	173,60	26,40	4.583,06
14	Movilización de material para base II (distancia=35,8 km)	m3/km	144,67	34,78	5.031,53
15	Movilización de la capa asfáltica (distancia 35,8 km)	m3/km	57,87	0,38	21,99
Impactos Ambientales					
17	Plan de prevención, mitigación ambiental	p.m.a	1,00	2.420,00	2.420,00
20	Plan de capacitación ambiental	p.m.a	1,00	855,00	855,00
23	Plan de la rehabilitación del área del trabajo	p.m.a	1,00	325,00	325,00
25	Plan de retiro	p.m.a	1,00	620,00	620,00
Señalización					
28	Señales Informativas	u	20,00	34,61	692,20
30	Línea continua	ml	1.229,00	9,49	11.663,21
				TOTAL	630.946,04

Nota. Se describe los precios unitarios de los rubros necesarios para el proyecto.
Elaborado por: los Autores.

Los cálculos se presentan en el **ANEXO 7**

12.3. Evaluación Económica y Financiera del Proyecto (Índice Financiero)

12.3.1. VAN (Valor Actual Neto)

El van nos ayuda a saber si este proyecto es viable o no, también nos sirve para ver si se pueden tener pérdidas. Se realiza una evaluación con algunos criterios a considerar.

- Si el VAN es mayor que 0, el proyecto es conveniente
- Si el VAN es igual a 0, el proyecto es indiferente
- Si el VAN es menor que 0, el proyecto es conveniente

Con las siguiente formula se determina el VAN:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+k)^t} - lo$$

Donde:

K = tasa mínima de aceptación (TMAR)

Vt = Representa los flujos de caja en cada periodo t.

Lo = Es el valor del desembolso inicial de la inversión.

N = Es el número de periodos considerado.

Fórmula para el flujo neto efectivo:

$$V.A.N. = \sum FNE - Inversión$$

Con ayuda de esto se determinó el valor neto actual empleando lo que son los ingresos y egresos que va generando el proyecto.

Tabla 88.*Cálculo del VAN del Proyecto*

Tiempo	Ingresos	Egresos	Flujo Neto	Factor (1+k) ^N	Valor Acumulado (VAN)
-	Io	-630 946,04 \$US	-630 946,04 \$US	1	-630 946,04 \$US
1	187 012,41 \$US	5 479,46 \$US	192 491,87 \$US	1,12	\$171 867,74
2	187 012,41 \$US	5 479,46 \$US	192 491,87 \$US	1,25	\$325 321,08
3	187 012,41 \$US	5 479,46 \$US	192 491,87 \$US	1,40	\$462 332,99
4	187 012,41 \$US	5 479,46 \$US	192 491,87 \$US	1,57	\$584 665,05
5	227 893,32 \$US	5 479,46 \$US	233 372,78 \$US	1,76	\$717 087,04
6	227 893,32 \$US	5 479,46 \$US	233 372,78 \$US	1,97	\$835 320,95
7	227 893,32 \$US	5 479,46 \$US	233 372,78 \$US	2,21	\$940 886,95
8	227 893,32 \$US	5 479,46 \$US	233 372,78 \$US	2,48	\$1 035 142,30
9	227 893,32 \$US	5 479,46 \$US	233 372,78 \$US	2,77	\$1 119 298,86
10	255 080,99 \$US	5 479,46 \$US	260 560,45 \$US	3,11	\$1 203 192,36
11	255 080,99 \$US	5 479,46 \$US	260 560,45 \$US	3,48	\$1 278 097,26
12	255 080,99 \$US	5 479,46 \$US	260 560,45 \$US	3,90	\$1 344 976,64
13	255 080,99 \$US	5 479,46 \$US	260 560,45 \$US	4,36	\$1 404 690,37
14	255 080,99 \$US	5 479,46 \$US	260 560,45 \$US	4,89	\$1 458 006,20
15	318 443,11 \$US	5 479,46 \$US	323 922,57 \$US	5,47	\$1 517 185,65
16	318 443,11 \$US	5 479,46 \$US	323 922,57 \$US	6,13	\$1 570 024,43
17	318 443,11 \$US	5 479,46 \$US	323 922,57 \$US	6,87	\$1 617 201,92
18	318 443,11 \$US	5 479,46 \$US	323 922,57 \$US	7,69	\$1 659 324,68
19	318 443,11 \$US	5 479,46 \$US	323 922,57 \$US	8,61	\$1 696 934,29
20	354 745,62 \$US	6 246,21 \$US	348 499,41 \$US	9,65	\$1 733 062,10
				VAN	\$2 364 008,14

Nota: Se presenta el cálculo desarrollado para determinar el VAN y ver si es factible.
Elaborado por: Los Autores

Se obtiene el valor del VAN de los ingresos y flujo efectivo que es proyectado para 20 años, fue positivo de un valor de \$ 2364008,14 que nos da a entender que el proyecto es rentable económicamente.

12.3.2. TIR (Valor Actual Neto)

El TIR (Tasa Interna de Retorno) trata sobre la tasa de intereses o a su vez la rentabilidad que ofrece una inversión, es el porcentaje de lo que son los beneficios o

perdidas de inversión para este proyecto periodo tras periodo, se basa en que hace el valor actual neto igual a cero.

$$V.A.N. = 0 = \sum \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Donde:

- Si la TIR es mayor que la tasa de descuento “r”, el proyecto es conveniente
- Si la TIR es igual a la tasa de descuento “r”, el proyecto es indiferente
- Si la TIR es menor que la tasa de descuento “r”, el proyecto es conveniente

Tabla 89.

Cálculo del TIR del Proyecto

I.O	\$630 946,04
VAN	\$2 364 008,14
TIR	61,94%

Nota: Se presenta el valor del TIR después de hacer una serie de cálculos. Elaborado por: Los Autores.

Se obtiene el valor del TIR de la tasa de descuento que lo que hace es volver el valor actual neto igual a 0 para determinar si es rentable para el proyecto proyectado para 20 años, el valor fue positivo con un resultado 61,94% que nos da a entender que el proyecto es bueno económicamente.

12.3.3. Determinación de Beneficio-Costo B/C del proyecto

El beneficio costo determina la rentabilidad del proyecto haciendo una comparación entre el beneficio y el costo.

Tabla 90.*Cálculo beneficio - costo*

Tiempo (años)	Ahorro valorado anual	Transporte	Total
	47,09	52,91	
2023	\$88 064,14	\$98 948,26	\$187 012,41
2024	\$88 064,14	\$98 948,26	\$187 012,41
2025	\$88 064,14	\$98 948,26	\$187 012,41
2026	\$88 064,14	\$98 948,26	\$187 012,41
2027	\$88 064,14	\$98 948,26	\$187 012,41
2028	\$107 314,96	\$120 578,35	\$227 893,32
2029	\$107 314,96	\$120 578,35	\$227 893,32
2030	\$107 314,96	\$120 578,35	\$227 893,32
2031	\$107 314,96	\$120 578,35	\$227 893,32
2032	\$107 314,96	\$120 578,35	\$227 893,32
2033	\$120 117,64	\$134 963,35	\$255 080,99
2034	\$120 117,64	\$134 963,35	\$255 080,99
2035	\$120 117,64	\$134 963,35	\$255 080,99
2036	\$120 117,64	\$134 963,35	\$255 080,99
2037	\$120 117,64	\$134 963,35	\$255 080,99
2038	\$149 954,86	\$168 488,25	\$318 443,11
2039	\$149 954,86	\$168 488,25	\$318 443,11
2040	\$149 954,86	\$168 488,25	\$318 443,11
2041	\$149 954,86	\$168 488,25	\$318 443,11
2042	\$149 954,86	\$168 488,25	\$318 443,11
2043	\$167 049,71	\$187 695,91	\$354 745,62

Nota. Se presenta los valores finales para el beneficio-costo durante el tiempo proyectado del proyecto. Elaborado por: Los Autores

Obtenemos con esto los siguientes resultados:

Tabla 91.*Tabla de Resultados Beneficio/Costo*

Total de Ingresos y Egresos	
Valor Actual de Ingresos	\$ 2 364 008,14
Valor Actual de Egresos	\$ 589 938,01
Beneficio/Costo	4,01

Nota. El valor de Ingresos es mayor que los Egresos de este proyecto vial. Elaborado por:
Los Autores

En base al Estudio económico realizado se obtuvo que el valor Costo/Beneficio (C/B) es mayor al 1% por ello se concluye que el presente proyecto es completamente viable.

CONCLUSIONES

En el estudio topográfico se obtuvo una superficie de 36 920 m² con ayuda de 633 lecturas de la estación total Leica TS03, la topografía del terreno presenta pendientes de entre 0.5 a 5% con lo que se le definió como relieve Llano a Plano, con alturas de 2943 m.s.n.m hasta 2957 m.s.n.m. Con el estudio de tráfico se obtuvieron los datos de vehículos que transitan diariamente por nuestro proyecto teniendo así 796 vehículos durante el 2023, y con esto se proyectó el tráfico a un período de 20 años obteniendo un total de 1393 vehículos para el año 2043, con lo que se clasificó a la vía como Clase II con una velocidad de diseño de 90 km/h y tratándose de una zona urbana la velocidad es de 50 km/h.

En el diseño geométrico de este proyecto se obtuvo una longitud de 0.753 km, tratándose de un tramo con 2 carriles de 3.25 m desde la cota 0+000 hasta la 0+243 y en el segundo tramo 4 carriles hasta la cota 0+753, también cuenta el segundo tramo con un parterre de 2m de ancho y durante gran parte del trayecto se presenta la vereda de tránsito peatonal con un ancho de 1.2m.

Para este proyecto se utilizaron los materiales de la cantera Rancho la Paz, pues por su ubicación y su distancia con la ubicación del proyecto, resultó un aspecto económico positivo para la obtención de materiales que cumplen favorablemente con las características que indica la norma.

Con el diseño estructural mediante la norma AASHTO 93 se obtuvo que para la carpeta asfáltica el espesor adecuado es de 10cm, para la capa Base el espesor es 25cm y para la capa Sub-base el espesor adecuado es de 30cm, puesto que esta capa es de gran importancia para la funcionalidad y la resistencia de la estructura del pavimento asfáltico.

Para el diseño de cunetas de hormigón se obtuvo un ancho de 100cm, calado de 17cm y la pendiente de 4% para obtener un mejor desplazamiento del agua, sin alterar la integridad de la cuneta lateral.

Este proyecto presenta 5 alcantarillas sanitarias ya existente en el terreno, sin embargo, para el drenaje óptimo se diseñó una alcantarilla pluvial de PVC de 50cm de diámetro, que ayudará a captar y trasladar el agua de forma controlada.

En el estudio de la señalética se identifica la no existencia en el lugar, no existe señalética horizontal ni vertical por esa razón se dio énfasis en la implementación en la vía de las diferentes señales principales que son el pare, doble vía, curva y parada de bus.

Para el cálculo del (VAN) valor actual neto determinamos el valor de \$2 364 008,14 positivo, debido a que los flujos que fueron proyectados para los 20 años ese total cubren el valor de la inversión y eso quiere decir que este proyecto es económicamente rentable.

El presente proyecto contiene un (TIR) tasa interna de retorno de 61,94% para los 20 años que fue proyectado, con los cual se puede concluir que la vía es factible económicamente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer una extensión de 4 carriles a lo largo de toda la vía y con ello se deberá hacer la expropiación del terreno a utilizar de este proyecto a futuro, ya que sabemos que la mitad de la vía es de dos carriles y la otra mitad es de 4 carriles, se hace esta recomendación ya que la vía es muy transitada y hace la conexión de dos vías principales además se obtuvo la información de que la vía a futuro será conectada con al Av. Simón Bolívar.

Se necesitará una charla donde se reúna a todos los moradores del sector para poder dialogar con ellos del proyecto que se va a elaborar el cronograma que se tiene previsto así evitar algún inconveniente con algunas familias y los vehículos que hacen uso de esta vía tomen vías alternas para llegar a su destino.

Se recomienda realizar los estudios posteriores a la construcción del pavimento, tratando de evitar el deterioro del mismo, puesto con el mantenimiento programado se logra extender aún más la vida útil de la vía.

Se recomienda también el mantenimiento de los canales de drenaje lateral, pues en la mayoría de los casos la inexistencia de esta medida causa un mal funcionamiento de estas estructuras y por ende afecta causando acumulación de sedimentos que impiden el paso normal del agua en las mismas.

Se recomienda en un futuro se realice el diseño de la descarga para el agua obtenida de esta vía, puede ser mediante disipadores hasta donde termine la quebrada existente cerca para que el agua tenga a donde ser depositada.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS*. WASHINGTON.
- ASTM C 136. (s.f.). *Método para determinar el análisis granulométrico de áridos finos y gruesos*.
- ASTM D - 1883, .. (2006). *California bearing ratio (CBR)*. Peru: Primer taller de mecanica de suelos.
- ASTM D 1557, .. (2006). *Proctor modificado*. Peru: Primer taller de mecanica de suelos.
- ASTM D4318-84, 2. (2009). *Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos*. American Society of Testing Materials: American Society of Testing Materials.
- Braja M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*.
- Caiza, G. (2012). *Precipitaciones cuencas hidrográficas*.
- Carrera Villamagua, T., y Yuquilema Paucar, I. (2024). *Repositorio Universidad Politécnica Salesiana*.
- Casprowitz Arias, L. (2010). *DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CAMIÓN PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN GUATEMALA*. Guatemala.
- CONSTRUNEIC. (13 de 05 de 2024). *CONSTRUNEIC. PAVIMENTO FLEXIBLE*: <https://construneic.com/pavimentos/pavimento-flexible/>
- GAD CANTON MEJIA. (2019). *GRANULOMETRIA DE AGREGADOS*.
- Hilker Urdanivia , R. (2019). *Relación entre el tipo de suelo (SUCS y AASHTO) y el asentamiento de suelos para determinar asentamientos diferenciales en cimientos de concreto armado*. Cerro de Pasco.
- INAMHI. (2009). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*.
- INAMHI. (2017). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*.
- INEN. (2011). *Reglamento Técnico Ecuatoriano* .
- Ing. Sergio Navarro Hudiel. (2011). *Diseño y Cálculo Geométrico de Viales*.
- Ingeniarc. (22 de 06 de 2020). *Ingeniarc*. Ingeniarc: <https://www.ingeniarc.com/post/introducci%C3%B3n-al-dise%C3%B1o-de-pavimentos>
- Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos. (2013). *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC*. Lima.
- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras INV. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Colombia.

- Ministerio de Transporte y Obras Públicas, M. (2012). *Tabla nacional de pesos y dimensiones* .
- MOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES*.
- NEVI-12-MTOP. (2013). *Norma para Estudios y Diseños Viales VOL.2 LIBRO A*. Colombia.
- Norma ASTM D 2216, .. (2017). *Norma ASTM D 2216*. Mexico: American Society of Testing Materials.
- NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION, N. (2015). *RIESGO SÍSMICO EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS*.
- Normas de Diseño Geométrico de Carreteras MOP. (2003). *NORMAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS*. QUITO: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS.
- Ordenanza 3457 Concejo Metropolitano de Quito. (2003). *NORMAS DE ARQUITECTURA Y URBANISMO*. Quito.
- ROJAS, P. A. (2011). DISEÑO GEOMETRICO DE VÍAS. En P. A. ROJAS, *DISEÑO GEOMETRICO DE VÍAS* (p. 31). Bogotá: Escuela colombiana de infgeniería.
- T., MSc. Ing. Douglas Méndez. (2009). *Ingeniería de Tránsito*.
- Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. LIMUSA Noriega Editores.