



**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE DISEÑO VIAL PARA LA PAVIMENTACIÓN DE LA RUTA QUE
UNE LOS SECTORES DE “PUEMBO – SAN PEDRO”, EN EL CANTÓN LA MANÁ,
PROVINCIA DE COTOPAXI**

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

AUTORES: María Cristina Chancusig Cajas

Luis Andrés Vivas Acosta

TUTOR: Byron Iván Altamirano León

Quito-Ecuador

2024

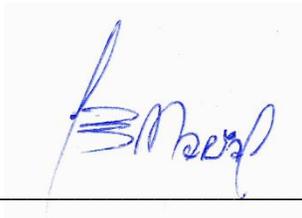
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, María Cristina Chancusig Cajas con documento de identificación N° 0504614140 y Luis Andres Vivas Acosta con documento de identificación N° 1724746407; 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.

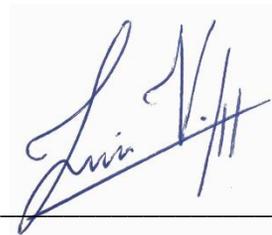
Quito, 05 de agosto del 2024

Atentamente,



María Cristina Chancusig Cajas

0504614140



Luis Andrés Vivas Acosta

1724746407

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

Nosotros, María Cristina Chancusig Cajas con documento de identificación N° 0504614140 y Luis Andres Vivas Acosta con documento de identificación N° 1724746407; 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: “Propuesta de diseño vial para la pavimentación de la ruta que une los sectores “Puembo – San Pedro”, en el Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera e Ingeniero 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, 05 de agosto del 2024

Atentamente,



María Cristina Chancusig Cajas

0504614140



Luis Andrés Vivas Acosta

1724746407

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Byron Iván Altamirano León con documento de identificación N° 1709301590, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE DISEÑO VIAL PARA LA PAVIMENTACIÓN DE LA RUTA QUE UNE LOS SECTORES “PUEMBO – SAN PEDRO”, EN EL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI, realizado por María Cristina Chancusig Cajas con documento de identificación N° 0504614140 y Luis Andres Vivas Acosta con documento de identificación N° 1724746407, 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, 05 de agosto del 2024

Atentamente,



Ing. Byron Iván Altamirano León, MSc.

1709301590

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis queridos padres Armando y María, quienes con su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios innumerables han hecho posible cada paso de este camino. Su ejemplo de perseverancia y dedicación han sido mi mayor motivación para cada día levantarme y seguir luchando por esta meta. Este logro es tan suyo como mío. Con profunda gratitud, les dedico este trabajo.

A mis hermanos Sullivan, Santiago y Rosita quienes son mi mayor inspiración, ya que, con su aliento, apoyo incondicional, comprensión y cariño han sido pilares fundamentales en mi vida.

A mis cuñadas Gabriela, Liliana y mi cuñado Diego de quienes su presencia y afecto han sido un regalo invaluable que ha enriquecido cada una de mis etapas.

A mis adorados sobrinos Demian, Amy, Valery, Francis, Elian, Monserath y Victoria quienes con su alegría y amor han traído luz y felicidad a mi existencia. Este logro es también para ustedes, con la esperanza de que siempre persigan sus sueños con la misma pasión y determinación

A Jordy y Anthony mis grandes amigos que hicieron la etapa de la universidad una de las mejores de mi vida ya que con su alegría han iluminado mi camino en los días difíciles y han compartido junto a mis muchas experiencias gratificantes.

A todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido a mi formación académica y personal, ¡gracias infinitas! Este logro es también suyo.

María C Chancusig C.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a toda mi familia, cuya motivación continua, a lo largo de este arduo camino ha sido fundamental para alcanzar esta meta; su amor y comprensión han sido mi refugio y mi motor para seguir adelante. Gracias por estar a mi lado en cada paso de este proceso, brindándome no solo recursos y soporte, sino también la confianza y el ánimo necesarios para perseverar y alcanzar todas mis metas.

A mis queridos abuelos, quienes son como mis padres, por haberme criado con tanto amor y dedicación. Su aliento constante y su inquebrantable apoyo han sido mi mayor inspiración en este camino educativo. Les agradezco infinitamente por quererme tanto y por dejar una huella en mi vida que ni el tiempo ni la distancia podrá borrar.

A mis padres, Aida y Luis, por ser un ejemplo de superación y perseverancia. Sin ustedes, nunca habría alcanzado esta meta en mi vida. Agradezco profundamente sus consejos y sabias palabras que han moldeado y guiado mi camino. Su amor y fortaleza han sido mi mayor inspiración.

Luis A Vivas A.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana, por brindarme los recursos académicos y el ambiente propicio que han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Esta institución ha sido el pilar de mi formación académica y personal, y este logro es también un reflejo de su excelencia.

Extiendo mi profundo agradecimiento al Ing. Byron Altamirano, por su invaluable guía, dedicación y paciencia a lo largo de este proceso. Sus conocimientos, consejos y apoyo constante han sido fundamentales para la culminación de este trabajo. Este logro no habría sido posible sin su compromiso y mentoría. Le estaré eternamente agradecida.

Finalmente quiero agradecer a mi compañero Luis por su colaboración, apoyo y dedicación incansable durante este tiempo compartido en la realización de nuestro trabajo de titulación. Tu compromiso y trabajo en equipo fueron fundamentales para superar los desafíos y alcanzar nuestros objetivos. Valoré enormemente nuestra colaboración y el esfuerzo compartido que nos llevaron a completar este proyecto con éxito. Gracias por ser un compañero excepcional y por hacer de esta una experiencia enriquecedora y gratificante

María C Chancusig C.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermano Diego, gracias por cada risa compartida, cada anécdota que hemos creado juntos, y todas las locuras que hemos protagonizado. Tu energía y alegría contagiosa han iluminado mis días y han hecho mi vida más emocionante. Gracias por ser mi hermano y ser mi mejor amigo.

A mi hermana Dayanna, gracias por estar siempre a mi lado para escuchar mis problemas cuando no tengo a quién acudir, brindándome consejos y ayudándome a encontrar soluciones a mis problemas. Gracias por tu paciencia y ser esa persona en la que siempre puedo confiar.

A Cristina, quien fue mi compañera de tesis y amiga a lo largo de la carrera. Tu colaboración y compromiso fueron clave para alcanzar nuestros objetivos académicos. Valoré enormemente tu dedicación, habilidades y el ambiente colaborativo que creaste. Gracias por ser una excelente compañera de equipo.

A mi padrino Carlos, por su invaluable ayuda y sus gestiones eficientes que fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto académico. Gracias por sus sabios consejos y orientación a lo largo de mi vida.

Al ing. Byron Altamirano, le agradezco sinceramente por su invaluable guía y sabiduría, la cual ha enriquecido de manera significativa mi trayectoria académica. Sus enseñanzas han sido fundamentales para mi desarrollo y crecimiento intelectual.

A Samantha, gracias por tu infinita paciencia, comprensión y aliento que han sido fundamentales para superar cada desafío. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome tu amor y motivándome a alcanzar mis metas.

Luis A Vivas A.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Problema.....	2
1.4. Delimitación	3
1.5. Justificación.....	3
1.6. Objetivos.....	4
1.6.1. Objetivo General.....	4
1.6.2. Objetivos Específicos	4
1.7. Evaluación del sistema vial existente	5
1.8. Ubicación geográfica.....	6
1.8.1. Coordenadas	6
1.8.2. Límites	6
1.9. Área de estudio	8
1.10. Aspectos naturales	9
1.11. Características climáticas.....	10
CAPÍTULO II.....	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1. Topografía	11
2.2. Conteo de tráfico, y su proyección	11
2.3. Clasificación del tráfico.....	12
2.4. Tráfico promedio diario anual	13
2.5. Clasificación de la vía.....	13
2.6. Estudio geológico y geotécnico.....	14
2.7. Estudio geotécnico preliminar	14
2.8. Los suelos	15
2.9. Clasificación de los suelos.....	15
2.10. Pavimento	16
2.11. Diseño geométrico de la carretera	17
2.12. Parámetros de diseño	17

2.13. Diseño Horizontal.....	18
2.14. Diseño Vertical.....	18
CAPÍTULO III	19
METODOLOGÍA	19
3.1. Tipo de investigación.....	19
3.2. Método.....	19
3.3. Técnica para recolectar información	19
3.4. Proceso técnico de ingeniería civil	20
3.4.1. Estudio topográfico.....	20
3.4.2. Estudio geotécnico-geológico.....	20
3.4.3. Estudio de tráfico.....	20
3.4.4. Diseño geométrico y estructural	21
3.4.5. Diseño hidráulico.....	21
CAPÍTULO IV	22
ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....	22
4.1. Antecedentes.....	22
4.2. Sistema de coordenadas.....	22
4.3. Levantamiento topográfico.....	22
4.4. Tipología del terreno.....	24
4.4.1. Terreno Plano	24
4.4.2. Terreno Ondulado.....	24
4.4.3. Terreno Montañoso.....	24
4.4.4. Terreno Escarpado	24
4.5. Identificación del tipo de terreno del proyecto	25
CAPÍTULO V	26
ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO	26
5.1. Antecedentes.....	26
5.2. Riesgos naturales	26
5.2.1. Susceptibilidad sísmica.....	26
5.2.2. Susceptibilidad a peligros volcánicos.....	28
5.2.3. Susceptibilidad a inundaciones.....	28
5.3. Estudios geotécnicos.....	29

5.3.1. Trabajos de campo.....	29
5.3.2. Excavación de calicatas	29
5.4. Trabajos de laboratorio	31
5.4.1. Contenido de humedad	31
5.4.2. Granulometría.....	31
5.4.3. Límites de Atterberg	32
5.5. Clasificación de suelos	32
5.5.1. Clasificación SUCS	32
5.6. Cono Dinámico de Penetración (DCP).....	34
5.7. Determinación del cbr de diseño	34
5.8. Localización de fuentes de materiales	36
5.8.1. Base, Sub-base granular.....	36
5.8.1. Carpeta asfáltica.....	37
CAPÍTULO VI	38
ESTUDIO DEL TRÁFICO	38
6.1. Alcance	38
6.2. Metodología.....	38
6.3. Estación de conteo	39
6.4. Conteos volumétricos de tráfico	40
6.5. Determinación del tráfico promedio diario anual –TPDA	40
6.5.1. Cálculo del factor de hora pico.....	49
6.5.2. Cálculo del tráfico actual.....	50
6.5.3. Cálculo del tráfico generado.....	51
6.5.4. Cálculo del tráfico atraído	52
6.5.5. Cálculo del tráfico desarrollado.....	52
6.5.6. Cálculo del tráfico actual total.....	53
6.6. Cálculo del tráfico futuro.....	53
6.7. Clasificación de la vía según MTOP – 2003	55
6.8. Ejes equivalentes	56
6.8.1. Factor de daño por vehículo comercial.....	56
6.8.2. Cálculo de ejes equivalentes.....	57

CAPÍTULO VII.....	59
DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL	59
7.1. Antecedentes.....	59
7.2. Criterios de diseño	60
7.3. Velocidad de diseño.....	60
7.4. Velocidad de circulación	61
7.5. Diseño horizontal.....	61
7.5.1. Curvas circulares	62
7.5.2. Curvas espirales o de transición	62
7.5.3. Tangentes.....	63
7.5.4. Peraltes.....	63
7.5.5. Radio mínimo de curvas horizontales.....	64
7.5.6. Transición del peralte	65
7.5.7. Sobreancho de las curvas.....	67
7.5.8. Distancia de visibilidad para parada	69
7.5.9. Distancia de visibilidad para el rebasamiento	69
7.6. Diseño Vertical	70
7.6.1. Gradientes máximas	70
7.6.2. Gradientes mínimas	71
7.6.3. Curvas verticales convexas.....	72
7.6.4. Curvas verticales cóncavas.....	73
7.7. Movimiento de tierras.....	75
7.8. Diagrama de masas	76
CAPÍTULO VIII	78
DISEÑO DEL PAVIMENTO	78
8.1. Introducción.....	78
8.2. Tipos de pavimentos	78
8.2.1. Pavimentos Flexibles	79
8.2.2. Pavimentos Semi – Rígidos	79
8.2.3. Pavimentos Rígidos	79
8.2.4. Pavimentos Articulado.....	80
8.3. Capa de rodadura	80

8.3.1. Funcionalidad de la capa de rodadura	80
8.4. Diseño estructural	81
8.5. Metodología de cálculo.....	81
8.6. Diseño del pavimento	82
8.6.1. Ecuación de diseño – método AASHTO 93	82
8.6.2. Confiabilidad “R”	82
8.6.3. Desviación estándar global “So”	83
8.6.4. Módulo de resiliencia “Mr”	84
8.6.5. Índice de serviciabilidad.....	84
8.6.6. Cálculo del número estructural SN.....	85
8.6.7. Espesores por capa.....	87
8.6.8. Coeficientes estructurales (a1, a2 y a3).....	87
8.6.9. Coeficientes de drenaje (m2 y m3).....	88
8.6.10. Determinación de los espesores de capa.....	89
CAPÍTULO IX	91
DISEÑO HIDRÁULICO	91
9.1. Antecedentes.....	91
9.2. Inventario de estructuras de drenaje existentes	91
9.2.1. Inventario de estructuras de drenaje longitudinales.....	91
9.2.2. Inventario de estructuras de drenaje transversales.....	91
9.3. Estudio hidrológico.....	93
9.4. Coeficiente de escorrentía.....	94
9.5. Estudio de intensidad.....	95
9.6. Tiempo de retorno	96
9.7. Tiempo de concentración.....	97
9.8. Drenaje Longitudinal	97
9.8.1. Cálculo del caudal hidrológico	97
9.8.2. Cálculo del caudal de diseño	98
9.8.3. Comprobación	101
9.8.4. Dimensionamiento de la cuneta.....	101
9.9. Drenaje Transversal.....	103
9.9.1. Cálculo del caudal hidrológico	103

9.9.2. Cálculo del caudal de diseño	104
9.9.3. Comprobación	107
9.9.4. Dimensionamiento de la alcantarilla	108
9.10. Consideraciones de diseño.....	109
CAPÍTULO X.....	110
SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL	110
10.1. Seguridad vial	110
10.2. Señalización vertical.....	110
10.3. Clasificación de señales verticales de tránsito.....	111
10.4. Características básicas de las señales verticales	112
10.4.1. Forma.....	112
10.4.2. Color	112
10.5. Señalización horizontal.....	113
10.6. Clasificación de señales horizontales de tránsito.....	114
10.7. Características básicas de señales horizontales de tránsito.....	114
10.8. Distancia de visibilidad de rebasamiento en curva horizontal.....	115
10.9. Símbolos y leyendas	117
10.10. Materiales a emplear en la señalización horizontal y vertical	121
10.10.1. Materiales para la señalización horizontal.....	121
10.10.2. Materiales para la señalización vertical	121
10.11. Materiales a emplear en la señalización horizontal y vertical	122
CAPÍTULO XI	123
EVALUACIÓN AMBIENTAL	123
11.1. Área de influencia socio económica.....	123
11.2. Caracterización ambiental	123
11.3. Evaluación de impactos ambientales	124
11.4. Plan de manejo ambiental	126
11.4.1. Plan de prevención, mitigación y remediación de impactos	126
11.4.2. Seguimiento y monitoreo.....	128
CAPÍTULO XII.....	129
ANÁLISIS FINANCIERO	129
12.1. Introducción.....	129

12.2. Presupuesto referencial..... 129

12.3. Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.) 131

12.4. Cronograma valorado 132

12.5. Ruta crítica..... 133

12.6. Especificaciones técnicas..... 133

CONCLUSIONES.....136

RECOMENDACIONES138

REFERENCIAS140

ANEXOS144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenada del proyecto.....	6
Tabla 2 Límites del proyecto.....	6
Tabla 3 Clasificación del tráfico.....	12
Tabla 4 Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado	13
Tabla 5 Resultados obtenidos de la excavación de calicatas.....	30
Tabla 6 Valor de CBR de diseño.....	35
Tabla 7 Resumen de resultados	36
Tabla 8 Coordenadas de la estación de conteo del proyecto.....	39
Tabla 9 Conteo vehicular día 1.....	41
Tabla 10 Conteo vehicular día 2.....	42
Tabla 11 Conteo vehicular día 3.....	43
Tabla 12 Conteo vehicular día 4.....	44
Tabla 13 Conteo vehicular día 5.....	45
Tabla 14 Conteo vehicular día 6.....	46
Tabla 15 Conteo vehicular día 7.....	47
Tabla 16 Resumen de conteo vehicular por día.....	48
Tabla 17 Resumen de conteo vehicular hora pico.....	49
Tabla 18 TPDA actual del sector Puembo – San Pedro.	50
Tabla 19 Tasa de crecimiento de tráfico.....	51
Tabla 20 TPDA primer año.	52
Tabla 21 Tráfico generado del sector Puembo – San Pedro.....	52
Tabla 22 Tráfico atraído del sector Puembo – San Pedro.	52

Tabla 23 Tráfico desarrollado del sector Puenbo – San Pedro.....	53
Tabla 24 Tráfico actual total del sector Puenbo – San Pedro.....	53
Tabla 25 Periodo de diseño.	53
Tabla 26 Tráfico futuro proyectado sector Puenbo – San Pedro.....	54
Tabla 27 Tipo de vía en función del TPDA.	55
Tabla 28 Factor de daño.	56
Tabla 29 Cálculo de ejes equivalentes.....	57
Tabla 30 Velocidad de Diseño en Carreteras.	60
Tabla 31 Velocidad de Circulación en Carreteras.....	61
Tabla 32 Radios mínimos de curvas.....	64
Tabla 33 Valores recomendados de las gradientes longitudinales “i”.	66
Tabla 34 Distancia de visibilidad para parada.....	69
Tabla 35 Distancia de visibilidad para rebasamiento.	70
Tabla 36 Gradiente máxima.	71
Tabla 37 Valores de K para las diferentes velocidades de diseño en curvas convexas.....	72
Tabla 38 Valores de K para las diferentes velocidades de diseño en curvas concavas.....	74
Tabla 39 Resumen de volúmenes de corte y relleno por kilometro.	75
Tabla 40 Volumen total de corte y relleno.	76
Tabla 41 Niveles de confiabilidad sugerida en función del tipo de carretera.	82
Tabla 42 Valores de (Zr) correspondiente a los niveles de (R).....	83
Tabla 43 Índice de serviciabilidad (PSI).	85
Tabla 44 Resumen de variables para determinar el número estructural SN.....	85
Tabla 45 Coeficiente de capa. Coeficiente estructural (a).....	87

Tabla 46 Valor de los coeficientes de capa.....	88
Tabla 47 Valor de los coeficientes de drenaje.....	88
Tabla 48 Espesores mínimos recomendamos.....	89
Tabla 49 Determinación de los espesores por capa (10 años).....	89
Tabla 50 Determinación de los espesores por capa (20 años).....	90
Tabla 51 Estructuras de drenaje transversal existentes.....	92
Tabla 52 Valores del coeficiente de escorrentía.....	95
Tabla 53 Ecuación pluviométricas de la zona más cercana.....	96
Tabla 54 Valores del coeficiente de Manning.....	99
Tabla 55 Rango de Revancha.....	102
Tabla 56 Rango de espesores para hormigón.....	102
Tabla 57 Valores del coeficiente de Manning.....	105
Tabla 58 Clasificación de señales verticales de tránsito.....	111
Tabla 59 Forma de uniformidad de diseño.....	112
Tabla 60 Color de uniformidad de diseño.....	112
Tabla 61 Clasificación de señales horizontales de tránsito.....	114
Tabla 62 Características de las señales horizontales de tránsito.....	114
Tabla 63 Distancia de visibilidad.....	116
Tabla 64 Distancia de rebasamiento mínimo.....	116
Tabla 65 Matriz de señalización del proyecto.....	117
Tabla 66 Clasificación Impacto Ambiental.....	125
Tabla 67 Plan de prevención y mitigación de impactos en el suelo.....	126
Tabla 68 Plan de prevención y mitigación de impactos en el aire.....	127

Tabla 69 Plan de prevención y mitigación de impactos en el agua.....	127
Tabla 70 Plan de desechos comunes.	128
Tabla 71 Plan de seguimiento y monitoreo.	128
Tabla 72 Presupuesto del proyecto Puenbo – San Pedro.	130
Tabla 73 Ejemplo de Análisis de Precios Unitarios.	132
Tabla 74 Cronograma valorado.....	134
Tabla 75 Ruta crítica.	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Delimitación del proyecto.....	3
Figura 2 Imagen actual de la vía Puenbo – San Pedro.....	5
Figura 3 Límites del proyecto.	7
Figura 4 Imagen aérea de la vía	7
Figura 5 Tramo de vía “Puenbo – San Pedro”	8
Figura 6 Ubicación general del área del proyecto.....	8
Figura 7 Estado de la vía “Puenbo – San Pedro”	9
Figura 8 Conteo tráfico vehicular, manual.....	12
Figura 9 Topografía del proyecto.....	23
Figura 10 Vía que une los sectores de Puenbo y San Pedro	25
Figura 11 Zonificación sísmica.....	27
Figura 12 Valor “Z” según la zona sísmica.....	27
Figura 13 Volcanes cercanos al proyecto.....	28
Figura 14 Amenaza por inundación	29
Figura 15 Diagrama para el CBR de Diseño.....	35
Figura 16 Mina El Progreso	36
Figura 17 Planta Asfáltica Valencia - Quevedo.....	37
Figura 18 Ubicación de estación de conteo.....	39
Figura 19 Gráfica de conteo vehicular día 1	42
Figura 20 Gráfica de conteo vehicular día 2	43
Figura 21 Gráfica de conteo vehicular día 3	44
Figura 22 Gráfica de conteo vehicular día 4	45

Figura 23 Gráfica de conteo vehicular día 5	46
Figura 24 Gráfica de conteo vehicular día 6	47
Figura 25 Gráfica de conteo vehicular día 7	48
Figura 26 Resumen de conteo vehicular por día.	49
Figura 27 Gráfica TPDA actual sector Puembo – San Pedro.	51
Figura 28 Gráfica Tráfico Futuro sector Puembo – San Pedro.	55
Figura 29 Curva circular simple.....	62
Figura 30 Curva espiral.....	63
Figura 31 Transición de peralte.....	65
Figura 32 Sobre ancho en las curvas.....	68
Figura 33 Diagrama de masas.....	77
Figura 34 Cálculo de SN para un periodo de diseño de 10 años.....	86
Figura 35 Cálculo de SN para un periodo de diseño de 20 años.....	86
Figura 36 Espesores de la estructura del pavimento.	90
Figura 37 Estado actual del alcantarillado existente.	93
Figura 38 Sección triangular.	99
Figura 39 Sección de la cuneta triangular.	103
Figura 40 Sección circular.....	105
Figura 41 Sección de la alcantarilla circular.	109
Figura 42 Catálogo de caracterización ambiental nacional.....	124

RESUMEN

El presente proyecto técnico se localiza en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, en los sectores que conectan los recintos de Puembo y San Pedro, la vía tiene características de camino vecinal, lo que quiere decir que cuenta con un trazado geométrico regular, tiene un ancho promedio de 7.3 metros, con una extensión aproximada de 6.2 kilómetros y tipo de terreno ondulado.

El objetivo de esta propuesta es permitir a la población resolver las dificultades provenientes del estado actual de la vía, elevando el nivel de servicio vehicular, un aumento de seguridad de operación, una reducción de accidentes, para de esta manera reducir la incidencia de los costos de producción, costos de operación y mantenimiento vehicular.

Se llevaron a cabo investigaciones tanto en el terreno como en oficina, las cuales permitieron realizar el estudio del diseño geométrico de la carretera, diseño del pavimento, la evaluación del impacto ambiental, los estudios hidrológicos y cómo se señalizará la vía. Cada diseño está respaldado por razones específicas y asegura que la carretera tenga una vida útil para un periodo de 20 años según las normas establecidas.

Es esencial destacar que el estudio mencionado implica la comprensión de una variedad de campos dentro de la Ingeniería Civil, incluyendo la Mecánica de Suelos, Topografía, Diseño Geométrico, Seguridad Vial, Señalización, Estudios de Tránsito e Impacto Ambiental, Geología, Geotecnia, Hidrología, Hidráulica, y disciplinas adicionales como Economía; estos conocimientos son cruciales para realizar los análisis requeridos en un proyecto de infraestructura vial.

Palabras Clave: Estudio del Tráfico, Diseño Geométrico Vial, Diseño del Pavimento, Diseño Hidráulico, Señalización vial, Evaluación Ambiental.

ABSTRACT

The present technical project is located in the La Maná canton, province of Cotopaxi, in the sectors that connect the Puenbo and San Pedro precincts, the road has characteristics of a local road, which means that it has a regular geometric layout, it has an average width of 7.3 meters, with an approximate extension of 6.2 kilometers and type of flat – undulating terrain.

The objective of this proposal is to allow the population to resolve the difficulties arising from the current state of the road, raising the level of vehicle service, increasing operating safety, reducing accidents, in order to reduce the incidence of costs. production, vehicle operation and maintenance costs.

Investigations were carried out both in the field and in the office, which allowed for the study of the geometric design of the road, pavement design, environmental impact evaluation, hydrological studies and how the road will be signposted. Each design is supported by specific reasons and ensures that the road has a useful life for a period of 20 years according to established standards.

It is essential to highlight that the aforementioned study involves the understanding of a variety of fields within Civil Engineering, including Soil Mechanics, Topography, Geometric Design, Road Safety, Signage, Traffic and Environmental Impact Studies, Geology, Geotechnics, Hydrology, Hydraulics, and additional disciplines such as Economics; This knowledge is crucial to carry out the analyzes required in a road infrastructure project.

Keywords: Traffic Study, Geometric Road Design, Pavement Design, Hydraulic Design, Road Signage, Environmental Assessment.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1. Introducción

El proyecto se ubica entre los sectores que conforman las comunidades de Puembo y San Pedro, en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, cuenta con una extensión aproximada de 6.2 km de longitud, con un ancho promedio de 7.3 m, tipo de terreno ondulado.

La capa de rodadura de esta vía actualmente está constituida por material pétreo, siendo evidente el deterioro que esta vía presenta debido a la falta de mantenimiento, lo cual se agrava por una gestión inadecuada de la canalización del agua pluvial propia de la condición climática del lugar.

El presente proyecto técnico tiene como objetivo principal el diseño vial y estructural de la ruta que une los sectores de Puembo y San Pedro, la propuesta a presentar es la de un diseño vial con capa de rodadura compuesta por pavimento flexible específicamente asfalto, considerada la opción más viable en términos de costo y beneficio, la cual se diseñara siguiendo lo estipulado por las Normas de diseño geométrico MOP – 2003 considerando todas las directrices que indica este documento.

En este proyecto se emplearán varios programas informáticos, como son Civil 3D versión 2021, en conjunto con otros programas que nos ayudaran en el desarrollo de este y el conjunto de herramientas de ofimática de Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint y Project).

1.2. Antecedentes

El proyecto se desarrollará en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, favoreciendo a las personas de dichas comunidades al conectar con la vía principal que conectará estos sectores

con el cantón La Maná, generando así un incremento socioeconómico de los pequeños comerciantes.

La vía que une a los sectores de “Puembo y San Pedro” además de servir de conexión directa entre estos poblados, ayudara a mejorar la movilidad de los estudiantes hacia la Unidad Educativa “Luis Ulpiano de la Torre”, lo que disminuirá los tiempos de recorrido y mejorara la calidad de vida de todas las personas que conforman esta institución.

La carretera que conforma este proyecto tiene un ancho promedio de 7.3 metros en la mayoría de su recorrido, conformado en su mayoría de empedrado, y carece de un sistema de drenaje pluvial adecuado para la gestión del agua debido a que no se tomó en cuenta ningún tipo de criterio o normativa durante su diseño e implementación.

Para este proyecto se realizó los estudios topográfico y estudios de suelo necesarios para el diseño final de la vía, cuya información será evaluada para la claridad de los datos y presentada posteriormente en los ANEXOS.

1.3. Problema

El mal estado de la vía refleja la necesidad de construir una red vial de óptimas condiciones, para beneficio de los habitantes que conforman los recintos de Puembo y San Pedro, facilitando la circulación vehicular, ya que mediante esto se mejorara las necesidades básicas de desarrollo en los sectores mencionados, lo que proporcionara a sus habitantes una mejor calidad de vida, reactivando a la zona de influencia tanto social como económica.

En la actualidad la capa de rodadura está constituida por material pétreo (lastre) en su mayoría, es notable el deterioro que presenta al carecer de mantenimiento, por la inadecuada canalización de agua lluvia.

En su momento la vía estuvo en intervención teniendo avances de construcción en lo que respecta a pasos de agua, pero debido a la falta de recursos económicos del GAD de Cotopaxi y mantenimiento, los trabajos se suspendieron, lo que produjo que el agua superficial circule libremente sobre la vía, ocasionando el daño en la mayoría de la capa de rodadura existente.

1.4. Delimitación

El presente proyecto se sitúa en la provincia de Cotopaxi, específicamente en el cantón La Maná, abarcando dos áreas geográficas contiguas: Puumbo y San Pedro.

Este proyecto tiene como objetivo principal beneficiar de manera directa a estas comunidades, donde los residentes experimentarán una mejora significativa en el tránsito vehicular y una mayor facilidad de desplazamiento para llevar a cabo sus actividades diarias.

Figura 1

Delimitación del proyecto



Nota. La flecha indica el lugar donde se realizará el proyecto. Fuente: Mapa Político de Cotopaxi.

1.5. Justificación

Los caminos rurales en Ecuador, especialmente en la Provincia de Cotopaxi, han sido planificados y construidos con variaciones significativas en cuanto a anchura de la vía, sin tener en cuenta aspectos cruciales como drenaje, estudios de suelos, señalización, flujo de tráfico y elementos geométricos como alineaciones, pendientes, curvas horizontales y verticales, así como anchos y peraltes, etc.

Este proyecto es factible porque se diseñará una carretera de forma correcta, siguiendo las normas y delimitaciones técnicas para mejorar la seguridad vial, optimizando el tiempo que implica la movilización de personas, producción agrícola y ganadera, lo que mejorará la calidad de vida de los habitantes de los sectores de “Puembo – San Pedro” y comunidades aledañas.

Se busca impulsar el progreso de las comunidades en los sectores de "Puembo y San Pedro", así como de otras comunidades que serán inicialmente favorecidas por esta carretera. Mejorar esta vía será fundamental para el desarrollo económico, productivo y social de la región, ya que facilitará el comercio al proporcionar una vía en condiciones óptimas para el transporte de productos, lo que beneficiará significativamente la economía de los habitantes locales.

La propuesta de este diseño vial posteriormente se entregará al Gobierno Autónomo Descentralizado de Cotopaxi en el área de obras públicas, para que este organismo proceda a llevar a cabo la construcción de la obra, de acuerdo con las regulaciones establecidas en la normativa MOP 2003.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Mejorar el estado actual de la carretera, mediante la propuesta de diseño vial para la pavimentación de la ruta, con el fin de facilitar la conexión entre los sectores de “Puembo – San Pedro”.

1.6.2. Objetivos Específicos

Evaluar el tráfico en la vía que comprende los sectores “Puembo – San Pedro”, cantón la Maná, provincia de Cotopaxi, mediante el estudio del tráfico promedio diario anual, con el fin de que la vía sea lo suficientemente ancha y fuerte para manejar las cargas de tráfico esperadas.

Analizar el levantamiento topográfico, para verificar el correcto trazado en el tramo que comprende la abscisa 0+000 hasta 6+200.

Analizar el estudio de suelos de la zona, que se obtuvo a través de distintos ensayos de laboratorio, obteniendo así en primera instancia un mapa geológico, para poder diseñar la estructura de la vía.

Elaborar el diseño del pavimento y el análisis hidráulico de la carretera, utilizando la normativa actual, considerando las restricciones de la información disponible y los resultados de los ensayos de laboratorio, para completar el diseño final de la vía.

1.7. Evaluación del sistema vial existente

Actualmente, la superficie de la carretera se compone principalmente de una capa de material pétreo (lastre) que presenta baches evidentes y un notable deterioro debido a la falta de mantenimiento, esta situación se agrava por una gestión inadecuada del drenaje pluvial.

Se han construido pasos de agua en un intento por abordar esta problemática, pero debido a la suspensión de los trabajos por limitaciones económicas en el pasado, estos pasos no han recibido el mantenimiento necesario. Como resultado, las aguas superficiales circulan libremente sobre la carretera, lo que contribuye a la destrucción de la capa de rodadura existente.

Figura 2

Imagen actual de la vía Puembo – San Pedro



Nota. Entrada de la vía del proyecto con tramo empedrado. Elaborado por: Los autores.

1.8. Ubicación geográfica

1.8.1. Coordenadas

El cantón La Maná se encuentra ubicado en las laderas de la cordillera occidental de los Andes, en la provincia de Cotopaxi, la vía está situada a una altitud de 255 msnm. A continuación, se detalla el punto de inicio y final de la vía en estudio.

Tabla 1
Coordenada del proyecto

	INICIAL	FINAL
Abscisa:	0+000 km	6+200 km
Latitud:	701389.04 m E	700938.45 m E
Longitud:	9896073.03 m S	9891544.45 m S
Altitud:	279.80 msnm	388.97 msnm
Zona:	17M	17M

Nota. Coordenadas del proyecto. Elaborado por: Los autores.

1.8.2. Límites

La carretera tiene una longitud aproximada de 6.2 km y conecta los sectores de Puenbo y San Pedro, ambos ubicados en el cantón La Maná, con la siguiente demarcación:

Tabla 2
Límites del proyecto

LIMITES CANTÓN LA MANÁ	
NORTE	Provincia Santo Domingo
SUR	Parroquia Moraspungo
ESTE	Parroquia La Esperanza y Cantón Sigchos
OESTE	Cantón Valencia y Quinsaloma

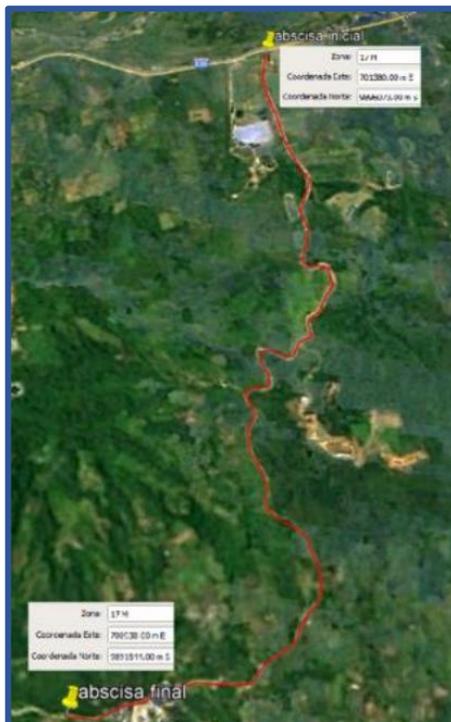
Nota. Límites de la parroquia La Matriz. Fuente: Mapa político de Cotopaxi

Figura 3
Límites del proyecto.



Nota. Delimitación del proyecto. Fuente: Mapa de carreteras de Cotopaxi.

Figura 4
Imagen aérea de la vía



Nota. La línea roja representa la extensión de 6.2 km del proyecto. Elaborado por: Los autores, a través de Google Earth Pro (2023).

Figura 5

Tramo de vía “Puembo – San Pedro”



Nota. Camino empedrado con ancho aproximado de 7.3 m y longitud aproximada 6.2 km.
Elaborado por: Los autores.

1.9. Área de estudio

El sitio del proyecto se encuentra en la parroquia La Matriz, dentro del cantón La Maná, en la provincia de Cotopaxi. El proyecto contempla la pavimentación de una carretera de aproximadamente 6.2 km que conecta los sectores de Puembo y San Pedro, siendo estos los principales beneficiarios del proyecto.

La cabecera cantonal de La Maná tiene 49035 Ha, está situada a una altitud desde los 279 metros sobre el nivel del mar, el proyecto ocupa la región este del cantón La Maná.

Figura 6

Ubicación general del área del proyecto



Nota. Ubicación de la provincia de Cotopaxi en el País. Fuente: Mapa Político del Ecuador.

1.10. Aspectos naturales

En la ruta que une los sectores de "Puembo - San Pedro", actualmente existe un camino mayormente empedrado, pero su construcción no siguió las normativas necesarias para asegurar un diseño y funcionamiento vial adecuados. Los residentes tienen la necesidad de una red vial en buen estado que posibilite el tráfico fluido de vehículos, incluyendo buses, camionetas, camiones pesados y automóviles, los cuales transportan pasajeros, alimentos, ganado, entre otros productos.

Dado que estas comunidades se centran en actividades agrícolas y ganaderas, es fundamental preservar la capa vegetal circundante. Por lo tanto, en este proyecto se considerará la vía existente, buscando minimizar el impacto en el entorno natural.

Este proyecto se esforzará en la medida de lo posible por conservar la naturaleza y todos sus componentes, incluyendo la vegetación, el suelo, los cursos de agua naturales y todos sus recursos asociados.

Figura 7

Estado de la vía "Puembo – San Pedro"



Nota. Camino empedrado con presencia de vegetación. Elaborado por: Los autores.

1.11. Características climáticas

El cantón La Maná presenta una temperatura que oscila entre los 22 °C y 33 °C, raramente descendiendo por debajo de 21 °C o superando los 35 °C. Durante la temporada de lluvias, el clima es generalmente nublado con precipitaciones intensas, mientras que la temporada seca se caracteriza por ser parcialmente nublada y muy calurosa durante todo el año. Los meses más calurosos se extienden por aproximadamente 2.3 meses, desde el 4 de agosto hasta el 13 de octubre, con una temperatura máxima promedio diario de 32 °C. Por otro lado, la temporada más fresca abarca alrededor de 3.2 meses, desde el 19 de enero hasta el 26 de abril, con una temperatura máxima promedio diario que no supera los 31 °C.

Según los datos recopilados por Weather Spark y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), utilizando la información de la estación meteorológica M0004 Rumipamba en Salcedo, en el cantón La Maná se registran precipitaciones a lo largo de todo el año. Febrero destaca como el mes más lluvioso, con un promedio de 215 milímetros de lluvia, mientras que agosto es el mes con menos precipitaciones, con un promedio de solo 9 milímetros.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Topografía

La topografía, desempeña un papel fundamental al proporcionar información detallada y precisa sobre la superficie terrestre y sus características; la topografía es esencial en todas las etapas del proceso, desde la planificación y el diseño, hasta la construcción y el mantenimiento de carreteras, autopistas y demás infraestructuras viales.

“Los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre. En un levantamiento topográfico se toman los datos necesarios para la representación gráfica o elaboración del mapa del área en estudio”. (Casanova M, 2002). Por este motivo la topografía es un pilar en la ingeniería vial al proporcionar datos precisos y detallados que permiten planificar, diseñar y construir infraestructuras viales de manera eficiente, segura y sostenible, adaptadas a las características específicas de cada entorno.

2.2. Conteo de tráfico, y su proyección

Según (Sisalima, 2018) “El conteo vehicular es una tarea muy utilizada en el área de control de tránsito, ya que es en base a estos datos que las personas encargadas toman decisiones para favorecer la movilidad en el entorno que estos se encuentran”. Por lo que se puede concluir que el recuento vehicular puede llevarse a cabo manual o automáticamente, y su objetivo es registrar la cantidad de vehículos de cualquier tipo que circulan por una vía. Esta medición se realiza a lo largo de siete días consecutivos, registrando el flujo durante un período de más de doce horas diarias.

Figura 8

Conteo tráfico vehicular, manual



Nota. Conteo manual en la vía. Elaborado por: Los autores.

2.3. Clasificación del tráfico

La clasificación del tráfico es el proceso de categorizar y organizar el flujo vehicular en diferentes grupos o categorías según distintos criterios. “Es función de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDP) esperada por el carril de diseño en el momento de poner en funcionamiento la vía, luego de su construcción o de su rehabilitación. Los vehículos pesados no comprenden autos, camionetas ni tractores sin remolque.” (MOP, 2002).

Tabla 3

Clasificación del tráfico

TRÁFICO	IMDP
Liviano	Menos de 50
Medio	50 a 200
Pesado	200 a 1000
Muy pesado	Más de 1000

Nota. Datos tomados de Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puentes (MOP-2002).

2.4. Tráfico promedio diario anual

Según (Alvarado, 2004) “El T.P.D.A. se calcula dividiendo la cantidad de vehículos que se observó durante el tiempo en que se realizó el conteo para el número de días, obteniendo así un promedio de 24 horas.”

El Tráfico Promedio Diario Anual refleja la cantidad esperada de vehículos que transitarán por una sección de la carretera en un solo día durante un año. Al calcular esta cifra, se consideran factores de variación como el horario, el día de la semana, la semana y el mes, ajustando así el cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual proyectado para el primer año.

2.5. Clasificación de la vía

Según (MOP, 2003) “Para el diseño de carreteras en el país, se recomienda la clasificación en función del pronóstico de tráfico para un período de 15 o 20 años.”

Se llevará a cabo el diseño de la carretera siguiendo la recomendación de clasificarla para un período de 15 a 25 años, basado en un análisis previo del pronóstico de tráfico.

Tabla 4

Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado

Clase de carretera	Tráfico proyectado TPDA
R-I o R-II	Mas de 8000
I	De 3000 a 8000
II	De 1000 a 3000
III	De 300 a 1000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

Nota. Datos tomados de Normas de diseño geométrico (2003).

2.6. Estudio geológico y geotécnico

Según (NSR, 1998) “Se define como estudio geotécnico el conjunto de actividades que comprenden la investigación de subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras de contacto con el suelo”. En conclusión, son esenciales para garantizar el éxito y la seguridad de los proyectos de ingeniería civil, proporcionando información crucial para el diseño, la construcción y la gestión de infraestructuras duraderas y seguras.

Mientras que el estudio geológico es una evaluación detallada del terreno donde se planifica construir o mejorar una infraestructura vial, como carreteras, puentes o caminos. Este estudio se realiza para comprender las características geológicas propias del terreno, incluyendo la composición del suelo, la estructura geológica subyacente, la estabilidad del terreno y los posibles riesgos geológicos y geotécnicos.

Según (Oros, 2018) “El estudio geológico-geotécnico para realizar el diseño de una carretera es muy importante por diferentes aspectos, por ejemplo, nos indican la existencia de materiales que podemos utilizar, su distribución y accesibilidad, las propiedades de los suelos respecto del tránsito y características de los materiales en la superficie”. Por lo tanto, estos estudios proporcionan información crucial para la planificación, diseño y construcción exitosa de proyectos de ingeniería civil vial, ayudando a garantizar la seguridad, la durabilidad y la eficiencia de las estructuras viales.

2.7. Estudio geotécnico preliminar

Según (NSR, 1998) “Se define como estudio geotécnico preliminar al trabajo realizado para aproximarse a las características geotécnicas de un terreno, con el fin de establecer las condiciones que limitan su aprovechamiento, los potenciales problemas que puedan presentarse, los criterios

geotécnicos y parámetros generales para la elaboración de un proyecto”. Por lo que se puede decir que, el estudio geotécnico preliminar debe proporcionar una descripción general del contexto geológico, las propiedades del subsuelo y las recomendaciones necesarias para la planificación del proyecto.

2.8. Los suelos

Los suelos se refieren a los materiales naturales que conforman la capa superficial de la corteza terrestre y que interactúan directamente con las estructuras construidas por el ser humano. Estos materiales pueden variar en composición, densidad, textura y capacidad de carga, lo que influye en su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga y ambientales.

Los suelos son un componente crucial en la ingeniería civil ya que forman la base sobre la cual se construyen edificios, carreteras, puentes, presas y otras infraestructuras.

2.9. Clasificación de los suelos

Según (Borselli, 2023) “Hay dos sistemas de clasificación de suelos de uso común para propósitos de ingeniería. 1) el Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS o USCS) que se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica; 2) el sistema de clasificación AASHTO que se usa por la construcción de carreteras y terraplenes.

Ambos sistemas utilizan los resultados del análisis granulométrico y la determinación de los límites de Atterberg (LL, LP, IP) para determinar la clasificación del suelo.” Tanto el SUCS como el AASHTO están diseñados específicamente para ser útiles en el campo de la ingeniería de carreteras y pavimentos, proporcionando una forma estandarizada de clasificar los suelos para propósitos de diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras viales.

Existen dos métodos ampliamente reconocidos para clasificar el suelo: uno es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el otro es el Sistema AASHTO.

2.10. Pavimento

Según (Giordani & Leone, 2009) el pavimento es una “estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos.” Por lo que podemos concluir que un pavimento está formado por varias capas horizontales superpuestas, diseñadas y construidas con materiales específicos y compactados de manera adecuada. Estos pavimentos se clasifican en dos tipos, flexibles y rígidos, los cuales responden de manera distinta cuando se les aplica una carga.

El pavimento flexible es un tipo de pavimento utilizado en carreteras y calles que se caracteriza por su capacidad de adaptarse a las deformaciones causadas por el tráfico y el clima. Según (Montejo, 2002) “Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase”, por lo tanto, el pavimento flexible es especialmente adecuado en áreas donde el suelo tiene una alta compactibilidad y puede presentar movimientos y deformaciones, ya que su flexibilidad le permite distribuir las cargas de tráfico de manera eficiente. También es capaz de absorber los impactos y las fuerzas generadas por el paso de vehículos, lo que ayuda a reducir el desgaste y la fatiga del material.

El pavimento rígido es un tipo de superficie de carretera o vía compuesto por una capa de concreto o cemento armado. A diferencia del pavimento flexible, que se compone de asfalto, el pavimento rígido es más sólido y resistente. “La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento”. (Montejo, 2002).

La construcción de pavimento rígido implica verter hormigón o cemento sobre una base de suelo compactada. Luego se aplica una capa de refuerzo de acero para aumentar la resistencia y

prevenir las grietas. Finalmente, se realiza un proceso de curado en el que el hormigón se deja endurecer y adquirir resistencia.

El pavimento rígido ofrece varias ventajas, como una mayor durabilidad, resistencia al deslizamiento y menor necesidad de mantenimiento en comparación con el pavimento flexible. Sin embargo, también puede ser más costoso de construir y reparar.

El pavimento debe cumplir una serie de parámetros que evidencien su correcto funcionamiento, uno de los más importantes es:

Según (Monsalve, Giraldo, & Gaviria, 2012) “Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación”, por lo tanto, es necesario llevar a cabo un análisis, de manera que se pueda determinar y aplicar las especificaciones correctas para su diseño y construcción.

2.11. Diseño geométrico de la carretera

“Se encarga de determinar las características geométricas de una vía a partir de factores como el tránsito, topografía, velocidades, de modo que se pueda circular de una manera cómoda y segura”. (Agudelo, 2002). Por lo tanto, el diseño geométrico de carreteras se enfoca en la configuración y disposición física de las carreteras y vías para lograr condiciones seguras, eficientes y cómodas para los usuarios. Este proceso implica la determinación de elementos como trazado, pendientes, curvas, intersecciones, peraltes y características específicas que afectan la geometría de la vía.

2.12. Parámetros de diseño

“Los parámetros que determinan las características de diseño de una carretera son la velocidad, la visibilidad, el radio de curvatura horizontal, la distancia de parada, el gradiente, la

capacidad de flujo y nivel de servicio, las intersecciones, y las facilidades intermedias”. (MOP, 2003) Ante lo citado, el diseño geométrico se basa en normativas y estándares específicos que varían según el tipo de vía, el volumen de tráfico, el entorno geográfico y las condiciones climáticas, entre otros factores.

2.13. Diseño Horizontal

El diseño horizontal de carreteras es una parte fundamental del diseño geométrico que se enfoca en la configuración del trazado horizontal de una carretera. Según (Cardenas, 2013) “El diseño geométrico en planta de una carretera o alineamiento horizontal, es la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por curvas”. Por lo tanto, el diseño horizontal optimiza la seguridad y la comodidad de los usuarios al minimizar las fuerzas laterales y brindar una transición suave entre secciones rectas y curvas. Todo esto se realiza dentro de parámetros específicos definidos por normativas y estándares viales para garantizar un diseño seguro y funcional.

2.14. Diseño Vertical

El diseño vertical de carreteras se enfoca en la configuración del perfil longitudinal de una carretera, es decir, en el plano vertical, considerando la distribución de elevaciones a lo largo de su recorrido. “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.” (MOP, 2003) Este aspecto del diseño geométrico vial es crucial para garantizar la seguridad, comodidad y eficiencia del tránsito vehicular.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Para el desarrollo del proyecto se propone el uso de la investigación aplicada.

Según (Murillo, 2008) “la investigación aplicada recibe el nombre de investigación práctica o empírica, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación.”

Este tipo de investigación ayudara a la realización del proyecto aplicando el conocimiento adquirido a lo largo de la carrera de Ingeniería Civil.

3.2. Método

Para el desarrollo del proyecto se propone aplicar en primera instancia el método analítico.

“El método analítico será aquel que descompone un todo en sus partes, el todo puede ser concreto o abstracto. Comienza con la observación y descripción de un hecho, para luego descomponerlo en sus partes y establecer jerarquías que permitan identificar lo esencial de lo fenoménico.” (Unda, 1999). Una vez recolectada toda la información, por consiguiente, se aplicará el método sintético, que según (Unda, 1999) “reúne a los elementos del todo previamente separados o analizados.” Teniendo en consideración que, para lograr los resultados finales del proyecto, se necesitará realizar una secuencia de ensayos, estudios y análisis. La recopilación de todas las variables obtenidas de estos estudios será fundamental para alcanzar una conclusión definitiva.

3.3. Técnica para recolectar información

Para este proyecto se realizará entrevistas y observaciones, con el fin de recolectar diferentes variables que pueden afectar al diseño de la vía.

3.4. Proceso técnico de ingeniería civil

3.4.1. Estudio topográfico

En este proyecto, es crucial realizara el levantamiento topográfico que describe la disposición actual de la carretera conectando los sectores "Puembo – San Pedro", este estudio se llevara a cabo utilizando una estación total. Este análisis es fundamental ya que se tiene la intención de llevar a cabo la planificación geométrica, estructural y el asfaltado de la vía existente.

3.4.2. Estudio geotécnico-geológico

Se llevarán a cabo una serie de pruebas, entre las que se incluyen la obtención de muestras de suelo alteradas en el campo, perforaciones para muestreo (cada 0.5 metros de profundidad), evaluaciones de CBR en campo mediante DCP y el método CBR de tres puntos, compactación mediante el ensayo Proctor modificado, medición del contenido de humedad en el suelo, análisis granulométrico por lavado y tamizado utilizando malla 200, así como la clasificación según los estándares SUCS y AASTHO. Estos análisis se realizarán para determinar las propiedades de los materiales destinados a la base y subbase de la vía, cada tramo de aproximadamente 500 metros, siguiendo las pautas generales establecidas en la normativa de MOP 2003. Estos ensayos serán realizados por un laboratorio especializado en mecánica de suelos y materiales, con el cual la Prefectura de Cotopaxi, a través de la Unidad de Obras Públicas, tiene un convenio establecido.

3.4.3. Estudio de tráfico

Se necesita calcular el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), y para ello se elegirá un punto óptimo para realizar el conteo vehicular, buscando obtener la estimación más precisa de los datos reales. Este conteo se llevará a cabo a lo largo de una semana completa (7 días), durante un lapso de 12 horas diarias (desde las 6 am hasta las 6 pm).

Es crucial tener en cuenta que al ejecutar el proyecto físicamente, se anticipa un incremento notable en el tráfico vehicular, dado que las vías cercanas carecen de estudios previos al diseño. Basándonos en los datos recopilados, se llevará a cabo una proyección para estimar el aumento del tráfico que la vía experimentará, siguiendo las directrices establecidas en la normativa de MOP 2003.

3.4.4. Diseño geométrico y estructural

Se llevará a cabo la clasificación del tipo de carretera siguiendo las directrices establecidas en la normativa MOP 2003, basándose en los resultados obtenidos del análisis de tráfico previo. Se establecerán los parámetros de velocidad y diseño de acuerdo con estas clasificaciones. Además, se empleará el software Civil 3D para determinar el alineamiento tanto horizontal como vertical que corresponda a estas especificaciones.

3.4.5. Diseño hidráulico

Se enfoca en minimizar la presencia y acumulación de aguas, ya sean superficiales, pluviales o subterráneas, para asegurar el correcto funcionamiento y estabilidad de la vía. Se hará uso de las pautas de diseño establecidas en la normativa MOP 2003 para garantizar este propósito.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

4.1. Antecedentes

El estudio topográfico es esencial para analizar un terreno en detalle. Consiste en el análisis detallado de la superficie terrestre, teniendo en cuenta sus características físicas, geográficas y geomorfológicas. Este proceso nos permite recopilar información precisa del proyecto, que luego se utiliza en diversos campos como la planificación de construcción, la ingeniería civil, la cartografía, la gestión del medio ambiente y el desarrollo urbano, entre otros.

Según (MTO, 2013) “La topografía es un factor principal de la localización física de la vía, pues afecta su alineamiento horizontal, sus pendientes, sus distancias de visibilidad y sus secciones transversales”. Por lo tanto, para comenzar un proyecto vial de una carretera, lo primero que se hace es realizar un levantamiento topográfico.

Esto implica obtener información detallada sobre el terreno donde se llevará a cabo el proyecto. Este estudio es fundamental porque nos proporciona datos precisos sobre la forma y altura del terreno, lo que facilita el diseño de la carretera, los cálculos necesarios para la movilización de tierras y la estimación inicial de los costos de construcción.

4.2. Sistema de coordenadas

El sistema de coordenadas a utilizar para este proyecto es UTM WGS 84 (Universal Transverse Mercator, World Geodetic System 1984). El proyecto que une los sectores de Puenbo y San Pedro se encuentra ubicado en la zona 17M.

4.3. Levantamiento topográfico

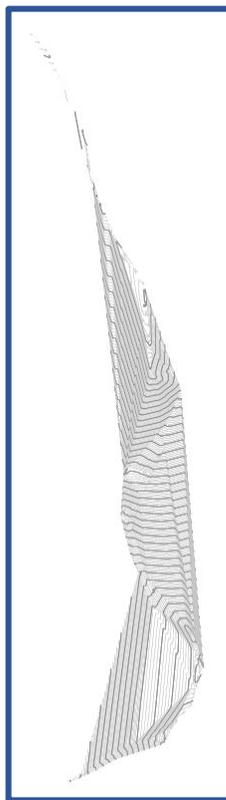
Para conocer qué tipo de terreno existe a lo largo de la ruta de una carretera, nos guiamos por las regulaciones del Ministerio de Obras Públicas del año 2003, donde se definen las

correspondientes coordenadas: latitud, longitud y elevación. Se describen dos métodos diferentes de realizar el levantamiento topográfico, los cuales se detallan a continuación:

Planimétrico: Este enfoque implica la obtención de puntos clave para establecer una representación plana del terreno mediante el levantamiento de poligonales. Es una técnica empleada para mostrar la forma y detalles del terreno en un plano horizontal, excluyendo la elevación vertical.

Altimétrico: Este procedimiento implica calcular la altura con respecto al plano horizontal, es decir, para mostrar las variaciones de altura o altitud en una zona específica.

Figura 9
Topografía del proyecto.



Nota. Curvas de nivel del proyecto “Puembo – San Pedro”.

4.4. Tipología del terreno

Las carreteras serán categorizadas de acuerdo con el relieve del terreno natural por el cual atraviesan, basándose en la pendiente media máxima de la línea de la máxima inclinación. Esta pendiente se calcula a partir de la franja original del terreno afectada por la construcción de la carretera.

4.4.1. Terreno Plano

Este tipo de terreno tiene pendientes transversales a la vía menores del 5%. “Exige mínimo movimiento de tierras en la construcción de carreteras y no presenta dificultad en el trazado ni en su explanación, por lo que las pendientes longitudinales de las vías son normalmente menores del 3%.” (MTOPI, 2013)

4.4.2. Terreno Ondulado

“Se caracteriza por tener pendientes transversales a la vía del 6% al 12%. Requiere un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y la explanación, así como pendientes longitudinales típicamente del 3% al 6%.” (MTOPI, 2013)

4.4.3. Terreno Montañoso

“Las pendientes transversales a la vía suelen ser del 13% al 40%. La construcción de carreteras en este terreno supone grandes movimientos de tierras, y/o construcción de puentes y estructuras para salvar lo montañoso del terreno por lo que presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Pendientes longitudinales de las vías del 6% al 8% son comunes”. (MTOPI, 2013).

4.4.4. Terreno Escarpado

“Las pendientes del terreno transversales a la vía pasan con frecuencia del 40%. Para construir carreteras se necesita máximo movimiento de tierras y existen muchas dificultades para

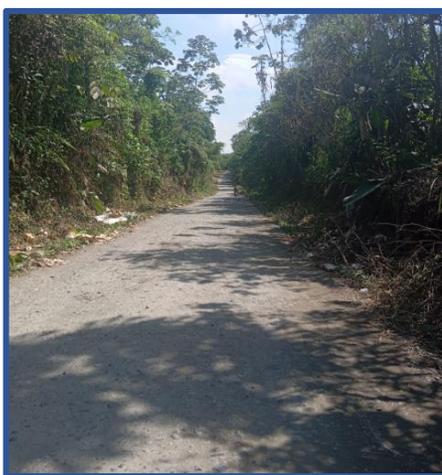
el trazado y la explanación, pues los alineamientos están prácticamente definidos por divisorias de aguas, en el recorrido de la vía. Por lo tanto, abundan las pendientes longitudinales mayores del 8%, que, para evitarlos, el diseñador deberá considerar la construcción de puentes, túneles y/o estructuras para salvar lo escarpado del terreno”. (MTO, 2013).

4.5. Identificación del tipo de terreno del proyecto

De acuerdo con los conceptos antes mencionados, gracias al levantamiento topográfico y su análisis se puede definir que para que el Proyecto “Puembo – San Pedro” sus características cumplen con las condiciones de un terreno TIPO ONDULADO, debido a que su gradiente transversal esta entre el rango de 5% a 15%.

Figura 10

Vía que une los sectores de Puembo y San Pedro



Nota. Topografía del proyecto. Elaborado por: Los autores.

CAPÍTULO V

ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

5.1. Antecedentes

El objetivo principal de los estudios geológico-geotécnicos es entender la geología de la zona de estudio y las características geotécnicas de los materiales presentes en ella. Estas propiedades geotécnicas son esenciales para realizar los cálculos requeridos en este proyecto, siendo fundamental para diseñar e implementar una infraestructura vial que sea segura y perdurable.

Al obtener información detallada sobre el tipo de suelo, la estabilidad del terreno, la presencia de agua subterránea y otros factores geotécnicos, se pueden tomar decisiones adecuadas sobre el diseño del pavimento, la construcción de terraplenes y la implementación de medidas de estabilización del suelo. Esto ayuda a mitigar los riesgos de asentamientos, deslizamientos de tierra, erosión y otros problemas que podrían afectar la seguridad y la integridad de la carretera a lo largo de su vida útil.

Los ensayos necesarios para realizar este proyecto se llevaron a cabo a través de los laboratorios “LDMS LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y DISEÑOS CIA. LTDA.” Cuyos resultados se presentarán en el apartado de **ANEXO No 2**.

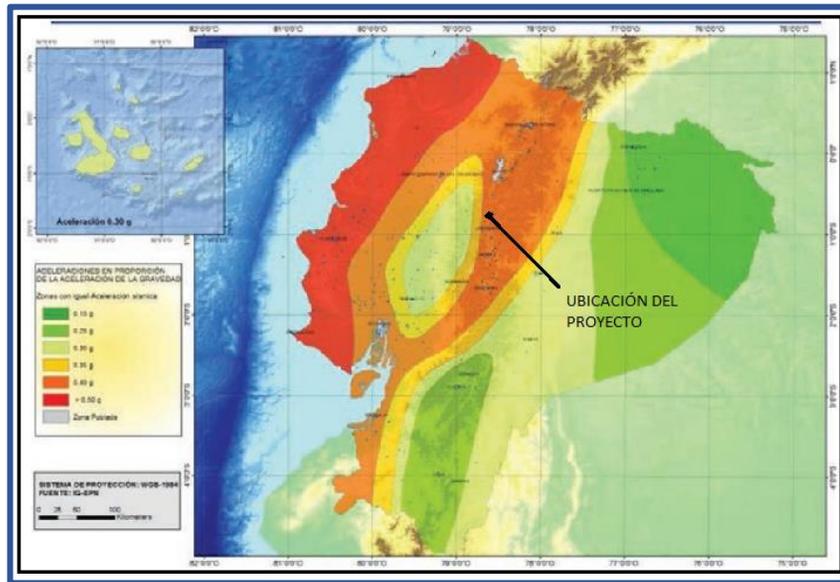
5.2. Riesgos naturales

5.2.1. Susceptibilidad sísmica

Existen múltiples factores que incrementan la susceptibilidad ante los terremotos, como el tipo de terreno. El proyecto se encuentra en una región alpina que forma parte de la Cordillera de los Andes.

Según el análisis del mapa de riesgo de Intensidad Sísmica, se concluye que todo el cantón La Maná está sujeto a altos niveles de intensidad sísmica.

Figura 11
Zonificación sísmica



Nota. Zonas sísmicas y ubicación del proyecto. Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, 2015.

Según la norma NEC-SE-DS-2015, se establecen seis zonas de riesgo sísmico. Basándonos en la figura anterior, se describen las características específicas del peligro sísmico.

Figura 12
Valor "Z" según la zona sísmica

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota. Valores del factor Z y caracterización del peligro sísmico para cada zona. Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, 2015.

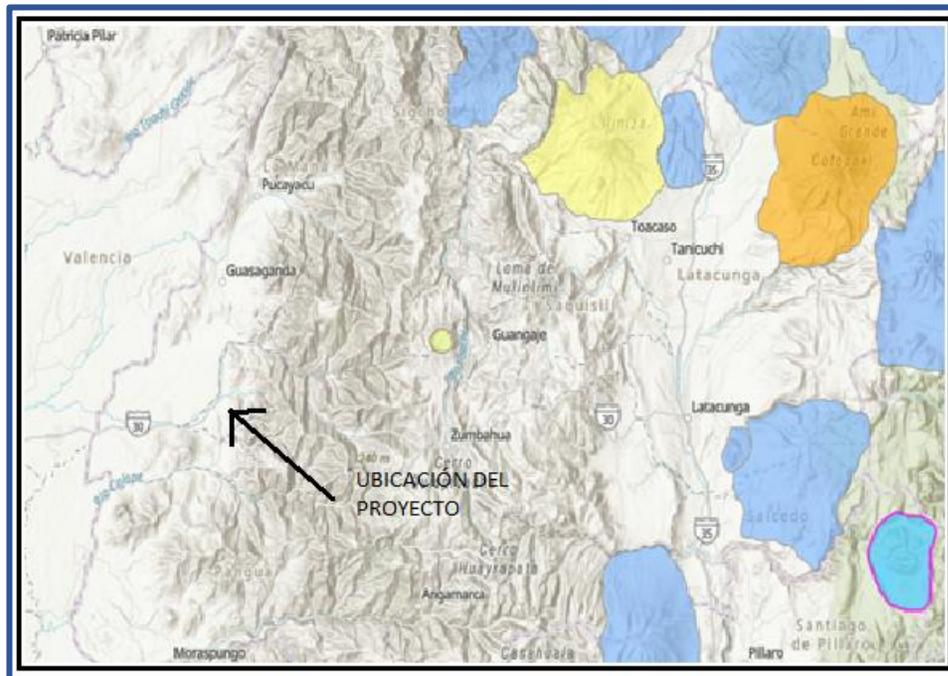
Basándonos en las Figuras 10 y 11, se determinó que el riesgo de terremoto era significativo, con un valor de Z de 0.40.

5.2.2. *Susceptibilidad a peligros volcánicos*

Según el análisis de riesgo por amenazas volcánicas, se determina que el 1.21% del cantón está en riesgo de erupción volcánica (Quilotoa o Illinizas); el 11.38% enfrenta un riesgo significativo de ceniza volcánica, mientras que el 61.41% del cantón presenta un riesgo alto de ceniza volcánica.

Figura 13

Volcanes cercanos al proyecto

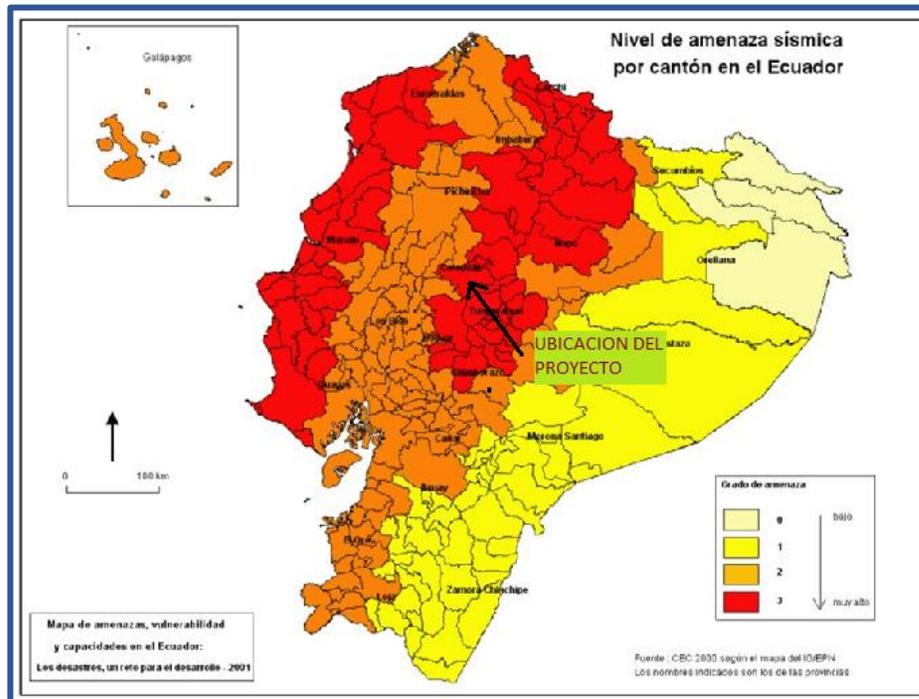


Nota. Ubicación del proyecto y volcanes cercanos al proyecto Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

5.2.3. *Susceptibilidad a inundaciones*

En el cantón, hay 8871 hectáreas, lo que representa el 13.31% del territorio, que son propensas a inundaciones debido a las tendencias de crecidas, según el análisis del mapa realizado por el Instituto Espacial Ecuatoriano.

Figura 14
Amenaza por inundación



Nota. Ubicación del proyecto y nivel de amenaza de inundaciones Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

5.3. Estudios geotécnicos

El laboratorio de Mecánica de Suelos y Diseños "LDMS" ha entregado un informe con el estudio geotécnico correspondiente, el cual se encuentra en el **ANEXO No. 2**.

5.3.1. Trabajos de campo

Estos estudios implican trabajar directamente en el lugar. Para nuestro proyecto, llevamos a cabo sondeos en el terreno utilizando una técnica de excavación llamada calicata abierta, para recolectar muestras en distintos puntos.

5.3.2. Excavación de calicatas

De acuerdo a la importancia del proyecto se realizará sondeos cada 1.0 km.

Las muestras fueron extraídas a diferentes profundidades según se detalla en la Tabla 5, asegurando medidas adecuadas para evitar la pérdida de humedad y etiquetándolas para su transporte al laboratorio correspondiente, "LDMS", donde se llevaron a cabo los ensayos de CBR, así como la clasificación según los métodos AASHTO y SUCS. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 5
Resultados obtenidos de la excavación de calicatas

ABSCISA	PROFUNDIDAD (m)	SUELO ENCONTRADO
0+000	0.00 a 1.00	Material granular, constituido por grabas con matrices arenosas
	1,00 a 2.00	Arcillas altamente plásticas color café claro.
1+000	0.00 a 1.10	Material granular, constituido por grabas con matrices arenosas
	1,10 a 2.00	Arcillas altamente plásticas color café claro.
2+000	0.00 a 0,55	Material granular, constituido por grabas con matrices arenosas
	0.55 a 2.00	Arcillas altamente plásticas color café claro.
3+000	0.00 a 0,80	Material granular, constituido por grabas con matrices arenosas
	0,80 a 2.00	Arcillas altamente plásticas color café rojizo nivel freático 1.75m.
4+000	0.00 a 1.00	Material granular, constituido por grabas con matrices arenosas
	1,00 a 2.00	Limo arcillas altamente plásticas color café, nivel freático 1,70m.
5+000	0.00 a 1,20	Material granular, constituido por grabas con matrices arenosas
	1,20 a 2.00	Arcillas altamente plásticas color café oscuro nivel freático 1,85m.
6+000	0.00 a 1.00	Material granular, constituido por grabas con matrices arenosas
	1,00 a 2.00	Limo arcillas altamente plásticas color café nivel freático 1,80m.

Nota: **ANEXO No 2** Estudio Geotécnico LDMS CIA. LTDA, 2019.

5.4. Trabajos de laboratorio

Para esta etapa, se emplean las muestras recolectadas en el campo y luego se realizan los ensayos necesarios en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales "LDMS". Estos resultados son fundamentales para el diseño estructural de la carretera. En este proyecto, los ensayos necesarios incluyen:

5.4.1. Contenido de humedad

La ejecución de este ensayo está conforme con la norma ASTM D2216, titulada "Determinación de la humedad del suelo por secado en estufa", la cual tiene como objetivo determinar el contenido de humedad del suelo mediante este método específico.

5.4.2. Granulometría

Según la norma ASTM C136, este ensayo tiene como objetivo determinar los tamaños de las partículas de un suelo y calcular el porcentaje de estas que pasan a través de los tamices de la serie especificada, hasta el tamiz N°200. Además, la norma especifica que la cantidad mínima de muestra necesaria para realizar el ensayo debe ser suficiente para garantizar una representación adecuada en función del tamaño máximo de partícula del suelo, siendo esta cantidad entre 0.5 y 5 kg.

Este ensayo se realiza con el propósito de obtener la curva granulométrica del material analizado. Primero, la muestra cuarteada se pasa a través de una serie de tamices con aberturas que van desde 100 hasta 0,08 mm. Después de vibrar los tamices, ya sea manualmente o automáticamente, se pesa el material retenido en cada tamiz para calcular su porcentaje respectivo. Finalmente, se representa gráficamente la curva acumulativa de lo que pasa por cada tamiz, lo cual proporciona la curva granulométrica del material.

5.4.3. Límites de Atterberg

Se trata de dos ensayos de laboratorio: la "Determinación del límite líquido de un suelo mediante el método del aparato de Casagrande" y la "Determinación del límite plástico de un suelo" ASTM D4318. Estos ensayos son fundamentales para determinar las propiedades plásticas del suelo, incluyendo su límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. El laboratorio los realiza conjuntamente bajo el nombre de "límites de Atterberg", completando ambos procedimientos en conjunto.

Límite Líquido (LL): "El contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en el límite definido arbitrariamente entre los estado semilíquido y sólido, (ASTM-D-4318, 2005)

Límite Plástico (LP): "El contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en límite entre los estados plásticos y semisólido." (ASTM-D-4318, 2005)

5.5. Clasificación de suelos

Las muestras obtenidas fueron clasificadas acordes a las normativas SUCS Sistema unificado de clasificación de suelo, según lo indicado por el informe del **ANEXO No 2**.

5.5.1. Clasificación SUCS

Esta clasificación divide los suelos en:

Suelos de grano grueso.

Suelos de grano fino.

Suelos orgánicos.

Los suelos se categorizan utilizando símbolos de grupo que incluyen un prefijo y un sufijo. Los prefijos representan las iniciales en inglés de los seis tipos principales de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba), mientras que los sufijos señalan las subdivisiones dentro de estos grupos.

Los suelos de granos gruesos y finos se diferencian según el tamizado del material a través del tamiz No. 200.

Los suelos gruesos son aquellos que quedan retenidos en este tamiz, mientras que los suelos finos son los que pasan a través de él. Por lo tanto, se considera que un suelo es grueso si más del 50% de sus partículas son retenidas en el tamiz No. 200, y fino si más del 50% de sus partículas son más pequeñas que este tamiz.

Los suelos gruesos se clasifican en gravas y arena mediante el tamizado con el tamiz No. 4. Un suelo se considera del grupo de grava si retiene más del 50% en el tamiz No. 4; de lo contrario, se clasificará como arena.

Los suelos finos en el sistema unificado se clasifican en varios grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas, y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos grupos se subdivide según su límite líquido, estableciendo dos categorías con un límite líquido de $LL = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50, se agrega la letra L al símbolo general (low compressibility). Si es mayor de 50, se agrega la letra H (high compressibility). Así se obtienen los siguientes tipos de suelos:

ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad.

OL: Limos y arcillas orgánicas.

CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.

CH: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.

OH: Arcilla y limos orgánicos de alta compresibilidad.

5.6. Cono Dinámico de Penetración (DCP)

Según (D6951, 2003) “El DCP se utiliza para evaluar subrasantes no compactadas y estimar el valor CBR. Da un mayor conocimiento estimado a la capacidad estructural de las diferentes capas que conforman el pavimento, detecta la uniformidad de compactación del material”. Por lo tanto, la correlación entre el DCP y CBR proporciona una estimación rápida y económica de la capacidad portante del suelo, útil para el diseño preliminar, evaluación del sitio.

Es un equipo utilizado en estudios geotécnicos para evaluar la resistencia del suelo, proporciona información sobre la densidad y la resistencia del suelo, lo que es crucial para determinar su capacidad portante y su idoneidad para diversas aplicaciones de ingeniería, como la construcción de carreteras, cimentaciones de edificios, entre otros.

Cuando no sea factible realizar el ensayo de CBR con muestras recompactadas, bajo circunstancias excepcionales y con justificación adecuada, se puede considerar utilizar otras técnicas convencionales de reconocimiento geotécnico, como los ensayos SPT (Standard Penetration Test), de penetración dinámica, o presiométricos.

5.7. Determinación del cbr de diseño

El CBR (California Bearing Ratio) de diseño se refiere al valor objetivo de CBR que se utiliza en el diseño de pavimentos. Este valor se determina en función de las características del tráfico, las condiciones del suelo y los requisitos de resistencia del pavimento.

Según el Instituto del Asfalto de Ecuador el percentil para el cálculo del CBR sería según la siguiente tabla:

Tabla 6

Valor de CBR de diseño.

Clase de Tránsito	N° de ejes equivalentes	% CBR diseño
Pesado	$> 10^6$	60
Mediano	$10^4 - 10^6$	75
Liviano	$\leq 10^4$	87.5

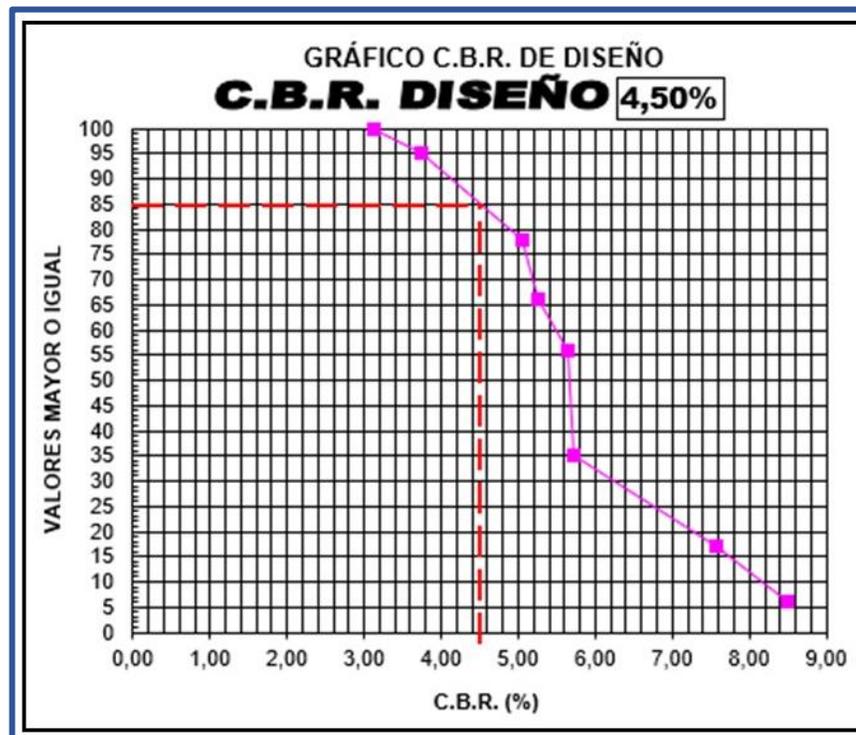
Nota: Instituto del Asfalto

El CBR de diseño se selecciona para garantizar que el pavimento tenga la capacidad portante adecuada para soportar las cargas esperadas durante su vida útil sin sufrir daños significativos.

Para el cálculo del CBR se utilizó los datos otorgados por el laboratorio “LDMS” los cuales se encuentran en el ANEXO No 2.

Figura 15

Diagrama para el CBR de Diseño



Nota. Gráfico del CBR vs Percentil. Tomado de ESTUDIO PARA EL ASFALTADO DE LA VIA PUEMBO – SAN PEDRO.

Tabla 7
Resumen de resultados

Percentil	CBR de Diseño
85 %	4.50 %

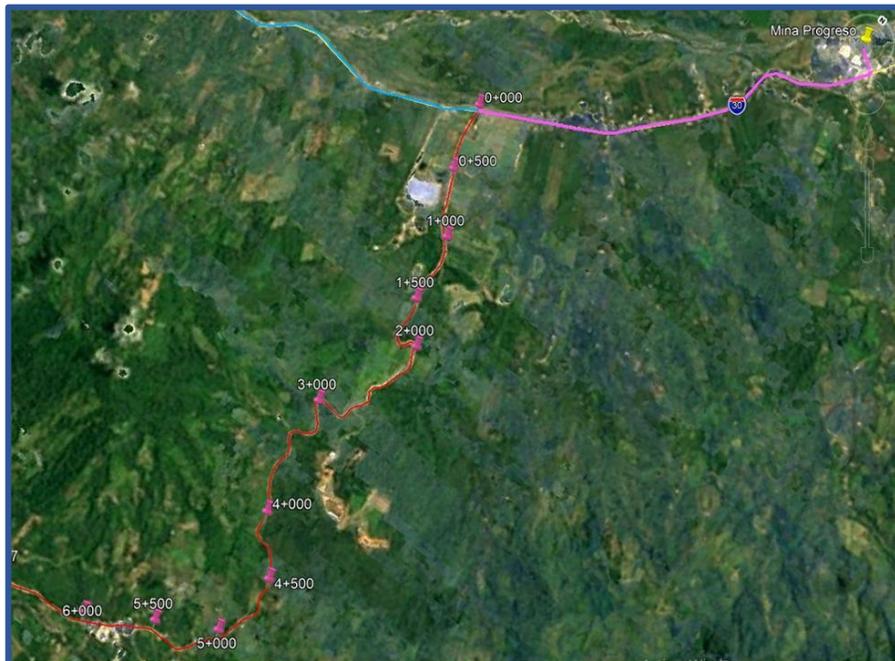
Nota. El percentil considerado es de **85%**. Fuente: ESTUDIO PARA EL ASFALTADO DE LA VIA PUEMBO – SAN PEDRO.

5.8. Localización de fuentes de materiales

5.8.1. Base, Sub-base granular

Para los materiales pétreos se considera de la siguiente mina: La adquisición del material para la base, subbase y material de mejoramiento se lo hará desde la mina El Progreso que se encuentra a una distancia de 3.32 km aproximadamente al inicio del proyecto, la cual actualmente se encuentra concesionada por el GADP de Cotopaxi.

Figura 16
Mina El Progreso

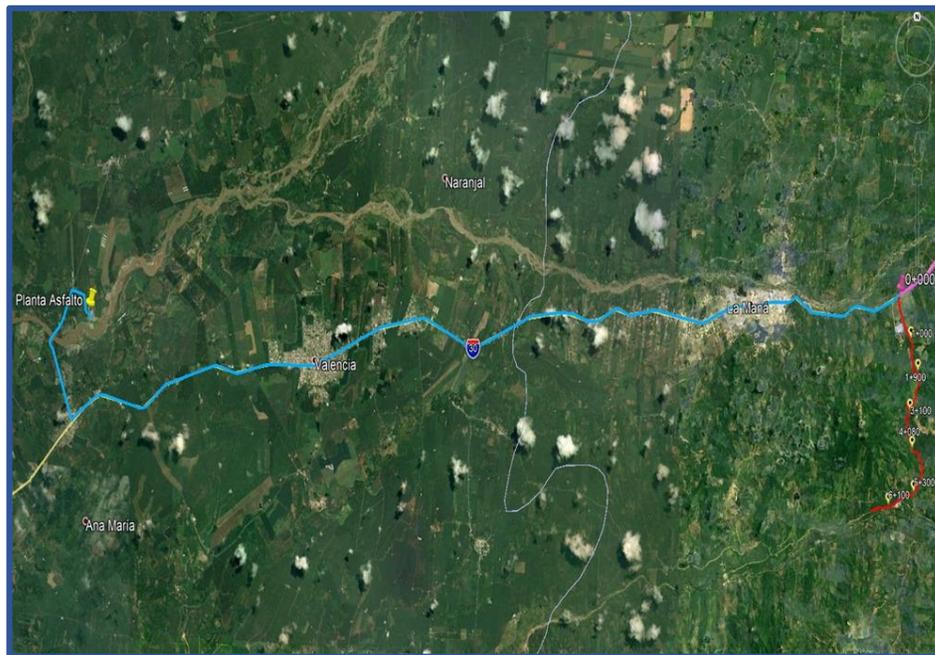


Nota. Ubicación de la mina El Progreso respecto al proyecto Elaborado por: Los autores.

5.8.1. *Carpeta asfáltica*

El transporte del material de la carpeta asfáltica se realizará de la planta asfáltica Valencia Quevedo, que se ubica en el cantón Los Ríos a una distancia de 31.19 km aproximadamente al inicio del proyecto.

Figura 17
Planta Asfáltica Valencia - Quevedo



Nota. Ubicación de la planta asfáltica Valencia - Quevedo respecto al proyecto. Elaborado por los Autores.

CAPÍTULO VI

ESTUDIO DEL TRÁFICO

6.1. Alcance

El tráfico es un aspecto crucial para cualquier proyecto vial. Es fundamental conocer su volumen y características para lograr los objetivos de este proyecto, centrado en la mejora, rehabilitación y construcción de las obras básicas de la carretera que conecta Puembo con San Pedro, ubicada en el Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi.

Es crucial resaltar que la evaluación precisa del tráfico es fundamental para el diseño correcto del pavimento y la evaluación integral del proyecto, ya que muchos de los beneficios que se obtienen dependen de la reducción de los costos operativos de los vehículos.

Este estudio de tráfico tiene como objetivo principal determinar el Tráfico Promedio Diario Anual actual de la carretera y proyectarlo para el período de diseño. Estos datos serán utilizados para calcular el número de ejes equivalentes (W18) que la vía deberá soportar durante su vida útil, lo cual es crucial para el diseño de la estructura del pavimento.

6.2. Metodología

Para llevar a cabo el conteo manual durante varios días, se formó un equipo de dos personas, conformado por los autores, posicionados en ambos sentidos de la vía en la estación designadas. Cada operador utilizó una hoja de registro que permitía clasificar los vehículos según su tipo y registrarlos en intervalos de tiempo específicos. Esto facilitó a los operadores una mejor visualización, clasificación y registro de los vehículos en el formato de conteo.

6.3. Estación de conteo

Para la estación de conteo, es importante que los encargados puedan observar claramente los vehículos que pasan por la vía, además de considerar las condiciones climáticas del área y asegurar la viabilidad necesaria para realizar el conteo de manera manual.

Para este proyecto, se ubicó la estación de conteo en el kilómetro 0+000, eligiendo este punto estratégico por su conexión entre la vía principal E30 y la ruta del proyecto.

En la siguiente tabla apreciaremos las coordenadas de la estación de conteo:

Tabla 8

Coordenadas de la estación de conteo del proyecto

ESTACIÓN DE CONTEO VEHICULAR	
Latitud	701380.04 m E
Longitud	9896073.03 m S
Altitud	279.80 msnm
Zona	17M

Nota. Ubicación de la estación de conteo manual, coordenadas del punto de conteo.
Elaborado por: Los autores.

Figura 18

Ubicación de estación de conteo.



Nota. Ubicación de la estación de conteo manual de vehículos, abscisa 0+000m. Elaborado por: Los autores, a través de Google Earth Pro.

6.4. Conteos volumétricos de tráfico

Estos estudios se llevan a cabo para obtener información sobre cómo circulan los vehículos en puntos específicos del sistema vial.

Se analiza el tráfico promedio diario anual (TPDA) considerando las variaciones en el tráfico y el tamaño y peso de los vehículos que utilizan la vía. Se utiliza una clasificación estándar de vehículos según las normas del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2003). Es importante identificar y registrar los tipos de vehículos que pasan por la vía, como autos ligeros, buses y vehículos pesados.

Para calcular el TPDA, se comienza evaluando la circulación de vehículos en el proyecto mediante la medición del número de vehículos que pasan por cada carril durante un período de tiempo específico. Estos cálculos se realizan a través de observaciones de campo para obtener datos precisos sobre el tráfico.

Basándonos en la normativa que indica “Para un estudio definitivo, se debe tener por lo menos un conteo manual de 7 días seguidos en una semana que no esté afectada por eventos especiales” (MOP, 2003). Es decir, se obtiene la contabilidad llevada durante 7 días consecutivos, 12 horas al día.

Las fechas cuyo conteo se lo realizo es desde el lunes 22 de abril de 2024 hasta el domingo 28 de abril de 2024, en el horario de 06:00 am – 18:00 pm, completando así las 12 horas diarias.

6.5. Determinación del tráfico promedio diario anual –TPDA

Según (MOP, 2003) “El tráfico actual es el número de vehículos que circulan sobre una carretera antes de ser mejorada o es aquel volumen que circularía, al presente, en una carretera nueva si ésta estuviera al servicio de los usuarios”. En conclusión, analizar el tráfico actual permite entender las demandas y patrones de movimiento de los vehículos en la zona de estudio, lo que

ayuda a estimar de manera más precisa el TPDA, ya que proporciona una base sólida y actualizada para proyectar el volumen de tráfico a lo largo del año.

A continuación, se presenta un resumen del conteo realizado durante 7 días, abarcando un periodo de 12 horas diarias, desde el lunes 22 de abril hasta el domingo 28 de abril. Los detalles específicos se encuentran disponibles en el **ANEXO No. 3**.

Tabla 9
Conteo vehicular día 1

ESTACIÓN: Puenbo – San Pedro (0+000)

FECHA: lunes 22 de abril de 2024

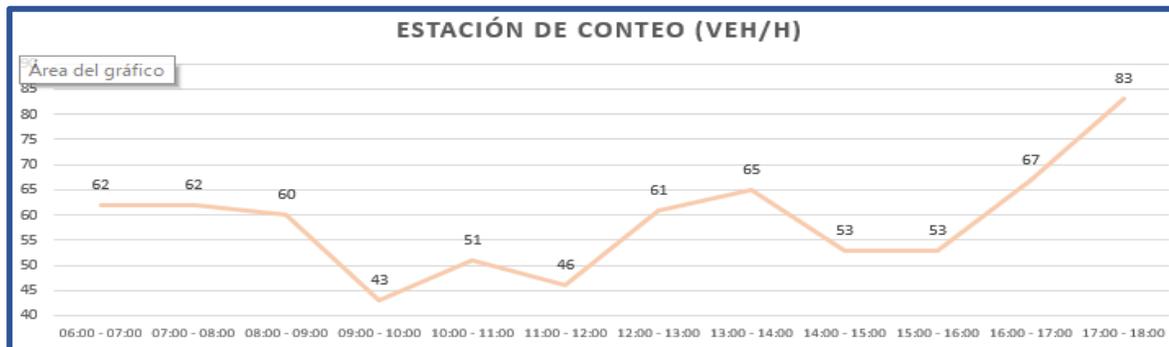
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS

HORA	AUTOMOVIL/ CAMIONETAS	BUSES 2E/3E	PESADOS 2E/3E	TOTAL
06:00-07:00	30	8	24	62
07:00-08:00	32	2	28	62
08:00-09:00	27	0	33	60
09:00-10:00	21	0	22	43
10:00-11:00	21	2	28	51
11:00-12:00	23	1	22	46
12:00-13:00	31	8	22	61
13:00-14:00	32	9	24	65
14:00-15:00	29	0	24	53
15:00-16:00	26	3	24	53
16:00-17:00	30	6	31	67
17:00-18:00	38	9	36	83
Total	340	48	318	706

Nota. Se presenta el conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Figura 19

Gráfica de conteo vehicular día 1



Nota. Se presenta el gráfico de conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Tabla 10

Conteo vehicular día 2

ESTACIÓN: Pumbo – San Pedro (0+000)

FECHA: martes 23 de abril de 2024

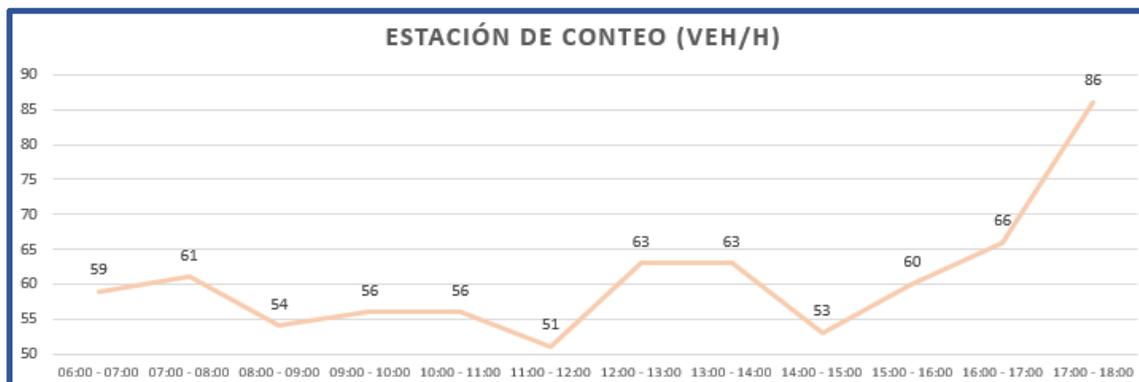
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS

HORA	AUTOMOVIL/ CAMIONETAS	BUSES 2E/3E	PESADOS 2E/3E	TOTAL
06:00-07:00	28	5	26	59
07:00-08:00	33	5	23	61
08:00-09:00	29	2	23	54
09:00-10:00	27	6	23	56
10:00-11:00	27	3	26	56
11:00-12:00	24	4	23	51
12:00-13:00	29	7	27	63
13:00-14:00	37	4	22	63
14:00-15:00	27	2	24	53
15:00-16:00	30	3	27	60
16:00-17:00	30	6	30	66
17:00-18:00	41	5	40	86
Total	362	52	314	728

Nota. Se presenta el conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Figura 20

Gráfica de conteo vehicular día 2



Nota. Se presenta el gráfico de conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Tabla 11

Conteo vehicular día 3

ESTACIÓN: Puenbo – San Pedro (0+000)

FECHA: miércoles 24 de abril de 2024

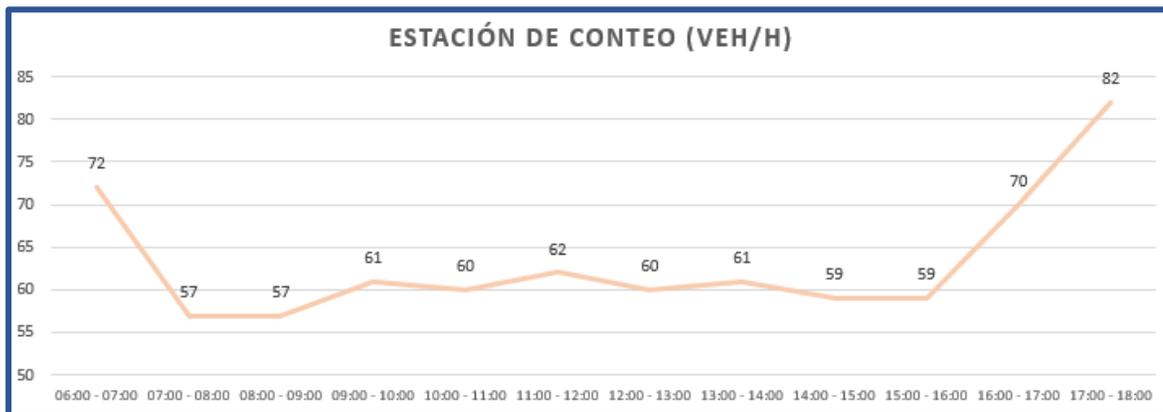
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS

HORA	AUTOMOVIL/ CAMIONETAS	BUSES 2E/3E	PESADOS 2E/3E	TOTAL
06:00-07:00	35	5	32	72
07:00-08:00	30	3	24	57
08:00-09:00	28	4	25	57
09:00-10:00	29	3	29	61
10:00-11:00	26	6	28	60
11:00-12:00	30	5	27	62
12:00-13:00	35	5	20	60
13:00-14:00	31	5	25	61
14:00-15:00	30	3	26	59
15:00-16:00	33	4	22	59
16:00-17:00	35	7	28	70
17:00-18:00	39	8	35	82
Total	381	58	321	760

Nota. Se presenta el conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Figura 21

Gráfica de conteo vehicular día 3



Nota. Se presenta el gráfico de conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Tabla 12

Conteo vehicular día 4

ESTACIÓN: Puenbo – San Pedro (0+000)

FECHA: jueves 25 de abril de 2024

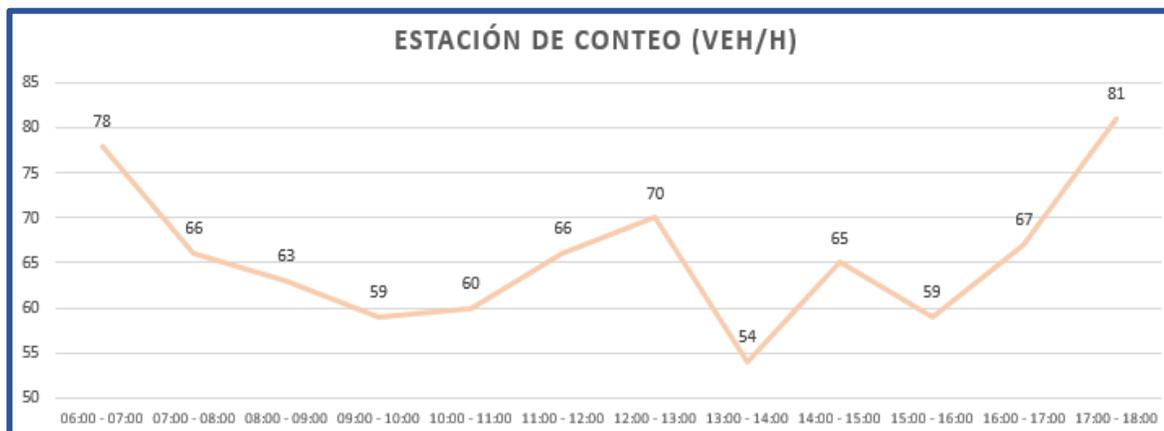
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS

HORA	AUTOMOVIL/ CAMIONETAS	BUSES 2E/3E	PESADOS 2E/3E	TOTAL
06:00-07:00	37	8	33	78
07:00-08:00	35	3	28	66
08:00-09:00	29	4	30	63
09:00-10:00	32	3	24	59
10:00-11:00	30	6	24	60
11:00-12:00	32	5	29	66
12:00-13:00	32	5	33	70
13:00-14:00	25	5	24	54
14:00-15:00	32	3	30	65
15:00-16:00	29	5	25	59
16:00-17:00	36	5	26	67
17:00-18:00	40	8	33	81
Total	389	60	339	788

Nota. Se presenta el conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Figura 22

Gráfica de conteo vehicular día 4



Nota. Se presenta el gráfico de conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Tabla 13

Conteo vehicular día 5

ESTACIÓN: Puenbo – San Pedro (0+000)

FECHA: viernes 26 de abril de 2024

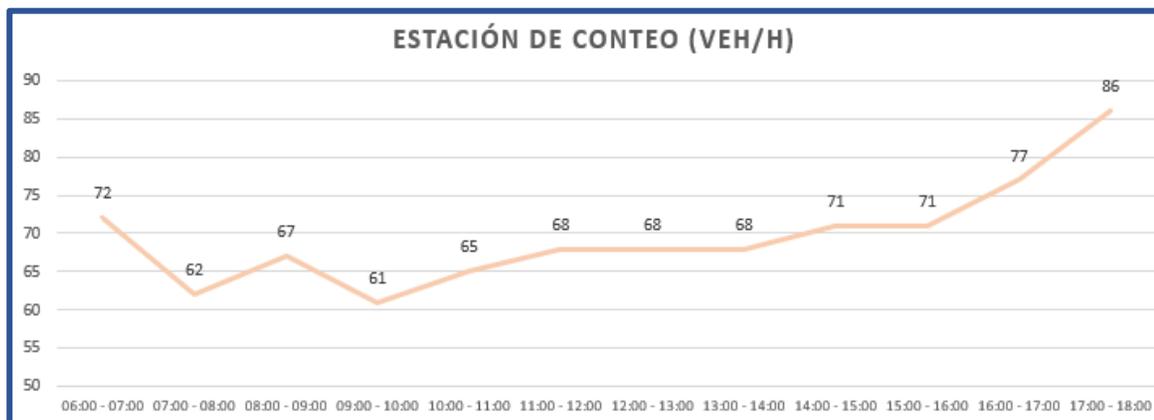
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS

HORA	AUTOMOVIL/ CAMIONETAS	BUSES 2E/3E	PESADOS 2E/3E	TOTAL
06:00-07:00	34	7	31	72
07:00-08:00	35	1	26	62
08:00-09:00	32	6	29	67
09:00-10:00	30	3	28	61
10:00-11:00	31	4	30	65
11:00-12:00	29	7	32	68
12:00-13:00	33	5	30	68
13:00-14:00	34	7	27	68
14:00-15:00	32	7	32	71
15:00-16:00	35	6	30	71
16:00-17:00	35	10	32	77
17:00-18:00	41	11	34	86
Total	401	74	361	836

Nota. Se presenta el conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Figura 23

Gráfica de conteo vehicular día 5



Nota. Se presenta el gráfico de conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Tabla 14

Conteo vehicular día 6

ESTACIÓN: Puenbo – San Pedro (0+000)

FECHA: sábado 27 de abril de 2024

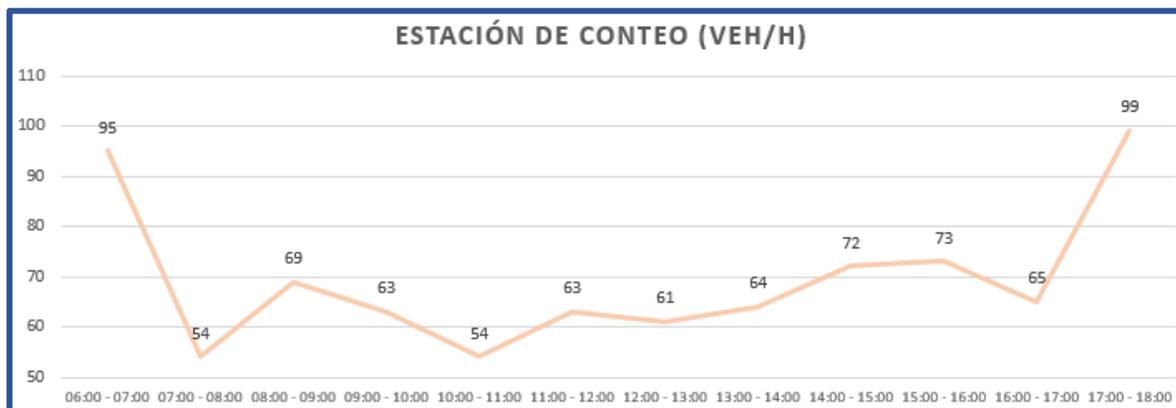
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS

HORA	AUTOMOVIL/ CAMIONETAS	BUSES 2E/3E	PESADOS 2E/3E	TOTAL
06:00-07:00	43	7	45	95
07:00-08:00	29	5	20	54
08:00-09:00	32	3	34	69
09:00-10:00	36	4	23	63
10:00-11:00	31	5	18	54
11:00-12:00	32	6	25	63
12:00-13:00	25	5	31	61
13:00-14:00	32	6	26	64
14:00-15:00	32	5	35	72
15:00-16:00	41	5	27	73
16:00-17:00	27	7	31	65
17:00-18:00	44	9	46	99
Total	404	67	361	832

Nota. Se presenta el conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Figura 24

Gráfica de conteo vehicular día 6



Nota. Se presenta el gráfico de conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Tabla 15

Conteo vehicular día 7

ESTACIÓN: Puenbo – San Pedro (0+000)

FECHA: domingo 28 de abril de 2024

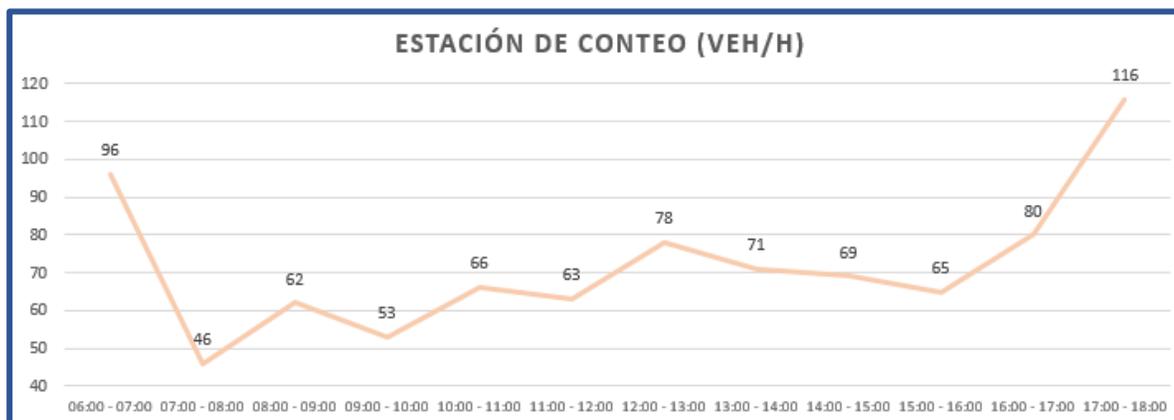
SENTIDO: AMBOS SENTIDOS

HORA	AUTOMOVIL/ CAMIONETAS	BUSES 2E/3E	PESADOS 2E/3E	TOTAL
06:00-07:00	47	12	37	96
07:00-08:00	24	3	19	46
08:00-09:00	28	3	31	62
09:00-10:00	26	6	21	53
10:00-11:00	29	5	32	66
11:00-12:00	32	3	28	63
12:00-13:00	37	4	37	78
13:00-14:00	30	9	32	71
14:00-15:00	29	5	35	69
15:00-16:00	37	5	23	65
16:00-17:00	42	8	30	80
17:00-18:00	51	18	47	116
Total	412	81	372	865

Nota. Se presenta el conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Figura 25

Gráfica de conteo vehicular día 7



Nota. Se presenta el gráfico de conteo de vehículos. Elaborado por: Los autores.

Como se puede observar en cada uno de los días de conteo se ha clasificado los vehículos en varias categorías o tipos, mismos que deberá agruparse según la clasificación en livianos, buses y pesados.

Tabla 16

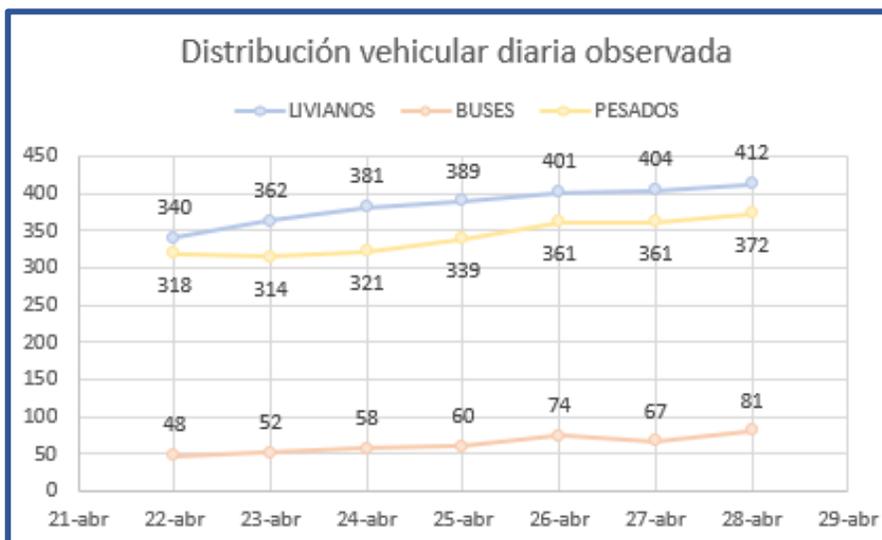
Resumen de conteo vehicular por día.

CONTEO VEHICULAR MANUAL				
Tabla Resumen				
FECHA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS	TOTAL
22-abr	340	48	318	706
23-abr	362	52	314	728
24-abr	381	58	321	760
25-abr	389	60	339	788
26-abr	401	74	361	836
27-abr	404	67	361	832
28-abr	412	81	372	865
PROMEDIO	384	63	341	788
COMP	48,76%	7,98%	43,26%	100%

Nota. Se presenta el resumen de vehículos contados por día. Elaborado por: Los autores.

Figura 26

Resumen de conteo vehicular por día.



Nota. Se presenta el gráfico de conteo de vehículos por día. Elaborado por: Los autores.

El domingo 28 de abril de 2024 se registró la mayor cantidad de vehículos, siendo la hora pico el transcurso de 17:00 a 18:00 horas, con una cantidad de 116 vehículos.

Tabla 17

Resumen de conteo vehicular hora pico.

HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS	TOTAL
17:00-17:15	12	5	12	29
17:15-17:30	14	5	10	29
17:30-17:45	13	3	12	28
17:45-18:00	12	5	13	30
TOTAL	51	18	47	116

Nota. Se presenta el gráfico de conteo de vehículos en la hora pico. Elaborado por: Los autores.

6.5.1. Cálculo del factor de hora pico

$$FHP = \frac{Q}{4 * Q_{15max}}$$

Donde:

Q: Total de vehículos en la hora pico

Q15max: Flujo máximo en 15 minutos de la hora pico

$$FHP = \frac{116 \text{ veh}}{4 * 30 \text{ veh}}$$

$$FHP = 0.967$$

6.5.2. Cálculo del tráfico actual

$$TPDA (actual) = \frac{Q_v * FHP}{K}$$

Donde:

Qv: Volumen de un tipo de vehículo durante una hora

FHP: Factor de hora pico

K: Porcentaje de la trigésima hora, para zonas rurales varia de 12% al 18% por lo que se asume el valor del 15%

Tabla 18

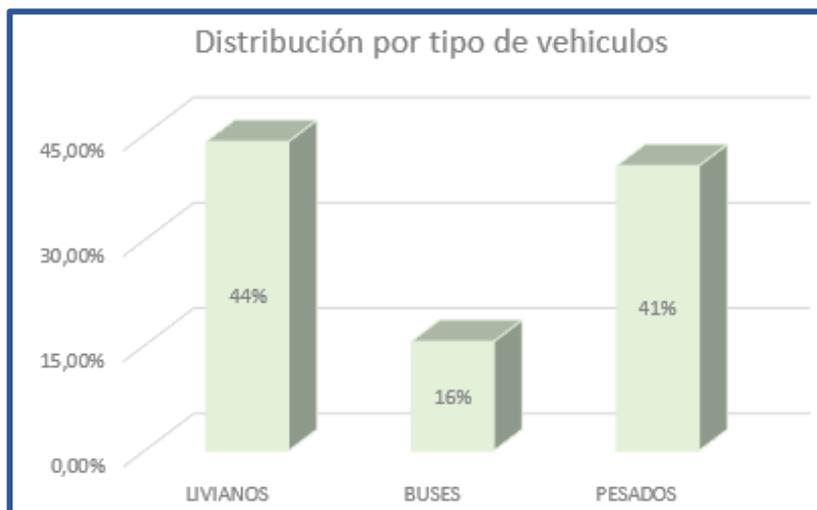
TPDA actual del sector Puembo – San Pedro.

TIPO DE VEHÍCULO	VOLUMEN POR HORA	TPDA ACTUAL	%
LIVIANOS	51	329	44%
BUSES	18	116	16%
PESADOS	47	303	41%
TOTAL		748	100%

Nota. TPDA actual por tipo de vehículo. Elaborado por: Los autores.

Figura 27

Gráfica TPDA actual sector Puenbo – San Pedro.



Nota. Gráfica TPDA actual por tipo de vehículo. Elaborado por: Los autores.

6.5.3. Cálculo del tráfico generado

$$T_G = 20\% TPDA (\text{primer año})$$

Donde:

$$TPDA (\text{primer año}) = TPDA (\text{actual}) * i + TPDA (\text{actual})$$

Donde:

i: Tasa de crecimiento de tráfico

Tabla 19

Tasa de crecimiento de tráfico.

PERIODO	TIPOS DE VEHÍCULO		
	LIVIANOS	BUSES	PESADOS
2015-2020	2,65	1,99	2,18
2020-2025	2,39	1,79	1,96
2025-2030	2,17	1,63	1,78
2030-2040	2,17	1,63	1,78

Nota. Tasa de crecimiento vehicular anual. Fuente: Ministerio de transporte y obras públicas MTOP.

Tabla 20*TPDA primer año.*

CATEGORÍA	TPDA ACTUAL	TPDA 1er año
LIVIANOS	329	337
BUSES	116	118
PESADOS	303	309
TOTAL	748	763

Nota. TPDA del primer año. Elaborado por: Los autores.

Tabla 21*Tráfico generado del sector Puenbo – San Pedro.*

CATEGORÍA	TPDA 1er año	Tráfico Generado
LIVIANOS	337	67
BUSES	118	24
PESADOS	309	62
TOTAL	763	153

Nota. Tráfico generado para el proyecto. Elaborado por: Los autores.

6.5.4. Cálculo del tráfico atraído

$$T_{AT} = 10\% TPDA (actual)$$

Tabla 22*Tráfico atraído del sector Puenbo – San Pedro.*

CATEGORÍA	TPADA ACTUAL	Tráfico Atraído
LIVIANOS	329	33
BUSES	116	12
PESADOS	303	30
TOTAL	748	75

Nota. Tráfico atraído para el proyecto. Elaborado por: Los autores.

6.5.5. Cálculo del tráfico desarrollado

$$T_D = 5\% TPDA (actual)$$

Tabla 23*Tráfico desarrollado del sector Puenbo – San Pedro.*

CATEGORÍA	TPADA ACTUAL	Tráfico Desarrollado
LIVIANOS	329	16
BUSES	116	6
PESADOS	303	15
TOTAL	748	37

Nota. Tráfico desarrollado para el proyecto. Elaborado por: Los autores.**6.5.6. Cálculo del tráfico actual total****Tabla 24***Tráfico actual total del sector Puenbo – San Pedro.*

CATEGORÍA	TPDA ACTUAL	Tráfico Generado	Tráfico Atraído	Tráfico Desarrollado	Trafico Actual
LIVIANOS	329	67	33	16	445
BUSES	116	24	12	6	157
PESADOS	303	62	30	15	410
				TOTAL	1012

Nota. Tráfico actual total para el proyecto. Elaborado por: Los autores.**6.6. Cálculo del tráfico futuro**

$$TPDA (futuro) = TPDA (actual) * (1 + i)^n$$

Donde:

i: Tasa de crecimiento vehicular

n: Periodo de diseño

Tabla 25*Periodo de diseño.*

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (años)
Urbana de tránsito elevado	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 25

Nota. Periodo de diseño para el proyecto. Fuentes: AASHTO, Guide for Designo f Paviment Structure 1993.

De acuerdo con las condiciones establecidas y siguiendo el estándar para proyectos como este, vamos a prever el tráfico para los próximos 20 años. Para lograr esto, vamos a analizar el tráfico actual, usando tasas de crecimiento vehicular. De esta forma, vamos a estimar cómo será el tráfico en cada año futuro.

Tabla 26

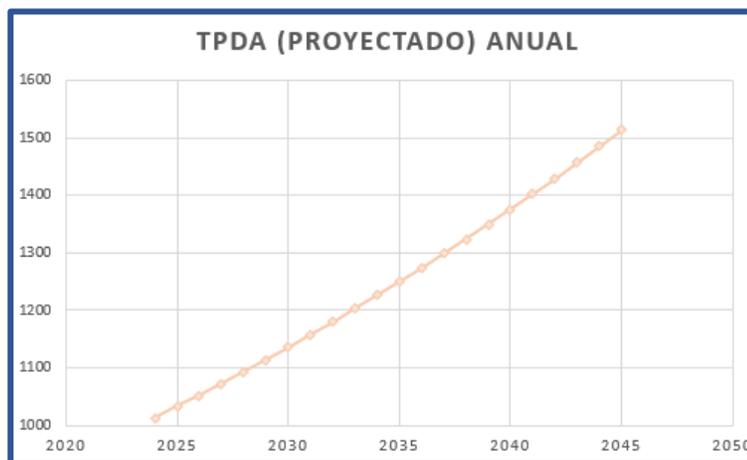
Tráfico futuro proyectado sector Puenbo – San Pedro.

AÑO	LIVIANOS veh/día	BUSES veh/día	PESADOS veh/día	TOTAL
2024	445	157	410	1012
2025	456	160	418	1034
2026	465	162	425	1052
2027	475	165	432	1072
2028	485	168	440	1093
2029	496	170	448	1114
2030	506	173	456	1135
2031	517	176	464	1157
2032	529	179	472	1180
2033	540	182	481	1202
2034	552	185	489	1226
2035	564	188	498	1249
2036	576	191	507	1274
2037	589	194	516	1298
2038	601	197	525	1323
2039	614	200	534	1349
2040	628	203	544	1375
2041	641	207	554	1402
2042	655	210	563	1429
2043	670	213	573	1456
2044	684	217	584	1485
2045	699	220	594	1513

Nota. Tráfico futuro para el proyecto. Elaborado por: Los autores.

Figura 28

Gráfica Tráfico Futuro sector Puenbo – San Pedro.



Nota. Gráfica Tráfico futuro por tipo de vehículo. Elaborado por: Los autores.

6.7. Clasificación de la vía según MTOP – 2003

Tabla 27

Tipo de vía en función del TPDA.

Clase de Carretera	TPDA esperado	Ancho de Calzada	
		Recomendable	Absoluto
I	3000-8000	7,3	7,3
II	1000-3000	7,0	6,7
III	300-1000	6,7	6,0
IV	100-300	6,0	
V	<100	4,0	

Nota. Resumen de la Clasificación del tipo de vía. Fuentes: Normas de Diseño Geométrico MTOP 2003.

La normativa específica un ancho de calzada de 6.7 metros según las características del proyecto. Sin embargo, debido a la presencia de un trazado vial previo, es viable mantener el ancho de la vía actual con el fin de preservar su estética y comodidad.

Por lo tanto, para mantener la sección del tramo anterior, se ajusta a un ancho de calzada de 7.30 m, considerando 2 carriles de 3.65m cada uno.

6.8. Ejes equivalentes

Se utilizaron los datos sobre el tráfico diario promedio y la distribución de pesos para proyectar el número estimado de Equivalentes de Cargas de Eje Simple (ESAL's) hasta el año 2044. Los pavimentos están diseñados para soportar cargas específicas a lo largo de su vida útil, considerando que el tráfico está compuesto por una variedad de vehículos con diferentes pesos y configuraciones de ejes. Para simplificar los cálculos, estos vehículos se transforman en un número equivalente de ejes estándar de 80 KN, denominados ESAL's.

Las distintas cargas que actúan sobre un pavimento generan tensiones y deformaciones diversas en el mismo. Además, la respuesta del pavimento varía según su espesor y los materiales utilizados. Esta variabilidad en la respuesta del pavimento significa que las fallas pueden manifestarse de manera diferente según la intensidad de la carga y las características específicas del pavimento en cuestión.

Se toma en cuenta los buses y camiones porque son los que producen mayor deterioro del pavimento.

$$W_{18} = [(TPD_{buses} * FACTOR_{buses}) + (TPD_{2DB} * FACTOR_{2DB}) + (TPD_{3A} * FACTOR_{3A})] * 365$$

6.8.1. Factor de daño por vehículo comercial

Los factores de daño están relacionados con el tipo específico de deterioro en el pavimento causado por la carga de tránsito de vehículos particulares, como se detalla en la tabla siguiente:

Tabla 28
Factor de daño.

TIPO	Simple		Simple Doble		Tandem		Tridem		Factor de Daño
	Tn	(P/8,2)^4	Tn	(P/15)^4	Tn	(P/15)^4	Tn	(P/15)^4	
BUS	7,00	0,531	11,00	0,289					0,820
V3A-VOLQUETAS	7,00	0,531	20,00	3,160					3,692

2DB- CAMIONES 2									
EJES	7,00	0,531	11,00	0,289					0,820
3A- CAMIONES 3									
EJES	7,00	0,531	20,00	3,160					3,692
2S2- TRAILER 4									
EJES	7,00	0,531	11,00	0,289	20,00	3,160			3,981
3S3- TRAILER 6									
EJES	7,00	0,531			20,00	3,160	24,00	6,554	10,245

Nota. Factor de daño por tipo de vehículo. Fuentes: Normas de Diseño Geométrico MTOP 2003.

6.8.2. Cálculo de ejes equivalentes

Tabla 29

Cálculo de ejes equivalentes.

AÑO	LIVIANOS veh/día	BUSES veh/día	PESADOS veh/día		TOTAL	W18Parcial	W18 Acum	W18 Carril diseño
			2 ejes	3 ejes				
2024	445	157	175	236	1012	416690	416690	208344,896
2025	456	160	178	240	1034	424777	841467	420733,407
2026	465	162	181	244	1052	431513	1272979	636489,699
2027	475	165	184	248	1072	439121	1712100	856050,05
2028	485	168	187	253	1093	446863	2158963	1079481,58
2029	496	170	191	257	1114	454742	2613705	1306852,58
2030	506	173	194	262	1135	462760	3076465	1538232,58
2031	517	176	197	267	1157	470919	3547385	1773692,3
2032	529	179	201	271	1180	479223	4026607	2013303,74
2033	540	182	205	276	1202	487673	4514280	2257140,15
2034	552	185	208	281	1226	496272	5010552	2505276,08
2035	564	188	212	286	1249	505023	5515575	2757787,4
2036	576	191	216	291	1274	513928	6029503	3014751,31
2037	589	194	219	296	1298	522990	6552493	3276246,39
2038	601	197	223	302	1323	532212	7084705	3542352,59
2039	614	200	227	307	1349	541597	7626303	3813151,28
2040	628	203	231	312	1375	551148	8177451	4088725,26
2041	641	207	236	318	1402	560867	8738318	4369158,82
2042	655	210	240	324	1429	570758	9309075	4654537,69
2043	670	213	244	329	1456	580823	9889898	4944949,15

2044	684	217	248	335	1485	591066	10480964	5240482,02
2045	699	220	253	341	1513	601489	11082453	5541226,67

Nota. Número de ejes equivalentes para el proyecto. Elaborado por: Los Autores.

CAPÍTULO VII

DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL

7.1. Antecedentes

Para este proyecto, es esencial mencionar que se cuenta con un trazado vial preexistente, por ende, resulta imperativo realizar un análisis exhaustivo y de ser necesario se modificara los parámetros de diseño de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas por el Ministerio de Obras Publicas MOP-2003.

Se debe realizar un análisis completo del trazado actual, abordando la topografía, curvas, pendientes y obstáculos presentes en la vía. Luego, es crucial revisar las normativas y estándares aplicables en la región, como la anchura de carriles y los radios mínimos de curvatura.

Dado que este proyecto está contemplado en el presupuesto ya establecido en la planificación anual de contrataciones, es fundamental ajustar los volúmenes de obra a las características actuales de la vía como una condición inicial para este estudio.

La evaluación de seguridad vial es fundamental para identificar y mitigar posibles riesgos, como intersecciones peligrosas o curvas pronunciadas. También es necesario considerar las necesidades de los usuarios vulnerables, como peatones y ciclistas, proporcionando infraestructuras adecuadas para garantizar su seguridad y accesibilidad.

El análisis del trazado existente nos ayudara a mejorar la eficiencia operativa y reducir costos, optimizando así el flujo de tráfico y minimizando impactos ambientales. Estos aspectos son fundamentales para desarrollar un diseño vial que asegure la eficiencia operativa, la seguridad y la accesibilidad para todos los usuarios de la vía.

7.2. Criterios de diseño

Dado que se trata de una infraestructura ya construida, se ajustarán los parámetros de diseño de manera óptima para aprovechar la infraestructura existente. Se buscará minimizar la necesidad de realizar grandes movimientos de tierras y evitar expropiaciones de áreas privadas o públicas en la medida de lo posible.

Las pendientes longitudinales de la carretera actual oscilan entre 0.5% y 6%, clasificando el terreno como ondulado. Para nuestro proyecto, se contempla la posibilidad de aumentar la pendiente en hasta un 2% en segmentos de longitud inferior a 500 metros.

El ancho actual del pavimento es de aproximadamente 7.3 metros, con un carril que permite la circulación en ambos sentidos. Para la sección transversal, se mantendrán las dimensiones del tramo anterior de la vía con el fin de preservar su estética y comodidad.

7.3. Velocidad de diseño

La velocidad de diseño es la velocidad a la cual se proyecta que los vehículos viajarán con seguridad por la carretera. Esta velocidad se basa en una combinación de factores, que incluyen la geometría de la vía, las condiciones del tráfico, las características del vehículo y las consideraciones de seguridad.

La velocidad de diseño se utiliza para determinar los parámetros geométricos de la carretera, como el radio de las curvas, la pendiente y el ancho de la calzada, con el objetivo de proporcionar un nivel adecuado de seguridad y comodidad para los usuarios de la vía a la velocidad prevista.

Tabla 30

Velocidad de Diseño en Carreteras.

Velocidad de Diseño (K.P.H)		RECOMENDABLE			ABSOLUTA		
Categoría de la vía	TPDA Esperado	LL	O	M	LL	O	M
Clase I	3000-8000	110	100	80	100	80	60

Clase II	1000-3000	100	90	70	90	80	50
Clase III	300-1000	90	80	60	80	60	40
Clase IV	100-300	80	60	50	60	35	25
Clase V	<100	60	50	40	50	35	25

Nota: Resumen de la tabla de Valores de Diseño Recomendados para Carreteras de Dos Carreles Vecinales de Construcción. Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

Según los criterios establecidos en la normativa MOP 2003, la vía bajo estudio se clasifica como Categoría tipo II, con un relieve ondulado, lo cual determina una velocidad de diseño absoluta de VD = 80 km/h.

7.4. Velocidad de circulación

Según (MOP, 2003) “La velocidad de circulación es la velocidad real de un vehículo a lo largo de una sección específica de carretera y es igual a la distancia recorrida dividida para el tiempo de circulación del vehículo.”

Tabla 31

Velocidad de Circulación en Carreteras.

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: Resumen de la tabla de Valores de Diseño Recomendados para Carreteras de Dos Carreles Vecinales de Construcción. Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

7.5. Diseño horizontal

El alineamiento horizontal se define como la representación en un plano horizontal del eje

central de una vía. Este trazado incluye tanto tramos rectos (tangentes) como curvas, ya sean estas de tipo circular o de transición.

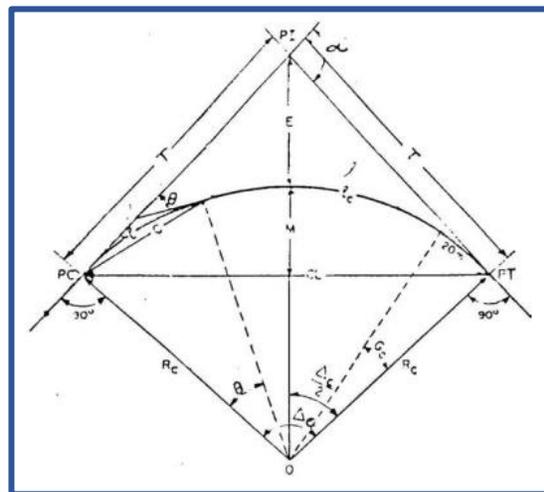
7.5.1. *Curvas circulares*

Son secciones de una carretera o vía que tienen una trayectoria curva en forma de arco de círculo. Estas curvas se utilizan para permitir que las carreteras cambien de dirección de manera suave y gradual, evitando giros bruscos que puedan ser peligrosos para los conductores.

Las curvas circulares se caracterizan por tener un radio de curvatura constante a lo largo de su longitud.

Figura 29

Curva circular simple.



Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

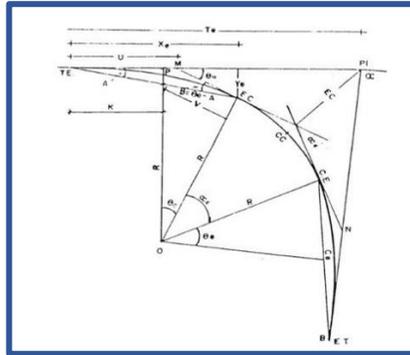
7.5.2. *Curvas espirales o de transición*

Son elementos geométricos utilizados en el diseño de carreteras para permitir una transición suave y gradual entre tramos rectos y tramos curvos de una vía. Estas curvas tienen una forma similar a una espiral, con un radio que aumenta o disminuye gradualmente a lo largo de su longitud.

Las curvas espirales se utilizan para facilitar cambios de dirección progresivos y reducir la necesidad de realizar maniobras bruscas, lo que mejora la seguridad vial y la comodidad del

conductor. Estas curvas se implementan especialmente en lugares donde no hay suficiente espacio para una curva circular estándar o donde se necesita una transición más gradual entre la recta y la curva.

Figura 30
Curva espiral.



Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

7.5.3. Tangentes

Las tangentes en el diseño vial son tramos rectos que conectan curvas circulares o espirales, asegurando una transición suave y facilitando la continuidad en la vía. Estos segmentos proporcionan a los conductores una dirección constante antes de ingresar o salir de una curva, lo que contribuye a mantener una conducción segura y fluida.

Permiten una transición gradual entre tramos curvos y rectos de la carretera, lo que asegura que los conductores puedan mantener una velocidad constante y una dirección segura en todo momento.

Las tangentes rectas proporcionan espacio adicional para que los conductores realicen maniobras de adelantamiento de manera segura, al brindar una vista clara de la carretera por delante. Esto contribuye a reducir los riesgos de accidentes y mejora la fluidez del tráfico.

7.5.4. Peraltes

Se refieren a la inclinación transversal de una carretera en una curva. Estas inclinaciones

están diseñadas para contrarrestar las fuerzas centrífugas que actúan sobre un vehículo en movimiento, ayudando a mantenerlo en la carretera de manera segura y proporcionando una sensación de comodidad para los conductores.

El peralte se logra inclinando la superficie de la carretera hacia el interior de la curva, de modo que el punto más bajo de la curva esté en el borde exterior y el punto más alto esté en el borde interior. Esto crea una especie de "cuña" que empuja el vehículo hacia el centro de la curva, contrarrestando la tendencia natural del vehículo a salirse hacia el exterior.

Según (MOP, 2003) “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.”

En consecuencia, para la vía en estudio se adopta un peralte máximo de 10% por las condiciones que presenta el proyecto.

7.5.5. Radio mínimo de curvas horizontales

Se ha seguido el criterio establecido en las Normas MOP-2003 para determinar el radio mínimo de las curvas horizontales, el cual depende de la velocidad, el peralte máximo (e) y el coeficiente de fricción lateral (f).

Tabla 32
Radios mínimos de curvas.

Velocidad de diseño km/h	"f" Máximo	Radio mínimo calculado				Radio mínimo recomendado			
		e=0,10	e=0,08	e=0,06	e=0,04	e=0,10	e=0,80	e=0,06	e=0,04
20	0,350	7,32	7,68	8,08	15	20	20	20	
25	0,315	12,46	13,12	13,86	15	25	25	25	

La longitud de transición se calcula de la siguiente manera:

$$L_t = \frac{b * e}{2 * i}$$

Donde:

L_t: longitud de transición (m)

b: Ancho de calzada (m)

e: Peralte necesario de la curva circular (%)

i: Gradiente de borde (%)

Tabla 33

Valores recomendados de las gradientes longitudinales "i".

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

Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

Por lo tanto:

$$L_t = \frac{7.30m * 10\%}{2 * 0.500 \%}$$

$$L_t = 73.00m$$

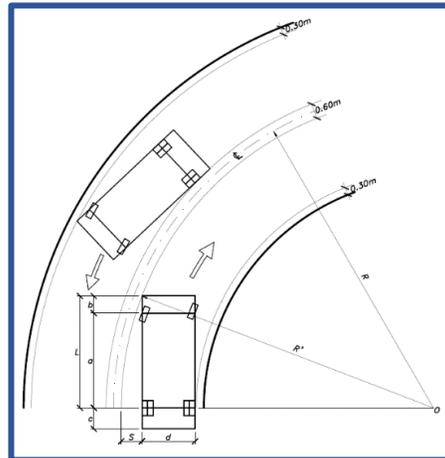
7.5.7. Sobreancho de las curvas

Cuando los vehículos circulan por curvas horizontales, requieren un ancho de calzada mayor que en rectas debido a la diferencia en las trayectorias de las ruedas traseras y delanteras, lo que dificulta que los conductores mantengan el vehículo en el carril correspondiente. Este efecto es más notable en curvas de radios pequeños, especialmente para vehículos comerciales. Para compensar esta dificultad y asegurar condiciones de operación similares a las de las rectas, se ensancha la calzada en las curvas, proporcionando espacios libres adecuados entre vehículos y el borde de la calzada, lo que se conoce como sobre ancho S de la curva.

El sobre ancho de la curva busca garantizar una circulación segura y fluida, permitiendo que los vehículos mantengan su trayectoria sin invadir el espacio de otros vehículos o correr riesgos al acercarse al borde de la calzada. Esta medida es esencial para mantener la seguridad vial, especialmente en carreteras con tráfico bidireccional o en situaciones de adelantamiento en calzadas unidireccionales, mejorando así la experiencia de conducción y reduciendo el riesgo de accidentes.

Figura 32

Sobre ancho en las curvas.



Fuente: Diseño geométrico de carreteras 2013.

Barnnet introduce un concepto relacionado con la seguridad vial que implica la influencia de la velocidad.

$$S = \frac{0.105 * Vd}{\sqrt{R}}$$

Donde:

S: Sobre ancho de curva (m)

Vd: Velocidad de diseño (km/h)

R: Radio de la curva (m)

Por lo tanto:

$$S = \frac{0.105 * 80 \text{ km/h}}{\sqrt{210\text{m}}}$$

$$S = 0.580 \text{ m}$$

$$S = 58 \text{ cm}$$

Según (MOP, 2003) “Por razones de costo se establece el valor mínimo de diseño del sobre ancho igual a 30 cm para velocidades de hasta 50 Km/h y de 40 cm para velocidades mayores.”

7.5.8. *Distancia de visibilidad para parada*

Cuando un vehículo se desplaza en una curva, ya sea horizontal o vertical, la visibilidad desempeña un papel fundamental en su circulación segura. La distancia de visibilidad de parada se refiere a la mínima distancia necesaria para que un conductor, viajando a una velocidad cercana a la velocidad de diseño, pueda identificar un objeto en su camino y detener el vehículo antes de alcanzarlo. Por lo tanto, esta distancia representa el nivel mínimo de visibilidad que debe garantizarse en cualquier tramo de la vía.

Tabla 34
Distancia de visibilidad para parada.

Distancia de visibilidad para parada (m)		RECOMENDABLE			ABSOLUTA		
Categoría de la vía	TPDA Esperado	LL	O	M	LL	O	M
		Clase I	3000-8000	180	160	110	160
Clase II	1000-3000	160	135	90	135	110	55
Clase III	300-1000	135	110	70	110	70	40
Clase IV	100-300	110	70	55	70	35	25
Clase V	<100	70	55	40	55	35	25

Nota: Resumen de la tabla de Valores de Diseño Recomendados para Carreteras de Dos Carreles Vecinales de Construcción. Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

7.5.9. *Distancia de visibilidad para el rebasamiento*

La distancia requerida para realizar un adelantamiento se calcula en función de la longitud de la carretera necesaria para llevar a cabo la maniobra de adelantamiento de manera segura. Aunque es posible que ocurran múltiples adelantamientos simultáneos, generalmente no se considera esta situación práctica; normalmente, se analiza el escenario donde un vehículo adelanta a otro solamente. Por lo general, los valores de diseño para los adelantamientos son adecuados para

permitir ocasionalmente adelantamientos múltiples.

Tabla 35
Distancia de visibilidad para rebasamiento.

Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)		RECOMENDABLE			ABSOLUTA		
Categoría de la vía	TPDA Esperado	LL	O	M	LL	O	M
		Clase I	3000-8000	830	690	565	690
Clase II	1000-3000	690	640	490	640	565	345
Clase III	300-1000	640	565	415	565	415	270
Clase IV	100-300	480	290	210	290	150	110
Clase V	<100	290	210	150	210	150	110

Nota: Resumen de la tabla de Valores de Diseño Recomendados para Carreteras de Dos Carreles Vecinales de Construcción. Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

7.6. Diseño Vertical

Según (MOP, 2003) “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.” Por lo que, un diseño vertical adecuado busca proporcionar transiciones suaves entre diferentes niveles de elevación, para garantizar una circulación segura y cómoda para los usuarios.

7.6.1. Gradientes máximas

Según (Cardenas, 2013) “La pendiente máxima es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Su valor queda determinado por el volumen de tránsito futuro y su composición, por la configuración o tipo de terreno por donde pasará la vía y por la velocidad de diseño.”

La gradiente máxima para el proyecto se determina mediante:

Tabla 36
Gradiente máxima.

Gradiente Longitudinal Máxima (%)		RECOMENDABLE			ABSOLUTA		
Categoría de la vía	TPDA Esperado	LL	O	M	LL	O	M
		Clase I	3000-8000	3	4	6	3
Clase II	1000-3000	3	4	7	4	6	8
Clase III	300-1000	4	6	7	6	7	9
Clase IV	100-300	5	6	8	6	8	12
Clase V	<100	5	6	8	6	8	14

Nota: Resumen de la tabla de Valores de Diseño Recomendados para Carreteras de Dos Carreles Vecinales de Construcción. Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

La gradiente y longitud máximas pueden adaptarse a los siguientes valores:

Para gradientes del:

8-10%, la longitud máxima será de 1000m.

10-12%, la longitud máxima será de 500m.

12-14%, la longitud máxima será de 250m.

Según (MOP, 2003) “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.”

De acuerdo con lo descrito anteriormente se define que la gradiente longitudinal máxima para el presente proyecto es del 7%.

7.6.2. Gradientes mínimas

La pendiente mínima usualmente recomendada es del 0.5 por ciento. Sin embargo, en situaciones donde existan rellenos de al menos 1 metro de altura y el pavimento cuente con una

pendiente transversal suficiente para el drenaje lateral del agua de lluvia, puede ser factible adoptar una pendiente de 0 por ciento.

7.6.3. *Curvas verticales convexas*

Según (MOP, 2003) “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.”

La longitud de una curva vertical convexa en su expresión más simple es:

$$L = K * A$$

Donde:

L: Longitud de la curva vertical conexas (m)

K: Coeficiente en función de la velocidad de diseño

A: Diferencia algebraica de las gradientes (%)

Por lo tanto:

Tabla 37

Valores de K para las diferentes velocidades de diseño en curvas convexas.

Velocidad de diseño	Distancia de visibilidad para parada "S"	Coeficiente $k=s^2/426$	
Km/h	m	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	7,10	7
60	70	11,50	12
70	90	19,01	19
80	110	28,40	28

90	135	42,78	43
100	160	60,09	60
110	180	76,06	80
120	220	113,62	115

Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

La longitud mínima absoluta de las curvas verticales convexas, expresada en metros, se indica por la siguiente fórmula:

$$L_{min} = 0.60 * Vd$$

en donde la velocidad de diseño (Vd) se expresa en kilómetros por hora.

Por lo tanto:

$$L_{min} = 0.60 * 80 \text{ km/h}$$

$$L_{min} = 48 \text{ m}$$

7.6.4. Curvas verticales cóncavas

Las curvas verticales cóncavas son segmentos de carretera donde la pendiente cambia gradualmente de ascendente a descendente o viceversa, formando una concavidad hacia arriba en relación con la dirección del movimiento. Esto significa que, al viajar a lo largo de la carretera, el conductor experimentará una transición suave de una pendiente, en lugar de un cambio abrupto.

“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.”

(MOP, 2003)

La longitud de una curva vertical convexa en su expresión más simple es:

$$L = K * A$$

Donde:

L: Longitud de la curva vertical cóncava (m)

K: Coeficiente en función de la velocidad de diseño

A: Diferencia algebraica de las gradientes (%)

Por lo tanto:

Tabla 38

Valores de K para las diferentes velocidades de diseño en curvas concavas.

Velocidad de diseño	Distancia de visibilidad para parada "S"	Coeficiente $k=s^2/426$	
Km/h	m	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

Fuente: Normas de Diseño Geométrico MOP 2003.

La longitud mínima absoluta de las curvas verticales cóncavas, expresada en metros, se indica por la siguiente fórmula:

$$L_{min} = 0.60 * Vd$$

en donde la velocidad de diseño (Vd) se expresa en kilómetros por hora.

Por lo tanto:

$$L_{min} = 0.60 * 80 \text{ km/h}$$

$$L_{min} = 48 \text{ m}$$

La longitud mínima de las curvas verticales cóncavas es igual a la longitud calculada para las curvas convexas.

7.7. Movimiento de tierras

Para crear una superficie adecuada para la carretera, el movimiento de tierras implica la excavación (corte) o relleno de terreno. A continuación, se presenta una tabla resumen con las cantidades volumétricas de corte y relleno presentes en el proyecto:

Tabla 39

Resumen de volúmenes de corte y relleno por kilometro.

Kilometro	Corte (A) (m3)	Relleno (B) (m3)	Diagrama de masas (A-B) (m3)
0-1	26061.14	76019.94	-49958.80
1-2	0.00	419980.86	-419980.86
2-3	177228.94	37797.45	139431.49
3-4	269132.30	1718.66	267413.64
4-5	281559.77	62.34	281497.43
5-6	211435.46	96712.52	114722.94
6-F	0.00	0.00	0.00

Nota: Resumen de la tabla de Valores de volúmenes de corte y relleno. Elaborado por: Los autores, a través de CIVIL 3D 2023 Metric.

En general, se prefieren los cortes sobre los rellenos por varias razones. Los cortes proporcionan una base más estable al eliminar capas inestables del terreno, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Además, ayudan a controlar la erosión del suelo al reducir la exposición al agua y la intemperie, lo que es crucial en regiones propensas a deslizamientos y erosión.

Además, los cortes requieren menos material en comparación con los rellenos, lo que se traduce en ahorros significativos en costos de transporte y disposición, y tienen un menor impacto ambiental al causar menos perturbación al entorno natural y reducir el riesgo de asentamientos a largo plazo.

Tabla 40*Volumen total de corte y relleno.*

Corte (A) (m3)	Relleno (B) (m3)	Volumen Total (m3)
965417.61	632291.77	1597709.38
60%	40%	100%

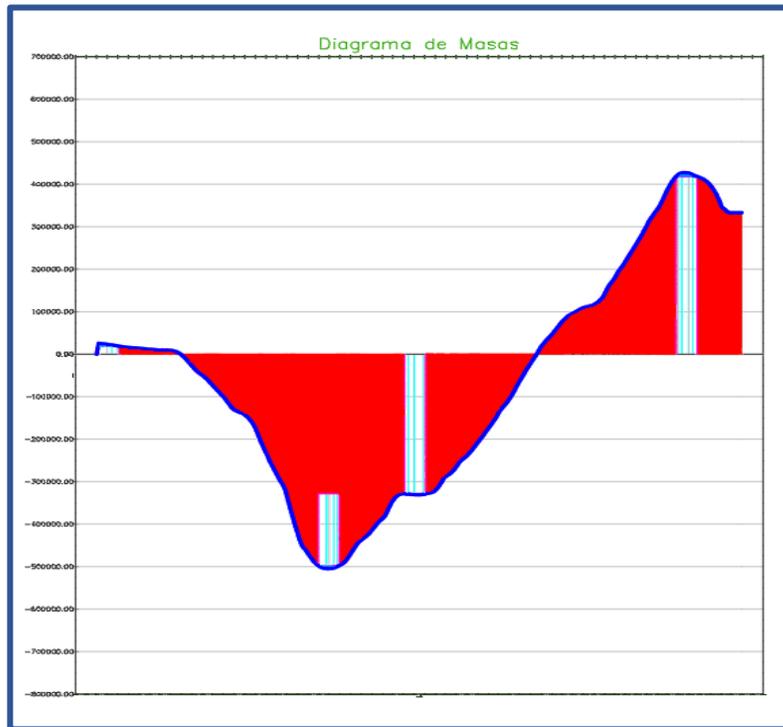
Nota: Tabla de Valores de volúmenes de corte y relleno. Elaborado por: Los autores.

7.8. Diagrama de masas

Cuando se construye una carretera, a menudo es necesario ajustar el terreno natural para lograr una superficie de camino adecuada. Esto implica cortar partes de terreno elevado para nivelar la carretera (corte) y agregar material en áreas deprimidas para construir la vía (relleno). El diagrama de masas de corte y relleno muestra visualmente estas operaciones.

Según (Cardenas, 2013) “El diagrama de masas es la representación gráfica del volumen de tierra a mover y de las distancias a que hay que transportarlo, en un tramo determinado de la carretera en construcción. Técnicamente es una curva o gráfico, en el que las distancias horizontales (abscisas) representan las estaciones de la carretera y las distancias verticales (ordenadas) indican las sumas algebraicas de los volúmenes acumulados de los cortes y terraplenes, a partir de un punto origen en el perfil longitudinal de la carretera.”

Figura 33
Diagrama de masas.



Elaborado por: Los autores, a través de CIVIL 3D 2023 Metric.

CAPÍTULO VIII

DISEÑO DEL PAVIMENTO

8.1. Introducción

Según (Montejo, 2002) “Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento”. Por lo tanto, el pavimento es una parte primordial de la infraestructura vial, proporcionando la superficie sobre la cual se desplazan los vehículos y peatones; su diseño y construcción adecuados son esenciales para garantizar la funcionalidad, seguridad y durabilidad de las carreteras y calles.

El pavimento puede estar compuesto por diferentes materiales, siendo los más comunes el asfalto (mezcla asfáltica) y el concreto (hormigón). Ambos materiales tienen sus propias características y se seleccionan según las condiciones específicas del proyecto, como el volumen de tráfico, el clima local, el presupuesto y los requisitos de durabilidad.

8.2. Tipos de pavimentos

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en cuatro tipos, los cuales son: pavimentos flexibles, pavimentos semi – rígidos, pavimentos rígidos y pavimentos articulados. Cada tipo de pavimento tiene sus propias características y aplicaciones específicas, adaptándose a las necesidades y condiciones particulares de cada proyecto.

8.2.1. Pavimentos Flexibles

El pavimento flexible es un tipo de pavimento utilizado en carreteras y calles que se caracteriza por su capacidad de adaptarse a las deformaciones causadas por el tráfico y el clima. Según (Montejo, 2002) “este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase.” Por lo tanto, el pavimento flexible es especialmente adecuado en áreas donde el suelo tiene una alta compactibilidad y puede presentar movimientos y deformaciones, ya que su flexibilidad le permite distribuir las cargas de tráfico de manera eficiente. También es capaz de absorber los impactos y las fuerzas generadas por el paso de vehículos, lo que ayuda a reducir el desgaste y la fatiga del material.

8.2.2. Pavimentos Semi – Rígidos

Según (Montejo, 2002) “Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos”. Por ende, los pavimentos semi - rígidos se utilizan en una variedad de situaciones donde se requiere una combinación de resistencia estructural y flexibilidad, proporcionando una solución versátil y duradera para una amplia gama de aplicaciones viales.

8.2.3. Pavimentos Rígidos

El pavimento rígido es un tipo de superficie de carretera o vía compuesto por una capa de concreto o cemento armado. A diferencia del pavimento flexible, que se compone de asfalto, el pavimento rígido es más sólido y resistente. “La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento”. (Montejo, 2002)

8.2.4. Pavimentos Articulados

Los pavimentos articulados se utilizan en una variedad de situaciones donde se requiere una estructura de pavimento rígido capaz de adaptarse a movimientos del suelo, cargas pesadas o condiciones ambientales extremas, garantizando así la durabilidad y estabilidad del pavimento a lo largo del tiempo.

“Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante”. (Montejo, 2002)

8.3. Capa de rodadura

La capa de rodadura es la capa superior del pavimento diseñada específicamente para soportar las cargas y proporcionar la superficie de contacto directo con los neumáticos de los vehículos que transitan por la carretera o calle. Es la capa que está en contacto directo con el tráfico y, por lo tanto, está sujeta al desgaste causado por el movimiento de los vehículos.

La capa de rodadura se caracteriza por ser resistente al desgaste, tener una textura adecuada para proporcionar agarre y seguridad, y ofrecer una superficie uniforme y cómoda para la conducción.

8.3.1. Funcionalidad de la capa de rodadura

Su función principal es soportar cargas generadas por el tráfico vehicular, distribuyéndolas uniformemente para evitar asentamientos prematuros y deformaciones excesivas. Además, debe resistir la fatiga y deformaciones permanentes, contribuyendo así a la estabilidad estructural del pavimento. En conjunto, la capa de rodadura garantiza la seguridad, durabilidad y rendimiento del pavimento en carreteras y calles.

“Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa”. (Miranda, 2010)

8.4. Diseño estructural

El diseño estructural para un proyecto vial consiste en determinar la composición de la mezcla es decir las proporciones de los materiales a utilizarse. El diseño del pavimento implica consideraciones como el grosor de la capa, la calidad de los materiales, la resistencia al desgaste, la capacidad de drenaje, la textura superficial y la adherencia.

Los diseños de la estructura deben ser capaz de soportar determinados tipos de esfuerzos producidos por el tráfico, como son los esfuerzos tangenciales que se tienen con los habituales frenazos y arrancada de los vehículos en las vías rurales, además de los esfuerzos de torsión producidos por el aparcamiento de vehículos.

8.5. Metodología de cálculo

El análisis completo de los suelos y la condición actual de la superficie de rodadura, realizado durante las fases de estudio, ha establecido las bases para iniciar el diseño del pavimento, siguiendo la metodología AASHTO 93.

Este enfoque es ampliamente utilizado y bien recibido en el diseño de pavimentos, siendo uno de los métodos más satisfactorios disponibles. Su aceptación en nuestro entorno es considerable, y para el diseño estructural se emplean nomogramas y catálogos específicos.

El método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), versión 1993, establece que la estructura de un pavimento se determina principalmente

considerando: el volumen de tráfico esperado durante el período de diseño, la capacidad de carga del suelo que sustentará el pavimento, y los niveles deseados de servicio de la vía al inicio y al final de su vida útil.

8.6. Diseño del pavimento

8.6.1. Ecuación de diseño – método AASHTO 93

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_O + \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

SN: Numero estructural o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes.) de diseño.

W18: Número de aplicación de carga equivalente de 8.2 ton. Que se acumula durante el periodo de diseño.

ZR: Desviación normal estándar del sistema depende del factor de confiabilidad.

So.: Desviación estándar global.

ΔPSI: Diferencia numérica entre la servicialidad inicial y final.

MR: Módulo de resiliencia de la Subrasante.

8.6.2. Confiabilidad “R”

La confiabilidad en el diseño puede ser definida como la probabilidad de que la estructura tenga un comportamiento real igual o menor que el previsto durante la vida de diseño adoptado.

Tabla 41

Niveles de confiabilidad sugerida en función del tipo de carretera.

Clasificación Funcional	Nivel de Confiabilidad "R" Recomendado	
	Urbano	Rural
Interestatal y Vías Rápidas	85 - 99.9	80 - 99.9

Arterias Principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO 93.

Se determinó que la confiabilidad para vías rurales colectoras está comprendida en el rango de 75% - 95%, por lo que se adoptará un valor de **80%**.

Dado que cada valor de R está estadísticamente relacionado con un coeficiente de desviación estándar normal (Zr), se determina utilizando la siguiente tabla:

Tabla 42
Valores de (Zr) correspondiente a los niveles de (R).

Confiabilidad "R" en %	Desviación Estándar Normal (ZR)
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,90	-3,090
99,90	-3,750

Fuente: AASHTO 93.

8.6.3. Desviación estándar global "So"

Está relacionado directamente con la confiabilidad de condiciones particulares locales, que consideran posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en predicción del tránsito,

la AASHTO da valores: $0.40 < S_o > 0.50$; por lo tanto, es recomendable utilizar un valor intermedio como $S_o = 0.45$.

8.6.4. Módulo de resiliencia “Mr”

Representa lo que sucede bajo el pavimento en lo que concierne a tensión y deformación. Para determinar el “Mr.”, AASHTO propone el uso de la correlación con el CBR, y se presenta tres fórmulas para el cálculo:

$$Mr(\text{psi}) = 1500 * CBR \quad \text{Para} \quad CBR < 7.20\%$$

$$Mr(\text{psi}) = 3000 * CBR^{0.65} \quad \text{Para} \quad 20\% > CBR > 7.20\%$$

$$Mr(\text{psi}) = 4326 * \ln CBR + 241 \quad (\text{Utilizado para suelos granulares por la AASHTO})$$

De acuerdo con el estudio de suelos se determina que el $CBR = 4.50\%$

Por lo tanto:

$$Mr(\text{psi}) = 1500 * CBR$$

$$Mr(\text{psi}) = 1500 * 4.50$$

$$Mr = 6750\text{psi}$$

El módulo de resiliencia que se calculó en función del CBR obtenido en el estudio de suelo es de **6.75 ksi**.

8.6.5. Índice de serviciabilidad

Es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios del proyecto, se determina en base a la siguiente formula:

$$\Delta PSI = PSI \text{ inicial} - PSI \text{ final}$$

Tabla 43
Índice de serviciabilidad (PSI).

Pavimento Rígido		Pavimento Flexible	
PSI inicial	PSI final	PSI inicial	PSI final
4,5	2,0	4,2	2,0

Fuente: AASHTO 93.

Para nuestro caso:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

8.6.6. Cálculo del número estructural SN

Para calcular el espesor por capa del pavimento flexible es necesario conocer el número estructural requerido (SN), utilizando el software basado en la "ecuación AASHTO 93".

Tabla 44
Resumen de variables para determinar el número estructural SN.

Variables	Valor
CBR de diseño	4,50
Confiabilidad (R.) en %	80
Desviación Estándar Normal (ZR)	-0,841
Desviación Estándar Global (So)	0,45
Módulo de Resiliencia de la Subrasante (Mr.)	6750
Índice de servicio inicial (PSI inicial).	4.20
Índice de servicio inicial (PSI final).	2.00
Periodo de Diseño	10 y 20 años
Número de ejes equivalentes (W18) par 10 años	2505276

Elaborado por: Los Autores.

Figura 34
Cálculo de SN para un periodo de diseño de 10 años.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The title bar reads 'Ecuación AASHTO 93'. The main window title is 'CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)'. Below this, it says 'Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2004.' The interface is divided into several sections: 'Tipo de Pavimento' with radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'; 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' with a dropdown for '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' containing '0.45'; 'Serviciabilidad inicial y final' with text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2); 'Módulo resiliente de la subrasante' with a text box for 'Mr' (6750 psi); 'Información adicional para pavimentos rígidos' with text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (k)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'; 'Tipo de Análisis' with radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'; 'Número Estructural' with a text box for 'SN' (3.69) and a text box for 'W18' (2505276); and an 'Observaciones' section. At the bottom, there are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Nota: Valor del número estructural para un periodo de diseño de 10 años. Fuente: “ecuación AASHTO 93”.

Figura 35
Cálculo de SN para un periodo de diseño de 20 años.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The title bar reads 'Ecuación AASHTO 93'. The main window title is 'CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)'. Below this, it says 'Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2004.' The interface is divided into several sections: 'Tipo de Pavimento' with radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'; 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' with a dropdown for '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' containing '0.45'; 'Serviciabilidad inicial y final' with text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2); 'Módulo resiliente de la subrasante' with a text box for 'Mr' (6750 psi); 'Información adicional para pavimentos rígidos' with text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (k)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'; 'Tipo de Análisis' with radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'; 'Número Estructural' with a text box for 'SN' (4.11) and a text box for 'W18' (5240482); and an 'Observaciones' section. At the bottom, there are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Nota: Valor del número estructural para un periodo de diseño de 20 años. Fuente: “ecuación AASHTO 93”.

Para los datos descritos se requiere un numero estructural igual a: SN=3.69 (10años) y SN = 4.11 (20 años), que tendrá que ser resistido por las capas de rodadura, base y subbase para que la subrasante no sufra deformaciones que ocasionen daños en la estructura del pavimento.

8.6.7. *Espesores por capa*

La AASHTO presenta las siguientes fórmulas para calcular el espesor de las capas como la superficie de rodadura o carpeta asfáltica (D1), base (D2) y subbase (D3).

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 + a_3 * D_3$$

8.6.8. *Coefficientes estructurales (a1, a2 y a3)*

Tabla 45

Coefficiente de capa. Coeficiente estructural (a).

COEFICIENTE DE CAPAS		
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MÉTODO ASSHTO		
Clase de material	Normas	Coefficiente
CAPA DE SUPERFICIE		
Concreto asfáltico	Estabilidad de Marshall 1000-1800 LBS	0.134-0.173
Arena asfáltica	Estabilidad de Marshall 500-600 LBS	0.079-0.118
Carpeta bituminosa mezclada en el camino	Estabilidad de Marshall 300-600 LBS	0.059-0.098
CAPA DE BASE		
Agregados triturados graduados uniformemente	P.I.0-4, CBR>100%	0.047-0.056
Grava graduada uniformemente	P.I.0-4, CBR 30-60%	0.028-0.051
Concreto asfáltico	Estabilidad de Marshall 1000-1600 LBS	0.098-0.138
Arena asfáltica	Estabilidad de Marshall 500-600 LBS	0.059-0.098
Agregado grueso estabilizado con cemento	Resistencia a la compresión 28-46 kg/cm ²	0.079-0.139
Agregado grueso estabilizado con cal	Resistencia a la compresión 7 kg/cm ²	0.089-0.119
Suelo-cemento	Resistencia a la compresión 18-32 kg/cm ²	0.047-0.079
CAPA DE SUB-BASE		
Arena-grava, graduada uniformemente	P.I.0-4, CBR 30%	0.032-0.043
Suelo-cemento	Resistencia a la compresión 18-22 kg/cm ²	0.025-0.071
Suelo-cal	Resistencia a la compresión 8 kg/cm ²	0.059-0.071
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		

Arena o suelo seleccionado	P.I.0-10	0.020-0.025
Suelo con cal	3% mínimo de cal en peso de los suelos	0.028-0.029
TRATAMIENTO SUPERFICIAL BITUMINOSO		
Triple riego	*Usar estos valores para los diferentes tipos	*0.4
Doble riego	de tratamientos bituminosos, sin calcular	*0.25
Simple riego	espesores	*0.15

Fuente: AASHTO 93.

Tabla 46

Valor de los coeficientes de capa.

Capas	Coefficiente	Valor
Carpeta asfáltica	a1	0.1535
Base	a2	0.0515
Subbase	a3	0.0375

Nota: Resumen de los coeficientes obtenidos de acuerdo al tipo de material. Elaborado por: Los Autores.

8.6.9. Coeficientes de drenaje (m2 y m3)

La calidad del drenaje se determina por el tiempo que tarda el agua en ser evacuada de las capas granulares como la base y la subbase. Por lo tanto, se recomienda que el drenaje sea de buena calidad.

Tabla 47

Valor de los coeficientes de drenaje.

Calidad de drenaje		Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercana a saturación			
Condición	Tiempo evaluación	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	2 horas	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1,2
Bueno	1 día	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1,0
Regular	1 semana	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0,8
Malo	1 mes	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0,6

Muy malo	No drena	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0,4
----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----

Fuente: AASHTO 93.

El coeficiente de drenaje se calcula considerando la calidad y el porcentaje del tiempo durante el año en el cual la estructura del pavimento puede experimentar niveles de humedad cercanos a la saturación.

Para el cálculo del pavimento, se utiliza un coeficiente de drenaje de 1.00 para las capas granulares como la base y la subbase, según lo indicado en la tabla.

8.6.10. Determinación de los espesores de capa

La AASHTO recomienda para los diseños los siguientes espesores mínimos:

Tabla 48

Espesores mínimos recomendamos.

Ejes W8.2	Capas Asfálticas (mm)	Capa Base (mm)
Menos de 50000	TSD	100
50001-150000	50	100
150001-500000	60	100
500001-2000000	75	150
2000001-7000000	90	150
Mayor a 7000000	100	150

Fuente: AASHTO 93.

Tabla 49

Determinación de los espesores por capa (10 años).

Capas	Coeficientes		Espesores(cm)	SN
	Estructural	Drenaje		
Carpeta Asfáltica	0,1535		10	1,535
Base	0,0515	1	20	1,03
Subbase	0,0375	1	30	1,125
			SN Total	3,69

Nota: Los valores mostrados corresponden a un periodo de diseño de 10 años. Elaborado por: Los Autores.

Con estos espesores, se obtiene un número estructural calculado de 3.69 que es mayor o igual al número estructural requerido de 3.69, por lo tanto, el diseño es correcto.

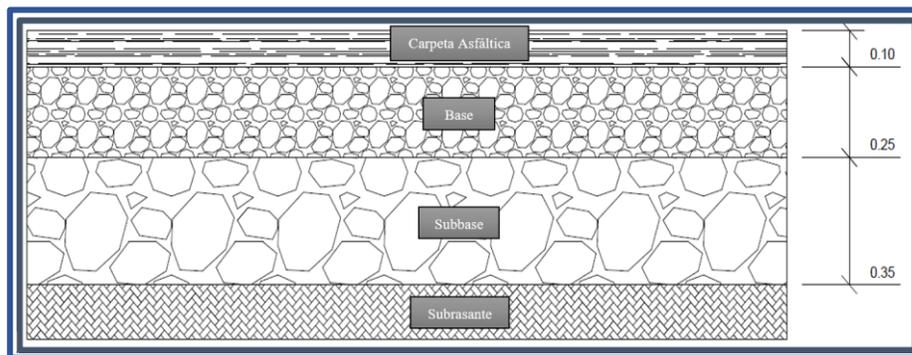
Tabla 50
Determinación de los espesores por capa (20 años).

Capas	Coeficientes		Espesores(cm)	SN
	Estructural	Drenaje		
Carpeta Asfáltica	0,1535		10	1,535
Base	0,0515	1	25	1,2875
Subbase	0,0375	1	35	1,3125
			SN Total	4.14

Nota: Los valores mostrados corresponden a un periodo de diseño de 20 años. Elaborado por: Los Autores.

Con estos espesores, se obtiene un numero estructural calculado de 4.14 que es mayor o igual al número estructural requerido de 4.11, por lo tanto, el diseño es correcto.

Figura 36
Espesores de la estructura del pavimento.



Elaborador por: Los Autores.

Nota importante: Es necesario recalcar que, en este cálculo de espesores de las capas de la estructura del pavimento, no se considerará el espesor de la subbase. Esto se debe a que el estudio de suelos determinó que la subbase existente está sobredimensionada y posee la capacidad soportante que cumple con los requisitos técnicos necesarios, eliminando así la necesidad de mejorarla.

CAPÍTULO IX

DISEÑO HIDRÁULICO

9.1. Antecedentes

Es importante señalar que en el proyecto existe una red de drenaje actual que solo cuenta con alcantarillas. Por lo tanto, el diseño que se llevará a cabo se enfocará exclusivamente en el drenaje longitudinal en su totalidad y en el reemplazo de las alcantarillas que se encuentren en mal estado. Esta red de alcantarillado desemboca en el río Pilaló, que es el río principal del cantón.

Dado que los sistemas de drenaje influyen en los costos de conservación y mantenimiento de las carreteras, estas obras se planifican teniendo en cuenta que deben operar dentro de los límites establecidos por los sistemas de conservación y métodos de mantenimiento. Por lo tanto, se proponen estructuras seguras y con capacidad suficiente para facilitar un mantenimiento adecuado.

9.2. Inventario de estructuras de drenaje existentes

Dado que es una carretera que ya está en funcionamiento y se someterá a una mejora integral, es esencial evaluar el funcionamiento hidráulico actual, así como el estado estructural y de mantenimiento de las obras menores existentes. Esto permitirá determinar cuáles de estas obras se mantendrán sin cambios, cuáles serán clausuradas y ampliadas o restauradas.

9.2.1. Inventario de estructuras de drenaje longitudinales

Mediante el levantamiento topográfico y la inspección de campo, se ha determinado que en la vía "Puembo – San Pedro", a lo largo de los 6200 metros que abarca el proyecto, no hay ninguna estructura de drenaje longitudinal para ser evaluada.

9.2.2. Inventario de estructuras de drenaje transversales

En el transcurso del proyecto hay algunas estructuras de drenaje transversal, las cuales se describirán en la tabla.

Tabla 51*Estructuras de drenaje transversal existentes.*

N°	Abscisa	Tipo	Material	Estado Actual	Observación
1	0+495.24	Cajón	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones Se recomienda
2	0+775.29	Circular	Hormigón	Regular	mantenimiento
3	1+073.28	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones
4	1+162.30	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones Se recomienda
5	1+257.78	Cajón	Hormigón	Regular	mantenimiento Se recomienda
6	1+461.94	Circular	Hormigón	Regular	mantenimiento
7	1+600	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones Se recomienda
8	1+702.50	Circular	Hormigón	Regular	mantenimiento
9	1+800.97	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones Se recomienda
10	1+900	Circular	Hormigón	Regular	mantenimiento
11	2+220	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones
12	2+460.52	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones Se recomienda
13	2+628.68	Circular	Hormigón	Regular	mantenimiento Se recomienda
14	2+900	Circular	Hormigón	Regular	mantenimiento
15	2+982.29	Circular	Metálica	Excelente	Óptimas condiciones
16	3+100	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones Se recomienda
17	3+398.10	Circular	Metálica	Regular	mantenimiento
18	3+641.50	Circular	Hormigón	Malo	Es necesario reemplazar
19	3+840.11	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones
20	3+920.82	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones
21	4+139.92	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones
22	4+607.82	Circular	Metálica	Mala	Es necesario reemplazar
23	4+712.62	Cajón	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones
24	4+848.58	Circular	Metálica	Excelente	Óptimas condiciones
25	4+965.48	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones
26	5+359.69	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones
27	5+583.42	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones
28	6+100	Circular	Hormigón	Bueno	Óptimas condiciones

Elaborado por: Los Autores.

Durante la inspección en campo, se constató que la mayoría de las estructuras de drenaje transversales carecen de mantenimiento, presentan vegetación, algunas están en mal estado físico, por lo que es necesario que sean reemplazadas. A continuación, se muestra en la ilustración el estado de las alcantarillas.

Figura 37

Estado actual del alcantarillado existente.



Nota: En la primera imagen se muestra la alcantarilla en estado BUENO, la siguiente alcantarilla en estado REGULAR y las dos últimas imágenes muestran las alcantarillas en estado DEFICIENTE O MALA. Elaborado por: Los Autores.

9.3. Estudio hidrológico

En el estudio hidrológico de las áreas de drenaje que afectan al proyecto que une los sectores de Puenbo-San Pedro, los dos componentes principales del ciclo hidrológico son la precipitación

y el escurrimiento. Se puede establecer una relación entre ambos al considerar mediciones directas disponibles o al estimar condiciones que no pueden medirse directamente y predecir la posible ocurrencia de eventos en un período específico (período de retorno).

A lo largo de la vía, no se dispone de estaciones hidrométricas que registren información sobre el escurrimiento, lo que impide obtener registros de caudales máximos. Por ende, se deben emplear métodos indirectos que utilizan modelos basados en el factor pluviométrico.

Para estimar los caudales máximos probables en las zonas donde se implementarán obras de drenaje, se emplea el Método Racional. Este método considera diversas características de la cuenca de drenaje, como su tamaño y el tipo de suelo, junto con aspectos del ciclo hidrológico como la intensidad y duración de las precipitaciones. Se aplica a todas las cuencas que contribuyen a las obras de drenaje de la carretera en estudio, siendo especialmente útil para calcular el caudal máximo en cunetas pequeñas que no excedan las 400 hectáreas. La fórmula del método es la siguiente:

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

Donde:

Q: Caudales máximos (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de lluvia (mm/h)

A: Área de drenaje (Ha)

9.4. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es un factor adimensional utilizado en hidrología para representar la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial. Este

coeficiente varía dependiendo de las características del terreno, como el tipo de suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y el uso del suelo.

El valor del coeficiente de escorrentía puede oscilar entre 0 y 1, donde un valor cercano a 0 indica que casi toda la precipitación se infiltra en el suelo o se evapora, mientras que un valor cercano a 1 significa que casi toda la precipitación se convierte en escorrentía.

Tabla 52
Valores del coeficiente de escorrentía.

Tipo de Terreno	Coeficiente de escorrentía
Pavimentos de adoquín	0.50-0.70
Pavimentos asfálticos	0.70-0.95
Pavimentos de hormigón	0.80-0.95
Suelo arenoso con vegetación y gradiente 2% - 7%	0.15-0.20
Suelo arcilloso con pasto y gradiente 2% - 7%	0.25-0.65
Zonas de cultivo	0.20-0.40

Fuente: MTOP 2013.

Para el proyecto se optó por escoger un valor medio igual a 0.85.

9.5. Estudio de intensidad

Las cifras de precipitación se derivan de un análisis regional de los registros recopilados en varias estaciones pluviométricas o de las mediciones de lluvia obtenidas de pluviómetros instalados en todo el país. Estos datos son recopilados y examinados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Para trazar y ajustar las curvas que muestran la intensidad de la lluvia, utilizamos datos de las mayores lluvias para distintos lapsos de tiempo y frecuencias en función de la cantidad máxima de lluvia en un período de 24 horas. Descubrimos que las curvas para una misma estación, pero con diferentes frecuencias de lluvia, son muy parecidas, solo se diferencian en cuanto a la intensidad. Por lo tanto, podemos simplificar todas estas curvas en una sola ley que no depende de

la cantidad total de lluvia. Esto nos permite usar esta ley para prever la intensidad de la lluvia en cualquier frecuencia y estimarla en lugares donde no tenemos datos directos de lluvia debido a la falta de información sobre la misma.

Tabla 53
Ecuación pluviométricas de la zona más cercana.

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO	ECUACIONES
CÓDIGO	NOMBRE	(minutos)	
M004	RUMIPAMBA	5 <30	$I=160.9162*T^{0.2407}*t^{-0.4893}$
		30 <120	$I=506.391*T^{0.2125}*t^{-0.805}$
		120 <1440	$I=1034.0865*T^{0.1797}*t^{-0.9377}$

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Donde:

T: Tiempo de retorno

t: Tiempo de concentración.

9.6. Tiempo de retorno

El período de retorno es utilizado para estimar la frecuencia con la que se espera que ocurran eventos hidrológicos extremos, como inundaciones. Se expresa en términos de años y representa el tiempo promedio entre eventos de igual o mayor magnitud. Por ejemplo, un período de retorno de 100 años para una inundación significa que, en promedio, se espera que ocurra una inundación de esa magnitud una vez cada 100 años.

En este caso; el periodo de retorno que consta en los términos de referencia es de 25 años para cunetas; y de 150 años para alcantarillas.

9.7. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es un parámetro importante en hidrología que se utiliza para estimar el tiempo que tarda el agua en llegar desde el punto más alejado de una cuenca hidrográfica hasta el punto de salida, como un punto de descarga en un río, un canal o una alcantarilla. Es un componente fundamental en el diseño de sistemas de drenaje, control de inundaciones y gestión de recursos hídricos.

Según (MTO, 2013) “El tiempo de concentración mínimo será de 10 minutos”.

9.8. Drenaje Longitudinal

El drenaje longitudinal se refiere a los sistemas de drenaje que se diseñan y construyen para captar y conducir el agua a lo largo de una vía, como una carretera o autopista, siguiendo su dirección principal, siendo estas las cunetas. Este tipo de drenaje es fundamental para prevenir la acumulación de agua en la superficie de la carretera, lo que podría causar daños a la estructura de la vía y reducir la seguridad para los usuarios.

9.8.1. Cálculo del caudal hidrológico

A continuación, se presenta el cálculo del tramo 1, ubicado entre las abscisas 0+000 km y 0+495.24 km. Este tramo tiene el mayor calado y, por lo tanto, la sección de mayores dimensiones, la cual abarca satisfactoriamente el drenaje de los caudales de los diferentes tramos.

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

Donde:

Coefficiente de escorrentía:

$$C = 0.85$$

Intensidad:

$$I = 160.9162 * T^{0.2407} * t^{-0.4893}$$

$$I = 160.9162 * 25^{0.2407} * 10^{-0.4893}$$

$$I = 113.20 \frac{mm}{h}$$

Área:

$$A = 0.211 Ha$$

Por lo tanto:

$$Q_h = \frac{0.85 * 113.20 * 0.211}{360}$$

$$Q_h = 0.0564 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_h = 56.37 \frac{l}{s}$$

9.8.2. Cálculo del caudal de diseño

Este cálculo es necesario para verificar que la capacidad de la sección sea suficiente para transportar el caudal de diseño, para la cual se utiliza la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * \left(A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \right)$$

Donde:

n: coeficiente de rugosidad de Manning

A: área de la sección (m²)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente (m/m)

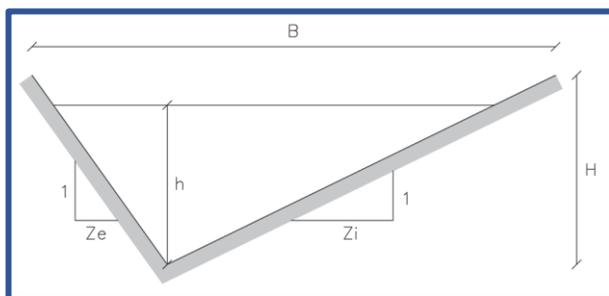
Tabla 54
Valores del coeficiente de Manning.

TIPO DE CANAL		Min	Medio	Max
CANALES REVESTIDOS O ARTIFICIALES				
Hormigón	Platachado	0.011	0.013	0.015
	Alisado con regla	0.013	0.015	0.016
	Alisado con ripio a la vista en el fondo	0.015	0.017	0.02
	Sin alisar	0.014	0.017	0.02
	Gunita (hormigón proyectado), sección regular	0.016	0.019	0.023
	Idem, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
	Garita sobre una roca bien excavada	0.017	0.02	
	Garita sobre una roca excavada en forma irregular	0.022	0.027	

Nota: Resumen de la tabla de valores del coeficiente de Manning. Fuente: MTOP 2013.

Para elegir el tipo de sección para la cuneta, se toman en cuenta dos criterios: la seguridad vial y la capacidad de drenaje, siendo la seguridad vial el parámetro más importante a tomar en consideración, por lo tanto, se decidió optar por diseñar el drenaje longitudinal a través de una sección tipo triangular.

Figura 38
Sección triangular.



Elaborado por: Los Autores.

Donde:

B: ancho de la cuneta

H: altura de la cuneta

h: altura del calado

Zi: talud hacia la vía sea como mínimo 3:1, preferiblemente 4:1.

Ze: Talud hacia el corte con la misma pendiente que el propio talud.

A continuación, se presenta el cálculo de los parámetros hidráulicos de la sección tipo triangular para obtener el caudal de diseño.

Área:

$$A = \frac{(Zi + Ze) * h^2}{2}$$

$$A = \frac{(3 + 1) * 0.13^2}{2}$$

$$A = 0.034 \text{ m}^2$$

Radio Hidráulico:

$$R = \frac{(Zi + Ze) * h}{2 * (\sqrt{1 + Zi^2} + \sqrt{1 + Ze^2})}$$

$$R = \frac{(3 + 1) * 0.13}{2 * (\sqrt{1 + 3^2} + \sqrt{1 + 1^2})}$$

$$R = 0.057m$$

Pendiente:

$$S = 3.44\%$$

$$S = 0.0344$$

Por lo tanto:

$$Q_{dis} = \frac{1}{n} * \left(A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$Q_{dis} = \frac{1}{0.015} * \left(0.034 * 0.057^{\frac{2}{3}} * 0.0344^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$Q_{dis} = 0.0617 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{dis} = 61.76 \frac{l}{s}$$

9.8.3. Comprobación

Para verificar que el diseño sea el correcto el caudal de diseño debe ser mayor al caudal hidrológico, con un margen de error máximo del 30%.

$$Q_{dis} \geq Q_h$$

$$61.76 \frac{l}{s} \geq 56.37 \frac{l}{s} \quad \text{OK}$$

$$ERROR = \frac{(Q_{dis} - Q_h)}{Q_h} * 100\%$$

$$ERROR = \frac{(61.76 - 56.37)}{56.37} * 100\%$$

$$ERROR = 9.57\% \quad \text{OK}$$

Según (MOP, 2003) se establece que para el material hormigón se tendrá una velocidad máxima entre los rangos de 4.5 hasta 7.5 m/s. Además, según (MTOPI, 2013) la velocidad mínima recomendada es de 0.25 m/s.

$$v = \frac{Q_{dis}}{A}$$

$$v = \frac{0.0617}{0.034}$$

$$v = 1.83 \frac{m}{s} \quad \text{OK}$$

9.8.4. Dimensionamiento de la cuneta

Para calcular la altura de la cuneta (H), se suma al calado un porcentaje adicional conocido como revancha, el cual se recomienda que este entre el 5% y el 30%.

Tabla 55
Rango de Revancha.

Revancha		
5%	0.65	cm
30%	3.9	cm
Asumido	3.5	cm

Elaborado por: Los Autores.

Por lo tanto:

$$H = h + rev$$

$$H = 13cm + 3.5cm$$

$$H = 16.5cm$$

Para facilidades constructivas se optará por una altura de cuneta será de 20 cm.

El ancho de cuneta (B) se calcula a partir de la siguiente formula:

$$B = (Zi + Ze) * H$$

$$B = (3 + 1) * 20$$

$$B = 80 cm$$

El espesor según la normativa (MTO, 2013) es el siguiente:

Tabla 56
Rango de espesores para hormigón.

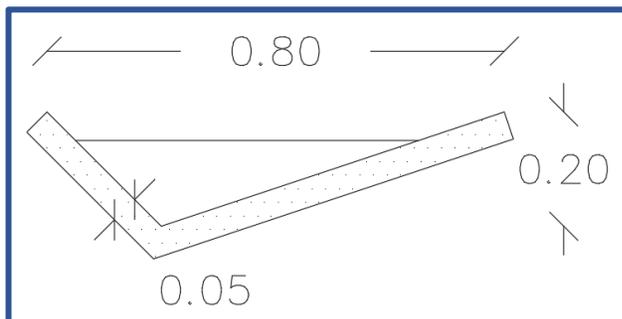
Tipo	Velocidad media (m/s)	Espesor (cm)
Asfáltico	2.5	5.00
	2.50-3.00	8.00
	3.00	5.00-10.00
Hormigón	3.00-5.00	10.00-13.00
	mayores a 5.00	15 o más

Nota: Resumen de la tabla de revestimiento. Fuente: MTO 2013.

Para el proyecto el espesor escogido es de 5 cm.

Figura 39

Sección de la cuneta triangular.



Elaborado por: Los Autores.

9.9. Drenaje Transversal

El drenaje transversal en infraestructuras viales, son conductos subterráneos diseñados para permitir el paso seguro de agua bajo carreteras, caminos y otras vías de transporte. Estas estructuras están construidas generalmente de materiales duraderos como concreto, acero o plástico reforzado.

El diseño de las alcantarillas debe considerar factores críticos como el caudal máximo esperado, la topografía del terreno, y la capacidad de carga, asegurando una evacuación eficiente del agua de lluvia y el paso de los cauces existentes de así ser el caso. Un mantenimiento regular, que incluya la limpieza de sedimentos y la reparación de posibles daños, es esencial para garantizar su operatividad y prolongar la vida útil de la infraestructura vial.

9.9.1. Cálculo del caudal hidrológico

A continuación, se detalla el cálculo correspondiente a la alcantarilla N°18, ubicada en la abscisa 3+641.50 km. Dada la condición deficiente de esta estructura, es imperativo proceder con su reconstrucción para garantizar la seguridad vial y asegurar un drenaje eficiente.

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

Donde:

Coeficiente de escorrentía:

$$C = 0.85$$

Intensidad:

$$I = 160.9162 * T^{0.2407} * t^{-0.4893}$$

$$I = 160.9162 * 150^{0.2407} * 10^{-0.4893}$$

$$I = 174.20 \frac{mm}{h}$$

Área:

$$A = 0.0865 \text{ Ha}$$

Por lo tanto:

$$Q_h = \frac{0.85 * 174.20 * 0.0865}{360}$$

$$Q_h = 0.0356 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_h = 35.58 \frac{l}{s}$$

9.9.2. Cálculo del caudal de diseño

Este cálculo es necesario para verificar que la capacidad de la sección sea suficiente para transportar el caudal de diseño, para la cual se utiliza la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * \left(A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \right)$$

Donde:

n: coeficiente de rugosidad de Manning

A: área de la sección (m²)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente (m/m)

Tabla 57

Valores del coeficiente de Manning.

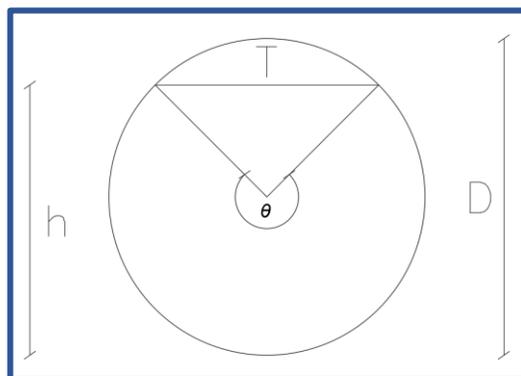
TIPO DE CANAL		Min	Medio	Max
CANALES REVESTIDOS O ARTIFICIALES				
Hormigón	Platachado	0.011	0.013	0.015
	Alisado con regla	0.013	0.015	0.016
	Alisado con ripio a la vista en el fondo	0.015	0.017	0.02
	Sin alisar	0.014	0.017	0.02
	Gunita (hormigón proyectado), sección regular	0.016	0.019	0.023
	Idem, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
	Garita sobre una roca bien excavada	0.017	0.02	
	Garita sobre una roca excavada en forma irregular	0.022	0.027	

Nota: Resumen de la tabla de valores del coeficiente de Manning. Fuente: MTOP 2013.

Una alcantarilla circular se elige generalmente como primera opción debido a sus ventajas técnicas y económicas. Su eficiencia hidráulica es notable, ya que maneja flujos bajos y altos, reduciendo la resistencia al flujo y permitiendo una autolimpieza efectiva. Además, la geometría circular distribuye uniformemente las cargas, proporcionando alta resistencia estructural frente a las presiones del suelo y del tráfico. Su diseño facilita la fabricación, transporte e instalación, lo que reduce los costos laborales y el tiempo del proyecto.

Figura 40

Sección circular.



Elaborado por: Los Autores.

Donde:

D: Diámetro de la tubería (m)

h: Calado (m)

T: Espejo de agua (m)

Θ : Angulo interno (radianes)

A continuación, se presenta el cálculo de los parámetros hidráulicos de la sección tipo circular para obtener el caudal de diseño.

Se estableció un diámetro de 0.16 metros, a partir del cual se debe determinar el calado correspondiente.

Calado:

$$h = 0.8 * D$$

$$h = 0.8 * 0.16$$

$$h = 0.128 \text{ m}$$

Angulo interno:

$$\theta = 2 * \cos^{-1}\left(1 - \frac{2 * h}{D}\right)$$

$$\theta = 2 * \cos^{-1}\left(1 - \frac{2 * 0.128}{0.16}\right)$$

$$\theta = 4.429 \text{ radianes}$$

Área:

$$A = \frac{1}{8} * (\theta - \text{sen}(\theta)) * D^2$$

$$A = \frac{1}{8} * (4.429 - \text{sen}(4.429)) * 0.16^2$$

$$A = 0.017 \text{ m}^2$$

Radio Hidráulico:

$$R = \frac{D}{4} * \left(1 - \frac{\text{sen}(\theta)}{\theta}\right)$$
$$R = \frac{0.16}{4} * \left(1 - \frac{\text{sen}(4.429)}{4.429}\right)$$
$$R = 0.049 \text{ m}$$

Pendiente:

$$S = 7.00\%$$
$$S = 0.07$$

Por lo tanto:

$$Q_{dis} = \frac{1}{n} * \left(A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}\right)$$
$$Q_{dis} = \frac{1}{0.014} * \left(0.017 * 0.0497^{\frac{2}{3}} * 0.07^{\frac{1}{2}}\right)$$
$$Q_{dis} = 0.0434 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$
$$Q_{dis} = 43.44 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

9.9.3. Comprobación

Para verificar que el diseño sea el correcto el caudal de diseño debe ser mayor al caudal hidrológico, con un margen de error máximo del 30%.

$$Q_{dis} \geq Q_h$$
$$43.44 \frac{\text{l}}{\text{s}} \geq 35.58 \frac{\text{l}}{\text{s}} \quad \text{OK}$$

$$ERROR = \frac{(Q_{dis} - Q_h)}{Q_h} * 100\%$$

$$ERROR = \frac{(43.44 - 35.58)}{35.58} * 100\%$$

$$ERROR = 22.00\% \quad \text{OK}$$

Según (EMAAP, 2009) se establece que para el material hormigón se tendrá una velocidad máxima de 4.5 m/s.

$$v = \frac{Q_{dis}}{A}$$

$$v = \frac{0.0434}{0.017}$$

$$v = 2.52 \frac{m}{s} \quad \text{OK}$$

9.9.4. Dimensionamiento de la alcantarilla

Según los cálculos realizados, el diámetro que satisface el caudal de diseño es de 0.16 m.

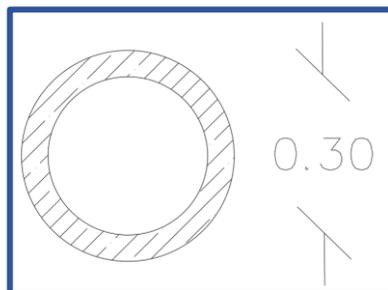
Sin embargo, la normativa (EMAAP, 2009) establece que el diámetro mínimo para alcantarillados pluviales no debe ser inferior a 0.30 m. Por lo tanto, para la construcción del sistema de drenaje transversal de este proyecto, se seleccionará una alcantarilla de hormigón con un diámetro de 0.30 m.

Los cálculos detallados tanto de la caja recolectora como del muro de alas de salida para las alcantarillas que serán reconstruidas se presentan a detalle en el **ANEXO No 6**.

A continuación, se presenta un gráfico de las dimensiones de las alcantarillas a ser reconstruidas:

Figura 41

Sección de la alcantarilla circular.



Elaborado por: Los Autores.

9.10. Consideraciones de diseño

Las dimensiones de la cuneta triangular de hormigón, con una base (B) de 0.80 m y una altura (H) de 0.20 m y espesor (e) de 0.05 m, se aplicarán uniformemente a todos los tramos del proyecto. Estas dimensiones se han determinado utilizando el mayor calado, lo que asegura que el diseño cumpla con los requisitos para drenar los caudales de diseño presentes en cada tramo satisfactoriamente.

Para el drenaje transversal, se reemplazarán únicamente la alcantarilla N°18 ubicada en la abscisa 3+641.50 km y la alcantarilla N°22 ubicada en la abscisa 4+607.82 km. Estas estructuras presentan un deterioro total, por lo cual se ha determinado la remoción y posterior instalación de tubos de hormigón con un diámetro (D) de 0.30 m. Cada alcantarilla incluirá una caja recolectora en el inicio y un muro de alas para el desfogue del caudal.

En cuanto a las alcantarillas en BUEN y REGULAR estado, se ha decidido mantenerlas, dado que sus diámetros cumplen con las dimensiones necesarias para manejar adecuadamente los diferentes caudales de diseño.

CAPÍTULO X

SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL

10.1. Seguridad vial

La señalización y la seguridad vial son aspectos fundamentales para garantizar la seguridad de conductores, peatones y ciclistas en las carreteras y calles. La señalización vial comprende una serie de dispositivos, como señales de tráfico, marcas en el pavimento, semáforos y dispositivos de control de velocidad, diseñados para regular el tráfico y comunicar información importante a los usuarios de la vía.

El estudio de señalización corresponde a la vía “Puembo – San Pedro”, en una longitud de 6.2 Km aproximadamente. Es una vía con 1 carril de circulación por sentido y se complementa con variantes que se detallan en los planos topográficos. El estudio de señalización tiene un nivel alto de complejidad, ya que las características geométricas de la vía tienen tangentes y curvas diámetros variables por lo que tiene que garantizarse los usuarios tiene un alto nivel de seguridad.

Los estudios contemplan un plan integral de señalización dentro de todos los tramos de vía, que se complementan con la señalización de las intersecciones a nivel y los intercambiadores que se los ha integrado dentro de este estudio. Como se señala más adelante se ha tratado de ajustar los diseños y especificaciones a las normas que se utilizan actualmente.

10.2. Señalización vertical

La señalización vertical, clave en la infraestructura vial, emplea señales en postes o soportes para comunicar información vital a conductores y usuarios. Con colores, formas y símbolos estándar, estas señales alertan sobre peligros, regulan el tráfico, ofrecen datos útiles, guían en rutas y señalan servicios disponibles. Es esencial que estas señales estén bien diseñadas, visibles y mantenidas para mantener la seguridad vial.

10.3. Clasificación de señales verticales de tránsito

La normativa RTE-INEN-004-1 presenta la clasificación, código y características de las señales de acuerdo con lo detallado en la tabla correspondiente.

Tabla 58

Clasificación de señales verticales de tránsito.

Señales	Código	Descripción
Regulatoria	R	Regula el movimiento de tránsito e indica cuando se aplica un requerimiento legal.
Preventiva	P	Advierte a los usuarios de las vías, sobre condiciones inesperadas o peligrosas en la vía o sectores adyacentes a la misma.
Información	I	Informan a los usuarios de la vía de las direcciones, distancias, destinos, rutas, ubicación de servicios y puntos de interés turístico.
Especiales delimitadores	D	Delinean al tránsito que se aproxima a un lugar con cambio brusco de la vía, o la presencia de una obstrucción en la misma.
Trabajos en la vía y propósitos especiales	T	Advierten, informan y guían a los usuarios viales a transitar con seguridad sitios de trabajos en las vías y aceras.
Escolares	E	Advierten e informan a los usuarios de las vías de la aproximación a un centro educativo y las prioridades en el uso de estas.
Riesgo	SR	Informar y orientar a la población a través de señalización con amenazas por fenómenos de origen o socio naturales sobre las zonas de amenazas.

Nota: Resumen de la clasificación mostrada en la norma RTE.INEN-004-1. Señalización Vial Parte 1. Señalización Vertical. Elaborado por los autores.

10.4. Características básicas de las señales verticales

10.4.1. Forma

Tabla 59

Forma de uniformidad de diseño.

Forma	Descripción
	El octógono se usa exclusivamente para la señal de PARE.
	El triángulo equilátero con un vértice hacia abajo se usa exclusivamente para la señal de CEDA EL PASO.
	El rectángulo con el eje mayor vertical se usa generalmente para señales regulatorias.
	El círculo se usa para señales en los cruces de ferrocarril.
	El rombo se usa para señales preventivas y trabajos en la vía con pictogramas.
	La cruz diagonal amarilla se reserva exclusivamente para indicar la ubicación de un cruce de ferrocarril a nivel.
	El rectángulo con el eje mayor horizontal se usa para señales de información y guía; señales para obras en las vías y propósitos especiales.
	Escudo se usa para señalar las rutas.
	El pentágono se usa para señales en zona escolar.

Fuente: INEN- 2011. Reglamento Técnico Ecuatoriano. Señalización Vial Parte 1. Señalización Vertical.

10.4.2. Color

Tabla 60

Color de uniformidad de diseño.

Color	Uso
ROJO	 Se usa como color de fondo en las señales de PARE.
NEGRO	 Se usa como color de símbolos, leyendas, y flechas para las señales que tienen fondo blanco, amarillo, verde limón y naranja, en marcas de peligro.

BLANCO		Se usa como color de fondo para la mayoría de las señales regulatorias, delineadores de rutas, nomenclatura de calles y señales informativas.
AMARILLO		Se usa como color de fondo para señales preventivas, señales complementarias de velocidad, distancias y leyendas, señales de riesgo, además en señales especiales delineadoras.
NARANJA		Se usa como color de fondo para señales de trabajos temporales en las vías y para banderolas en CRUCES DE NIÑOS.
VERDE		Se usa como color de fondo para las señales informativas de destino, peajes control de peso y riesgo.
AZUL		Se usa como color de fondo para las señales informativas de servicio, también como color de leyenda y orla en señales direccionales de las mismas.
CAFÉ		Se usa como color de fondo para señales informativas turísticas y ambientales.
VERDE LIMÓN		Se usará para las señales que indican una zona escolar.

Fuente: INEN- 2011. Reglamento Técnico Ecuatoriano. Señalización Vial Parte 1. Señalización Vertical. Elaborado por los autores.

10.5. Señalización horizontal

La señalización horizontal es una parte crucial de la infraestructura vial que utiliza marcas y líneas pintadas en el pavimento para guiar y regular el tráfico. Estas marcas, que incluyen líneas de separación de carriles, cruces peatonales, límites de velocidad, flechas de dirección y símbolos especiales, proporcionan información visual a los conductores y peatones sobre cómo navegar de manera segura por las carreteras y calles.

La señalización horizontal es esencial para organizar el flujo de tráfico, mejorar la seguridad vial y reducir el riesgo de accidentes. Es importante que estas marcas estén claramente visibles, bien mantenidas y cumplan con los estándares de diseño para garantizar su efectividad en todas las condiciones climáticas y de iluminación.

10.6. Clasificación de señales horizontales de tránsito

Tabla 61

Clasificación de señales horizontales de tránsito.

Señales	Descripción
Líneas longitudinales	Se emplean para delimitar carriles y calzadas, para indicar zonas con y sin prohibición de adelantar y/o estacionar, para delimitar carriles de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos.
Líneas de separación de flujos opuestos	Se utilizan en calzadas bidireccionales para indicar donde se separan los flujos de circulación opuestos.
Líneas de separación de carriles	Contribuyen a ordenar el tráfico y posibilitan un uso más seguro y eficiente de las vías, especialmente en zonas congestionadas.
Líneas de continuidad	Se usan para indicar el borde de la porción de la vía asignada al tráfico que circula recto y donde la línea segmentada puede ser cruzada por tráfico que vía en una intersección o que ingresa o sale de un carril auxiliar.
Líneas de borde calzada	Indican a los conductores, especialmente en condiciones de visibilidad reducida, donde se encuentra el borde de la calzada, lo que les permite posicionarse correctamente respecto a este.
Símbolos y leyendas	Se emplean para indicar al conductor maniobras permitidas, regular la circulación y advertir sobre peligros.
Otras señalizaciones	Estas demarcaciones se aplican en casos especiales, según su uso y tipo se define su forma, color y ubicación.

Nota: Resumen de la clasificación mostrada en la norma RTE.INEN-004-2. Señalización Vial Parte 2. Señalización Horizontal. Elaborado por los autores.

10.7. Características básicas de señales horizontales de tránsito

Tabla 62

Características de las señales horizontales de tránsito.

Característica	Descripción
Mensaje	La señalización horizontal entregara su menaje a través de líneas, símbolos y leyendas colocados sobre la superficie de la vía.

Ubicación	Debe ser tal que garantice al usuario que viaja la velocidad máxima que permite la vía, ver y comprender su mensaje con suficiente tiempo para reaccionar y ejecutar la manera adecuada.
Dimensiones	Dependen de la velocidad máxima de la vía en que se ubican.
Retro reflexión	Deben ser visibles en cualquier periodo del día y bajo toda condición climática, por ello se construirá con materiales apropiados como microesferas de vidrio y deben someterse a procedimientos que aseguren su retro reflexión.
Color	En general son blancas y amarillas. Estos colores deben ser uniformes a lo largo de la señalización.
Contraste	Para la adecuada visibilidad diurna de una señalización se requiere que esta se destaque de la superficie de la vía, por ello se define una relación de contraste mínimo entre la señalización y el pavimento.
Resistencia al deslizamiento	Debe presentar una resistencia al deslizamiento suficiente para que los vehículos circulen sobre ella sin riesgo.

Nota: Características básicas mostrada en la norma RTE.INEN-004-2. Señalización Vial Parte 2. Señalización Horizontal. Elaborado por los autores.

10.8. Distancia de visibilidad de rebasamiento en curva horizontal

Según (RTE-INEN-004-2, 2001) “La distancia de visibilidad es aquella que se mide a lo largo del centro del carril más a la derecha en el sentido de circulación, entre dos puntos que se encuentran 1.10 m sobre la superficie del pavimento, en la línea tangencial al radio interno u otra obstrucción que recorte la visibilidad dentro de la curva.” Por lo tanto, una distancia de visibilidad adecuada permite al conductor evaluar si hay tráfico en sentido contrario y determinar si hay

suficiente tiempo y espacio para completar el adelantamiento sin poner en peligro a otros usuarios de la vía.

Tabla 63

Distancia de visibilidad.

Velocidad de diseño (km/h)	Velocidad del vehículo a ser rebasado (km/h)	Velocidad de rebasamiento (km/h)	Distancia de visibilidad mínima (m)
30	29	44	217
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	407
70	59	74	482
80	65	80	541
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	728
120	91	106	792

Nota: Distancia de visibilidad según la AASHTO para autopistas y calles Fuente: RTE.INEN-004-2. Señalización Vial Parte 2. Señalización Horizontal.

Tabla 64

Distancia de rebasamiento mínimo.

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de rebasamiento mínima (m)
30	80
40	110
50	140
60	180
70	240
80	290
90	350
100	430

Nota: Distancia de rebasamiento mínimo según la velocidad máxima permitida en la vía. Fuente: RTE.INEN-004-2. Señalización Vial Parte 2. Señalización Horizontal.

10.9. Símbolos y leyendas

Tabla 65

Matriz de señalización del proyecto.

ESQUEMA DE LAS SEÑALES					
DERECHA			IZQUIERDA		
ABS	SEÑAL	SIMB.	ABS	SEÑAL	SIMB.
0+290	Velocidad Máxima	<small>R4-1</small> 	0+002	Pare	<small>R1-1</small> 
0+555	Señal Ambiental	<small>A-1</small> 	0+616	Velocidad Máxima	<small>R4-1</small> 
1+038	Curva Abierta Derecha	<small>P1-2D</small> 	1+124	Curva Abierta Izquierda	
1+297	Curva Abierta Izquierda		1+380	Curva Abierta Derecha	<small>P1-2D</small> 
1+721	Curva Abierta Izquierda		1+562	Señal Ambiental	<small>A-1</small> 
1+825	Curva y contra curva Izquierda- Derecha	<small>P1-4I</small> 	1+800	Curva Abierta Derecha	<small>P1-2D</small> 

2+060	Curva Abierta Derecha	P1-2D 	1+990	Curva y contra curva Izquierda-Derecha	P1-4I 
2+296	Curva y contra curva Derecha - Izquierda	P1-2D 	2+147	Curva Abierta Izquierda	
2+502	Curva Abierta Derecha	P1-2D 	2+477	Curva y contra curva Derecha - Izquierda	P1-2D 
2+698	Curva Abierta Derecha	P1-2D 	2+806	Curva Abierta Izquierda	
2+836	Señal Ambiental	A-1 	3+022	Curva en U Derecha	
2+894	Curva en U Izquierda		3+200	Curva Abierta Izquierda	
3+119	Curva Abierta Derecha	P1-2D 	3+555	Curva y contra curva Izquierda-Derecha	P1-4I 

3+304	Curva y contra curva Izquierda- Derecha	P1-4I 	3+741	Señal Ambiental	A-1 
3+808	Curva y contra curva Izquierda- Derecha	P1-4I 	3+920	Curva y contra curva Izquierda- Derecha	P1-4I 
3+939	Curva Abierta Derecha	P1-2D 	4+000	Curva Abierta Izquierda	
4+084	Curva Abierta Izquierda		4+169	Curva Abierta Derecha	P1-2D 
4+180	Curva Abierta Derecha	P1-2D 	4+300	Curva Abierta Izquierda	
4+420	Curva Abierta Derecha	P1-2D 	4+461	Velocidad Máxima	R4-1 
4+588	Curva y contra curva Izquierda- Derecha	P1-4I 	4+720	Curva Abierta Izquierda	

	Curva y contra	P1-4I		Curva y contra	P1-4I
4+853	curva Izquierda- Derecha		4+973	curva Izquierda- Derecha	
5+085	Señal Ambiental	A-1 	5+105	Velocidad Máxima	R4-1 
5+211	Curva Abierta Derecha	P1-2D 	5+328	Curva Abierta Izquierda	
5+520	Curva Abierta Izquierda		5+713	Curva Abierta Izquierda	
5+620	Cruce de peatones		6+020	Curva Abierta Izquierda	
5+870	Curva Abierta Derecha	P1-2D 			

Nota. Matriz de Señalización Vertical. Elaborado por: Los autores.

10.10. Materiales a emplear en la señalización horizontal y vertical

10.10.1. Materiales para la señalización horizontal

Según el manual INEN, hay una amplia gama de materiales disponibles para la señalización, cada uno con diferentes costos, durabilidad y métodos de instalación. Es responsabilidad de las entidades encargadas de las vías elegir y especificar aquellos que mejor se adapten a sus requisitos y necesidades específicas.

Para el MTOP, se utilizarán las especificaciones de pintura descritas en la sección 826 del manual MOP-F-001 2002. Se aconseja el uso de pinturas acrílicas con perlas de vidrio, ya que ofrecen una mayor durabilidad y efectividad. Esto se debe a que la calidad del pavimento permite una aplicación adecuada de este tipo de pinturas. Según el RTE INEN (10), se establece que el espesor mínimo de aplicación debe ser de 300 micras en seco para zonas urbanas y de 200 micras en seco para zonas rurales.

Estas pinturas suelen ser líquidas y están compuestas por un componente sólido que incluye pigmentos dispersos en un vehículo líquido. Son aplicables en frío y están compuestas principalmente por resinas alquídicas puras, modificadas u otros productos similares.

Los materiales termoplásticos se aplicarán en los segmentos de pavimento rígido, como el hormigón hidráulico, y deben cumplir con las especificaciones detalladas en la sección 705-3.03 del manual del MOP. No se encuentran referencias específicas en el manual del INEN para estos materiales.

10.10.2. Materiales para la señalización vertical

Para la Red Vial Estatal, se emplearán los materiales recomendados por el RTE INEN 004 para las señalizaciones verticales. Los postes serán de tubo de hierro galvanizado cuadrado con dimensiones de 50.8 mm x 2 mm de espesor, instalados según los requisitos establecidos. El

recubrimiento de los materiales será como mínimo Tipo IV según la norma ASTM D 4956. Para las señales informativas elevadas, se utilizarán materiales retro reflectivos del Tipo IX según las secciones 7.1 y 7.2 de la norma ASTM D4556.

Las placas en las que se adhieren estos materiales deben ser de aluminio anodizado, disponibles en tamaños grandes, medianos y pequeños con un espesor de 2.0 mm, dado que este material prolonga la durabilidad de la señal. En las placas de dimensiones más grandes, todos los marcos, tornillos y elementos de fijación deben estar galvanizados. Cada elemento estructural debe asegurar que la señal no pueda ser derribada por el viento u otras condiciones ambientales presentes en el sitio.

Existen pórticos de señalización en la vía que deben ser aprovechados y únicamente deberá realizarse un mantenimiento y pintura de estas estructuras y sus leyendas.

10.11. Materiales a emplear en la señalización horizontal y vertical

Las especificaciones técnicas son documentos que establecen las normas, requisitos y métodos que deben seguirse y aplicarse en todos los trabajos de construcción. Son fundamentales para garantizar la calidad de los trabajos en general y los acabados específicos. (MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA, 2008). **ANEXO No 10.**

CAPÍTULO XI

EVALUACIÓN AMBIENTAL

11.1. Área de influencia socio económica

La carretera que conecta las comunidades de "Puembo - San Pedro" está en condiciones deficientes, lo que causa molestias y problemas cuando el clima empeora, dificultando el acceso vehicular. Esta situación afecta significativamente a los habitantes, la mayoría de los cuales dependen de la agricultura y la ganadería para su sustento.

El área de influencia se extiende hasta el Cantón La Maná en la Provincia de Cotopaxi, donde los productos agrícolas y ganaderos se comercializan en diversos mercados. La falta de un acceso adecuado limita el flujo de productos y servicios, afectando negativamente la economía local y el bienestar de la comunidad en general. Es crucial mejorar esta vía para garantizar una conexión fluida y segura, facilitando así el transporte de productos y mejorando las condiciones de vida de los residentes.

11.2. Caracterización ambiental

Según el Ministerio del Ambiente y el Sistema Único de Información Ambiental, nuestro proyecto se clasifica como categoría tipo III, ya que se trata de la construcción de una vía secundaria que tiene una longitud mayor a 3 km y menor o igual a 10 km. Esta clasificación se encuentra especificada en el Catálogo de Categorización Ambiental Nacional bajo el código CCAN número 23.4.1.1.3, que describe la construcción de vías de segundo orden.

Según el Ministerio del Ambiente en esta categoría constan catalogados los proyectos, obras o actividades cuyos impactos o riesgo ambientales son considerados de medio impacto.

Figura 42*Catálogo de caracterización ambiental nacional.*

CÓDIGO CCAN	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	CATEGORÍA (I, II, III, IV)
23.4	Construcción pesada	
23.4.1	Construcción de autopistas, vías, calles, puentes, túneles, acueductos y viaductos	
23.4.1.1	Construcción de autopistas, vías y calles	
23.4.1.1.1	Construcción de autopistas	
23.4.1.1.1.1	Construcción de autopistas	IV
23.4.1.1.1.2	Ampliación y rectificación de autopistas	III
23.4.1.1.2	Construcción de vías de primer orden	
23.4.1.1.2.1	Construcción de vías de primer orden	IV
23.4.1.1.2.2	Ampliación y rectificación de vías de primer orden	III
23.4.1.1.3	Construcción de vías de segundo orden	
23.4.1.1.3.1	Construcción de vías de segundo orden mayor a 3 Km y menor o igual a 10 Km	III
23.4.1.1.3.2	Construcción de vías de segundo orden mayor a 10 Km	IV
23.4.1.1.3.3	Construcción de vías de segundo orden en zonas con importante valor físico, biótico, arqueológico, etc.	IV
23.4.1.1.3.4	Ampliación y rectificación de vías de segundo orden	II
23.4.1.1.3.5	Construcción de vías de segundo orden menor o igual a 3 Km	II

Fuente: Ministerio del Ambiente 2015.

11.3. Evaluación de impactos ambientales

Es importante reconocer que cada proyecto, construcción o actividad planeada traerá consigo cambios o alteraciones en el entorno actual. Si estos cambios representan una perturbación o impacto negativo, es crucial minimizarlos mediante la realización de estudios de Impacto Ambiental.

La evaluación de los efectos ambientales comprende la detección, pronóstico, interpretación, prevención, valoración y divulgación de las repercusiones que surgirán en el entorno debido a la ejecución de un proyecto.

Para llevar a cabo esta evaluación, emplearemos el método de Leopold, el cual es un enfoque de informe que nos ayuda a comprender la relación entre las causas y los efectos ambientales del proyecto. Su objetivo es garantizar que el proyecto sea evaluado desde una perspectiva ambiental durante su fase de planificación. Para elaborar la matriz de Leopold, hemos aplicado ciertas calificaciones que consideran tanto la magnitud del impacto como su importancia.

Tabla 66
Clasificación Impacto Ambiental.

Factores	Acciones										Afectaciones		Total de Afectaciones	Agregado del Impacto		
	Modificación del régimen		Transformación del terreno y constr				Explotación de re Cambios en el tráfico				+	-				
	Canalización	Pavimentación	Ruido y vibraciones	Carreteras y puentes	Corte y relleno	Excavación de superficie	Automoviles	Camiones	Transporte de carga							
Tierra	Suelos	-1	-6	1	-4	-5	-3	-2	-4	-6	1	8	9	-148		
	Forma de terreno	1	6	9	1	5	6	5	2	1	-2	-4	7	2	9	72
Agua	Superficial	-1	6	9	1	5	2	1	-1	-2	-2	4	5	4	9	92
	Clima	1	1	1	1	1	1	-2	-4	-6	2	2	6	3	9	-16
Procesos	Compactación y asentamiento	-1	2	5	2	2	2	-1	-2	-4	5	4	9	5	9	37
	Estabilidad de taludes	4	6	1	6	7	-3	1	2	2	8	1	9	8	9	192
Flora	Árboles	-1	1	1	1	-5	-4	-1	-1	-2	3	6	9	3	9	-42
	Microflora	-1	-2	-2	-2	-5	-4	-1	-2	-2	0	9	9	0	9	-65
Fauna	Microfauna	-1	-2	1	-2	-5	-4	-1	-2	-3	1	8	9	1	9	-64
	Agricultura	5	6	1	6	-3	-3	3	4	5	7	2	9	7	9	138
Uso de tierra	Comercial	4	6	1	6	7	3	2	3	4	5	4	9	0	9	157
	Afectaciones +	5	8	10	8	6	5	4	3	3	52	47	99	353		
	Afectaciones -	6	3	1	3	5	6	7	8	8	47					
	Total de afectaciones	11	11	11	11	11	11	11	11	99						
	Agregado del impacto	49	158	35	196	-31	-22	5	-5	-32	353					

Nota: Matriz de Leopold, para la evaluación del impacto ambiental del proyecto. Elaborado por: Los Autores.

Según el análisis realizado utilizando la matriz de Leopold, se infiere que los suelos experimentarán el impacto más significativo como resultado de la ejecución de este proyecto. Por otro lado, se proyecta que el uso de la tierra con fines comerciales para la comercialización de

diversos productos será el aspecto que reciba mayores beneficios derivados de la implementación de dicha iniciativa.

11.4. Plan de manejo ambiental

Según (León, 2002) “El plan de manejo ambiental representa el derrotero a seguir para la marcha ambiental del proyecto, ya que con base a la identificación y valoración de los impactos que se puedan generar, propone lineamientos de tipo técnico y operativo para su mitigación y corrección, y los amarra a una escala de tiempo para su cumplimiento e implementación”. Por tal razón, el plan de manejo ambiental debe incluir un diagnóstico exhaustivo del área, identificación

de impactos potenciales, medidas de mitigación como reforestación y gestión de residuos, monitoreo continuo, participación comunitaria, educación ambiental, cumplimiento legal y evaluación posterior para mejorar futuros proyectos.

11.4.1. Plan de prevención, mitigación y remediación de impactos

Tabla 67

Plan de prevención y mitigación de impactos en el suelo.

PROGRAMA DE PREVENCIÓN CON RESPECTO AL SUELO					
LUGAR DE APLICACIÓN: Ruta Puenbo-San Pedro, Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi					
ASPECTO AMBIENTA	IMPACTO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACION	PLAZO (MESES)
Remoción de la cobertura vegetal.	Temporal	Durante cada fase del proceso de construcción de la carretera, será imprescindible recolectar los materiales excavados. Los materiales se destinarán a rellenar sectores de la vía o serán proporcionados a la comunidad local para su reutilización	El área del proyecto se mantendrá completamente limpia en todo momento	Registro fotográfico	8 meses
	desaparición de la cubierta vegetal y daños al estado y la calidad del suelo en el área				
Generación de polvo, ruido y vibraciones debido a los trabajos de excavaciones.	Se afectará directamente al suelo, aire, flora y fauna de la zona.	Es responsabilidad del contratista supervisar el mantenimiento de la maquinaria y reducir las operaciones innecesarias, como, cuando sea posible	Se llevarán a cabo mantenimientos planificados durante la realización del proyecto	Registro fotográfico, facturas y registro diario de maquinaria.	8 meses

Elaborado por: Los Autores.

Tabla 68

Plan de prevención y mitigación de impactos en el aire.

PROGRAMA DE PREVENCIÓN CON RESPECTO AL AIRE					
LUGAR DE APLICACIÓN: Ruta Puenbo-San Pedro, Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi					
ASPECTO AMBIENTA	IMPACTO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACION	PLAZO (MESES)
Generación de polvo, ruido y vibraciones debido a los trabajos de excavaciones.	Producción de polvo como resultado de las labores de construcción y del tráfico de maquinaria	Se utilizará un camión cisterna para rociar agua sobre el área del proyecto en intervalos necesarios para reducir la presencia de polvo	Se requerirá rociar agua sobre el área del proyecto tres veces al día durante la duración de la construcción de la carretera	Registro fotográfico	8 meses
	Emisión de ruido proveniente de la maquinaria, causando incomodidad a los residentes cercanos al proyecto	Antes y después de llevar a cabo cada actividad, el contratista deberá realizar un seguimiento del mantenimiento de la maquinaria del proyecto	Se asegurará de que toda la maquinaria esté en condiciones óptimas para llevar a cabo todas las actividades requeridas	Registro fotográfico, facturas y registro diario de maquinarias.	8 meses

Elaborado por: Los Autores.

Tabla 69

Plan de prevención y mitigación de impactos en el agua.

PROGRAMA DE PREVENCIÓN CON RESPECTO AL AGUA					
LUGAR DE APLICACIÓN: Ruta Puenbo-San Pedro, Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi					
ASPECTO AMBIENTA	IMPACTO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACION	PLAZO (MESES)
Contaminación del agua debido a los trabajos excavación y movimiento de tierras, implantación de alcantarillas y desechos comunes por parte del personal.	Temporal contaminación del agua debido a la erosión del suelo cerca de ríos o esteros causada por la realización de trabajos de construcción	Será necesario reducir al mínimo las actividades de maquinaria en áreas cercanas a los ríos para evitar la contaminación del agua	Proporcionar entrenamiento diario mínimo a todo el personal del proyecto acerca de la gestión de residuos sólidos	Registro fotográfico	2mes
	Generación de contaminación por desechos alimenticios (envases, bolsas, botellas, etc.) por parte del personal del proyecto.	Se llevarán a cabo reuniones diarias con todo el personal del proyecto para informarles sobre la correcta disposición de los desechos, además se establecerán puntos de recolección de basura en lugares específicos	Habilitar un punto fijo en cada área donde se realicen trabajos de construcción	Registro de asistencia del personal a las capacitaciones.	

Elaborado por: Los Autores.

Tabla 70*Plan de desechos comunes.*

PLAN DE DESECHOS COMUNES					
LUGAR DE APLICACIÓN: Ruta Puenbo-San Pedro, Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi					
ASPECTO AMBIENTA	IMPACTO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACION	PLAZO (MESES)
Generación de desechos sólidos en el área y alrededores del proyecto.	La contaminación ambiental causada por desechos habituales como envases, vasos, botellas, etc., afectando a los residentes cercanos al proyecto	Es crucial concientizar a los trabajadores así asuman la responsabilidad de desechar los desechos habituales correctamente En el área de trabajo, se deben disponer de tres contenedores identificados con colores distintos y señalización adecuada (plástico, papel/cartón y residuos comunes) para facilitar su posterior recolección y procesamiento	Es necesario mantener la limpieza al 100% durante la ejecución del proyecto	Registro fotográfico, facturas, registro de generación y manejo de desechos sólidos.	8 meses

Elaborado por: Los Autores.

11.4.2. Seguimiento y monitoreo**Tabla 71***Plan de seguimiento y monitoreo.*

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				
LUGAR DE APLICACIÓN: Ruta Puenbo-San Pedro, Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi				
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN
El propósito del monitoreo y seguimiento establecido en el Plan de Manejo Ambiental es preservar la integridad de todos los entornos afectados por el proyecto vial.	Garantizar el cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental en relación con cada uno de los impactos ambientales, con el fin de reducir al mínimo el nivel de afectación en todos los medios involucrados.	Un Supervisor ambiental llevará a cabo inspecciones de cada medida especificada en el Plan de Manejo Ambiental (PMA) y deberá presentar un informe exhaustivo mensualmente durante la ejecución del proyecto.	El cronograma valorado del Plan de Manejo Ambiental (PMA) debe ser cumplido en su totalidad, alcanzando un porcentaje del 100%.	Documentación fotográfica, informes mensuales y facturación detallada.

Elaborado por: Los Autores.

CAPÍTULO XII

ANÁLISIS FINANCIERO

12.1. Introducción

El análisis financiero de un proyecto vial es un proceso crucial para determinar la viabilidad económica y la sostenibilidad de la inversión en infraestructura. Este análisis comienza con la identificación y estimación de todos los costos asociados con el proyecto. La construcción abarca los gastos en materiales, mano de obra, maquinaria y tecnología necesaria para la ejecución de la obra.

12.2. Presupuesto referencial

Un presupuesto referencial es una estimación del costo total de un proyecto que se utiliza como guía preliminar antes de invertir o iniciar una obra. Este presupuesto se elabora a partir de cotizaciones anteriores, análisis de precios unitarios y experiencias en proyectos similares. Su principal propósito es ofrecer una idea aproximada de los recursos financieros necesarios, ayudando a los responsables a evaluar la viabilidad del proyecto y a planificar de manera adecuada el financiamiento y la ejecución.

Este se basa en datos disponibles y suposiciones iniciales, sirviendo como guía para la planificación y toma de decisiones. Factores inciertos como la variabilidad de precios de materiales, condiciones del sitio, cambios normativos, disponibilidad de mano de obra, pueden afectar significativamente los costos reales, haciendo que difieran de las estimaciones iniciales.

Los valores de referencia provienen de los materiales y equipos proporcionados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cotopaxi (GADPC).

Tabla 72
Presupuesto del proyecto Pumbo – San Pedro.

PRESUPUESTO REFERENCIAL						
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	P. TOTAL	
REPLANTEO						
1	Replanteo y nivelación (Eq. Topografico)	km	6.20	441.04	2,734.45	
2	Replanteo y nivelación para estructuras	m2	1,400.00	1.06	1,484.00	
AMBIENTALES						
3	Charlas de Concientización	u	2.00	162.40	324.80	
CONTROL DE POLVO						
4	Agua para control de Polvos	m3	905.20	3.84	3,475.97	
OBRAS PRELIMINARES						
5	Remoción de Hormigón (incluye transporte a	m3	15.30	25.05	383.27	
6	Remoción de alcantarillas	m	14.60	13.25	193.45	
DESBROCE, DESBOSQUE Y LIMPIEZA						
7	Desbroce, desbosque y limpieza (incluye	Ha	3.72	417.80	1,554.22	
EXCAVACION EN SUELO NATURAL						
8	Excavación en suelo a maquina	m3	27,156.00	2.14	58,113.84	
EXCAVACION Y RELLENO PARA						
9	Excavación para cunetas	m3	1,984.00	2.09	4,146.56	
10	Limpieza de Alcantarillas (Inc. Desalojo)	m3	34.40	13.90	478.16	
ACABADO EN OBRA BASICA						
11	Acabado de la Obra Basica	m2	55,182.00	0.63	34,764.66	
TRANSPORTE						
12	Transporte de material de excavación	m3-km	29,140.00	0.27	7,867.80	
13	Transporte de mezcla asfáltica	m3-km	141,165.00	0.28	39,526.20	
14	Transporte de material de base clase 4	m3-km	37,565.80	0.27	10,142.77	
MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE						
15	Base Clase 4	m3	11,315.00	7.45	84,296.75	
16	Asfaltado RC-250 para Imprimación	lt	67,890.00	0.68	46,165.20	
17	Capa de Rodadura de Hormigón Asfáltico mezclado en planta de 10cm de espesor	m2	45,260.00	20.65	934,619.00	
HORMIGONES						
18	Hormigón Simple Cemento Portland Clase B fc=210 kg/cm2, cabezales, muros de ala,caja	m3	2.00	188.80	377.60	
19	Hormigón Simple Cemento Portland Clase B fc= 180 kg/cm2, Cunetas) Incl. Encofrado	m3	533.20	146.50	78,113.80	
20	Acero de refuerzo en barra FY=4200kg/cm2	kg	382.60	2.10	803.46	
ALCANTARILLADO DE TUBO DE						
21	Sum e instalac Alcantarilla de hormigón	m	17.80	107.70	1,917.06	
IMPACTO AMBIENTAL						
22	Campamento y Obras Conexas	Glb	1.00	181.54	181.54	
23	Trampa de Grasas y aceites	u	1.00	215.33	215.33	
24	Fosa de desechos Biodegradables	u	1.00	274.36	274.36	
25	Fosa Septica	u	1.00	480.32	480.32	
INSTALACION PARA CONTROL DE						
26	Sum e Inst.Guardacaminos Doble,L=3.81 m. Incl Gemas Reflectivas, Terminales y Postes	m	980.00	116.70	114,366.00	
27	Marcas de pavimento (pintura reflectiva, franjas de 12 cm de ancho)	m	1,550.00	0.61	945.50	
28	Marcas sobresalidas del Pavimento - Tachas	u	18,600.00	9.58	178,188.00	
SENALES A LADO DE LA CARRETERA						
29	Señales al lado de la carretera - Preventivas (0.75x0.75)m, incluye pintura reflectiva	u	43.00	210.35	9,045.05	
30	Señales a lado de la carretera - reglamentarias D=75 cm, incluye pintura reflectiva	u	5.00	211.75	1,058.75	
31	Señal Vertical Inf.Ambiental (60x120)cm	u	5.00	207.45	1,037.25	
					OBRA CIVIL	1,617,275
					12%IVA	194,073
SON: Un millón ochocientos once mil treientoscuarenta y ocho dolares					TASAS AMBIENTALES	0.00
					TOTAL	1,811,348

Elaborado por: Los Autores.

12.3. Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.)

El Análisis de Precios Unitarios (APU) es una herramienta fundamental en la gestión de proyectos de construcción, utilizada para calcular con precisión el costo de cada unidad de trabajo requerida para completar una tarea específica. Este análisis descompone cada actividad del proyecto en componentes esenciales como mano de obra, materiales, equipos y herramientas. La mano de obra incluye los costos de los trabajadores necesarios, especificando tanto la cantidad de trabajadores como el tiempo requerido para ejecutar la actividad. Los materiales son detalladamente listados junto con sus cantidades y costos unitarios respectivos. Los equipos, ya sea por alquiler o por amortización, son considerados según su uso en la actividad, al igual que las herramientas y equipos menores.

El APU permite la elaboración de un presupuesto detallado y preciso del proyecto, asegurando que todos los costos directos e indirectos sean considerados de manera exhaustiva. Esto facilita una evaluación realista de la viabilidad económica del proyecto, proporcionando estimaciones fundamentales de los costos involucrados. Además, ayuda en la planificación estratégica de recursos al asegurar la disponibilidad oportuna de materiales, equipos y mano de obra. Asimismo, proporciona una base sólida para la negociación de contratos y subcontratos, permitiendo a los contratistas presentar ofertas competitivas basadas en costos precisos, lo cual es crucial en el proceso de licitación.

Tabla 73

Ejemplo de Análisis de Precios Unitarios.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					HOJA 2 DE 31
RUBRO : 2					UNIDAD: m2
DETALLE : Replanteo y nivelación para estructuras menores					
EQUIPO	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIEN	COSTO
DESCRIPCION	A	B	C=AxB	O	D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					0.02
Equipo de Topografía	1.00	6.50	6.50	0.020	0.13
SUBTOTAL M					0.15
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIEN	COSTO
DESCRIPCION	A	B	C=AxB	O	D=CxR
Topografo 2	EO C1	1.00	4.65	0.020	0.09
Cadenero	EO D2	2.00	4.19	0.020	0.17
Peon	EO E2	2.00	4.14	0.020	0.17
SUBTOTAL N					0.43
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
DESCRIPCION		A	B	C=AxB	
Estacas de madera de 20 cm	u	1.000	0.25	0.25	
Pintura Esmalte	lt	0.010	4.50	0.05	
Clavos de 2" a 2 1/2"	kg	0.002	2.20	0.00	
SUBTOTAL O					0.30
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
DESCRIPCION		A	B	C=AxB	
SUBTOTAL P					0.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0.88
INDIRECTOS (%)					20.00%
UTILIDAD (%)					0.00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1.052
VALOR OFERTADO					1.06
SON: UN DÓLAR, 06/100 CENTAVOS					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

Nota. Análisis de Precio Unitario. Elaborado por: Los autores.

12.4. Cronograma valorado

El cronograma valorado es una herramienta utilizada en la gestión de proyectos para asignar valores monetarios a las actividades programadas durante el desarrollo del proyecto. Este documento combina la estructura temporal de un cronograma tradicional con la asignación de costos específicos a cada actividad planificada.

Generalmente, se elabora integrando el presupuesto del proyecto con las fechas estimadas de inicio y finalización de cada tarea. Además, proporciona una herramienta efectiva para el monitoreo continuo del progreso del proyecto, facilitando una gestión proactiva y la toma de decisiones informadas para garantizar el éxito en la ejecución del proyecto.

12.5. Ruta crítica

La ruta crítica es una metodología de gestión de proyectos que identifica la secuencia más larga de actividades dependientes, determinando el tiempo mínimo necesario para completar un proyecto. Esta técnica se utiliza para identificar las tareas críticas cuya demora afectaría el plazo total del proyecto. Mediante el análisis de la red de actividades, se calculan las fechas de inicio y finalización tempranas y tardías, estableciendo los márgenes de holgura y garantizando que los recursos se asignen eficientemente para evitar retrasos.

12.6. Especificaciones técnicas

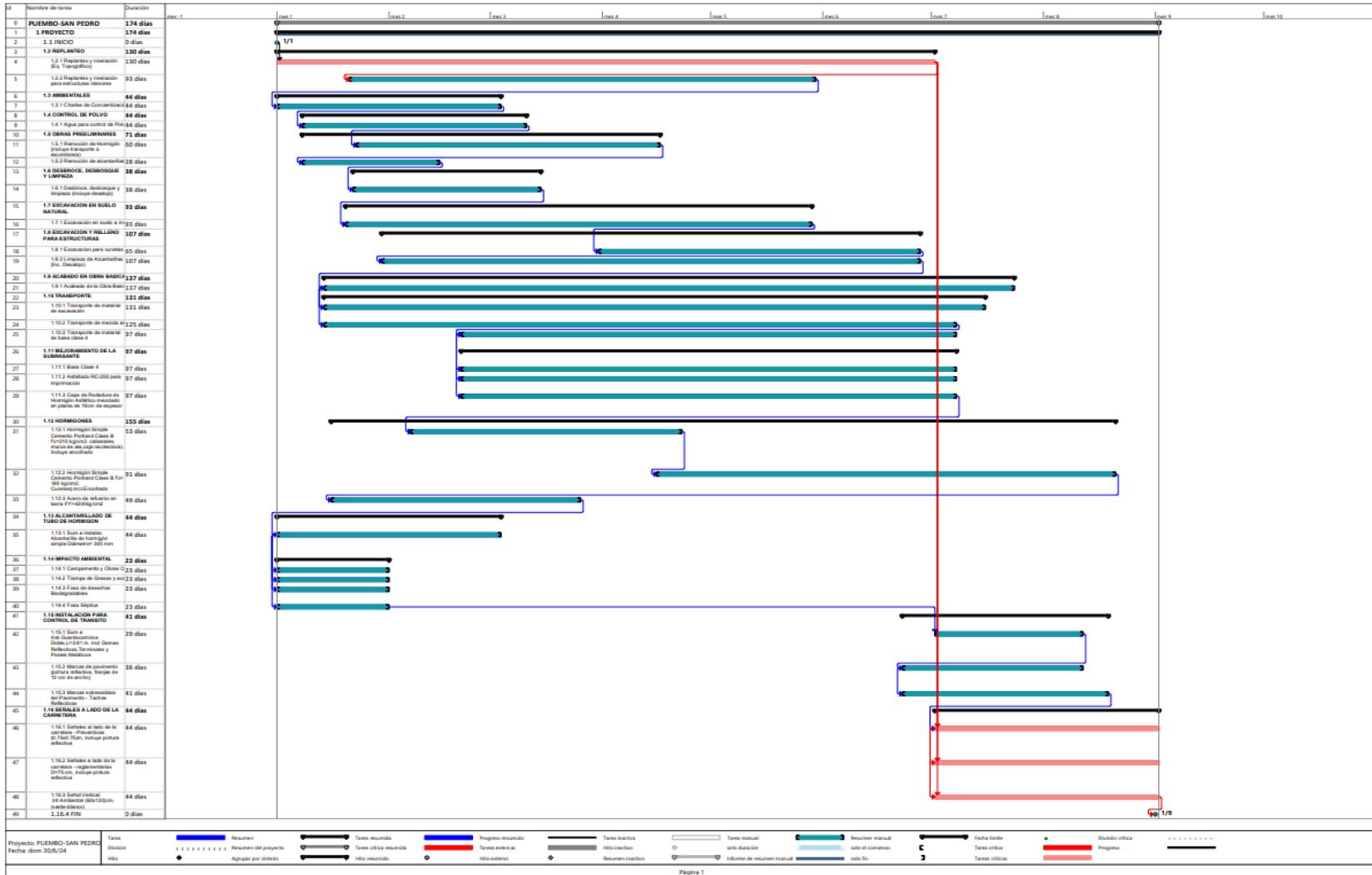
Las especificaciones técnicas detalladas se presentarán exhaustivamente en el **ANEXO No 10** del documento. Este anexo proporcionará información completa y precisa sobre los requisitos técnicos específicos que deben cumplirse para la ejecución del proyecto.

Tabla 74
Cronograma valorado.

PROYECTO-PROPUESTA DE DISEÑO VIAL PARA LA PAVIMENTACIÓN DE LA RUTA QUE UNE LOS SECTORES DE "PUEMBO - SAN PEDRO", EN EL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI																																					
CRONOGRAMA VALORADO DE TRABAJOS				PERIODOS (MESES/SEMANAS)																																	
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL	1 MES		2 MES			3 MES			4 MES			5 MES		6 MES		7 MES		8 MES														
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
REPLANTEO																																					
1	Replanteo y nivelación (Eq. Topográficas)	km	6.20	441.04	2,734.45	546.89		410.17		410.17		546.89		410.17		546.89		410.17		410.17																	
2	Replanteo y nivelación para estructuras menores	m2	1,400.00	1.06	1,484.00	296.80		296.80		296.80		296.80		296.80		296.80		296.80		296.80																	
AMBIENTALES																																					
3	Charlas de Concientización	u	2.00	162.40	324.80	162.40		162.40																													
CONTROL DE POLVO																																					
4	Agua para control de polvo	m3	905.20	3.84	3,475.97	1,042.79		1,737.98		695.19																											
OBRAS PRELIMINARES																																					
5	Revisión de planos de los planos (Planimetría y nivelación)	m3	15.50	25.05	383.27	76.65		114.98		114.98		76.65																									
6	Retención de alcantarillas	m	14.60	13.25	193.45	96.73		96.73																													
DESBOQUE, DESBOQUE Y LIMPIEZA																																					
7	Desboque, desboque y limpieza	ha	3.72	417.80	1,554.22	310.84		1,087.95		155.42																											
EXCAVACIÓN EN SUELO NATURAL																																					
8	Excavación en suelo a manana	m3	27,156.00	2.14	58,113.84	11,622.77		11,622.77		11,622.77		11,622.77		11,622.77		11,622.77		11,622.77		11,622.77																	
EXCAVACIÓN Y RELLENO PARA ESTRUCTURAS																																					
9	Excavación para cunetas y cercosamiento	m3	1,994.00	2.09	4,146.56							1,243.97		1,451.30		1,451.30																					
10	Limpieza de Alcantarillas (Inc. Desboque)	m3	34.40	13.90	478.16					95.63		95.63		95.63		95.63		95.63		95.63																	
ACABADO EN OBRA BÁSICA																																					
11	Acabado en obra básica	m2	55,182.00	0.63	34,764.66	3,476.47		3,476.47		3,476.47		5,214.70		6,952.93		6,952.93		6,952.93		6,952.93																	
Transporte																																					
12	Transporte de material de excavación	m3-km	29,140.00	0.27	7,867.80	786.78		786.78		786.78		1,180.17		1,573.56		1,573.56		1,573.56		1,573.56																	
13	Transporte de escoria, asfáltica MTOP 309-614E	m3-km	141,165.00	0.28	39,526.20	3,952.62		3,952.62		3,952.62		5,928.93		7,905.24		7,905.24		7,905.24		7,905.24																	
14	Transporte de material de base clase 4	m3-km	37,565.00	0.27	10,142.55			1,014.26		2,028.51		3,028.51		4,028.51		5,028.51		6,028.51		7,028.51																	
MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE																																					
15	Base clase 4	m3	11,315.00	7.45	84,296.75			8,429.68		16,859.35		16,859.35		16,859.35		16,859.35		16,859.35		16,859.35																	
16	Asfalto RC 250 Impregnación	litro	67,890.00	0.68	46,165.20	4,616.52		4,616.52		4,616.52		9,233.04		9,233.04		9,233.04		9,233.04		9,233.04																	
17	Capa de rodadura de hormigón asfáltico en planta de 6 cm de espesor	m2	45,260.00	20.65	934,619.00	93,461.90		93,461.90		93,461.90		186,923.80		186,923.80		186,923.80		186,923.80		186,923.80																	
HORMIGONES																																					
18	Hormigón simple cemento Portland clase B -210 kg/cm2 (calentado, antes de alta caja)	m3	2.00	188.80	377.60			113.28		151.04		113.28		151.04		113.28		151.04		113.28																	
19	Hormigón simple cemento Portland clase B -180kg/cm2 (antes de alta caja)	m3	533.20	146.50	78,113.80							15,622.76		15,622.76		15,622.76		15,622.76		15,622.76																	
20	Acceso de refuerzo en base FY-4200kg/cm2	kg	382.60	2.10	803.46	241.04		321.38		241.04																											
ALCANTARILLADO DE TUBO DE HORMIGÓN																																					
21	Instalación e instalación. Cimentado de hormigón simple (180mm-300 mm)	m	14.60	107.70	1,572.42	786.21		786.21																													
IMPACTO AMBIENTAL																																					
22	Carpintería y obras concretas	u	1.00	181.54	181.54	181.54																															
23	Tarjetas para peajes y aceites	u	1.00	215.33	215.33	215.33																															
24	Fosa de desechos biodegradables	u	1.00	274.36	274.36	274.36																															
25	Fosa séptica	u	1.00	480.32	480.32	480.32																															
INSTALACIÓN PARA CONTROL DE TRÁNSITO																																					
26	Señalización vertical de gran base (señales de advertencia)	m	980.00	116.70	114,366.00																																
27	Marcas de pintura (Pavimento) (Pavimento) (Carga de 1.1 cm de ancho)	m	1,550.00	0.61	945.50																																
28	Marcas sobresueltas del Pavimento - Tachas Reflectivas	u	18,600.00	9.58	178,188.00																																
SEÑALES A LADO DE LA CARRETERA																																					
29	Señales a lado de la carretera - mecánicas (75x75cm)	u	43.00	210.35	9,045.05																																
30	Señales a lado de la carretera - Reflectorizantes (4x75cm)	u	5.00	211.75	1,058.75																																
31	Señales a lado de la carretera - Ambientales (90x120cm)	u	5.00	207.45	1,037.25																																
INVERSIÓN MENSUAL					1,616,930	24,550.53	132,584.50	237,043.61	256,987.25	260,975.86	338,292.11	281,501.53	84,994.86																								
AVANCE MENSUAL (%)					1.52	8.20	14.66	15.89	16.14	20.92	17.41	5.26																									
INVERSIÓN ACUMULADA AL 100%					24,550.53	157,135.03	394,178.64	651,165.89	912,141.75	1,250,433.86	1,531,935.39	1,616,930.25																									
AVANCE ACUMULADO (%)					1.52	9.72	24.38	40.27	56.41	77.33	94.74	100.00																									

Elaborado por: Los autores.

Tabla 75
Ruta crítica.



Elaborado por: Los autores.

CONCLUSIONES

A través de los estudios topográficos llevados a cabo en el proyecto, se determinó que el terreno es ondulado. Esta clasificación se basa en los datos topográficos que indican que la gradiente transversal del terreno oscila entre el 5% y el 15%, mientras que la gradiente longitudinal varía entre el 3% y el 7%.

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de la vía es de 1012 vehículos en 2024. Se proyecta que para 2044, el tráfico aumente a 1485 vehículos, con un total de 5240482 ejes equivalentes. Estos datos clasifican la vía como clase II, identificándola como una carretera principal o arterial según su función principal en el proyecto.

El diseño geométrico de la vía, con una longitud de aproximadamente 6,200 kilómetros, presenta una sección transversal de 8.90 metros. Esta sección incluye un ancho de calzada de 7.30 metros, dividido en dos carriles de 3.65 metros cada uno, junto con cunetas de 0.80 metros a cada lado. Además, gracias al diseño geométrico implementado, se logra aumentar la velocidad de 40 km/h a 80 km/h, lo que resulta en una reducción significativa del tiempo de viaje entre las comunidades conectadas.

Según el método de diseño AASHTO 93, se determinó que el espesor necesario para la estructura del pavimento flexible, con el fin de resistir el deterioro causado por las cargas esperadas, es de 70.00 centímetros. Esta medida incluye una carpeta asfáltica de 10.00 cm, una base granular de 25.00 cm y una subbase de 25.00 cm.

La sección de las cunetas de hormigón en el diseño hidráulico longitudinal tiene forma triangular con una única pendiente. Presenta un calado de 13.00 centímetros y un borde libre de 7.00 centímetros, con una pendiente de 3.44%. Esta configuración de cuneta cumple adecuadamente con los requisitos de diseño establecidos.

En el diseño hidráulico transversal del proyecto, se incluye únicamente la reconstrucción de dos alcantarillas de hormigón, cada una equipada con su respectiva caja recolectora y alas de muro en hormigón armado. Esta intervención es necesaria debido al deterioro irreversible de su estructura. Todas las demás alcantarillas del proyecto cumplen con las condiciones de diseño establecidas y, por lo tanto, serán conservadas sin modificaciones adicionales.

La señalización vial es fundamental para garantizar la seguridad de los conductores, peatones y del entorno natural. Implementar todas las señales recomendadas para el proyecto no solo facilita una circulación ordenada, sino que también minimiza el riesgo de accidentes y protege el ecosistema circundante. La adecuada colocación y mantenimiento de la señalización vial es esencial para un sistema de transporte seguro y eficiente, promoviendo el cumplimiento de las normas de tránsito y contribuyendo al bienestar general de la comunidad y su entorno.

RECOMENDACIONES

Las autoridades del cantón deben enfocarse en mejorar la educación vial y promover el respeto hacia la señalización implementada en el proyecto actual. Esto es crucial para reducir la incidencia de accidentes de tránsito, es fundamental que se realicen campañas efectivas de concientización vial, orientadas a los conductores y peatones, para aumentar la comprensión y el cumplimiento de las normas de tránsito.

Evitar la construcción del proyecto durante la temporada de lluvias, especialmente en febrero, el mes con mayor cantidad de precipitaciones. Este factor puede representar un obstáculo significativo para cumplir con el cronograma establecido. Es esencial tomar en cuenta esta observación para asegurar una ejecución eficiente y puntual del proyecto, reduciendo al mínimo los posibles retrasos y garantizando la calidad de los trabajos realizados.

Dada la ubicación del proyecto en un entorno con vegetación abundante y clima húmedo, se recomienda implementar un plan de mantenimiento regular y específico para asegurar la durabilidad y funcionalidad de las cunetas, alcantarillas y señalización vial. Es fundamental realizar inspecciones periódicas de las cunetas y alcantarillas para asegurar que estén libres de obstrucciones y en buen estado, considerando la posible acumulación de sedimentos y vegetación. Además, se debe mantener la señalización vial claramente visible para garantizar la seguridad de los usuarios de la vía, considerando la posible interferencia de la vegetación circundante.

Es crucial implementar mantenimientos preventivos de manera regular en el proyecto vial para garantizar que la vía se mantenga en condiciones óptimas de uso. Estas acciones son fundamentales para prevenir deterioros y asegurar la seguridad y eficiencia del tránsito. Realizar inspecciones periódicas y mantenimientos preventivos permite identificar y corregir problemas

menores antes de que se conviertan en problemas mayores, lo cual ayuda a prolongar la vida útil de la infraestructura vial y a evitar costosos trabajos de reparación.

Es crucial considerar que los precios de los materiales y servicios pueden fluctuar debido a la inflación, lo que podría impactar negativamente el costo final del proyecto si su ejecución se retrasa. Actuar con prontitud no solo garantiza el cumplimiento de los plazos establecidos, sino que también permite beneficiarse de las condiciones presupuestarias actuales, evitando posibles aumentos en los costos.

Se deberá contemplar la instalación de radares para controlar la velocidad de los vehículos en la vía, con el objetivo de prevenir al máximo los accidentes de tránsito.

REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*.
<https://habib00ugm.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/05/aashto1993.pdf>
- Agudelo, J. (2002). *Diseño Geométrico de Vías*. Medellín. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo.pdf>
- Alvarado, R. (2004). *Estudio de la ampliación de la avenida Dr. Teodoro Alvarado Olea comprendida entre la avenida Francisco de Orellana y la avenida Dr. Camilo Ponce Enriquez*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/5166>
- ASTM-D-4318. (2005). *Los métodos estándar de ensayo para Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos I*.
<https://ensayosdelaboratoriosuelos.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/12/traduccic3b3n-astm-d4318.pdf>
- Borselli, L. (2023). *Geotecnia I*. San Luis Potosí. https://www.lorenzo-borselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf
- Cardenas, J. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1t03DgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=dise%C3%B1o+geom%C3%A9trico+de+carreteras&ots=v4opMBUMTF&sig=jyhTnU4WMbrBUwirpM9vVeu2PjQ#v=onepage&q=dise%C3%B1o%20geom%C3%A9trico%20de%20carreteras&f=false>

Casanova M, L. (2002). *Topografía Plana*. Mérida. [Tesis de grado, Universidad de los Andes].

http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/topografia.pdf

D6951. (2003). *Método de prueba estándar para Uso del penetrómetro de cono dinámico en aguas poco profundas*. <https://nazhco.com/wp-content/uploads/2020/11/6951-03.pdf>

EMAAP. (2009). *Normas de Diseño Sistemas de Alcantarillado para la EMAAP-Q*. Quito. https://desintecsa.com/Normativas/Ingenierias/NORMAS_ALCANTARILLADO_EMAAP.pdf

Giordani, C., & Leone, D. (2009). *Pavimentos*. https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf

León, J. (2002). *Evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo*. Medellín. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3257/71688714.20021.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA, 2. (2008). *Manual para La Revisión de Costos y Presupuestos*. MANAGUA: MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-chiapas/costos-predeterminados/manual-para-revision-de-costos-y-presupuestos-de-obras-viales/44618688>

- Miranda, R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Valdivia. [Tesis de grado, Universidad Austral de Chile].
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- Monsalve, L., Giraldo, L., & Gaviria, J. (2012). *Diseño de Pavimento Flexible y Rígido*. Armenia.
<https://www.udocz.com/apuntes/18328/dise-o-de-pavimento-flexible-y-r-gido->
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá.
<https://es.slideshare.net/carlonchosuicida/alfonso-montejo-fonseca-ingenieria-de-pavimentos>
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá.
<https://samustuto.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/09/ingenieric3ada-de-pavimentos-para-carreteras-tomo-i-ed-3ra-alfonso-montejo-fonseca.pdf>
- MOP. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito.
https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
- MOP. (2003). *Norma de Diseño Geométrico de Carreteras*.
https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedise3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf
- MTOP. (2013). *Norma para Estudios y Diseños Viales*. Quito.
https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Murillo, W. (2008). *La Investigación Científica*. <https://www.monografias.com/trabajos15/invest-cientifica/invest-cientifica>

- NSR. (1998). *Estudios Geotécnicos*. <https://curaduriaunoibague.com/documentos/nacional/N-13.pdf>
- Oros, L. (2018). Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia. *Ingeniería y sus alcances*. <https://revistaingenieria.org/index.php/revistaingenieria/article/view/25>
- RTE-INEN-004-2. (2001). *SEÑALIZACIÓN VIAL PARTE 2. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL*. Quito. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/LOTAIP2015_reglamento_tecnico_se+%C2%A6alizaci+%C2%A6n_horizontal.pdf
- Sisalima, F. (2018). *Sistema para detección y conteo vehicular aplicando técnicas de visión artificial*. Loja. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/20892/1/Sisalima%20Ortega%2C%20Fabricio%20Roberto.pdf>
- Unda, R. (1999). *Metodología I*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10614>

ANEXOS