



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA LA RAMADA – RÍO
CURIQUINGUE, “DE LA ABSCISA 2+300 A LA 4+600”, ENTRE LOS
CANTONES GIRÓN Y NABÓN DE LA PROVINCIA DEL AZUAY**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTORAS: EUGENIA MARIA CABRERA TAPIA
ERIKA MARICELA MOROCHO RODAS

TUTOR: ING. DANIEL LEONIDAS CÁRDENAS JARAMILLO MSc.

Cuenca - Ecuador
2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Nosotras, Eugenia María Cabrera Tapia con documento de identificación N° 0103080719 y Erika Maricela Morocho Rodas con documento de identificación N° 0106763394; manifestamos que:

Somos las autoras 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.

Cuenca, 03 de febrero del 2025

Atentamente,



Eugenia María Cabrera Tapia
0103080719



Erika Maricela Morocho Rodas
0106763394

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

Nosotras, Eugenia María Cabrera Tapia con documento de identificación N° 0103080719 y Erika Maricela Morocho Rodas con documento de identificación N° 0106763394, 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 autoras del Proyecto técnico: “Diseño geométrico y estructural de la vía La Ramada – Río Curiquingue, “de la abscisa 2+300 a la 4+600”, entre los cantones Girón y Nabón de la Provincia del Azuay”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, 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.

Cuenca, 03 de febrero del 2025

Atentamente,



Eugenia María Cabrera Tapia

0103080719



Erika Maricela Morocho Rodas

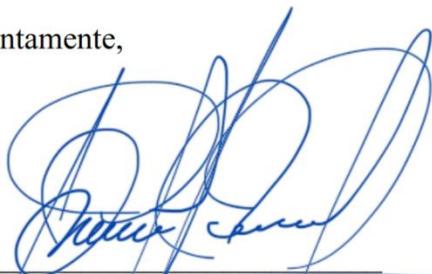
0106763394

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Daniel Leonidas Cárdenas Jaramillo con documento de identificación N° 0104031232, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA LA RAMADA – RÍO CURIQUINGUE, “DE LA ABSCISA 2+300 A LA 4+600”, ENTRE LOS CANTONES GIRÓN Y NABÓN DE LA PROVINCIA DEL AZUAY, realizado por Eugenia María Cabrera Tapia con documento de identificación N° 0103080719 y por Erika Maricela Morocho Rodas con documento de identificación N° 0106763394, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 03 de febrero del 2025

Atentamente,



Daniel Leonidas Cárdenas Jaramillo

0104031232

Dedicatoria

Con todo mi amor para
mi mami Angela,
mi papi Hernán (†),
mi novio Paolo,
mi hermana Andrea,
mis hermanos César, Daniel y
mis sobrin@s,
por todo su apoyo y amor.

Eugenia.

A mis padres Cecilia Rodas y German Morocho,
por su amor, sacrificio y apoyo incondicional.
A mis hermanos Diego, Rene, Jonatan, Freddy y Javier,
por su compañía y motivación constante.
A mis amigos Eugenia, Andrés y David, por su aliento y
amistad en cada paso del camino.
A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro.

Erika.

Contenido

1	Aspectos Generales.....	12
1.1	Resumen.....	12
1.2	Abstract.....	13
1.3	Introducción.....	14
1.4	Problema.....	14
1.4.1	Antecedentes.....	14
1.4.2	Importancia.....	16
1.4.3	Delimitación.....	18
1.5	Objetivos.....	18
1.5.1	Objetivo general.....	18
1.5.2	Objetivos específicos.....	19
2	Marco Teórico.....	19
2.1	Carreteras.....	19
2.2	Diseño Geométrico.....	20
2.2.1	Velocidad de diseño.....	20
2.2.2	Alineamiento Horizontal.....	23
2.2.3	Alineamiento Vertical.....	24
2.2.4	Coordinación entre el diseño horizontal y del diseño vertical.....	25
2.2.5	Peralte.....	25
2.2.6	Radio mínimo de curvatura horizontal.....	26
2.2.7	Coefficiente de fricción lateral.....	27

2.2.8	Distancia de frenado.	28
2.2.9	Distancia de visibilidad en curvas horizontales.	29
2.2.10	Distancia de visibilidad de adelantamiento.	29
2.2.11	Sobre ancho de curva.	30
2.3	Tránsito.	31
2.3.1	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	31
2.3.2	Factor horario.	32
2.3.3	Factor diario.	33
2.3.4	Factor semanal.	33
2.3.5	Factor mensual.	33
2.3.6	Tráfico futuro.	33
2.3.7	ESALs.	34
2.3.8	Factor de carga equivalente (LEF).	34
2.3.9	Factor camión.	35
2.3.10	Clasificación nacional de la red vial	35
2.3.11	Clasificación de carreteras por Volumen de Tránsito.	35
2.3.12	Clasificación de vías por su función.	36
2.3.13	Tipos de terreno (Condiciones Orográficas).	37
2.4	Suelo.	37
2.5	Topografía.	38
2.5.1	Levantamiento topográfico.	38

2.5.2	Estudio topográfico con Fotogrametría.	38
2.5.3	Software Agisoft Metashape.	39
2.6	Normativa Técnica.	39
2.7	Geotecnia.	40
2.8	Estudio Geotécnicos.	40
2.8.1	Análisis mecánico de suelo (Ensayos de granulometría).	40
2.8.2	Consistencia del suelo (Ensayos de plasticidad).	41
2.8.3	Clasificación del suelo.	42
2.8.4	Compactación (Ensayos de Proctor Modificado).	43
2.8.5	Ensayo de CBR (Californian Bering Ratio).	44
2.9	Estructura del Pavimento.	44
2.9.1	Pavimento flexible.	45
2.10	Diseño de Pavimento Flexible.	46
2.10.1	Confiabilidad (R).	47
2.10.2	Error normal combinado, (So).	48
2.10.3	Serviciabilidad (P).	48
2.10.4	Módulo Resiliente.	49
2.10.5	Número Estructural.	49
2.10.6	Determinación de números estructurales.	51
2.10.7	Características de drenaje.	53
2.10.8	Diseño Estructural.	54

2.10.9	Análisis de espesores.	55
2.11	Señalización Vertical.....	55
2.11.1	Señales regulatorias.	58
2.11.2	Señales preventivas.....	58
2.11.3	Ubicación Longitudinal.	59
2.11.4	Ubicación Lateral.....	60
2.12	Señalización Horizontal.	61
2.12.1	Líneas longitudinales.	62
2.12.2	Líneas de separación de flujos opuestos.	63
2.12.3	Líneas de borde de calzada.	64
2.12.4	Retroreflexión.....	64
2.13	Estudio Hidrológico e Hidráulico	64
2.13.1	Periodos de retorno.	65
2.13.2	Caracterización de la cuenca de aporte.....	67
2.13.3	Tiempo de concentración.....	67
2.13.4	Curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF).....	68
2.13.5	Método Racional para estimación de caudal.	69
2.13.6	Drenaje Transversal (Alcantarillas)	71
2.14	Drenaje de la Plataforma (Cunetas)	72
2.14.1	Pendiente y velocidad.	73
2.14.2	Forma de la sección.	74

3	Metodología.....	75
3.1	Ubicación Del Proyecto	75
3.2	Inspección De Campo	75
3.3	Topografía.....	75
3.3.1	Procesamiento de datos.....	75
3.4	Tipo de Suelo	77
3.4.1	Extracción de muestras de suelo	77
3.4.2	Ensayos de laboratorio.....	77
3.5	Determinación de Tránsito.....	79
3.3.1	Conteo vehicular.....	79
3.3.2	Cálculo del TPDA.....	80
3.3.3	Proyección vehicular.....	80
3.3.4	Vehículos equivalentes ESALs	80
3.6	Diseño de Pavimento Flexible.....	80
3.5.1	Subrasante.....	80
3.5.2	Propiedades mecánicas de los materiales.....	80
3.5.3	Índice de serviciabilidad.....	81
3.5.4	Condiciones ambientales y de drenaje.....	81
3.5.5	Confiabilidad (R).....	81
3.5.6	Espesor de cada capa de material y número estructural requerido.....	82
3.5.7	Verificación de espesores mínimos.....	82

3.7	Estructuras de Evacuación de Aguas Pluviales.....	83
3.7.1	Cunetas.....	83
3.7.2	Alcantarillado de alivio.....	84
3.8	Diseño Geométrico.	84
3.8.1	Parámetros de diseño.	85
3.8.2	Trazado planimétrico.	85
3.8.3	Trazado altimétrico.	86
3.9	Señalización.	86
3.10	Presupuesto y Cronograma.	87
4	Resultados.....	88
4.1	Ensayos de Laboratorio.....	88
4.2	Trafico promedio diario anual (TPDA)	89
4.2.1	Factor horario.....	89
4.2.2	Factor diario.....	90
4.2.3	Factor semanal	90
4.2.4	Factor mensual.....	91
4.2.5	TPDA.....	91
4.3	Carga axial simple equivalente (ESALs).....	94
4.4	Diseño de Pavimento Flexible	95
4.5	Diseño de Drenaje.....	98
4.6	Diseño Geométrico	100

4.7	Señalización.....	102
5	Cronograma.....	102
6	Presupuesto.....	103
7	Conclusiones.....	104
8	Recomendaciones.....	105
9	Bibliografía.....	105
10	Anexos.....	107

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación del tramo de vía en estudio	18
Ilustración 2. Componentes de las curva circular y espirales.....	24
Ilustración 3. Límites de Atterberg	42
Ilustración 4. Coeficiente estructural, para mezcla de concreto asfáltico.	52
Ilustración 5. Coeficiente estructural y Módulo de resiliencia, para base granular no tratada	52
Ilustración 6. Coeficiente, estructural y módulo de resiliencia para subbase granular no tratada.	53
Ilustración 7. Perfil típico de una estructura de pavimento flexible.....	54
Ilustración 8. Capas de pavimento flexible.	55
Ilustración 9. Ejemplo de ortofoto del tramo de estudio.	76
Ilustración 10. Curvas de nivel de la vía de estudio.	76
Ilustración 11. Ubicación de la estación de aforo vehicular.....	79
Ilustración 12. Alineamiento horizontal	86
Ilustración 13. Mapa de Isotermas del Ecuador	96
Ilustración 14. Diagrama de la sección de la estructura del pavimento.	98
Ilustración 15. Dimensiones de la cuneta	100
Ilustración 16. Curva de Inversión del Proyecto	103

Índice de tablas

Tabla 1. Velocidad de diseño (km/h).....	22
Tabla 2. Relación de la velocidad de operación con la velocidad de diseño para carreteras de 2 carriles.....	23
Tabla 3. Pendientes máximas	25
Tabla 4. Coeficientes de fricción lateral máximos	28
Tabla 5. Sobre ancho de la calzada en curvas circulares [m] (Carreteras tipo C1-C2-C3).....	31
Tabla 6. Clasificación funcional de las vías en base al TPDA.....	35
Tabla 7. Denominación de Carreteras por Condiciones Orográficas.....	37
Tabla 8. Tamaños estándar de tamices	41
Tabla 9. Clasificación de materiales de carreteras subrasantes.....	43
Tabla 10. <i>Confiabilidad (R)</i>	47
Tabla 11. <i>Desviación Normal estándar; Zr</i>	47
Tabla 12. Error Normal Combinado, S_o	48
Tabla 13. Serviciabilidad Inicial (P_o).....	49
Tabla 14. Serviciabilidad Final (P_f)	49
Tabla 15. Módulo Resiliente	49
Tabla 16. <i>Espesores mínimos de las capas.</i>	50
Tabla 17. Valores máximos recomendados de módulos de elasticidad (E).	51
Tabla 18. Calidad del drenaje según la exposición a la humedad.....	53
Tabla 19. Distancias de legibilidad	57
Tabla 20. Distancia mínima entre señales verticales.....	60
Tabla 21. Ubicación transversal de señales verticales (distancia y altura)	61
Tabla 22. Relación señalización línea de separación de circulación opuesta segmentada.....	63
Tabla 23. Periodo de retorno y riesgo de falla según vida útil.....	66

Tabla 24. Periodos de retorno para diseño	66
Tabla 25. Tiempos de concentración para cuencas (T_c)	68
Tabla 26. Coeficientes de escorrentía (C) para $T = 10$ años	71
Tabla 27. Velocidades máximas admisibles en canales y cunetas revestidas.....	74
Tabla 28. Capacidad hidráulica de cunetas y canales triangulares.....	74
Tabla 29. Espesores mínimos de capas	83
Tabla 30. <i>Resumen de resultados de laboratorio calicata 1 abscisa 2+875</i>	88
Tabla 31. <i>Resumen de resultados de laboratorio calicata 2 abscisa 4+025</i>	89
Tabla 32. <i>Cálculo de factor horario.</i>	90
Tabla 33. <i>Cálculo de factores semanales</i>	90
Tabla 34. Consumo de combustible año 2023, cálculo del factor mensual	91
Tabla 35. <i>Resumen de factores de mayoración para TPDA 2024.</i>	91
Tabla 36. <i>Tránsito promedio diario anual año 2024</i>	92
Tabla 37. <i>Coeficiente de transformación a vehículo liviano</i>	92
Tabla 38. <i>Intensidad de tráfico transformada a vehículos livianos</i>	93
Tabla 39. Tasas de crecimiento vehicular.....	93
Tabla 40. Proyección de TPDA para n años.....	93
Tabla 41. Factor de distribución por carril	94
Tabla 42. Factor equivalente camión	94
Tabla 43. Cálculo del Número de Ejes Equivalentes a 8.2 Ton	95
Tabla 44. Calidad del drenaje.....	97
Tabla 45. Espesor mínimo de capas de mezcla bituminosa en caliente	97
Tabla 46. Resumen estructura de pavimento flexible.	98
Tabla 47. Ecuación de Intensidad para aplicar en la zona de estudio.	99
Tabla 48. Intensidades máximas en 24 horas para varios periodos de retorno.	99

Tabla 49. <i>Parámetros geométricos para el diseño de la cuneta</i>	99
Tabla 50. Parámetros para el diseño geométrico de la vía	100
Tabla 51. Cálculo de sobreeanchos en las curvas	101
Tabla 52. Resumen de los valores mensuales del cronograma valorado	102
Tabla 53. Resumen del costo de inversión en la obra.	103

1 Aspectos Generales.

1.1 Resumen.

La vialidad es la base para el funcionamiento para la economía de un país, ya que facilita la mejora de la calidad de vida de la población al mejorar la interconexión para el comercio y el acceso a servicios esenciales como la salud y la educación. Una buena infraestructura vial permite mejorar el acceso a oportunidades laborales y recreativas, reduciendo los tiempos y costos de desplazamiento. Además, una vía con un diseño que cumpla la normativa mejora la seguridad de conductores, peatones y ciclistas, lo que contribuye al desarrollo de las comunidades beneficiarias del proyecto.

Este proyecto de titulación tiene como objetivo realizar el diseño geométrico y estructural de la vía “La Ramada – Río Curiquingue, de la abscisa 2+300 a la 4+600”, entre los cantones Girón y Nabón de la Provincia del Azuay. Esta es una vía alternativa a la vía actual que conecta estos dos cantones, y su implementación podrá permitir la integración de comunidades rurales que al momento permanecen relativamente aisladas de las cabeceras cantonales, lo que dificulta el progreso de sus actividades personales, laborales y comerciales.

Para la recopilación de datos de este proyecto se realizan inspecciones de campo, aforo vehicular, extracción de muestras de suelo y levantamiento topográfico, con esta información se establecen mediante trabajo de laboratorio y de gabinete, parámetros para realizar el diseño con la Normativa Ecuatoriana de Vialidad, del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, además se han utilizado criterios de varios autores que son aplicables a este caso de estudio.

Se han utilizado varias herramientas de diseño, como son los softwares AUTODESK Civil 3D, Agisoft Metashape, AUTODESK InfraWorks e InterPro. Realizados los diseños con la normativa se obtienen los planos de diseño geométrico, la estructura de la vía con espesores de capa de rodadura y capas granulares, volúmenes de corte y relleno, estructuras de drenaje, implementación de señalización, presupuesto y cronograma.

Palabras Clave: Vía, Diseño geométrico, Diseño estructural, Pavimento Flexible, TPDA, ESALs, CBR, Drenaje.

1.2 Abstract.

Road infrastructure is the basis for the functioning of a country's economy since it facilitates the improvement of its population's quality of life by improving interconnection for commerce and access to essential services such as health and education. Good road infrastructure improves access to work and recreational opportunities, reducing travel times and costs. In addition, a road with a design that complies with regulations improves the safety of drivers, pedestrians and cyclists, which contributes to the development of the project's beneficiary communities.

This project aims to carry out the geometric and structural design of the road “La Ramada – Río Curiquingue, from abscissa 2+300 to 4+600”, between the Girón and Nabón cantons of the Province of Azuay. This is an alternative route to the current one that connects these two cantons, and its implementation could allow the integration of rural communities that currently remain relatively isolated from the cantonal capitals, which hinders the progress of their personal, work and commercial activities.

To collect data for this project, field inspections, vehicle gauging, extraction of soil samples and topographic surveys are carried out. With this information, parameters are established through laboratory and office work to carry out the design with the “Normativa Ecuatoriana de Vialidad” from the “Ministerio de Transporte y Obras Públicas.” Additionally, applicable criteria from several authors have been used in this case study.

Several design tools have been used, such as AUTODESK Civil 3D, Agisoft Metashape, AUTODESK InfraWorks and InterPro. Once the designs are carried out with the regulations, the geometric design plans, the following are obtained: the road structure with thicknesses of

the wearing course and granular layers, cut and fill volumes, drainage structures, implementation of signage, budget, and schedule.

Keywords: Road, Geometric design, Structural design, Pavements, TPDA, ESALS, CBR, Drainage.

1.3 Introducción.

Las carreteras rurales son cruciales para conectar comunidades y fomentar el crecimiento tanto económico como social de los habitantes de las comunidades aledañas. En este proyecto técnico, se busca realizar el diseño de una vía rural eficiente considerando no solo la calidad de su construcción, sino también su capacidad para adaptarse a las condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas del lugar.

Este proyecto contempla el diseño vial geométrico y estructural, para satisfacer las necesidades de transporte de la población local, mejorando la accesibilidad y la seguridad vial. Mediante un enfoque técnico detallado se describen los conceptos necesarios para realizar el proyecto y la metodología empleada para obtener una obra funcional.

1.4 Problema.

1.4.1 Antecedentes.

El cantón Nabón, ubicado en la provincia del Azuay, ha presentado históricamente dificultades de acceso y conectividad, debido a las condiciones topográficas y la poca presencia de vías y caminos. Además, el aislamiento de algunas comunidades rurales y zonas, como Shiña, Chinazana, El Paso, Uduzhapa, La Ramada y el Río Curiquingue, ha forjado un debilitamiento en el desarrollo socioeconómico y el acceso a servicios esenciales, como salud y educación básica.

Por parte del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, se indica que el estado de la vialidad a nivel nacional es: 50% de las vías del país está en buenas condiciones, el 30% en condiciones regulares y el 20% en mal estado. Como ejemplo, la vía “Cuenca – Girón – Pasaje - Machala”

en la provincia del Azuay se encuentra cerrada o parcialmente habilitada, así como también alrededor de otras veinte y tres vías en el país; algunas de las razones para los cierres viales son los derrumbes, deslizamientos, socavones, hundimientos, puentes en mal estado, desbordamientos, etc., además del mal estado de la capa de rodadura por falta de mantenimiento en otras tantas que permanecen abiertas a la circulación vehicular.

En marzo del 2021 se realiza una declaratoria de emergencia vial en la provincia del Azuay, en la cual se incluyen vías del sector de la vía de estudio como son: “La Ramada – Nabón”, “Girón – San Fernando”, “Nabón – El Paso - Cochapata”, se indica que el estado de las vías en la provincia del Azuay ha soportado la presencia de un fuerte temporal invernal, de ahí la presencia de precipitaciones periódicas que han generado varias emergencias en el ámbito vial, esto debido al desprendimiento de taludes en las vías, pérdida de la mesa de rodadura, desbordamiento de ríos y quebradas; y, otras afectaciones que han bloqueado el tránsito vehicular en diferentes vías que comunican cantones y parroquias en actividades productivas. En el año 2023 se ha realizado una intervención de mejoramiento vial a nivel de lastre en la Vía La Ramada - Río Curiquingue por parte de la Prefectura del Azuay.

De acuerdo con el Acta de Repriorización del Presupuesto Participativo del Cantón Girón signada en el mes de julio de 2023, se destinó un presupuesto de USD \$16.070,23 hacia Vialidad, siendo este presupuesto ejecutado en la vía de estudio y otras ocho vías de este cantón. Asimismo, se ha considerado la experiencia de proyectos viales en áreas rurales similares del país, como los implementados en las provincias de Loja y Chimborazo, donde la construcción de nuevas vías ha demostrado tener un impacto positivo en la reducción de la pobreza rural, la mejora de la educación y la salud, y el fomento del turismo local (García & Méndez, 2016). La construcción de esta vía también podría atraer inversiones públicas y privadas a la región, contribuyendo a la diversificación de la economía local y la promoción de nuevas oportunidades de empleo.

La falta de infraestructura vial adecuada en el área que conecta La Ramada con el río Curiquingue se debe a la geología inestable de la región, el escaso presupuesto asignado históricamente al desarrollo de vías rurales y la geografía aislada de las comunidades. Los aspectos negativos de esta, incluyen una disminución en el acceso a los principales servicios, una falta de oportunidades económicas y un aumento en el aislamiento social. Por lo tanto, el diseño y la construcción de una carretera apropiada representan una solución holística que podría conducir a una transformación drástica en términos socioeconómicos para los residentes de Nabón.

El desarrollo de infraestructura vial en zonas rurales ha demostrado tener un impacto directo en la reducción del aislamiento social, la dinamización de la economía local y el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes (García & Méndez, 2016). En este contexto, el diseño de una vía adecuada que conecte La Ramada con el río Curiquingue no solo resolverá problemas inmediatos de acceso y movilidad, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible de la región. Al facilitar el transporte de productos agrícolas y mejorar el acceso a mercados, se estimulará el crecimiento económico de las comunidades locales, mejorando su competitividad y fomentando la inversión (Zapata & Romero, 2015).

1.4.2 Importancia.

El cantón Nabón, en la provincia de Azuay, presenta una infraestructura vial insuficiente para sus necesidades actuales, especialmente en las áreas rurales, donde reside el 91.5% de su población (13,500 habitantes). Con una población total de 14,776 personas, de las cuales más del 70% son niños, es vital asegurar una conectividad adecuada entre las zonas rurales y urbanas para mejorar el acceso a servicios básicos como la educación y la salud; es por ello que el diseño de la vía que conecta La Ramada con el río Curiquingue responde a estas necesidades urgentes de mejorar la accesibilidad y la conectividad entre las zonas rurales del cantón Nabón y las del cantón Girón; sin embargo la precariedad de la vía actual debido al deslizamiento ocurrido a

mediados del 2009 no permite el tránsito regular, especialmente durante la temporada de lluvias, cuando las carreteras no pavimentadas se vuelven intransitables debido a deslizamientos y erosión. El diseño vial en las zonas aledañas a Nabón es crucial debido a varios factores:

Condiciones socioeconómicas: Nabón es uno de los cantones más pobres del Ecuador, con un 87.9% de pobreza y un 55.7% de indigencia, lo que limita los recursos para el desarrollo de infraestructura adecuada. Un diseño vial mejorado ayudaría a reducir esta brecha al facilitar el acceso de los agricultores (actividad económica principal del cantón) a mercados más grandes, como lo es el de Girón promoviendo la actividad económica y mejorando la calidad de vida de los habitantes.

Dispersión poblacional: La gran mayoría de la población vive en zonas rurales, lo que dificulta el acceso a servicios esenciales como educación y salud; a pesar de que existen varias comunidades y parroquias en el cantón tan solo existen 15 unidades educativas en las zonas rurales, mientras que en la parte urbana solo hay dos instituciones completas: la Unidad Educativa Nabón con 1,035 estudiantes y la Unidad Educativa Francisco Chico Pacheco con 240 estudiantes y un solo centro de salud el cual está catalogado por el Ministerio de Salud Pública como tipo "C", lo cual provoca un elevado índice de analfabetismo y déficit en los servicios médicos; por ello la mejora de estas vías garantizaría una conectividad más eficiente, reduciendo los tiempos de viaje para los estudiantes y facilitando el acceso a servicios médicos.

Impacto en la movilidad de la población económicamente activa: De los 5,448 habitantes que forman la población económicamente activa (36.03%), muchos son agricultores que dependen de la infraestructura vial para el transporte de sus productos hacia otros Cantones y provincias siendo de nuestro interés conectar La ramada (Nabón) con el cantón Girón. Un diseño vial adecuado aumentaría la eficiencia en el transporte, impulsando la productividad agrícola y mejorando las condiciones de vida en una de las regiones más empobrecidas del país.

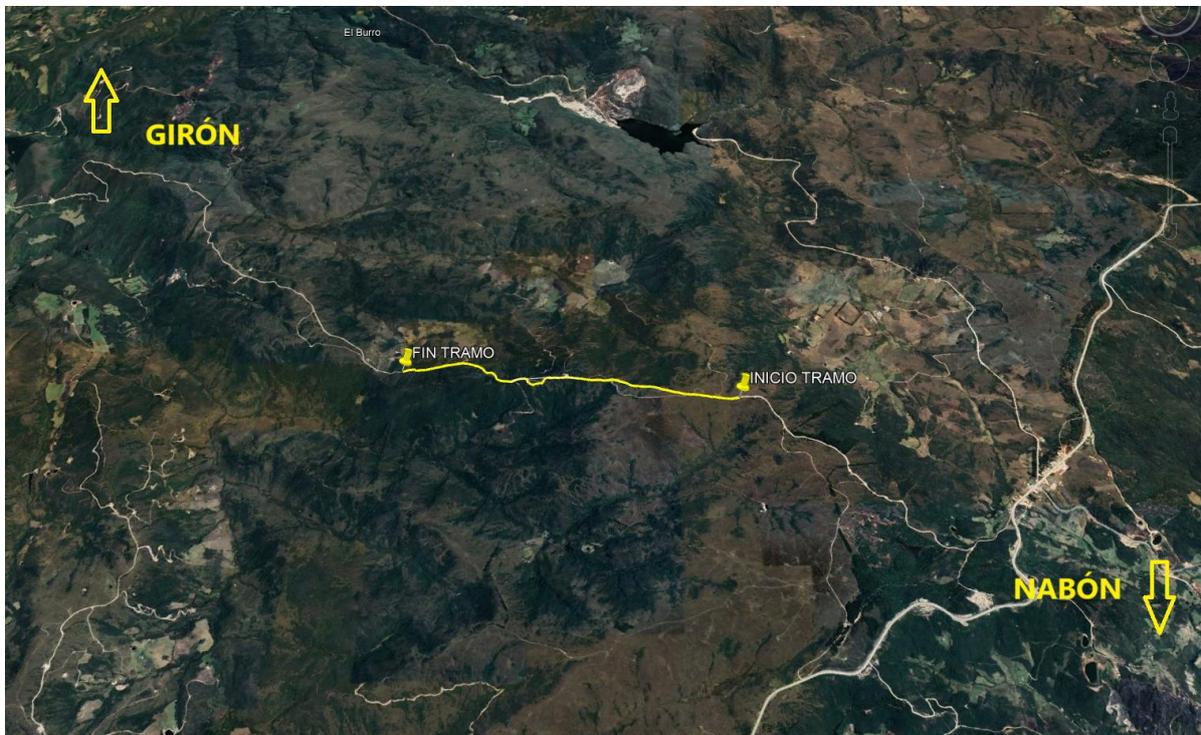
1.4.3 Delimitación.

El proyecto en estudio es el diseño geométrico y estructural de la vía entre La Ramada hasta el Río Curiquingue, desde la abscisa 2+300 a la 4+600, este tramo está ubicado entre los cantones Girón y Nabón de la provincia del Azuay, como se muestra en la Ilustración 1.

Las coordenadas del tramo de estudio son:

- Inicio de tramo 711986.00 m E 9639235.00 m S
- Fin de tramo 709812.00 m E 9639496.00 m S

Ilustración 1. *Ubicación del tramo de vía en estudio*



Nota. Tomado de Google Earth, 2025

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo general.

Realizar el diseño geométrico y estructural de la vía “La Ramada – Río Curiquingue, de la abscisa 2+300 a la 4+600”, entre los cantones Girón y Nabón de la Provincia del Azuay.

1.5.2 Objetivos específicos.

- Investigar las características geológicas y topográficas del tramo de estudio para identificar las condiciones existentes en el tramo, para el diseño de la vía.
- Realizar un análisis de tránsito para determinar la demanda vehicular actual y futura de la vía, asegurando que el diseño geométrico y estructural de la carretera permita un flujo adecuado.
- Realizar el diseño geométrico de la carretera considerando las normativas viales vigentes, con especial atención en curvas, pendientes y anchos de calzada, asegurando la comodidad y seguridad de los usuarios.
- Diseñar un sistema de drenaje y obras hidráulicas eficientes que asegure la evacuación adecuada de aguas pluviales, evitando inundaciones y erosión de la carretera y sus alrededores.
- Diseñar la estructura de la vía que soporte las cargas vehiculares previstas y las condiciones climáticas locales.
- Incorporar elementos de seguridad vial, como señalización vertical y horizontal, barreras de contención, para minimizar los efectos de los siniestros.
- Realizar el presupuesto para la construcción de la vía, calculando los costos involucrados para asegurar que el proyecto sea viable.

2 Marco Teórico.

En este capítulo se presentan los conceptos técnicos necesarios para el desarrollo del proyecto, tablas, ilustraciones, ecuaciones y parámetros que serán usados en el diseño.

2.1 Carreteras.

Una carretera es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de

vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad (Cárdenas Grisales, 2013).

2.2 Diseño Geométrico.

El diseño geométrico de carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la carretera queda geoméricamente definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal (Cárdenas Grisales, 2013).

El proceso de diseño geométrico es la etapa en donde se definen todas las características de la estructura vial en sus tres dimensiones, planta, alzado, sección transversal, facilidades de circulación y los elementos necesarios para la seguridad vial. Estas características están ligadas a la función jerárquica de la vía dentro de la red, a las condiciones de los usuarios, a la mecánica de los vehículos y a los requerimientos geométricos de las vías que se determinan en función de un volumen de tráfico y de un nivel de servicio correspondiente a un año horizonte (MOP, 2003).

Es muy importante el poner la máxima atención en la obtención de los datos en el campo, ya que de la calidad y del grado de precisión de estos, dependerá el desarrollo cualitativo del diseño geométrico y de obras de arte a realizarse en la oficina (MOP, 2003).

2.2.1 Velocidad de diseño.

Velocidad directriz o de diseño es la velocidad que se escoge para diseñar los elementos de la vía que influyen en la operación de los vehículos. Ésta es la máxima velocidad segura en un trayecto de vía donde las demás condiciones son tan buenas que predominan las características físicas de la misma (NEVI-12-MTOP, 2013a)

De tal manera que en el diseño geométrico vial se asigna a la velocidad un valor alto para vías en terreno llano, un valor medio para vías en terreno ondulado y un valor bajo para vías en terreno montañoso (MOP, 2003).

Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. Esta velocidad se elige en función de las condiciones físicas y topográficas del terreno, de la importancia del camino, los volúmenes del tránsito y uso de la tierra, tratando de que su valor sea el máximo compatible con la seguridad, eficiencia, desplazamiento y movilidad de los vehículos. Con esta velocidad se calculan los elementos geométricos de la vía para su alineamiento horizontal y vertical (MOP, 2003).

La velocidad de diseño debe seleccionarse para el tramo de carreteras más desfavorables y debe mantenerse en una longitud mínima entre 5 y 10 kilómetros. Una vez seleccionada la velocidad, todas las características propias del camino se deben condicionar a ella, para obtener un proyecto equilibrado. Siempre que sea posible se aconseja usar valores de diseños mayores a los mínimos establecidos (MOP, 2003)

La selección de la velocidad de diseño depende de la importancia o categoría de la futura carretera, de la configuración topográfica del terreno, de los usos de la tierra, del servicio que se quiere ofrecer, de las consideraciones ambientales, de la homogeneidad a lo largo de la carretera, de las facilidades de acceso (control de accesos), de la disponibilidad de recursos económicos y de las facilidades de financiamiento (Cárdenas Grisales, 2013).

La Tabla 1 presenta velocidades mínimas de diseño, de acuerdo con el TPDA esperado, a la categoría de la vía, y al relieve de la zona del proyecto.

Tabla 1. Velocidad de diseño (km/h)

CATEGORIA DE LA VIA		TPDA ESPERADO	VELOCIDAD DE DISEÑO KM/H											
			BASICA				PERMISIBLE EN TRAMOS DIFICILES							
			RELIEVE LLANO				RELIEVE ONDULADO				RELIEVE MONTANOSO			
			Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad	
			Recomendada		Absoluta		Recomendada		Absoluta		Recomendada		Absoluta	
R-I o R-II(TIPO)		>8000	120	110	100	96	110	90	95	85	90	80	90	90
I	TODOS	3000-8000	110	100	100	90	100	80	90	80	80	80	80	80
II	TODOS	1000-8000	100	90	90	86	90	80	85	80	70	50	70	50
III	TODOS	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60	40
IV	5.5E, 6 y 7	100-300	80	60	80	60	60	35	60	35	50	25	50	25
V	4 y 4E	<100	60	50	80	50	50	35	50	35	40	25	40	25

Nota. Tomado de (MOP, 2003)

Velocidad de operación o de circulación es la velocidad de un vehículo en un tramo específico de la carretera; su valor se obtiene dividiendo la distancia recorrida por el tiempo en que el vehículo se mueve para recorrer el tramo. Esta es la velocidad que da la medida del servicio que presta la carretera y permite evaluar los costos y los beneficios para los usuarios (NEVI-12-MTOP, 2013a).

Tabla 2. *Relación de la velocidad de operación con la velocidad de diseño para carreteras de 2 carriles*

VELOCIDAD DE DISEÑO – Km/h	VELOCIDAD DE OPERACIÓN PROMEDIO – Km/h VOLUMEN DE TRÁNSITO		
	<i>BAJO</i>	<i>MEDIO</i>	<i>ALTO</i>
40	38	35	33
50	47	42	40
60	56	52	45
70	63	60	55
80	72	65	60
100	88	75	-
120	105	85	-

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013a)

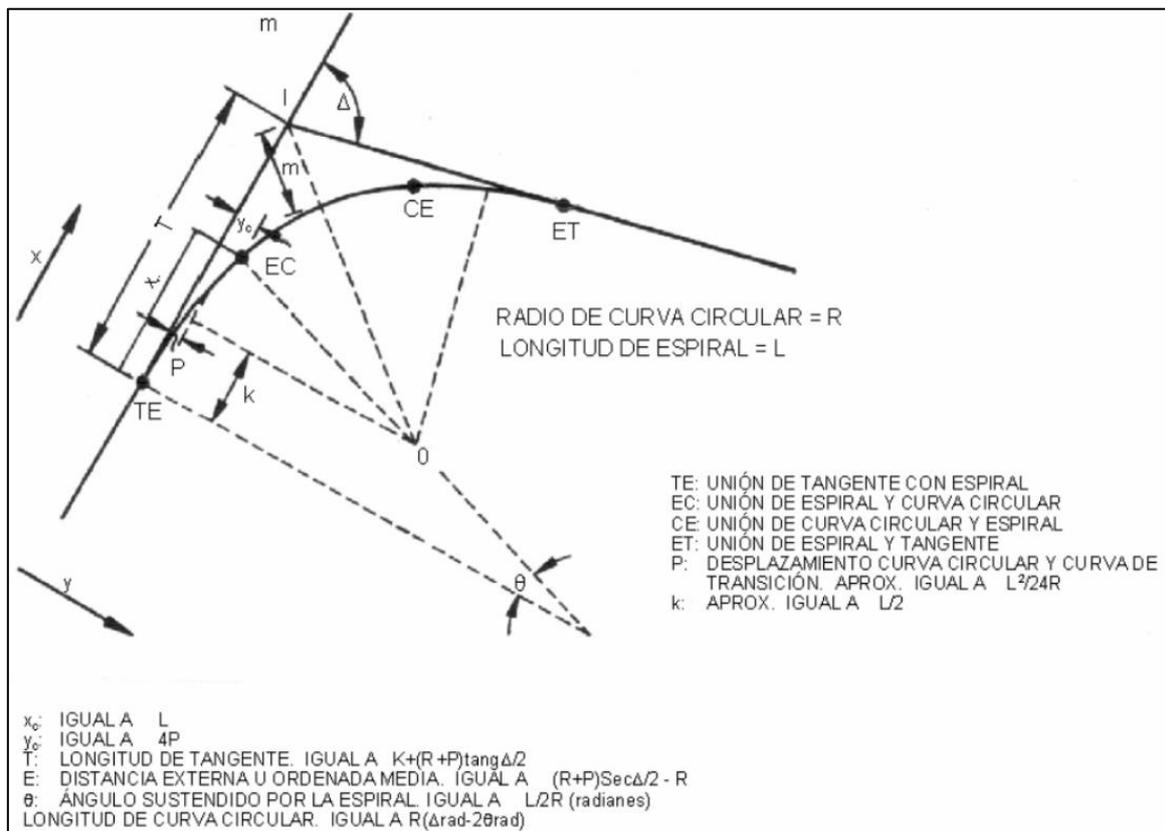
2.2.2 Alineamiento Horizontal.

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 (Cárdenas Grisales, 2013).

El alineamiento horizontal es la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal. Los elementos que integran esta proyección son las tangentes y las curvas, sean estas circulares o de transición (MOP, 2003).

Para el diseño horizontal se pueden usar curvas circulares simples o curvas de transición, las primeras constan de un radio que conecta mediante una curva tangente a dos diferentes alineamientos, las curvas de transición consisten en que su radio de curvaturas puede decrecer gradualmente desde el infinito en la tangente que se conecta con la espiral, hasta el final de la espiral en su enlace con la curva circular, como se indica en la Ilustración 2 (NEVI-12-MTOP, 2013a).

Ilustración 2. Componentes de las curva circular y espirales



Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013a)

2.2.3 Alineamiento Vertical.

El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante o subrasante (Cárdenas Grisales, 2013).

La pendiente de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos (Cárdenas Grisales, 2013).

Tabla 3. *Pendientes máximas*

Orografía	Terreno Plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso	Terreno Escarpado
Velocidad (Km/h)				
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8
70	7	7	7	7
80	7	7	7	7
90	6	6	6	6
100	6	5	5	5
110	5	5	5	5

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013a)

2.2.4 Coordinación entre el diseño horizontal y del diseño vertical.

El diseño de los alineamientos horizontal y vertical no debe realizarse independientemente. Para obtener seguridad, velocidad uniforme, apariencia agradable y eficiente servicio al tráfico, es necesario coordinar estos alineamientos (NEVI-12-MTOP, 2013a).

Es muy importante que la coordinación entre el alineamiento horizontal y el perfil vertical se efectúe durante el diseño preliminar, ajustado el uno o el otro hasta obtener el resultado más conveniente en base a un análisis gráfico de los varios elementos que influyen en un diseño equilibrado (MOP, 2003).

2.2.5 Peralte.

La única fuerza que se opone al deslizamiento lateral del vehículo es la fuerza de fricción desarrollada entre las llantas y el pavimento. Esta fuerza por sí sola, generalmente, no es suficiente para impedir el deslizamiento transversal; por lo tanto, será necesario buscarle un complemento inclinando transversalmente la calzada. Dicha inclinación se denomina peralte (Cárdenas Grisales, 2013).

La sobreelevación o peralte, e , siempre se necesita cuando un vehículo viaja en una curva cerrada a una velocidad determinada, para contrarrestar las fuerzas centrífugas y el efecto adverso de la fricción que se produce entre la llanta y el pavimento (NEVI-12-MTOP, 2013a).

$$e = \frac{V^2}{127R} - f \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

e = Peralte de la curva [m/m]

V = Velocidad de diseño [km/h]

R = Radio de la curva [m]

f = Máximo coeficiente de fricción lateral.

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 diseños 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 (MOP, 2003).

2.2.6 Radio mínimo de curvatura horizontal.

Para cada velocidad de operación se adopta un coeficiente de fricción transversal movilizable que sea seguro en condiciones críticas, como son pavimento mojado y estado desgastado de las llantas, y un peralte suficiente, obteniendo así el radio mínimo de la curva que genera la fuerza centrífuga que se puede contrarrestar con estos valores seleccionados (Cárdenas Grisales, 2013).

Es el límite para una velocidad específica dada del vehículo, calculado a partir del peralte máximo y del coeficiente de fricción transversal máximo, según la ecuación 2, como:

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(e_{\max} + f_{\max})} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

R_{\min} = Radio de curvatura mínimo [m]

V = Velocidad de diseño [km/h]

$e_{\text{máx}}$ = Peralte máximo de la curva [m/m]

$f_{\text{máx}}$ = Máximo coeficiente de fricción lateral.

El radio mínimo de curvatura solo debe emplearse en casos excepcionales, cuando no sea viable utilizar radios más grandes.

2.2.7 Coeficiente de fricción lateral.

El factor de fricción lateral depende principalmente de las condiciones de las llantas de los vehículos, el tipo y estado de la superficie de rodamiento y de la velocidad del vehículo.

La AASHTO presenta factores de fricción lateral para tres tipos de carreteras, con variaciones entre 0.17 y 0.10 en función inversa de la velocidad para todo tipo de carreteras rurales y urbanas con velocidades comprendidas entre 30 y 110 kilómetros por hora, entre 0.30 y 0.16 para vías urbanas de baja velocidad, de 30 a 70 kilómetros por hora, y entre 0.33 y 0.15 para tramos de giro en intersecciones a velocidades de 20 a 70 kilómetros por hora (NEVI-12-MTOP, 2013a).

La seguridad se introduce en el diseño garantizando la estabilidad del vehículo ante la fuerza centrífuga que tiende a desequilibrarlo hacia el exterior de la curva, oponiéndose a ella el peralte e o inclinación transversal de la calzada y la fuerza de fricción transversal movilizada entre las llantas y el pavimento (Cárdenas Grisales, 2013).

Las pruebas realizadas por la AASHTO indican que el coeficiente de fricción longitudinal no es el mismo para las diferentes velocidades, pues decrece conforme aumenta la velocidad, dependiendo también de varios otros elementos, tales como la presión del aire de las llantas, tipo de llantas, presencia de humedad y tipo de pavimento, siendo de mayor significación, especialmente para altas velocidades, el sistema de frenos del vehículo (MOP, 2003).

Tabla 4. *Coefficientes de fricción lateral máximos*

VELOCIDAD ESPECIFICA [km/h]	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMO	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08

Nota. Tomado de AASHTO, 2004, como se citó en (Cárdenas Grisales, 2013)

2.2.8 Distancia de frenado.

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelanté de su recorrido. Esta distancia se calcula para que un conductor y su vehículo por debajo del promedio, alcance a detenerse ante el peligro u obstáculo. Es la distancia de visibilidad mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo.

$$D = d_1 + d_2 \quad \text{Ec. 3}$$

$$d_1 = 0.278 v t \quad \text{Ec. 4}$$

$$d_2 = v^2 / 254f \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

D = Distancia de visibilidad de parada [m] d_1 = distancia de percepción – reacción del conductor [m]

v = Velocidad inicial [km/h]

t = Tiempo de percepción y reacción, según varios estudios es de 2.5 segundos [s]

d_2 = Distancia de frenado [m]

v = Velocidad inicial [km/h]

f = coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento.

2.2.9 Distancia de visibilidad en curvas horizontales.

Obstrucciones a la visibilidad, localizadas en el interior de las curvas horizontales, tales como edificaciones, muros, árboles o bosques, barreras longitudinales, taludes en cortes y otros similares, deben ser tomados en cuenta para aplicarles el tratamiento de despeje que acompaña a un buen diseño. Los controles que se utilizan para un diseño apropiado son la distancia de visibilidad y la velocidad de diseño, elementos que deben ser bien estudiados y revisados para conciliarlos con las condiciones del sitio, ya sea para recomendar cambios de alineamientos o remoción de obstrucciones, según la solución que califique de ser más factible (NEVI-12-MTOP, 2013a).

$$m = R \left(1 - \cos \left(28.65 \frac{D}{R} \right) \right) \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

m = Distancia visual horizontal en la curva [m]

R = Radio de curvatura [m]

D = Distancia de frenado [m]

2.2.10 Distancia de visibilidad de adelantamiento.

La distancia de visibilidad de adelantamiento se define como la mínima distancia de visibilidad requerida por el conductor de un vehículo para adelantar a otro vehículo que, a menor velocidad relativa, circula en su mismo carril y dirección, en condiciones cómodas y seguras, invadiendo para ello el carril contrario, pero sin afectar la velocidad del otro vehículo que se le acerca, el cual es visto por el conductor inmediatamente después de iniciar la maniobra de adelantamiento. El conductor puede retornar a su carril si percibe, por la proximidad del vehículo opuesto, que no alcanza a realizar la maniobra completa de adelantamiento (NEVI-12-MTOP, 2013a).

$$D = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad \text{Ec. 7}$$

$$d_1 = 0.278t_1 \left(v - m + a \frac{t_1}{2} \right) \quad \text{Ec. 8}$$

$$d_2 = 0.278 v t_2 \quad \text{Ec. 9}$$

$$d_4 = \frac{2}{3} d_2 \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

D = Distancia de visibilidad de adelantamiento [m]

d_1 = Distancia preliminar de demora [m]

d_2 = Distancia de adelantamiento [m]

d_3 = Distancia de seguridad, entre 35 y 90 [m]

d_4 = Distancia de recorrido del vehículo del carril contrario [m]

t_1 = Tiempo de maniobra inicial [s]

v = velocidad promedio del vehículo que rebasa [km/h]

a = Aceleración promedio al inicio de la maniobra, del vehículo que efectúa el rebase [km/h/s]

m = Diferencia de velocidad entre el vehículo que es rebasado y el que rebasa [km/h]

t_2 = Tiempo de ocupación del carril opuesto [s]

2.2.11 Sobre ancho de curva.

Los sobre anchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinados con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobre anchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación (NEVI-12-MTOP, 2013a)

Tabla 5. Sobre ancho de la calzada en curvas circulares [m] (Carreteras tipo C1-C2-C3)

TIPO	C1							C2							C3						
	Velocidad de diseño (Km/h)							Velocidad de diseño (Km/h)							Velocidad de diseño (Km/h)						
Radio de Curva (m)	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110
1500	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1000	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
750	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8
500	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1
400	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	
300	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1					
250	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2						
200	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4							
150	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4										
140	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4										
130	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4										
120	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4										
110	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.3												
100	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.1	1.4												
90	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.1	1.4												
80	1	1	1	1	1	1	1	1.3	1.6												
70	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.4	1.7												

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013a)

2.3 Tránsito.

La infraestructura del sistema vial es uno de los patrimonios más valiosos con que cuenta cualquier país, por lo que su magnitud y calidad representa uno de los indicadores del grado de desarrollo de este (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

El diseño de una carretera o de cualquiera de sus partes se debe basar en datos reales del tránsito, o sea, del conjunto de vehículos y los usuarios que circulan o circularán por ella. El tránsito indica para qué servicio se va a construir la vía y afecta directamente las características geométricas del diseño. No es racional el diseño de una carretera sin información suficiente sobre el tránsito; la información sobre el tránsito permite establecer las cargas para el diseño geométrico, lo mismo que para el diseño de su estructura o afirmado (NEVI-12-MTOP, 2013a).

2.3.1 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año mayor que un día, dividido por el número de días del período (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

El volumen de tránsito promedio diario anual (TPDA) o volumen promedio de tránsito diario se expresa según la ecuación 11, este valor es importante para determinar el uso anual como justificación de costos en el análisis económico y para dimensionar los elementos estructurales y funcionales de la carretera (NEVI-12-MTOP, 2013a).

$$TPDA = \frac{TA}{365} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

TA = Volumen de tránsito total que circula por la carretera durante un año.

En muchos de los casos no se dispone de un aforo de volumen de tránsito de un año completo, la normativa indica que como mínimo debiera hacerse 2 conteos de 24 horas en cada temporada, uno en miércoles, alejado de la influencia de feriados, y otro en domingo. En algunas temporadas, en lugar del conteo del domingo puede contarse el último día de un fin de semana largo (NEVI-12-MTOP, 2013a)

$$TPDA = To \times Fh \times Fd \times Fs \times Fm \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

TPDA = Tráfico promedio diario anual para el año [vehículos mixtos]

To = Tráfico observado, obtenido a partir del conteo de tráfico [vehículos mixtos]

Fh = Factor horario

Fd = Factor diario

Fs = Factor semanal

Fm = Factor mensual

2.3.2 Factor horario.

Este factor nos permite transformar el volumen de tráfico que se haya registrado en un determinado número de horas a volumen diario promedio (MOP, 2003).

2.3.3 Factor diario.

El factor diario transforma el volumen de tráfico diario promedio a volumen semanal promedio (MOP, 2003).

2.3.4 Factor semanal.

El factor semanal se obtiene calculando cuantas semanas existen en el mes en el cual se realizó el aforo del volumen de tráfico, este factor transforma el volumen semanal promedio de tráfico en volumen mensual promedio (MOP, 2003).

2.3.5 Factor mensual.

Es factor transforma el volumen mensual promedio de tráfico en tráfico promedio diario anual, para la determinación de este factor se utiliza el consumo de combustibles en el sitio de estudio. Se determina el consumo promedio mensual y con el consumo del mes de conteo, se obtiene el valor del factor mensual (MOP, 2003).

2.3.6 Tráfico futuro.

El pronóstico del volumen y composición del tráfico se basa en el tráfico actual. Los diseños se basan en una predicción del tráfico a 15 o 20 años y el crecimiento normal del tráfico, el tráfico generado y el crecimiento del tráfico por desarrollo. Las proyecciones de tráfico se usan para la clasificación de las carreteras e influyen en la determinación de la velocidad de diseño y de los demás datos geométricos del proyecto (MOP, 2003).

Los volúmenes de tránsito futuro para diseño se derivan de la corriente de tránsito actual y del crecimiento esperado de esa corriente durante el período seleccionado para el diseño. Los componentes del tránsito futuro son el tránsito actual, normal y atraído (NEVI-12-MTOP, 2013a).

Para la determinación del tráfico futuro se usa el método Logit, cuya ecuación:

$$Tf = Ta (1 + i)^n \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

Tf = Tráfico futuro

Ta = Tráfico actual TPDA

i = Tasa de crecimiento

n = Número de años a proyectar, periodo de diseño

2.3.7 ESALs.

Es el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que circulan en el carril y período de diseño.

La variable tránsito se expresa en ejes equivalentes con una carga de referencia de 80 kN (8.2 toneladas). Cada eje estándar para el método es asumido con dos ruedas dobles de 2.05 toneladas cada una, con una presión de contacto de 6×10^5 N/m² y un radio del área de contacto de 105mm.

Los procedimientos de diseño tanto para autopistas como para caminos de bajo volumen se basan en cargas equivalentes de un solo eje (ESAL) de 18 kip (80kN o 8.2t) esperadas acumuladas durante el período de análisis (W18). Para cualquier situación de diseño en la que se espera que la estructura inicial del pavimento dure el período de análisis sin rehabilitación ni repavimentación, todo lo que se requiere es el tráfico total durante el período de análisis (AASHTO, 1993).

2.3.8 Factor de carga equivalente (LEF).

Para expresar cargas variables de eje en términos de un único parámetro de diseño, es necesario desarrollar factores de equivalencia de carga de eje, estos factores, cuando se multiplican por el número de cargas de eje dentro de una categoría de peso dada, dan el número de aplicaciones de carga de eje único de 18 kip que tendrán un efecto equivalente en el rendimiento de las estructuras del pavimento. Los factores de equivalencia de carga representan la relación del número de repeticiones de cualquier carga de eje y configuración de eje (simple, tándem, trídem) necesarias para causar la misma reducción en PSI que una aplicación de una carga de eje único de 18 kip (AASHTO, 1993).

2.3.9 Factor camión.

El factor camión es el número de ejes simples equivalentes de referencia (8.2 toneladas) que producirían en el pavimento un daño equivalente al de una pasada de un vehículo comercial promedio (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

2.3.10 Clasificación nacional de la red vial

Las carreteras del Ecuador se las clasificará según los siguientes criterios:

- Clasificación por Capacidad (Función del TPDA)
- Clasificación por jerarquía en la red vial
- Clasificación por condiciones Orográficas
- Clasificación por Número de Calzadas
- Clasificación en función de la Superficie de rodamiento (NEVI-12-MTOP, 2013a)

2.3.11 Clasificación de carreteras por Volumen de Tránsito.

Para normalizar, la estructura de la red vial del país de este siglo, se ha clasificado a las carreteras de acuerdo con el volumen de tráfico que procesa o que se estima procesará en el año horizonte o de diseño. La Tabla 6 presenta la clasificación funcional propuesta de las carreteras y caminos en función del TPDA. De acuerdo con esta clasificación, las vías debieran ser diseñadas con las características funcionales y geométricas correspondientes a su clase pudiendo, obviamente, construirse por etapas, en función del incremento del tráfico y del presupuesto (NEVI-12-MTOP, 2013a).

Tabla 6. *Clasificación funcional de las vías en base al TPDA.*

Descripción	Clasificación funcional	Tráfico promedio diario anual al año de horizonte	
		Límite inferior	Límite superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o carretera multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000

Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013a)

2.3.12 Clasificación de vías por su función.

Según lo establecido en el Plan Estratégico de Movilidad, no todos los tipos de tráfico pueden convivir en cualquier tipo de vía. En particular los usos agrícolas de una carretera no pueden convivir con las intensidades de tráfico y los regímenes de velocidades de las vías de mediana y alta capacidad, por lo que no se pueden transformar vías destinadas a tráficos de carácter rural y ámbito provincial en vías de mediana capacidad, sin crear alternativas que posibiliten la especialización de las carreteras y la segregación de los tráficos. Cuando la solución técnica deba ser utilizar el trazado existente de una vía de uso rural, para crear una vía de rango superior, deberán crearse alternativas que canalicen los usos agrícolas y forestales, incompatibles con la funcionalidad final de la nueva carretera (MTOP, 2016).

2.3.12.1 Corredores Arteriales.

Son los caminos de alta jerarquía funcional, los que se constituyen por aquellos que conectan en el Continente, a las Capitales de Provincia, a los principales puertos marítimos con los del Oriente, pasos de frontera que sirven para viajes de larga distancia y que deben tener alta movilidad, accesibilidad reducida y/o controlada en su recorrido, giros y maniobras controlados; y, estándares geométricos adecuados para proporcionar una operación de tráfico eficiente y segura (NEVI-12-MTOP, 2013a).

2.3.12.2 Vías Colectoras.

Son los caminos de mediana jerarquía funcional, los que se constituyen por aquellos cuya función es la de recolectar el tráfico de la zona rural o una región, que llegan a través de los caminos locales para conducirlos a la malla estratégica o esencial de corredores arteriales. Son

caminos que se utilizan para servir el tráfico de recorridos intermedios o regionales, requiriendo de estándares geométricos adecuados para cumplir esta función (NEVI-12-MTOP, 2013a).

2.3.12.3 Caminos Vecinales.

Estas vías son las carreteras convencionales básicas que incluyen a todos los caminos rurales no incluidos en las denominaciones anteriores, destinados a recibir el tráfico doméstico de poblaciones rurales, zonas de producción agrícola, accesos a sitios turísticos (NEVI-12-MTOP, 2013a).

2.3.13 Tipos de terreno (Condiciones Orográficas).

Se tipificarán las carreteras según el relieve del terreno natural atravesado indicado en la Tabla 7. En función de la máxima inclinación media de la línea de máxima pendiente, correspondiente a la franja original de dicho terreno interceptada por la explanación de la carretera.

Tabla 7. Denominación de Carreteras por Condiciones Orográficas

Tipo de relieve	Máxima inclinación media
Llano	$i \leq 5$
Ondulado	$5 < i \leq 15$
Accidentado	$15 < i \leq 25$
Muy accidentado	$25 < i$

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013a)

2.4 Suelo.

Para propósitos de ingeniería, el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se utiliza como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y con cimientos estructurales. Por lo tanto, los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como el origen, la distribución de tamaño de grano, la capacidad de drenar el agua, compresión, resistencia al corte y la capacidad de soporte de carga (Braja M. Das, 2015).

2.5 Topografía.

La topografía, que recientemente se ha denominado también geomática de manera alternativa, se ha definido tradicionalmente como la ciencia, el arte y la tecnología para encontrar o determinar las posiciones relativas de puntos situados por encima de la superficie de la Tierra, sobre dicha superficie y debajo de ella. Sin embargo, en un sentido más general, la topografía (geomática) se puede considerar como la disciplina que comprende todos los métodos para medir y recopilar información física acerca de la Tierra y nuestro medio ambiente, procesar esa información y difundir los diferentes productos resultantes a una amplia variedad de clientes (Wolf & Ghilani, 2016).

2.5.1 Levantamiento topográfico.

Los levantamientos topográficos pueden ser terrestres, aéreos y por satélite son la más amplia clasificación usada en algunas ocasiones. Los levantamientos terrestres utilizan medidas realizadas con equipo terrestre tales como niveles automáticos e instrumentos de estación total. Los levantamientos aéreos pueden lograrse ya sea utilizando la fotogrametría o a través de percepción remota. La fotogrametría usa cámaras que se montan en los aviones o drones para obtener imágenes, en tanto que el sistema de percepción remota emplea cámaras y otros tipos de sensores que pueden transportarse tanto en avión como en satélites (Wolf & Ghilani, 2016).

2.5.2 Estudio topográfico con Fotogrametría.

El sistema aerotransportado de cartografía con láser llamados LiDAR (Light Detection and Ranging), se llevan en vehículos de aerotransporte, consisten en un dispositivo de escaneado con láser, un sistema de navegación por inercia, un receptor GNSS y una computadora. A medida que la aeronave vuela a lo largo de su trayectoria, se transmiten pulsos de láser hacia el terreno debajo, que se reflejan desde el terreno o desde otros objetos, y que posteriormente se detectan instantáneamente. A partir de estos pulsos, se determinan las distancias y los ángulos a los objetos reflejantes. En forma concurrente, el dispositivo de navegación por inercia

registra los ángulos de posición en vuelo de la aeronave (cabeceo, guiñada y balanceo), y el receptor GNSS determina las posiciones X, Y y Z del detector. La computadora procesa toda esta información para determinar los desplazamientos vectoriales (distancias y direcciones) desde posiciones conocidas en el aire, a posiciones desconocidas en el terreno, y como resultado tiene la capacidad de calcular las posiciones X, Y y Z de los puntos en tierra. El transmisor láser puede generar pulsos a una velocidad muy alta, es decir, miles por segundo, de modo que puedan determinarse las coordenadas de un patrón denso de puntos en tierra. No solamente se determinan las posiciones de los puntos en tierra, sino que también se genera una imagen del terreno (Wolf & Ghilani, 2016).

2.5.3 Software Agisoft Metashape.

Agisoft Metashape es una solución de software de vanguardia, cuyo motor se desarrolla continuamente para implementar los últimos avances científicos en el campo de la fotogrametría. El software permite procesar imágenes de cámaras, en información espacial de alto valor en forma de nubes de puntos fotogramétricos, modelos poligonales texturizados, ortomosaicos verdaderos georreferenciados y DSM/DTM. Las imágenes se pueden coprocesar con puntos LiDAR para aprovechar las ventajas de ambas fuentes de datos. El posprocesamiento adicional permite eliminar sombras y artefactos de textura de los modelos, calcular índices de vegetación y extraer información para mapas de acción de equipos agrícolas, clasificar automáticamente nubes de puntos densas, etc. (Agisoft, 2024).

2.6 Normativa Técnica.

La institución encargada de la normativa técnica vial en el Ecuador es el Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP, además existe el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, el cual establece normativas generales.

Para diseño vial, en Ecuador existen la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras (2003) y la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP (2013), ambas publicadas por el MTOP.

Como complemento a las normas nacionales, se utilizan guías internacionales de diseño de la AASHTO, ASTM, o normativas de países vecinos que puedan ser aplicables al proyecto de estudio.

2.7 Geotecnia.

La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra (Braja M. Das, 2015).

2.8 Estudio Geotécnicos.

2.8.1 Análisis mecánico de suelo (Ensayos de granulometría).

El análisis mecánico es la determinación de la gama de tamaños de partículas presentes en un suelo, expresados como un porcentaje del peso seco total (o masa). Generalmente se utilizan dos métodos para encontrar la distribución de tamaño de partícula de suelo: (1) análisis de tamiz para tamaños de partículas mayores de 0.075 mm de diámetro, y (2) análisis de hidrómetro para tamaños de partículas más pequeñas que 0.075 mm de diámetro (Braja M. Das, 2015).

El análisis de tamiz consiste en agitar la muestra de suelo a través de un conjunto de tamices que tienen aberturas más pequeñas progresivamente. Los números estándar de tamiz y los tamaños de las aberturas se dan en la Tabla 8.

Tabla 8. *Tamaños estándar de tamices*

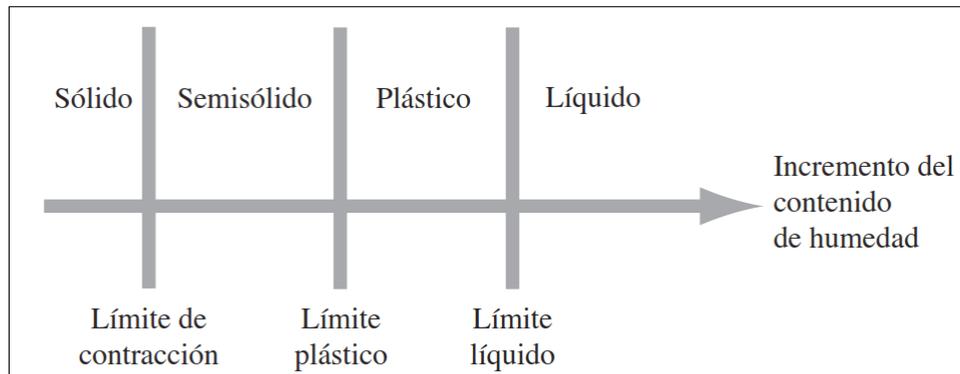
Tamiz núm.	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Nota. Tomado de (Braja M. Das, 2015)

2.8.2 Consistencia del suelo (Ensayos de plasticidad)

Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Por lo tanto, sobre una base arbitraria, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido, como se muestra en la Ilustración 3. El contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que se lleva a cabo la transición del estado sólido al estado semisólido se define como el límite de contracción. El contenido de humedad en el punto de transición del estado semisólido al estado plástico es el límite plástico, y del estado plástico al estado líquido es el límite líquido. Estos límites son también conocidos como límites de Atterberg (Braja M. Das, 2015).

Ilustración 3. Límites de Atterberg



Nota. Tomado de (Braja M. Das, 2015)

2.8.3 Clasificación del suelo.

El sistema de clasificación AASHTO utilizado actualmente se muestra en la Tabla 9. Para clasificar un suelo de acuerdo con la Tabla 9, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por proceso de eliminación, el primer grupo de la izquierda en la que quepan los datos de prueba es la clasificación correcta.

Tabla 9. Clasificación de materiales de carreteras subrasantes.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
<i>Grupo de clasificación</i>	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
<i>Grupo de clasificación</i>		A-4		A-5		A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10							
Núm. 40							
Núm. 200		36 mín.		36 mín.		36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido		40 máx.		41 mín.		40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad		10 máx.		10 máx.		11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes			Suelos limosos			Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo						
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$							
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$							

Nota. Tomado de (Braja M. Das, 2015)

2.8.4 Compactación (Ensayos de Proctor Modificado).

La compactación es la consolidación del suelo por la eliminación de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso

unitario seco. Cuando se añade agua a la tierra durante la compactación, ésta actúa como agente suavizante sobre las partículas del suelo. Éstas se deslizan una sobre la otra y se mueven en una posición densamente empaquetadas (Braja M. Das, 2015).

La prueba Proctor Modificada fue creada con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación en campo, para representar mejor las condiciones de campo. Esto se refiere a veces como la prueba Proctor modificada. Para la realización de la prueba Proctor modificada se utiliza un molde con un volumen de 943.3 cm^3 , el suelo es compactado en cinco capas por un martillo que pesa 44.5 N (masa = 4.536 kg) y tiene una caída de 457.2 mm . (Braja M. Das, 2015).

El objetivo de esta prueba es obtener la curva de porcentaje de humedad vs. peso unitario seco, a través de la cual se obtienen la humedad óptima de compactación

2.8.5 Ensayo de CBR (Californian Bering Ratio).

En el ensayo se determina como parámetro mecánico el CBR, el cual es utilizado ampliamente en el diseño de pavimentos flexibles. Puede ser determinado in situ o en laboratorio. El CBR mide de manera indirecta en el suelo una resistencia al corte (penetración) y/o una rigidez (esta última propiedad a través de la relación entre una carga y el desplazamiento). En el laboratorio, este ensayo se realiza sobre muestras inalteradas de suelo de subrasante o sobre suelos compactados previamente en un molde (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

2.9 Estructura del Pavimento.

Las estructuras de pavimento están conformadas por una capa superficial ligada o tratada con algún cementante asfáltico o hidráulico, apoyada sobre capas compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (base, subbase y/o subrasante mejorada), las cuales a su vez se apoyan sobre la subrasante o terreno natural de cimentación. Dentro del pavimento, las capas granulares conforman la parte más voluminosa de la estructura, tienen como función principal ayudar a soportar los esfuerzos que transmiten las cargas vehiculares y distribuirlos a la

subrasante en magnitudes que sean tolerables por esta. A su vez, estas capas controlan en gran parte las deformaciones elastoplásticas asociadas con los fenómenos de fatiga y ahuellamiento en las mezclas asfálticas, ayudan a controlar el flujo de agua hacia la subrasante y facilitan los procesos constructivos (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

El tipo de superficie de rodadura que se adopte depende en gran parte de la velocidad de diseño escogida, de la cual dependen varias características del diseño general, teniendo en cuenta que las superficies lisas, planas e indeformables favorecen altas velocidades de operación por parte de los conductores (MOP, 2003).

2.9.1 Pavimento flexible.

Los pavimentos flexibles son aquellos que tienen una capa de rodadura formada por una mezcla bituminosa de asfalto altamente resistente a los ácidos, álcalis y sales (NEVI-12-MTOP, 2013a).

Las estructuras de pavimento del tipo flexible pueden ser definidas como estructuras viales conformadas por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (base, subbase, afirmado y en algunos casos subrasante mejorada o material de conformación), que a su vez se soportan sobre el terreno natural o subrasante.

2.9.1.1 Base granular.

La base granular es la capa de la estructura de pavimento que por lo general subyace a la carpeta asfáltica en un pavimento flexible, a la losa de concreto en uno de tipo rígido y a la capa estabilizada con cementante hidráulico en uno semirrígido. Esta capa está compuesta por materiales granulares no tratados colocados sobre la subbase. En algunas ocasiones esta capa puede ser construida directamente sobre la subrasante cuando esta presenta buen comportamiento mecánico. La función principal de esta capa en pavimentos flexibles es

transmitir las cargas impuestas por el tránsito con intensidades adecuadas a las capas subyacentes (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

2.9.1.2 Subbase granular.

La subbase granular es la capa de la estructura de pavimento que subyace a la base granular, compuesta por materiales granulares no tratados colocados generalmente sobre la subrasante, la subrasante mejorada, el afirmado o el terraplén. Al igual que la capa de base, la subbase presenta como función principal, en pavimentos flexibles, transmitir a la subrasante los esfuerzos que el tránsito impone en magnitudes moderadas y tolerables por esta. También contribuye al drenaje y facilita los procesos constructivos. En algunas ocasiones sirve para contrarrestar los cambios volumétricos producidos por subrasantes de material expansivo. Por estar conformada por agregados pétreos de menor costo que aquellos utilizados para base granular, cumple una función económica (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

2.9.1.3 Carpeta Asfáltica.

La carpeta asfáltica está compuesta por varias capas de mezcla asfáltica, las cuales a su vez se componen de materiales granulares (agregado pétreo) seleccionados, ligados con un material asfáltico o asfalto. Esta mezcla está conformada por agregados pétreos con granulometría y requisitos mínimos de calidad diferentes. Asimismo, presentan diferencias en cuanto a su función dentro de la estructura del pavimento y al tipo de material asfáltico o ligante que utilizan (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

2.10 Diseño de Pavimento Flexible.

La institución encargada de realizar la guía para estructura de pavimento tanto rígidos como flexibles es la AASHTO 1993, permitiéndonos conocer los procedimientos necesarios; así como las variables para el diseño de este pavimento. Mediante el diseño de pavimento flexible se obtiene el SN (número estructural) el cual nos sirve para conocer la resistencia que debe tener el pavimento, teniendo en cuenta su capacidad, el tráfico futuro y la pérdida de

serviciabilidad; mediante los cuales se obtendrá los espesores de cada capa que conforman la estructura del pavimento.

2.10.1 Confiabilidad (R).

Este elemento es uno de los más importantes ya que nos permite determinar los espesores de las capas mediante el método AASHTO, permitiendo así que la estructura prevalezca durante los años para los cuales se realiza el diseño. El factor de confiabilidad depende del tipo de vía que se diseñará y su ubicación según la Tabla 10.

Tabla 10. *Confiabilidad (R)*

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad, R [%]	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectoras	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Locales	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Nota. AASHTO, 1993 como citó en (Higuera Sandoval, 2012)

2.10.1.1 Desviación estándar.

Para el diseño y dimensionamiento del espesor de las capas del pavimento flexible, R es traducido a valores del fractil de la ley normal centrada (Z_r) (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

Tabla 11. *Desviación Normal estándar, Z_r .*

Confiabilidad, %	Desviación normal estándar, Z_r
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
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Nota. AASHTO, 1993 como citó en (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

2.10.2 Error normal combinado, (S_o).

La AASHTO recomienda valores típicos en función de los estudios de campo que realizaron en las carreteras de prueba. Si existieron errores o no en la estimación del tránsito, teniendo en cuenta la desviación normal estándar, las propiedades de los materiales, propiedades de la subrasante, variación en la estimación de tránsito, variaciones en las condiciones climáticas, entre otras (García Ramírez & Russo Morantes, 2020).

Tabla 12. *Error Normal Combinado, S_o*

Proyecto de Pavimento	S_o	
	Flexible	Rígido
	0.40 0.50	0.30 -0.40
Construcción Nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.5	0.4

Nota. AASHTO, 1993 como citó en (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

2.10.3 Serviciabilidad (P).

Es la encargada de la calidad del servicio de pavimento a lo largo de la vía útil, la cual consta de serviciabilidad inicial y final para cada tipo de pavimento e importancia de la vía, con la finalidad de obtener el índice de serviciabilidad (ΔPSI).

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

Ec. 14

Tabla 13. Serviciabilidad Inicial (Po)

Tipo de vía	Serviciabilidad Inicial, Po
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Nota. AASHTO 93 como se citó (Higuera Sandoval, 2012)

Tabla 14. Serviciabilidad Final (Pf)

Tipo de vía	Serviciabilidad Final, Pf
Autopista	2.5 - 3.0
Carreteras	2.0 - 2.5
Zonas industriales	
Pavimento urbano principal	1.5 - 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 - 2.0

Nota. (AASHTO, 1993 como citó en (Higuera Sandoval, 2012)

2.10.4 Módulo Resiliente.

Es la encargada de medir las propiedades elásticas del suelo de la subrasante en relación con el CBR por el método de la AASHTO 93, esto nos permitirá estimar los espesores adecuados de las capas de la estructura del pavimento.

Tabla 15. Módulo Resiliente

MR =	1500*CBR	CBR < 10%
MR =	3000*CBR ^{0.65}	10 % < CBR < 20%
MR =	4326*LN(CBR)+241	Suelos granulares

Nota. Es el módulo de Resiliencia para la subrasante extraído de (AASHTO, 1993)

2.10.5 Número Estructural.

Los espesores de cada una de las capas (D_i , en pulgadas) que componen la estructura del pavimento flexible se determinan a través de las ecuaciones 15, 16 y 17.

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

Ec. 15

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} \quad \text{Ec. 16}$$

$$D_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 * m_3} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

SN = Número estructural

a_1 = Coeficiente estructural del asfalto.

a_2 = Coeficiente estructural de la Base granular.

a_3 = Coeficiente estructural de la Subbase.

D_n = Espesor de cada una de las capas

m_i = Coeficiente de drenaje

Para la obtención de los espesores para un pavimento flexible es importante tener en cuenta los espesores mínimos de cada una de las capas los cuales se representarán en la Tabla 16.

Tabla 16. *Espesores mínimos de las capas.*

W₁₈	Capa asfáltica [in]	Capa asfáltica [cm]	Base Granular [cm]	Base Granular [cm]
50000 <	1	2.5	4	10
150000 <	2	5	4	10
500000 <	2.5	6.5	4	10
2000000 <	3	7.5	6	15
7000000 <	3.5	9	6	15
> 7000000	4	10	6	15

Nota. AASHTO, 1993 como citó en (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 + a_3 * D_3 \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

SN = Número estructural

a_1 = Coeficiente estructural del asfalto.

a_2 = Coeficiente estructural de la Base granular.

a_3 = Coeficiente estructural de la Subbase.

D_n = Espesor de cada una de las capas

2.10.6 Determinación de números estructurales.

Según recomienda la (MOP, 2002) el CBR debe ser mayor o igual al 30% para la subbase; en base a ello accedemos a los ábacos que se encuentran en la normativa AASHTO para determinar el coeficiente estructural y el módulo resiliente. Para la base la (MOP, 2002) recomienda usar un CBR mayor o igual al 80%.

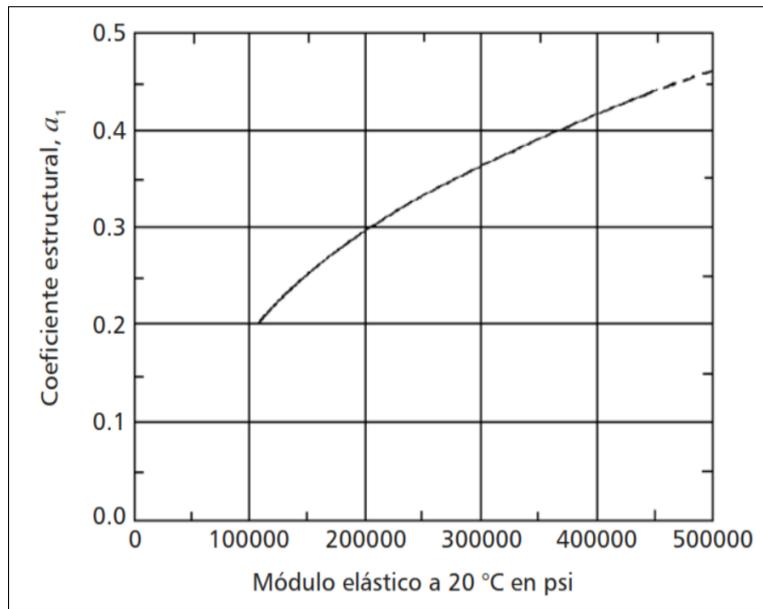
El módulo resiliente, el coeficiente estructural y el módulo elástico para cada capa se toma de la Tabla 17 en función de la temperatura:

Tabla 17. Valores máximos recomendados de módulos de elasticidad (E).

Capa	T [°C]	f [Hz]	v [km/h]	E [Mpa]
Rodadura	10	2.5	15 -25	7000
		5	35 - 45	4500
		10	70 - 80	9500
	15	2.5	15 -25	5000
		4	35 - 45	6000
		10	70 - 80	7200
	20	2.5	15 -25	3000
		5	35 - 45	4000
		10	70 - 80	5000
	25	2.5	15 -25	2200
		5	35 - 45	2700
		10	70 - 80	3500
	30	2.5	15 -25	1200
		5	35 - 45	1600
		10	70 - 80	2000

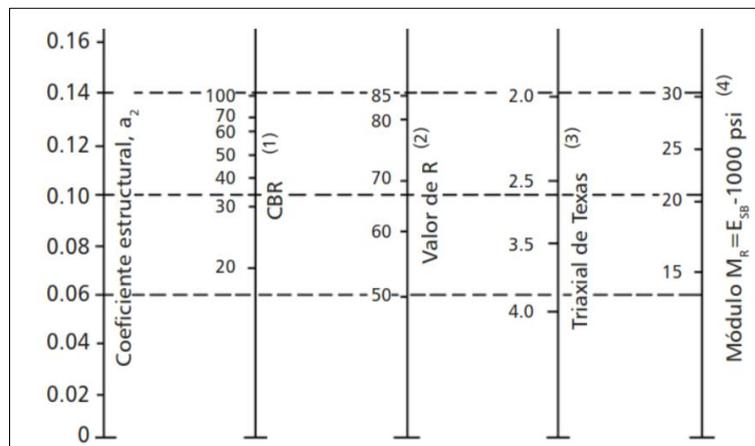
Nota. Tomado de (AASHTO, 1993)

Ilustración 4. Coeficiente estructural, para mezcla de concreto asfáltico.



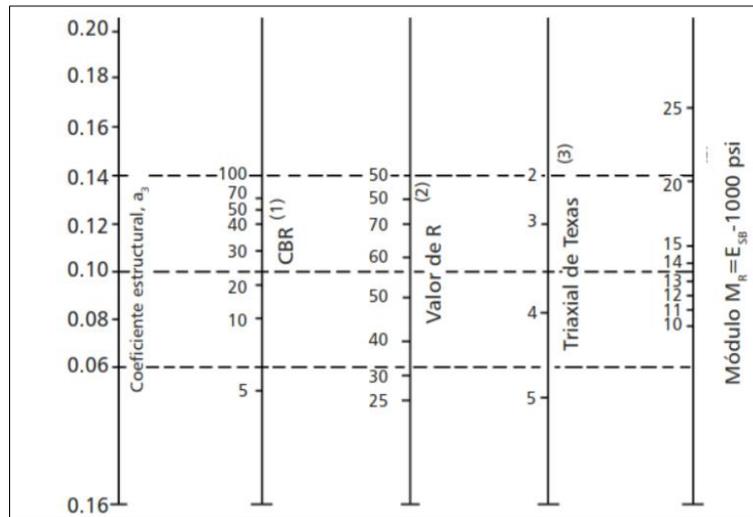
Nota. Abaco para la obtención del a_1 con relación al módulo elástico. Tomado de (AASHTO, 1993)

Ilustración 5. Coeficiente estructural y Módulo de resiliencia, para base granular no tratada



Nota. Tomado de (AASHTO, 1993)

Ilustración 6. Coeficiente, estructural y módulo de resiliencia para subbase granular no tratada.



Nota. Tomado de (AASHTO, 1993)

2.10.7 Características de drenaje.

Es importante tener en cuenta la calidad del drenaje para la utilización de un pavimento; así como, también las recomendaciones de la (AASHTO 1993) de la cual se puede tomar los siguientes datos:

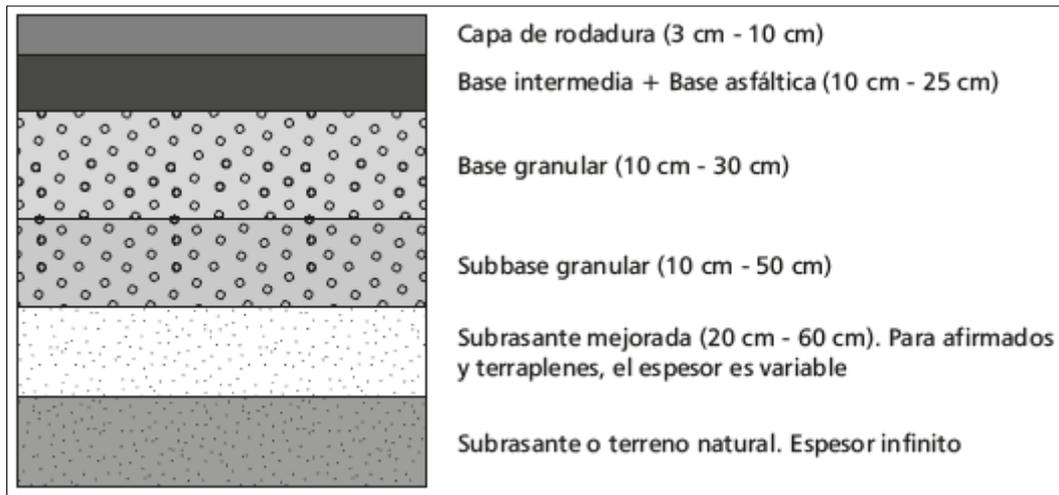
Tabla 18. Calidad del drenaje según la exposición a la humedad.

Características del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	Mas de 25 %
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.3 - 1.2	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1 - 0.8	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.8	0.8 - 0.6	0.60
Muy malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.4	0.40

Nota. Tomado de (AASHTO, 1993)

2.10.8 Diseño Estructural.

Ilustración 7. Perfil típico de una estructura de pavimento flexible.



Nota. Esta ilustración representa los espesores máximos y mínimos de las capas que conforman la estructura de pavimento. Tomado de (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

Para la obtención del W_{18} , plasmada mediante más importantes es el factor camión ya que es el encargado de transformar los pesos de los ejes de los vehículos a un eje equivalente de 8.2 toneladas que circulan en el carril y periodo de diseño, es decir este método se aplica a carreteras con más de 50.000 vehículos equivalente con carga de 8.2 toneladas según lo menciona la AASHTO 1993; permitiendo la obtención de los números estructurales de cada capa SN_1 , SN_2 y SN_3 de la base, subbase y subrasante respectivamente plasmada mediante la ecuación 20 (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

$$\log(W_{18}) = \log(W_{18}) \quad \text{Ec. 19}$$

$$\log(W_{18}) = Z_r S_o + 9,36 \log(SN_i + 1) - 0,20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_{i+1})^{5.19}}\right)} \right] + 2.32 \log(M_r) - 8.07$$

Ec. 20

Donde:

W_{18} = Número estimada de ejes simples equivalente de 8.2 toneladas.

Z_r = Desviación estándar normal.

S_o = Error estándar combinado de la predicción del tránsito y la predicción del comportamiento.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de serviciabilidad.

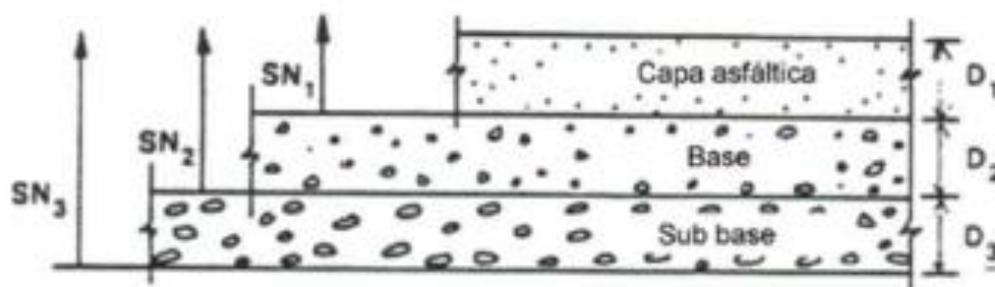
M_r = Módulo resiliente.

SN = Número estructural.

2.10.9 Análisis de espesores.

Para la determinación de los espesores de cada capa se debe calcular el número estructural (SN) de cada capa por separado, posterior a ello se determina los espesores máximos permitidos relacionando la diferencia entre SN calculado y el SN actual; las cuales deben cumplir con las condiciones establecidas en la Ilustración 8.

Ilustración 8. *Capas de pavimento flexible.*



Nota. Espesor de cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento. Tomado de (AASHTO, 1993)

2.11 Señalización Vertical.

Las señales de tránsito se utilizan para ayudar al movimiento seguro y ordenado del tránsito de peatones y vehículos. Contienen instrucciones las cuales deben ser obedecidas por los usuarios de las vías, previenen de peligros que pueden no ser muy evidentes o, información acerca de rutas, direcciones, destinos y puntos de interés; los medios empleados para transmitir información, constan de la combinación de un mensaje, una forma y un color. El mensaje de la señal de tránsito puede ser una leyenda, un símbolo o un conjunto de los dos (INEN, 2011a).

La señalización vertical de una vía se clasifica de la siguiente manera:

- Señales regulatorias (Código R). Regulan el movimiento del tránsito e indican cuando se aplica un requerimiento legal, la falta del cumplimiento de sus instrucciones constituye una infracción de tránsito.
- Señales preventivas (Código P). Advierten a los usuarios de las vías, sobre condiciones inesperadas o peligrosas en la vía o sectores adyacentes a la misma.
- Señales de información (Código I). Informan a los usuarios de la vía de las direcciones, distancias, destinos, rutas, ubicación de servicios y puntos de interés turístico.
- Señales especiales delimitadoras (Código D). Delinean al tránsito que se aproxima a un lugar con cambio brusco (ancho, altura y dirección) de la vía, o la presencia de una obstrucción en la misma.
- Señales para trabajos en la vía y propósitos especiales (Código T). Advierten, informan y guían a los usuarios viales a transitar con seguridad sitios de trabajos en las vías y aceras además para alertar sobre otras condiciones temporales y peligrosas que podrían causar daños a los usuarios viales (INEN, 2011a).

La normativa establece disposiciones específicas para la señalización vertical, que incluyen:

- Codificación de señales.
- Uniformidad de aplicación, es esencial que condiciones viales similares, sean tratadas siempre con el mismo tipo de señal, de modo que los usuarios de las vías puedan anticipar el curso de acción requerido.
- Uniformidad de diseño, esta facilita la identificación por parte del usuario vial. Por lo que se estandariza el uso de la forma, color y mensaje, de tal manera que las varias clases de señales sean reconocidas con rapidez. Deben cumplir las siguientes características:

- forma
 - color
 - tipo de letra
 - distancia de legibilidad, estas distancias se indican en la Tabla 19.
- Uniformidad de ubicación. Las señales se deben instalar en el lado derecho de las vías salvo en circunstancias especiales pueden duplicarse al lado izquierdo o colocarse elevadas sobre la calzada. Hay que tomar precauciones cuando se instalan señales, para asegurar que estas no se obstruyen unas a otras o que su visibilidad sea reducida, especialmente en intersecciones. Si la señal se ubica en una posición expuesta a impactos, es necesario considerar el uso de un tipo de construcción flexible de amortiguamiento contra golpes u otros medios de protección de seguridad para el usuario de la vía.
 - Retroreflectividad, las señales deben ser retroreflectivas o iluminadas, de modo que puedan verse sus colores y forma, tanto en la noche como en el día. Puede requerirse iluminación cuando la retro reflectividad se considera inefectiva; por ejemplo, en señales aéreas. La retroreflectividad, también puede ser inefectiva en algunas áreas con alumbrado público de alta intensidad (INEN, 2011a).

Tabla 19. *Distancias de legibilidad*

SERIE DE LETRAS	DISTANCIA DE LEGIBILIDAD EN METROS POR 10 mm DE TAMAÑO DE LETRA
C	5 m
D	6 m
E	7 m
E modificada	7,5 m*

Nota. Tomado de (INEN, 2011a)

2.11.1 Señales regulatorias.

Las señales regulatorias informan a los usuarios de las vías las prioridades en el uso de estas, así como las prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones existentes, cuyo incumplimiento constituye una infracción a la Ley y Reglamento de tránsito. Las disposiciones regulatorias pueden aplicarse por tramos considerables de la vía y pueden requerirse señales repetidas. Sin embargo, deben evitarse señales innecesarias (INEN, 2011a).

2.11.1.1 Clasificación de señales regulatorias.

Las señales regulatorias se clasifican en:

- R1 Serie de prioridad de paso
- R2 Serie de movimiento y dirección
- R3 Serie de restricción de circulación
- R4 Serie de límites máximos
- R5 Series de estacionamientos
- R6 Serie de Placas complementarias
- R7 Serie miscelánea

2.11.2 Señales preventivas.

Se utilizan para alertar a los conductores de peligros potenciales que se encuentran más adelante. Estas señales, indican la necesidad de tomar precauciones especiales y requieren de una reducción en la velocidad de circulación o de realizar alguna otra maniobra. Se instalan a una distancia mínima de 100 m en vías urbanas y a 150 m en vías rurales (carreteras) antes del peligro. El uso apropiado de las señales preventivas ayuda a mejorar de gran manera a la seguridad vial. Sin embargo, para que sean muy efectivas, su uso debe ser necesario; caso contrario, el uso frecuente para prevenir condiciones que son fácilmente aparentes, tienden a minimizar la efectividad de estas (INEN, 2011a).

2.11.2.1 Clasificación de señales preventivas.

Las señales preventivas se clasifican en los siguientes grupos o series:

- P1 Serie de alineamiento
- P2 Serie de intersecciones y empalmes
- P3 Serie de aproximación a dispositivos de control de tránsito
- P4 Serie de anchos, alturas largos y pesos
- P5 Serie de asignación de carriles
- P6 Serie de obstáculos y situaciones especiales en la vía
- P7 Serie peatonal
- P8 Serie complementaria

2.11.3 Ubicación Longitudinal.

En lo que se refiere a la separación que debe respetarse entre cada tipo de señal, en el sentido longitudinal, es decir, paralelo al eje de la vía, la Tabla 20 entrega distancias mínimas de separación entre diferentes tipos de señales, con la finalidad que el conductor del vehículo cuente con el tiempo suficiente para efectuar las maniobras adecuadas. Así, de acuerdo con la precedencia de cada tipo de señal, reglamentaria, preventivas o informativa, se definen dos longitudes mínimas. Una de ellas, la mínima absoluta, corresponde a la distancia mínima de separación, que no debe ser sobrepasada y que se utiliza en condiciones de restricción de espacio. En cambio, para una situación no restrictiva, se dará preferencia a la distancia mínima recomendada. Distancias menores a la mínima absoluta, motivadas por condiciones particulares de la vía, deberán ser justificadas técnicamente (NEVI-12-MTOP, 2013c).

Tabla 20. *Distancia mínima entre señales verticales*

Distancia según Precedencia (m)	Velocidad (km/h)							
	120 - 110		100 - 90		80 - 60		50 - 30	
	Mínima Absoluta	Mínima Recomendada	Mínima Absoluta	Mínima Recomendada	Mínima Absoluta	Mínima Recomendada	Mínima Absoluta	Mínima Recomendada
Regulatoria o Preventiva → Regulatoria o Preventiva	50	80	50	65	30	50	20	30
Regulatoria o Preventiva → Informativa	90	120	80	105	60	80	40	50
Informativa → Regulatoria o Preventiva	60	90	50	75	40	60	30	40
Informativa → Informativa	110	140	90	115	70	90	50	60

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013c)

2.11.4 Ubicación Lateral.

La ubicación lateral de una señal vertical, dependerá a la distancia, medida desde el borde de la calzada, a la cual será instalada. Para esto, es importante tener presente que el conductor de un vehículo tiene una visibilidad en la forma de un cono de proyección, el que se abre en un ángulo de alrededor de 10° con respecto a su eje visual. Por lo tanto, se deberá asegurar que la señal quedará instalada en esa zona.

Por otro lado, junto con lo anterior, se debe cuidar de no separar demasiado la señal de la calzada, ya que resulta fundamental considerar el efecto de retroreflectividad. No obstante, lo anterior, en ninguna circunstancia se podrá instalar una señal sobre la berma cuidando, además, que el borde de la placa más cercano a la calzada, no invada la zona correspondiente a ésta. Con respecto a la altura de la placa de la señal, se deben conjugar variados factores, como son retroreflectividad, tránsito de peatones, vegetación, obstáculos cercanos, etc.

Para una mejor interpretación de la ubicación lateral de una señal vertical, tanto en distancia desde la calzada como en altura, se incluye la Tabla 21

Tabla 21. *Ubicación transversal de señales verticales (distancia y altura)*

I. ZONAS RURALES				
TIPO DE CAMINO		A(m)	H(m)	
		Mínimo	Mínimo	Máximo
Vías rurales	Sin Bordillo	2,0	1,50	2,0
	Con Bordillo	0,6		
II. ZONAS URBANAS				
Vías Urbanas	Sin Bordillo	2,0	2,0	2,2
	Con Bordillo	0,3		

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013c)

Donde:

A = Distancia medida desde el borde exterior de la calzada, hasta el canto inferior de la señal vertical

H = Distancia entre la rasante, a nivel del borde exterior de la calzada y el canto o tangente al punto inferior de la señal

2.12 Señalización Horizontal.

La señalización horizontal se emplea para regular la circulación, advertir o guiar a los usuarios de la vía, por lo que constituyen un elemento indispensable para la seguridad y la gestión de tránsito. Pueden utilizarse solas y/o junto a otros dispositivos de señalización. En algunas situaciones, son el único y/o más eficaz dispositivo para comunicar instrucciones a los conductores (INEN, 2011b).

La señalización horizontal de una vía se clasifica de la siguiente manera:

- Líneas longitudinales. Se emplean para determinar carriles y calzadas; para indicar zonas con o sin prohibición de adelantar; zonas con prohibición de estacionar; y, para carriles de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos.

- Líneas Transversales. Se emplean fundamentalmente en cruces para indicar el lugar antes del cual los vehículos deben detenerse y para señalar sendas destinadas al cruce de peatones o de bicicletas.
- Símbolos y Leyendas. Se emplean tanto para guiar y advertir al usuario como para regular la circulación. Se incluye en este tipo de señalización, FLECHAS, TRIÁNGULOS CEDA EL PASO y leyendas tales como PARE, BUS, CARRIL EXCLUSIVO, SOLO TROLE, TAXIS, PARADA BUS, entre otros.
- Otras señalizaciones (INEN, 2011b)

Las características bajas de la señalización horizontal son el mensaje, la ubicación, las dimensiones, retrorreflexión, color, contraste, resistencia al deslizamiento.

2.12.1 Líneas longitudinales.

Las 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, por ejemplo, carriles exclusivos de bicicletas o buses; y, para advertir la aproximación a un cruce cebra (INEN, 2011b). El ancho mínimo de una línea es de 100 mm y máximo de 150 mm.

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

- a. Líneas amarillas definen: Separación de tráfico viajando en direcciones opuestas, restricciones, borde izquierdo de la vía (en caso de tener parterre)
- b. Líneas blancas definen: La separación de flujos de tráfico en la misma dirección, borde derecho de la vía (Berma), zonas de estacionamiento, proximidad a un cruce cebra (INEN, 2011b).

2.12.2 Líneas de separación de flujos opuestos.

Serán siempre de color amarillo y se utilizan en calzadas bidireccionales para indicar donde se separan los flujos de circulación opuestos. Se ubican generalmente en el centro de dichas calzadas; sin embargo, cuando la asignación de carriles para cada sentido de circulación es desigual, dicha ubicación no coincide con el eje central. Cuando existen juntas de construcción en la calzada, es conveniente desplazar levemente estas líneas para asegurar una mayor duración de estas. El ancho de estas señalizaciones varía según el tipo de línea y la velocidad máxima permitida en la vía, como se detalla en la Tabla 22 (INEN, 2011b).

Tabla 22. *Relación señalización línea de separación de circulación opuesta segmentada*

Velocidad máxima de la vía (km /h)	Ancho de la línea (mm)	Patrón (m)	Relación señalización brecha
Menor o igual a 50	100	12,00	3 - 9
Mayor a 50	150	12,00	3 - 9

Nota. Tomado de (INEN, 2011b)

Dada la importancia de esta línea en la seguridad del tránsito, ella debe señalizarse siempre y cuando se cumpla los siguientes requisitos:

- a. en vías rurales con ancho de calzada mínima de 5,60 m y con un TPDA de 300 vehículos o más.
- b. en vías urbanas con un ancho de calzada mínima de 6,80 m, siempre que exista prohibiciones de estacionamiento laterales y con un TPDA de 1500 vehículos o más.

Para aumentar su eficacia, cuando las condiciones geométricas y/o climáticas de la vía en un sector determinado sean desfavorables, las líneas de separación de flujos opuestos deben ser reforzadas con señalización complementaria como tachas, encauzadores etc. Las líneas de separación de flujos opuestos pueden ser: simples o dobles; y, además pueden ser continuas, segmentadas o mixtas.

2.12.3 Líneas de borde de calzada.

Estas líneas 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 de éste. Cuando un conductor es encandilado por un vehículo que transita en el sentido contrario, estas señalizaciones son la única orientación con que aquél cuenta, por lo que son imprescindibles en carreteras, vías rurales y perimetrales. Se deben señalar los bordes de la calzada en vías rurales de menos de 5,60 m de ancho de calzada, donde resulta difícil conducir un vehículo sin invadir continuamente el carril de sentido de circulación contrario, se recomienda señalar solamente los bordes de calzada. Las líneas de borde de calzada son blancas y se ubican en el borde de la calzada, nunca fuera de ella (INEN, 2011b).

2.12.4 Retrorreflexión.

La Retroreflectividad corresponde a uno de los parámetros más importantes de una señal vertical, ya que ésta debe ser visualizada tanto de día como de noche. Así, en períodos nocturnos, la lámina retroreflectiva con que cuenta una señal, permite que tenga la propiedad de devolver parte de la luz a su fuente de origen, lo que se traduce en que los conductores al iluminarla con los focos del vehículo, puedan apreciarla con mayor claridad. Este fenómeno óptico se logra debido a la utilización de láminas retroreflectivas que forman parte de la señal, las que están compuestas de esferas de vidrio microscópicas o elementos prismáticos, encargados de reflejar una porción de la luz recibida a la fuente emisora (NEVI-12-MTOP, 2013c).

2.13 Estudio Hidrológico e Hidráulico

Los estudios hidrológicos relacionados con un proyecto vial tienen por objetivo definir las crecidas para el diseño de las obras de drenaje transversal y los caudales que deben evacuar las obras de drenaje y saneamiento de la plataforma. La estimación o selección de las crecidas de

diseño para una obra de infraestructura es un problema que requiere de conocimiento y experiencia (NEVI-12-MTOP, 2013b).

La metodología empírica propuesta para el cálculo de los caudales de obras menores es el método racional, que es el más utilizado a nivel mundial y consiste en una relación lineal entre el área de drenaje, la intensidad de la lluvia y un coeficiente de escorrentía que depende de las características del suelo, tipo, cobertura y del período de retorno seleccionado. La intensidad de la lluvia, es calculada a partir de las curvas IDF (intensidad duración frecuencia) de la región para un periodo de retorno determinado y un tiempo de concentración de la precipitación considerado (Aristizábal et al., 2012).

Los estudios hidráulicos permiten abordar el dimensionamiento y/o verificar el comportamiento hidráulico de obras tales como puentes, alcantarillas, fosos, canales, cunetas y en general obras de conducción de aguas que deban ser proyectadas o modificadas para el diseño del camino o carretera. Estos estudios también son necesarios para conocer el comportamiento de los cauces naturales que la obra vial debe salvar (NEVI-12-MTOP, 2013b).

2.13.1 Periodos de retorno.

En la elección del período de retorno, frecuencia o probabilidad a utilizar en el diseño de una obra es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla aceptable, dependiendo este último de factores económicos, sociales, ambientales, técnicos y otros. La confiabilidad del diseño, representada por la probabilidad que no falle la estructura durante el transcurso de su vida útil, considera el hecho que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante la vida útil, es decir no debe presentarse un evento de magnitud superior a la usada en el diseño durante el primer año de funcionamiento de la estructura, durante el segundo y así sucesivamente (NEVI-12-MTOP, 2013b). La probabilidad de falla o riesgo, en función de la vida útil se presenta en la Tabla 23.

Se considera que la zona o derechos de vía tienen una vida de 100 años (para los cálculos económicos); el pavimento, entre 10 y 30 años; los puentes, entre 25 y 100 años, y las estructuras de drenaje menores, de 50 años, siempre suponiendo un mantenimiento adecuado (NEVI-12-MTOP, 2013a).

Tabla 23. *Periodo de retorno y riesgo de falla según vida útil*

Riesgo (r,%)	Vida útil(n,años)			
	10	20	25	50
50	15	29	37	73
25	35	70	87	174
10	95	190	238	475
5	195	390	488	975
1	995	1.990	2.488	4.977

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013b)

Teniendo presente los conceptos antes analizados, así como la experiencia nacional e internacional se deberán emplear para el diseño de las diferentes obras de drenaje vial, como mínimo los períodos de retorno de diseño que se señalan en la Tabla 24.

Tabla 24. *Periodos de retorno para diseño*

Tipo de obra	Tipo de vía	Período de retorno (T,años)		Vida útil supuesta (n, años)	Riesgo de falla (%)	
		Diseño ⁽³⁾	Verificación ⁽⁴⁾		Diseño	Verificación
Puentes y viaductos ⁽¹⁾	Carreteras	200	300	50	22	15
	Caminos	100	150	50	40	28
Alcantarillas (S>2 m ²) ó H terraplén≥10 m y estructuras enterradas ⁽²⁾	Carreteras	100	150	50	40	28
	Caminos	50	100	30	45	26
Alcantarillas S < 2 m ²	Carreteras	50	100	50	64	40
	Caminos	25	50	30	71	45
Drenaje de la plataforma	Carreteras	10	25	10	65	34
	Caminos	5	10	5	67	41
Defensas de riberas	Carreteras	100	-	20	18	-
	Caminos	100	-	20	18	-

S = sección útil de la alcantarilla.-

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013b)

2.13.2 Caracterización de la cuenca de aporte.

Debe describirse en forma exacta la cuenca hidrográfica que se drenará para así poder establecer los efectos de las crecidas. Debe indicarse la superficie, gradiente, forma, relieve, tipo de vegetación y de terreno, el uso que se le está dando y los cambios que han sido hechos por el hombre, tales como embalses, ya que pueden alterar significativamente las características del flujo. (NEVI-12-MTOP, 2013b)

2.13.3 Tiempo de concentración.

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para el tiempo de concentración se han dado varias definiciones, entre ellas las más conocidas y utilizadas en nuestro medio son la de Clark y Kirpich (Vélez y Botero, 2011 como se citó en Aristizábal et al., 2012).

Se lo define también como el tiempo comprendido entre el final de la precipitación efectiva y el final de la escorrentía superficial directa, siendo este, el punto de inflexión del hidrograma después del caudal pico (Viessman y Lewis, 2003 como se citó en (Aristizábal et al., 2012).

La Tabla 25 es un resumen de las expresiones que se han propuesto para estimar el tiempo de concentración en cuencas. Por ser este tipo de expresiones producto de resultados empíricos, obtenidos bajo ciertas condiciones particulares, es necesario tener presente que debe juzgarse cualitativamente la factibilidad física del resultado entregado, previo a su aceptación. Como norma general, el tiempo de concentración no debe ser inferior a 10 minutos, salvo que se tengan mediciones en terreno que justifiquen adoptar valores menores. La Tabla 25 entrega expresiones válidas en cuencas propiamente tales donde el flujo escurre en una red de cauces o secciones bien definidas (NEVI-12-MTOP, 2013b).

Tabla 25. *Tiempos de concentración para cuencas (T_c)*

Autor	Expresión	Observaciones
Normas Españolas	$T_c = 18 L^{0,76}/S^{0,19}$	
California Culverts Practice (1942)	$T_c = 57 (L^3/H)^{0,385}$	Cuencas de montaña
Giandotti	$T_c = 60 ((4 A^{0,5}+1,5 L)/(0,8 Hm^{0,5}))$	Cuencas pequeñas con gradiente
Soil Conservation Service (1975)	$T_c = 258,7 L^{0,8} ((1000/CN)-9)^{0,7}/1900 S^{0,5}$	Cuencas rurales

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013b).

Donde:

T_c = tiempo de concentración [min]

L = longitud del cauce [km]

S = gradiente longitudinal [m/m]

A = área de la cuenca en [km²]

H_m = diferencia de nivel entre la cota media de la cuenca y la cota de salida [m]

H = Diferencia de nivel total entre cotas extremas de la cuenca [m]

CN = número de curva (Curve Number)

2.13.4 Curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF).

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia son una de las herramientas más importantes para el diseño hidrológico de caudales máximos, especialmente cuando se utilizan fórmulas empíricas y modelos lluvia escorrentía, como los hidrogramas unitarios y el método racional (Aristizábal et al., 2012).

Las curvas intensidad - duración - frecuencia de precipitaciones (IDF) son familias de curvas que en abscisas presentan la duración de la lluvia, en ordenadas la intensidad y en forma paramétrica el período de retorno o la probabilidad. Ellas son el resultado de un análisis

probabilístico de las lluvias máximas anuales de diferentes duraciones (NEVI-12-MTOP, 2013b).

Cuando existen datos pluviométricos en la zona de interés, puede estimarse la familia de curvas IDF siguiendo un procedimiento que considera la lluvia máxima diaria con 10 años de período de retorno, con la ecuación 21.

$$P_t^T = K * CD_t * CF_T * P_D^{10} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

P_t^T = Lluvia con período de retorno de T años y duración t horas.

P_D^{10} = Lluvia diaria (7AM a 7AM) con 10 años de período de retorno obtenida de una estación pluviométrica.

CD_t = coeficiente de duración para t horas.

CF_T = coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno.

K = coeficiente de corrección para la lluvia máxima P_D^{10} medida entre 7 AM y 7 AM respecto de las 24 horas más lluviosas de la tormenta.

En consecuencia, la lluvia con período de retorno T años y duración de t horas puede ser estimada como el producto de K veces la lluvia diaria con 10 años de período de retorno multiplicada por los coeficientes de duración y de frecuencia representativos de la zona de interés correspondientes a la duración y frecuencia seleccionada. Esta expresión es válida para lluvias de 1 a 24 horas de duración en la zona estudiada. La aplicación del método sólo requiere realizar un análisis de frecuencia de las lluvias diarias para calcular la lluvia máxima con 10 años de período de retorno y seleccionar los coeficientes de duración y de frecuencia que sean aplicables al lugar de interés (NEVI-12-MTOP, 2013b).

2.13.5 Método Racional para estimación de caudal.

Este método es utilizable en cuencas pequeñas menores a 25 km². Supone que el escurrimiento máximo generado por una tormenta es proporcional a la lluvia caída, supuesto que se cumple

en forma más rigurosa en cuencas mayoritariamente impermeables o en la medida en que la magnitud de la lluvia crece y el área aportante se satura. El caudal máximo para un determinado período de retorno se calcula mediante la ecuación 22 (NEVI-12-MTOP, 2013b).

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,60} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

Q = caudal [m³/s]

C = coeficiente de escorrentía, adimensional, ver Tabla 26

i = intensidad de la lluvia de diseño en [mm/hora]

A = área de aporte [km²]

La intensidad de la lluvia de diseño corresponde a aquella de duración igual al tiempo de concentración del área y de la frecuencia o período de retorno seleccionado para el diseño de la obra en cuestión.

Tabla 26. Coeficientes de escorrentía (C) para $T = 10$ años

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve	0,28-0,35 Escarpado con gradientes > 30%	0,20-0,28 Montañoso con gradientes entre 10% y 30%	0,14-0,20 Con cerros y gradientes entre 5% y 10%	0,08-0,14 Relativamente plano con gradientes < 5%
Infiltración	0,12-0,16 Suelo rocoso o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable	0,08-0,12 Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración, mal drenados	0,06-0,08 Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos	0,04-0,06 Suelos profundos de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración
Cobertura vegetal	0,12-0,16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura	0,08-0,12 Poca vegetación, terrenos cultivados o naturales, menos del 20% del área con buena cobertura vegetal	0,06-0,08 Regular a buena, 50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado	0,04-0,06 Buena a excelente, 90% del área con praderas, bosques o cobertura similar
Almacenamiento superficial	0,10-0,12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas	0,08-0,10 Bajo, sistema de cauces superficiales pequeños, bien definidos, sin zonas húmedas	0,06-0,08 Normal; posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos	0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos
Si $T > 10$ años multiplicar resultado de C por 1,10 (para 25 años), por 1,20 (para 50 años) y por 1,25 (para 100 años)				

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013b)

2.13.6 Drenaje Transversal (Alcantarillas)

Las alcantarillas son estructuras de cruce, que sirven para conducir agua de un canal o un dren, por debajo de un camino u otro canal. Generalmente, la alcantarilla disminuye la sección transversal del cauce de la corriente, ocasionando un represamiento del agua a su entrada y un aumento de su velocidad dentro del conducto y a la salida (Villón Béjar, 2005).

El drenaje transversal de la carretera se consigue mediante alcantarillas cuya función es proporcionar un medio para que el agua superficial que escurre por cauces naturales o artificiales de moderada importancia, en forma permanente o eventual, pueda atravesar bajo la plataforma de la carretera sin causar daños a ésta, riesgos al tránsito o a la propiedad adyacente (NEVI-12-MTOP, 2013b).

Se entiende por alcantarilla una estructura de drenaje cuya luz mayor, medida paralela al eje de la carretera sea de hasta 6 m. La alcantarilla debe ser capaz de soportar las cargas del tránsito en la carretera, el peso del terraplén sobre ella y las cargas durante la construcción (NEVI-12-MTOP, 2013b).

Las formas usuales de alcantarillas son: circulares, de cajón y múltiples. La alcantarilla circular es una de las más usadas y resiste en forma satisfactoria en la mayoría de los casos las cargas a que son sometidas. Existen distintos tipos de tubos circulares que se utilizan con este propósito. El diámetro para alcantarillas de caminos vecinales o de desarrollo deberá ser al menos 1,00 m si la longitud de la obra es mayor a 10 m. En las demás categorías de caminos y carreteras el diámetro mínimo será de 1,20 m (NEVI-12-MTOP, 2013b).

Las alcantarillas de cajón cuadradas o rectangulares pueden ser diseñadas para evacuar grandes caudales y pueden acomodarse con cambios de altura a distintas limitaciones que puedan existir, tales como alturas de terraplén o alturas permisibles de agua en la entrada. Como generalmente se construyen en el lugar deberá considerarse el tiempo de construcción al compararlas con las circulares prefabricadas (NEVI-12-MTOP, 2013b).

2.14 Drenaje de la Plataforma (Cunetas)

Las cunetas construidas a lado y lado de la vía, sirven para interceptar el agua superficial producto de la escorrentía sobre la misma y de los taludes de corte, conduciéndolas hasta el sitio de disposición. Las cunetas construidas sobre terraplén, tienen además la función de proteger los bordes de la berma y de la erosión en los taludes del terraplén, ocasionada por el agua lluvia (Pérez Carmona, 2013).

El objetivo del drenaje de la plataforma es mantener las pistas de tránsito libres de inundación para la probabilidad de la precipitación de diseño. Se debe realizar el análisis de los distintos tipos de obras necesarias para recoger y eliminar las aguas que se acumulan en la plataforma de la carretera, las que pueden provenir de aguas lluvias que caen directamente sobre la franja

de expropiación de la carretera, aguas superficiales que provienen de áreas vecinas fuera de la franja de expropiación, que no son interceptadas y llegan a la carretera, así como también aguas superficiales que llegan a la carretera en los cruces de caminos (NEVI-12-MTOP, 2013b). Los caudales de diseño para el drenaje de la plataforma se estimarán mediante el método racional, adoptándose un tiempo de concentración mínimo de 10 minutos y un período de retorno equivalente a 25 años. Se evitará la concentración de flujos extendidos a través de la plataforma, no permitiéndose, como regla general, flujos concentrados en la plataforma de más de 3 l/s (NEVI-12-MTOP, 2013b).

2.14.1 Pendiente y velocidad.

La gradiente longitudinal mínima sugerida para las cunetas revestidas será de 0,12% y de 0,25% en aquellas sin revestir. La capacidad hidráulica de las cunetas triangulares se puede calcular empleando la ecuación de Manning, expresada en la ecuación 23 (NEVI-12-MTOP, 2013b).

$$Q = \frac{1}{n} \Omega R^{2/3} i^{1/2} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

Q = Gasto [m³/s]

n = Coeficiente de rugosidad de Manning [adimensional]

Ω = Área de la sección [m²]

i = Gradiente longitudinal [m/m]

La velocidad de las aguas deberá limitarse para evitar la erosión, sin reducirla tanto que pueda dar lugar a depósito o sedimentación. La velocidad mínima aconsejable es de 0,25 m/s, siendo las velocidades máximas admisibles las que se indican en la Tabla 27.

Tabla 27. Velocidades máximas admisibles en canales y cunetas revestidas

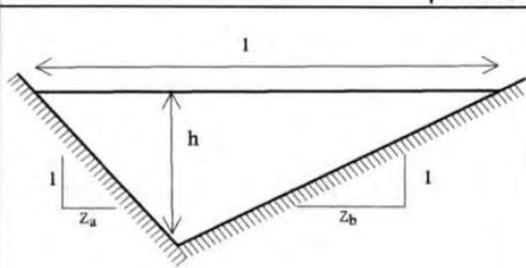
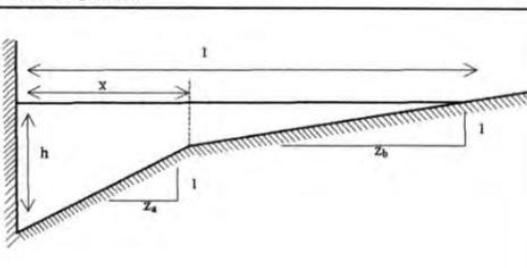
Tipo de revestimiento	Velocidad máxima admisible, m/s
Mezclas asfálticas en sitio y tratamientos superficiales	3,00
Mampostería de piedra	4,50
Hormigón asfáltico o de cemento portland	4,50

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013b).

2.14.2 Forma de la sección.

La forma de la sección típica para cunetas laterales es la sección triangular, esta sección se detalla en la Tabla 28.

Tabla 28. Capacidad hidráulica de cunetas y canales triangulares

	Tipo de Cuneta o Canal	
		
Ancho Superficial (l)	$(z_a + z_b) \cdot h$	$x + z_b \cdot \left(h - \frac{x}{z_a} \right)$
Area (π)	$\frac{(z_a + z_b) \cdot h^2}{2}$	$x \cdot h + \frac{z_b \cdot h^2}{2} + \frac{x^2}{2 \cdot z_a} \cdot \left(\frac{z_b}{z_a} - \frac{2 \cdot z_b \cdot h}{x} - 1 \right)$
Perímetro Mojado (P)	$\left(\sqrt{1 + z_a^2} + \sqrt{1 + z_b^2} \right) \cdot h$	$h + \sqrt{x^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{z_a^2} \right)} + \sqrt{z_b^2 + 1} \cdot \left(h - \frac{x}{z_a} \right)$
Radio Hidráulico (R)	$\frac{(z_a + z_b) \cdot h}{2 \cdot \left(\sqrt{1 + z_a^2} + \sqrt{1 + z_b^2} \right)}$	$\frac{x \cdot h + \frac{z_b \cdot h^2}{2} + \frac{x^2}{2 \cdot z_a} \cdot \left(\frac{z_b}{z_a} - \frac{2 \cdot z_b \cdot h}{x} - 1 \right)}{h + \sqrt{x^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{z_a^2} \right)} + \sqrt{z_b^2 + 1} \cdot \left(h - \frac{x}{z_a} \right)}$

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013b).

3 Metodología.

3.1 Ubicación Del Proyecto

El proyecto en estudio es el diseño geométrico y estructural de la vía entre La Ramada hasta el Río Curiquingue, desde la abscisa 2+300 a la 4+600, este tramo está ubicado entre los cantones Girón y Nabón de la provincia del Azuay, como se muestra en la Ilustración 1.

Actualmente la vía de estudio tiene un trazado geométrico que no cumple con la normativa y la calzada es una superficie de material granular, se define la longitud de estudio de 2.3 km, en el cual se realiza los diseños de mejoramiento de la geometría, de la calzada, del sistema de drenaje y se implementará señalización que cumpla la norma.

3.2 Inspección De Campo

En la inspección de campo se definen los sitios problema del tramo estudiado, y los lugares en los que deben realizarse o reconstruirse obras de drenaje u obras complementarias.

3.3 Topografía

Para la obtención de la topografía se realiza el vuelo con un vehículo aéreo no tripulado controlado de forma remota o autónoma (dron), y con un sistema aerotransportado de cartografía con láser llamado LiDAR (Light Detection and Ranging), que consisten en un dispositivo de escaneado con láser, un sistema de navegación por inercia, un receptor GNSS y una computadora. Se utiliza el equipo marca DJI, modelo Matrice 350 RTK.

3.3.1 Procesamiento de datos.

Utilizando los equipos indicados, se llevó a cabo los vuelos del dron para la obtención de las ortofotos. El procesamiento de los datos del levantamiento se realizó con el software Agisoft, este realiza la triangulación fotogramétrica, procesando las ortofotos obtenidas en el vuelo LiDAR.

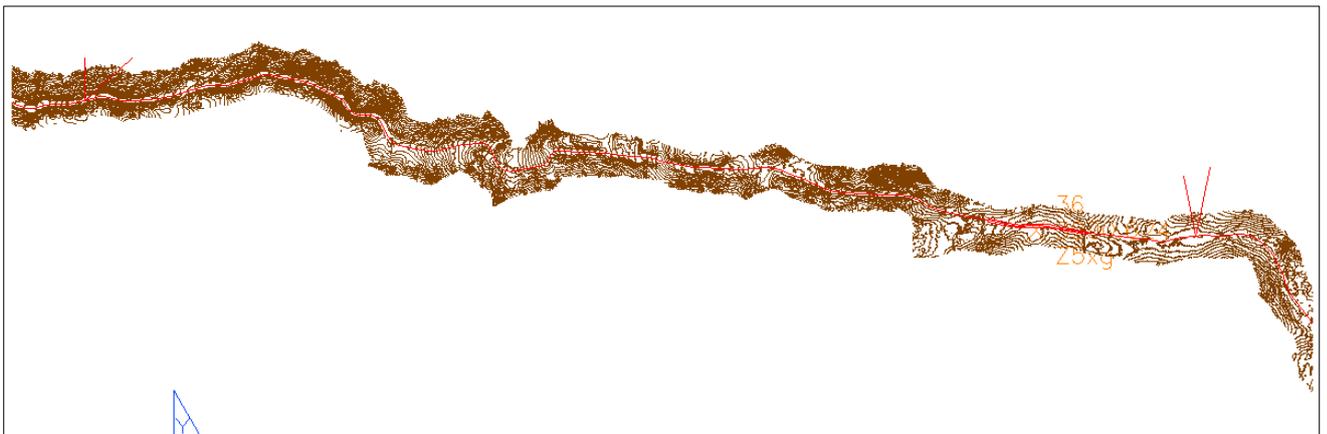
Ilustración 9. Ejemplo de ortofoto del tramo de estudio.



Nota. Autoría propia

Con los datos de la ortofoto, con la nube de puntos se crean las curvas de nivel y se exportan los datos al software CIVIL 3D, esto se presenta en la ilustración 10.

Ilustración 10. Curvas de nivel de la vía de estudio.



Nota. Autoría propia.

3.4 Tipo de Suelo

Para determinar el tipo de suelo y los respectivos parámetros para el diseño de la estructura de la vía se realiza la extracción de muestras de suelo y los ensayos de laboratorio.

3.4.1 Extracción de muestras de suelo

Para la recolección de muestras de suelo se determinan dos sitios para extracción de material mediante calicatas de dos metros de profundidad, en las abscisas 2+875 y 4+025. Se obtienen las muestras de suelo alterado para la realización de los ensayos de laboratorio requeridos para los diseños de la estructura vial.

3.4.2 Ensayos de laboratorio

Se realizan los ensayos en el laboratorio de materiales de la universidad, bajo la dirección del personal de laboratorio, siguiendo la normativa existente para esto.

3.4.2.1 Clasificación de Suelo

Para la clasificación del suelo es necesario realizar el ensayo de granulometría, límite líquido y límite plástico.

Para la granulometría se realiza un proceso de tamizaje, con tamices de 203 mm de diámetro.

El procedimiento que se realiza se describe a continuación:

- Secar al horno el suelo.
- Determinar la masa de la muestra.
- Lavado del material sobre el tamiz número 200.
- Secado de la nueva muestra en el horno.
- Agitar el suelo a través de una pila de tamices con aberturas de tamaño decreciente de arriba abajo (se coloca una charola por debajo de la pila). El tamiz de tamaño más pequeño que se debe utilizar para este tipo de prueba es el tamiz número 200.
- Después de agitar el suelo, se determina la masa de suelo retenido en cada tamiz.

Con los datos obtenidos se obtiene curva de distribución de tamaño de partícula, coeficiente de uniformidad y coeficiente de gradación.

Además, se debe determinar la consistencia del suelo para lo cual se realizan los ensayos para la determinación de los límites de Atterberg, es decir, límite líquido, límite plástico, y con estos parámetros se determina el índice de plasticidad.

3.4.2.2 *Ensayo de Compactación*

Para la determinación de la humedad óptima de compactación se realiza la prueba Proctor Modificado, en la cual el suelo se compacta en un molde que tiene un volumen de 2124cm^3 . Durante la prueba de laboratorio el molde se une a una placa de base en la parte inferior y a una extensión en la parte superior. El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego es compactado en cinco capas iguales por un martillo de 44.5 N que entrega 56 golpes a cada capa .

3.4.2.3 *Ensayo CBR*

En el laboratorio, sobre suelos compactados previamente con la humedad óptima obtenida del ensayo de proctor modificado, un vástago de 19.40cm^2 de área penetra dicho suelo con velocidad y presión controlada. Durante la penetración se anota el desplazamiento que experimenta la muestra ensayada y la carga necesaria para obtener dicho desplazamiento. Debido a que la penetración del suelo en el ensayo se ejecuta distribuyendo una carga sobre un vástago de área pequeña, este ensayo es usado por lo general en pavimentos flexibles en donde la carga es casi de tipo puntual cuando se induce sobre la subrasante (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

Este ensayo debe realizarse sobre el suelo en estado saturado para simular su condición más crítica. Por este motivo los especímenes en el laboratorio se sumergen en agua durante cuatro días, con una carga aplicada sobre la superficie de dichos especímenes, la cual representa en teoría la masa de la estructura del pavimento que soporta la subrasante. El CBR mide de manera

indirecta en el suelo una resistencia al corte (penetración) y/o una rigidez (esta última propiedad a través de la relación entre una carga y el desplazamiento) (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

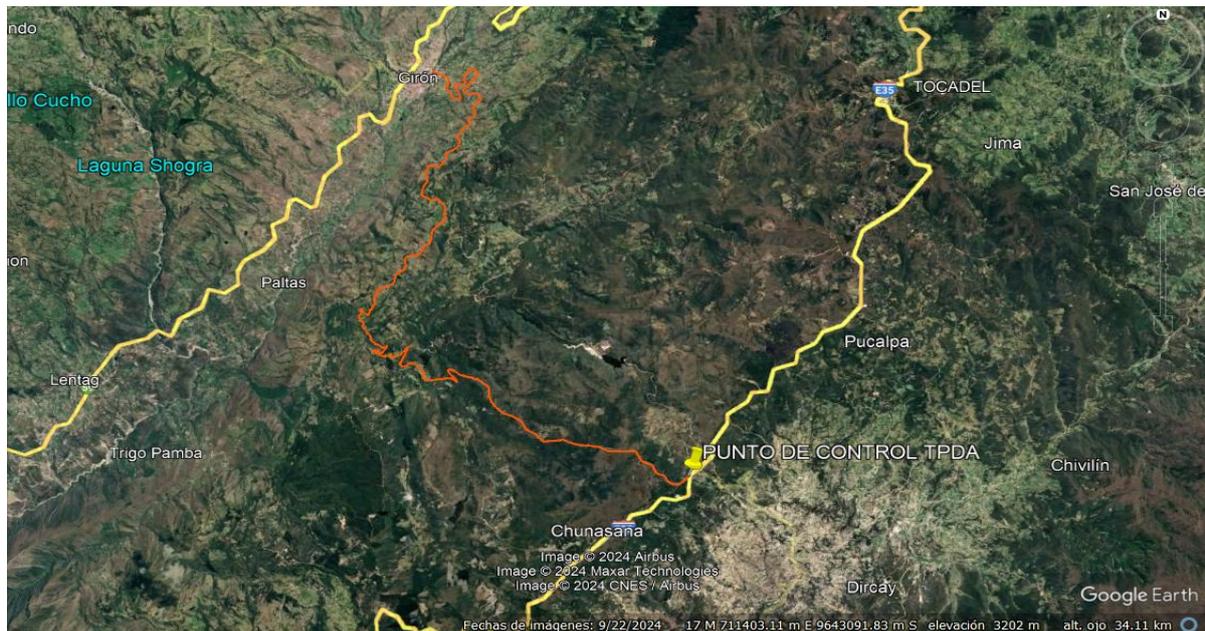
3.5 Determinación de Tránsito

La metodología para la determinación del tránsito se realiza en base a normativa de diseño vial ecuatoriana para caminos rurales.

3.3.1 Conteo vehicular.

El aforo vehicular se realiza al ingreso de la vía de estudio, la recolección de la información se realiza en los dos sentidos de circulación, realizando la clasificación de los vehículos, por una semana completa, desde las 07H00 hasta las 19H00.

Ilustración 11. *Ubicación de la estación de aforo vehicular*



Nota. Tomado de Google Earth, 2024.

Se coloca la estación de conteo al ingreso de la vía, debido a que este lugar es el que registra mayor volumen de tráfico.

3.3.2 Cálculo del TPDA.

Con los datos del aforo vehicular, se determinan los factores para transformar el tráfico diario, a tráfico semanal, mensual y anual, para obtener el tráfico promedio diario anual. Para la determinación de estos factores, se ha empleado la normativa del MTOP.

3.3.3 Proyección vehicular.

Para la determinación de la proyección vehicular para el periodo de diseño elegido, se realiza en base a la proyección en base a la tasa de crecimiento vehicular en redes locales.

3.3.4 Vehículos equivalentes ESALs

Se determina el TPDA para cada año entre el inicio de operación, hasta el último año del periodo de diseño, con la clasificación de vehículos correspondiente. Para cada tipo de vehículo se establece el factor de equivalencia para convertir a un vehículo de 8.2 toneladas. El valor que resulte de la suma de todo el tráfico a lo largo del periodo de diseño es el número de ESALs que será usado para el diseño del pavimento flexible de la vía de estudio.

3.6 Diseño de Pavimento Flexible.

Se estableces las variables necesarias a emplear en el método de diseño

3.5.1 Subrasante.

Se obtiene el módulo resiliente M_r de la subrasante, con la Tabla 15, usando el menor valor de los CBR realizados en el laboratorio.

3.5.2 Propiedades mecánicas de los materiales.

El parámetro mecánico con el cual se caracterizan los materiales es el módulo resiliente en psi. Sin embargo, para el diseño y dimensionamiento del espesor de las capas del pavimento, estos parámetros son traducidos a coeficientes estructurales de capas a_i , los cuales se determinan a través de las ilustraciones 4, 5, y 6. Obteniéndose el valor de a_i , y de los módulos de resiliencia de la base granular y de la subbase granular (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

3.5.3 Índice de serviciabilidad.

Este se determina con la diferencia del índice de serviciabilidad inicial y serviciabilidad final, que se determinan con las Tablas 13 y 14.

Se parte por lo general de un valor inicial para pavimentos de P, entre 4.0 y 4.2 (estado bueno de la vía) y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento P, entre 1.5 y 2.5. Es decir que la pérdida del índice de serviciabilidad Δ PSI durante la vida útil del pavimento oscila entre 1.5 y 2.7. Entre menor sea el Δ PSI, el método asume que el diseñador desea que durante la vida útil del pavimento la estructura no se deteriore y su grado de serviciabilidad al final del período de diseño sea similar a la inicial. Lo anterior genera que la dimensión del pavimento aumente cuando el diseñador asuma un Δ PSI pequeño (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

3.5.4 Condiciones ambientales y de drenaje.

Los coeficientes de drenaje (m) para las capas de base y subbase se seleccionan de acuerdo con las características del material, la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próxima a la saturación según la Tabla 18. Este porcentaje de tiempo se calcula como la relación entre el número de días promedio que llueve en la zona donde se construirá la estructura del pavimento y los 365 días del año. El subíndice $i=2$ corresponde a la capa granular no tratada de base si es estructura flexible o a una base estabilizada con cementante hidráulico si es una estructura semirrígida, e $i=3$ a la capa granular no tratada de subbase. El coeficiente de drenaje m, (capa asfáltica) se considera igual a 1.0. Coeficiente estructural (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

3.5.5 Confiabilidad (R).

Tiene en cuenta el grado de incertidumbre que se presenta durante la estimación de las variables de diseño anteriormente mencionadas. Introduce para tal fin un factor de seguridad al diseño. Para entender este parámetro hay que señalar que la confiabilidad es contraria a la probabilidad

de falla. Así, si R tiende a un valor de 100%, significa que el diseñador está introduciendo una probabilidad de falla tendiente a 0% al diseño, y en este punto el espesor de las capas del pavimento alcanzará su mayor valor debido a que el factor de seguridad es el más alto posible. Adicionalmente, es importante dar a conocer que a partir de un valor R superior al 50% es que el método de diseño introduce un factor de seguridad (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015). Se toma el valor de la confiabilidad de la Tabla 10.

Se debe traducir R a valores del fractil de la ley normal centrada (Z_r) de la Tabla 11.

Para el diseño de pavimentos es necesario determinar el error normal combinado (S_o), el cual tiene en cuenta el error o desviación del diseño, la variación de las propiedades de los materiales, la variación de las propiedades de la subrasante, la variación en la estimación del tránsito, la variación de las condiciones climáticas y la variación en la calidad de la construcción. Los valores de S_o se obtienen de la Tabla 12.

3.5.6 Espesor de cada capa de material y número estructural requerido.

Los espesores de cada una de las capas (h , en pulgadas) que componen la estructura del pavimento flexible se determinan a través de las Ecuaciones 15, 16 y 17. El subíndice $i=1$ corresponde a la capa de concreto asfáltico; $i=2$, a la capa granular no tratada de base si es estructura; e $i=3$, a la capa granular no tratada de subbase. Los SN , son números estructurales de capa y se determinan a través de la Ecuación 20. Para obtener los SN_1 , SN_2 , y SN_3 , se introducen en la Ecuación 20, el M_r de la base, subbase y subrasante respectivamente.

3.5.7 Verificación de espesores mínimos.

Para el caso de estructuras de pavimentos flexibles, al obtener los espesores de cada capa se deben tener en cuenta los espesores mínimos que debe presentar cada capa que compone el pavimento, estos se indican en la Tabla 29.

Tabla 29. *Espesores mínimos de capas*

W_{18} (10^6)	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
<0.05	TSD	4.0
0.05-0.15	2.0	4.0
0.15-0.50	2.5	4.0
0.50-2.00	3.0	6.0
2.00-7.00	3.5	6.0
>7.00	4.0	6.0

Nota. Tomado de (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

3.7 Estructuras de Evacuación de Aguas Pluviales.

En esta sección se analiza el escurrimiento de los cauces naturales que interrumpen el proyecto, se obtendrá el caudal de máxima crecida para un periodo de retorno específico, según la jerarquía de la carretera y el tipo de obra de drenaje.

En base a estos caudales se diseñarán las obras hidráulicas para permitir el paso del agua superficial por debajo de la estructura de vía.

3.7.1 Cunetas.

Para el diseño hidrológico se debe disponer de los datos de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI). La estación más cercana es la estación M0419, denominada Girón, esta estación dispone de datos desde el año 1995 hasta el 2013.

3.7.1.1 Curvas IDF

Se realiza la consolidación de los datos anuales de la estación, y se obtiene el valor de precipitación máxima anual y la precipitación máxima histórica. Se obtiene la distribución de pluviométricas mediante Gumbel, y con esto se obtiene la precipitación máxima diaria para diferentes periodos de retorno.

Se calcula la precipitación máxima para diferentes tiempos de duración de lluvia, y se obtiene las intensidades de lluvia para diferentes periodos de retorno.

Se calcula la intensidad máxima y con el tiempo de duración se grafican las curvas de intensidad, duración y frecuencia IDF.

3.7.1.2 Método Racional.

Para la determinación del área de aporte para el cálculo del drenaje se utiliza el software Infracworks, es importante determinar el coeficiente de escorrentía de la Tabla 26.

Obtenidos la intensidad máxima y el área de aporte se calcula mediante la Ecuación 22 el caudal de diseño de las estructuras de drenaje.

3.7.1.3 Dimensionamiento de la cuneta.

Las cunetas deben cumplir con la sección detallada en la Tabla 28. Las variables para la definición de la sección, es el caudal, las pendientes de los taludes de la cuneta y la altura de esta, con estos datos se obtiene el caudal máximo de la cuneta que debe ser mayor al caudal estimado según el estudio hidrológico.

3.7.2 Alcantarillado de alivio.

Para captar el agua de los cauces superficiales, y el caudal que recogen las cunetas de los taludes paralelos a la vía, así como para evacuar de manera eficiente el agua de la calzada, es necesario ubicar las alcantarillas en los lugares estratégicos para que el drenaje funcione de manera adecuada. Además de estas alcantarillas, para cumplir la normativa se colocará alcantarillas con distancias máximas de 500m.

3.8 Diseño Geométrico.

En este capítulo se define la planimetría, la sección transversal y la altimetría de la carretera. Se inicia con los distintos parámetros que intervienen en el diseño, para luego adentrarse en el análisis de elementos de operación como velocidades, distancias de visibilidad, entre otros.

3.8.1 Parámetros de diseño.

Debe definirse la categoría de la carretera según los criterios de la Tabla 6. Se define la velocidad de diseño, en base a la categorización de la vía, TPDA esperado y relieve del terreno, con los parámetros de la Tabla 1.

Se elige la pendiente máxima para la velocidad de diseño y el tipo de terreno del sitio de estudio según la Tabla 3.

Para calcular el peralte que debe tener la calzada, se usa la Ecuación 1. El radio de curvatura horizontal se calcula con el peralte máximo y el coeficiente de fricción lateral máximo para las condiciones menos favorables de circulación, como neumáticos desgastados y superficie de rodadura con agua, esto se obtiene de la Tabla 4.

Se calcula distancia de frenado con la Ecuación 3, distancia de visibilidad en curvas horizontales con la Ecuación 6 y la distancia de visibilidad de adelantamiento con la Ecuación 7.

La determinación de los sobreelevamientos de la vía se realiza con la Tabla 5, con la velocidad de diseño y el radio de curva.

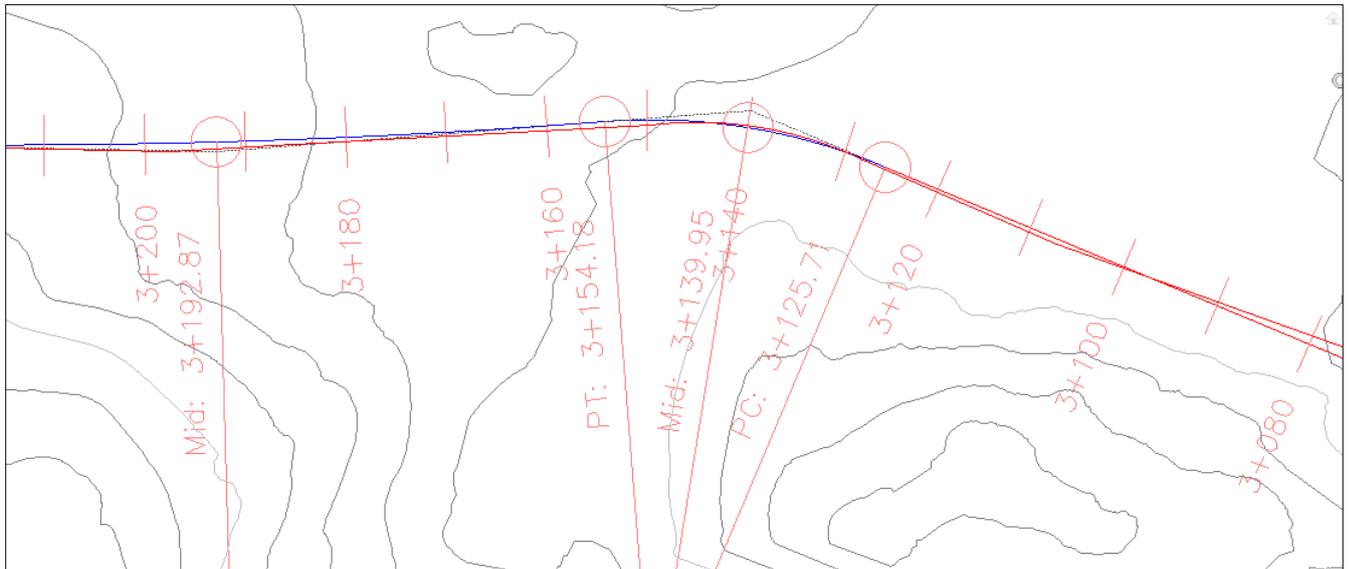
Para el cálculo del ancho de la cuneta, se toma el caudal obtenido del análisis hidrológico y se determina la altura y el ancho, que deben cumplir con los anchos mínimos necesarios.

3.8.2 Trazado planimétrico.

Se establece como punto de partida el eje existente de la vía, a partir de esto y considerando las normas de diseño en cuanto a seguridad y confort para el usuario, se realizan algunas modificaciones al trazado.

Se ajusta la poligonal definitiva como se muestra en la Ilustración 12, se diseñan los elementos horizontales con todos los parámetros descritos y se obtienen el trazado horizontal del proyecto.

Ilustración 12. *Alineamiento horizontal*



Nota. Autoría propia

3.8.3 Trazado altimétrico.

Una vez completado el trazado horizontal, se debe realizar el alineamiento vertical, dentro de los elementos considerados para el diseño de la altimetría está la topografía del terreno, del cual se obtiene el perfil longitudinal, además se debe considera la ubicación de alcantarillas, lo más recomendable es ubicar la estructura de la vía en corte de talud y lo menos posible en relleno, para garantizar la estabilidad de la estructura de la vía.

Se determina las pendientes positiva y negativa de la curva vertical y el factor K que es el coeficiente angular de la curva vertical, constante geométrica que define la curvatura de la parábola.

Para los trazados tanto planimétrico como altimétrico, se usa el software de Autodesk, Civil 3D.

3.9 Señalización.

Para determinar la señalización a ser usada en el diseño del proyecto se utiliza la normativa ecuatoriana INEN 2013:

- RTE INEN 004-1:2013 Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical
- RTE INEN 004-1:2013 Señalización Vial. Parte 2. Señalización Horizontal
- RTE INEN 004:2013 Señales Requisitos. Parte 3.

Con las consideraciones actuales y de diseño de la vía, se evaluó las características del alineamiento horizontal y vertical, juntamente con la topografía del proyecto y la velocidad de diseño adoptada según TPDA.

Si se tiene presente que la topografía en este proyecto es ondulada a terreno montañoso, por lo que se adecuó la señalización vertical a las características geométricas de la vía, aseguren la fluidez en el tráfico y las condiciones de visibilidad para rebasamiento.

Las señales se ubicarán a lo largo de la carretera y sobre placas verticales, colocadas de preferencia en las bermas existentes.

Para la ubicación de las líneas centrales se identifica en el eje del diseño geométrico los tramos con rectas y con curvas y se coloca las líneas de separación de flujos opuestos. Justificando que, para tramos rectos con distancias superiores a la distancia de rebasamiento, se delimitará con líneas centrales discontinuas, lo que indica una zona de rebasamiento segura para que el vehículo regrese a su carril de circulación. Se coloca además las líneas de borde de calzada en todo el proyecto para facilitar la conducción en la noche o en condiciones climáticas adversas.

3.10 Presupuesto y Cronograma.

Para la realización del presupuesto se dispone de la base de precios unitarios referencial del Gobierno Provincial del Azuay. Las cantidades se obtienen de los planos de diseño. Se usará el software INTERPRO, para poder realizar los cálculos y obtener los reportes finales.

4 Resultados.

4.1 Ensayos de Laboratorio.

En el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana se realizan los ensayos de granulometría, consistencia del suelo y límites de Atterberg, de las dos muestras de suelos extraídas de las calicatas, para realizar la clasificación del suelo de subrasante. Además, se realiza el ensayo de proctor modificado y el ensayo de California Bearing Ratio (CBR), para obtener los parámetros necesarios para el diseño de la estructura de la vía. El detalle de los cálculos realizados se presenta en el Anexo 1. Los resultados de los ensayos de laboratorio del material en la abscisa 2+875 se presenta en la Tabla 30 y de la abscisa 4+025 se presenta en la Tabla 31.

Tabla 30. Resumen de resultados de laboratorio calicata 1 abscisa 2+875

RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO SUELO			
CALICATA 1 ABCISA 2+875			
CONSISTENCIA DEL SUELO			
LIMITE LIQUIDO	LL =	41.81	%
LIMITE PLASTICO	LP =	36.67	%
INDICE DE PLASTICIDAD	IP =	5.14	%
CLASIFICACION DE SUELO DE SUBRASANTE			
% PASA TAMIZ No. 10		83.33%	
% PASA TAMIZ No. 40		47.12%	
% PASA TAMIZ No. 200		29.27%	
TIPOS DE SUELO		Limo arcilloso	
		A-2-5	
		Calidad: Buena	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO			
Humedad óptima [%]		20.70%	
Densidad máxima seca [g/cm ³]		1.306	g/cm ³
ENSAYO DE CBR			
95% DENSIDAD SECA MAX		1.241	g/cm ³
CBR _{SUBRASANTE}		6.75	%

Nota. Autoría propia

Tabla 31. Resumen de resultados de laboratorio calicata 2 abscisa 4+025

RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO SUELO			
CALICATA 2 ABSCISA 4+025			
CONSISTENCIA DEL SUELO			
LIMITE LIQUIDO	LL =	47.27	%
LIMITE PLASTICO	LP =	47.15	%
INDICE DE PLASTICIDAD	IP =	0.12	%
CLASIFICACION DE SUELO DE SUBRASANTE			
% PASA TAMIZ No. 10		80.01%	
% PASA TAMIZ No. 40		45.76%	
% PASA TAMIZ No. 200		29.69%	
TIPOS DE SUELO		Limo arcilloso	
		A-2-5	
		Calidad: Buena	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO			
Humedad óptima [%]		29.41%	
Densidad máxima seca [g/cm ³]		1.303	g/cm ³
ENSAYO DE CBR			
95% DENSIDAD SECA MAX		1.238	g/cm ³
CBR _{SUBRASANTE}		6.74	%

Nota. Autoría propia

4.2 Trafico promedio diario anual (TPDA)

Se realizó el aforo vehicular en el ingreso a la vía La Ramada – Río Curiquingue, en el ingreso en La Ramada, para obtener el tráfico de vehículos más representativo. Este conteo se realizó del 25 al 31 de diciembre de 2023, desde las 7H00 a las 19H00.

4.2.1 Factor horario

Se realiza el aforo vehicular por 12 horas días, por lo que se calcula el factor diario,

Tabla 32. *Cálculo de factor horario.*

	HORAS DE CONTEO	No. DE VEHÍCULOS
Horas que contiene 1 día =	24	286
Horas de aforo vehicular =	12	278
Factor horario =	1.03	
Factor horario mínimo =	1.1	

Nota. Autoría propia

4.2.2 Factor diario

El factor diario corresponde al valor de 1, ya que se realizó el aforo vehicular los 7 días de la semana.

4.2.3 Factor semanal

Para obtener el factor semanal se verifica el número de semanas que tiene el mes de diciembre en el cual se realizó el conteo vehicular.

Tabla 33. *Cálculo de factores semanales*

MES	Nº DÍAS	Nº SEMANAS	FACTOR SEMANAL
Enero	31	4.429	1.107
Febrero	28	4.000	1.000
Marzo	31	4.429	1.107
Abril	30	4.286	1.071
Mayo	31	4.429	1.107
Junio	30	4.286	1.071
Julio	31	4.429	1.107
Agosto	31	4.429	1.107
Septiembre	30	4.286	1.071
Octubre	31	4.429	1.107
Noviembre	30	4.286	1.071
Diciembre	31	4.429	1.107
Fs =	1.107		

Nota. Autoría propia

4.2.4 Factor mensual

Para estimar el factor mensual, se divide el consumo promedio mensual para el consumo de combustibles del mes en el que se realizó el conteo vehicular. El cual se presenta en la Tabla 34.

Tabla 34. Consumo de combustible año 2023, cálculo del factor mensual

MES	87 OCTANOS	92 OCTANOS	DIESEL PREMIUM	SUMA
Enero	3,877,402	625,955	3,293,368	7,796,724
Febrero	3,330,550	564,913	3,179,790	7,075,253
Marzo	4,974,796	617,057	2,198,898	7,790,751
Abril	3,739,420	606,430	3,212,193	7,558,044
Mayo	4,073,673	615,065	3,278,495	7,967,233
Junio	3,907,999	592,657	2,909,649	7,410,305
Julio	4,215,636	580,536	3,417,977	8,214,149
Agosto	4,232,896	539,268	3,485,990	8,258,154
Septiembre	4,413,356	538,276	3,187,424	8,139,057
Octubre	4,753,796	615,704	2,999,186	8,368,687
Noviembre	4,380,682	660,749	3,406,909	8,448,340
Diciembre	5,229,493	563,770	2,961,265	8,754,528
Costo promedio mensual				7,981,769
Factor mensual				0.91173034

Nota. Tomado de (PETROECUADOR, 2023)

4.2.5 TPDA.

Para realizar el cálculo del TPDA se utiliza la ecuación 12, para la cual se presenta en la tabla 35 el resumen de los factores de expansión.

Tabla 35. Resumen de factores de mayoración para TPDA 2024

	FACTORES DE CORRECCIÓN	
Factor Horario	Fh	1.1
Factor Diario	Fd	1.00
Factor semanal	Fs	1.11
Factor mensual	Fm	0.91
Factor de expansión	Fe	1.11

Nota. Autoría propia.

Los resultados del aforo vehicular multiplicado por el factor de expansión de 1.11, el TPDA para el año 2024, se presenta en la Tabla 36.

Tabla 36. Tránsito promedio diario anual año 2024

	LUNES	MARTE S	MIERCOLE S	JUEVES	VIERNE S	SABAD O	DOMING O	TOTA L	PROMEDI O
AUTOS	182.0 0	259.0 0	252.00	336.0 0	385.00	420.0 0	252.00	2086	298.00
BUS									
BUSET A									
C-2D	21.00	35.00	35.00					91	13
C-2DB									
C-3A									
C-4C									
V2DE									
MOTOS				21.00				21	3
TOTAL	203	294	287	357	385	420	252	2198	314.00
								TPDA₂₀₂₄	314

Nota. Autoría propia.

Tabla 37. Coeficiente de transformación a vehículo liviano

TIPO DE VEHÍCULO	COEFICIENTE DE TRANSFORMACIÓN	TIPO DE VEHÍCULO	COEFICIENTE DE TRANSFORMACIÓN
Livianos	1	Remolque con capacidad de carga en kg.	
Motocicletas	0.5	Hasta 600	3
Buses pesados con capacidad de carga en kg:		12000	3.5
Hasta 2000	1.5	20000	4
5000	2	30000	5
8000	2.5	Mayor a 30000	6
14000	3.5		
Mayor a 14000	4.5		

Nota. Tomado de (MOP, 2003)

Para transformar todo el tráfico a vehículos livianos se usan los factores de la Tabla 37, con lo que se obtiene la intensidad de tráfico que se presenta en la Tabla 38.

Tabla 38. *Intensidad de tráfico transformada a vehículos livianos*

CLASES	NÚMERO DE VEHÍCULOS	FACTOR DE TRANSFORMACIÓN	TRÁFICO ACTUAL
Livianos	298	1	298
BUS	0	2	0
BUSETA	0	2.5	0
C-2D, C-2DB, C-3A, C-4C, V2DE	13	3.5	46
MOTOS	3	0.5	2

Nota. Autoría propia

Para la determinación de las tasas de crecimiento vehicular se realiza la proyección con los datos poblacionales, las cuales se presentan en la Tabla 39.

Tabla 39. *Tasas de crecimiento vehicular*

PERIODO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
2024-2029	2.46%	0.00%	2.25%
2029-2034	2.37%	0.00%	2.25%
2034-2039	2.32%	0.00%	2.25%
2039-2044	2.29%	0.00%	2.25%

Nota. Autoría propia.

Se obtiene el TPDA para diferentes números de años con la tasa de crecimiento, diferenciando los vehículos livianos y pesados.

Tabla 40. *Proyección de TPDA para n años*

CLASE	TPDA (2024)	2024-2029	n	TPDA (2029)	2029-2034	n	TPDA (2034)	2034-2039	n	TPDA (2039)	2039-2044	n	TPDA (2044)
LIVIANOS	300	2.46%	5	339	2.37%	10	380	2.32%	15	537	2.29%	20	845
BUSES	0	2.25%	5	0	2.25%	10	0	2.25%	15	0	2.25%	20	0
CAMIONES	46	2.25%	5	52	2.25%	10	58	2.25%	15	82	2.25%	20	129
TOTAL	346			391			438			619			974

Nota. Autoría propia.

4.3 Carga axial simple equivalente (ESALs)

Para determinar el ESALs, se determinó en factor de distribución de carril, de la Tabla 41, se toma el factor de carril de 1, correspondiente a dos carriles.

Tabla 41. *Factor de distribución por carril*

Número Carriles	Factor de Carril	Rango
1	1.00	1
2	1.00	0,8 - 1,00
3	0.70	0,60 - 0,80
4	0.60	0,50 - 0,75

Nota. AASHTO, 1993 como se citó en (Higuera Sandoval, 2012)

Se transformó los diferentes tipos de vehículos a un solo eje equivalente de 8.2Ton, con los factores de la Tabla 42.

Tabla 42. *Factor equivalente camión*

VEHÍCULO	FACTOR EQUIVALENTE CAMION	PORCENTAJE
AUTOS	0.00	86.7%
BUSES	1.59	0.0%
CAMIONES		
2DA	0.57	
2DB	4.50	

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013a)

Con el TPDA proyectado de la tabla 40, se calcula un TPDA para cada año dentro del diseño, y con estos valores se calcula el total de ejes equivalentes para el periodo de diseño, además se divide el número total para los dos carriles, se obtiene el W18 para el diseño de la estructura de pavimento flexible, que se presenta en la Tabla 43.

Tabla 43. Cálculo del Número de Ejes Equivalentes a 8.2 Ton

CÁLCULO DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES A 8.2 TONS													
AÑO	% CRECIMIENTO				TRANSITO PROMEDIO DIARIO				CAMIONES		W ₁₈		
	AUTOS	BUSES	CAMION LIVIANO	CAMION PESADO	TPD TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMION LIVIANO	CAMION PESADO	2DA	2DB	ACUMULADO	CARRIL DISEÑO
							1.5861			0.5737	4.5037		
2024	2.46%		2.25%	2.25%	346	300		44	2	44	2	12,502	6,251
2025	2.46%		2.25%	2.25%	354	307		45	2	45	2	25,212	12,606
2026	2.46%		2.25%	2.25%	363	315		46	2	46	2	38,134	19,067
2027	2.46%		2.25%	2.25%	372	323		47	2	47	2	51,273	25,636
2028	2.46%		2.25%	2.25%	381	331		48	2	48	2	64,634	32,317
2029	2.37%		2.25%	2.25%	390	339		49	2	49	2	78,222	39,111
2030	2.37%		2.25%	2.25%	399	347		50	2	50	2	92,043	46,021
2031	2.37%		2.25%	2.25%	409	355		51	2	51	2	106,101	53,050
2032	2.37%		2.25%	2.25%	418	363		53	2	53	2	120,401	60,201
2033	2.37%		2.25%	2.25%	428	372		54	2	54	2	134,950	67,475
2034	2.32%		2.25%	2.25%	438	380		55	2	55	2	149,753	74,876
2035	2.32%		2.25%	2.25%	448	389		56	3	56	2	164,815	82,408
2036	2.32%		2.25%	2.25%	458	398		57	3	57	2	180,143	90,071
2037	2.32%		2.25%	2.25%	469	408		59	3	59	2	195,742	97,871
2038	2.32%		2.25%	2.25%	480	417		60	3	60	2	211,618	105,809
2039	2.29%		2.25%	2.25%	491	427		61	3	61	2	227,779	113,889
2040	2.29%		2.25%	2.25%	502	436		63	3	63	2	244,229	122,115
2041	2.29%		2.25%	2.25%	514	446		64	3	64	2	260,976	130,488
2042	2.29%		2.25%	2.25%	525	457		66	3	66	2	278,027	139,013
2043	2.29%		2.25%	2.25%	537	467		67	3	67	3	297,032	148,516
2044	2.29%		2.25%	2.25%	550	478		69	3	69	3	316,353	158,177

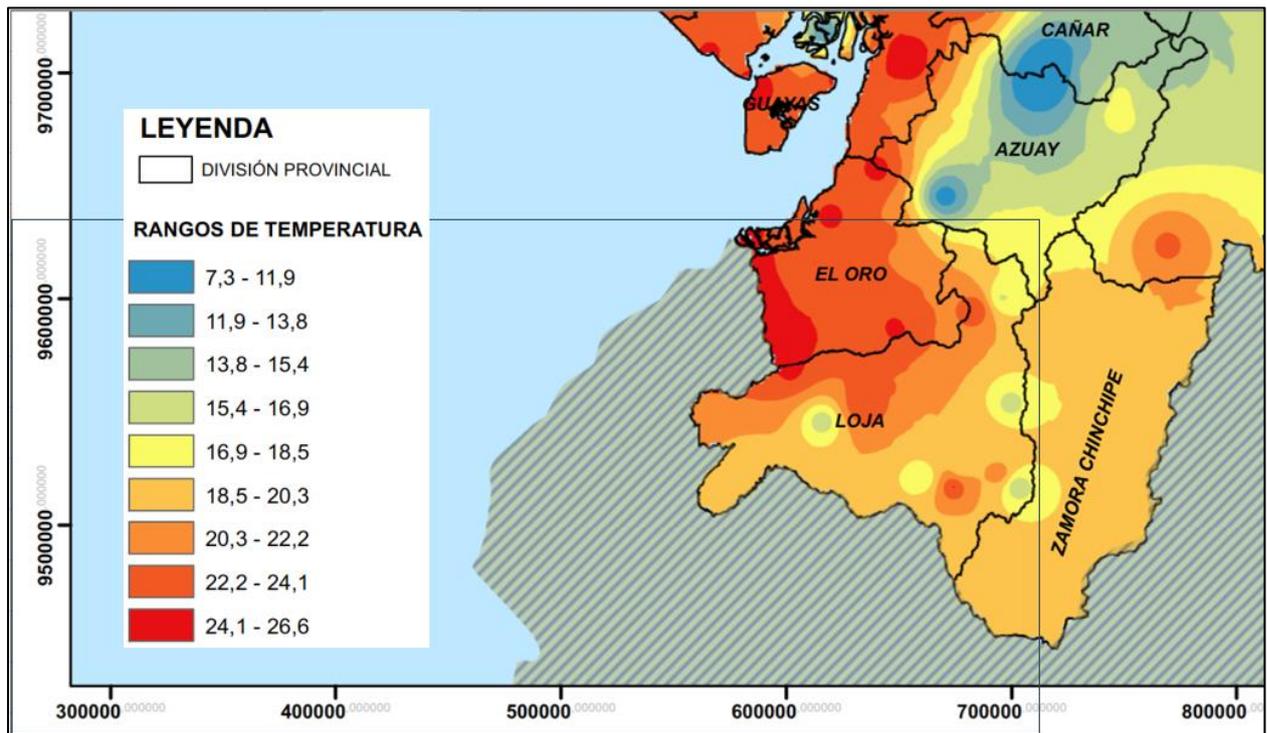
Nota. Autoría propia

4.4 Diseño de Pavimento Flexible

Para realizar el diseño de la estructura de pavimento flexible, el primer parámetro es el valor de W_{18} , que se determinó con la tabla 43.

Se toman los valores del CBR de la subrasante de las Tablas 30 y 31, y se calcula el módulo resiliente MR de la subrasante mediante la Tabla 15.

Ilustración 13. Mapa de Isotermas del Ecuador



Nota. Tomado de (INAMHI, 2013)

Se obtiene el valor del módulo de elasticidad para el concreto asfáltico de la Tabla 17, usando la temperatura promedio del sitio de estudio tomado de la Ilustración 13.

De la Ilustración 4, se obtiene el coeficiente estructural a_1 , que corresponde al concreto asfáltico. De las especificaciones técnicas del MTOP, se determina que el CBR mínimo para base es del 80% y para subbase es del 30%, con estos valores, en las Ilustraciones 5 y 6, obtenemos coeficientes estructurales, módulos de resiliencia y módulos de elasticidad para la base y la subbase granulares.

Para definir el índice de serviciabilidad se toman los valores de las Tablas 13 y 14, según el tipo de vía y el material.

Tabla 44. *Calidad del drenaje*

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	El agua no evacúa

Nota. Tomado de (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

Las condiciones de drenaje se obtienen con dos parámetros, el primero es el porcentaje de tiempo que la estructura está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación, en la publicación del INAMHI del 2012, el número de días de lluvia es de 191, resultando un porcentaje 52.33% de tiempo de saturación, además, se considera que el tiempo que tarda el agua en ser evacuada es de 1 día, por lo que según la Tabla 44 el drenaje es bueno y se toma de la Tabla 18 el valor de 1, como calidad de drenaje.

Tabla 45. *Espesor mínimo de capas de mezcla bituminosa en caliente*

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA (*)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
		T0 a T1	T2 a T3	T4
Rodadura	PA	4		
	M	3	2 - 3	
	F			
	D Y S		6 - 5	5
Intermedia	D Y S	5 - 10 ^(**)		
Base	S Y G	7 - 15		
	MAM	7 - 13		

Nota. Tomado de (NEVI-12-MTOP, 2013b)

Se definen la confiabilidad, la desviación normal estándar, el error normal, y se calculan los números estructurales del pavimento con la Ecuación 20.

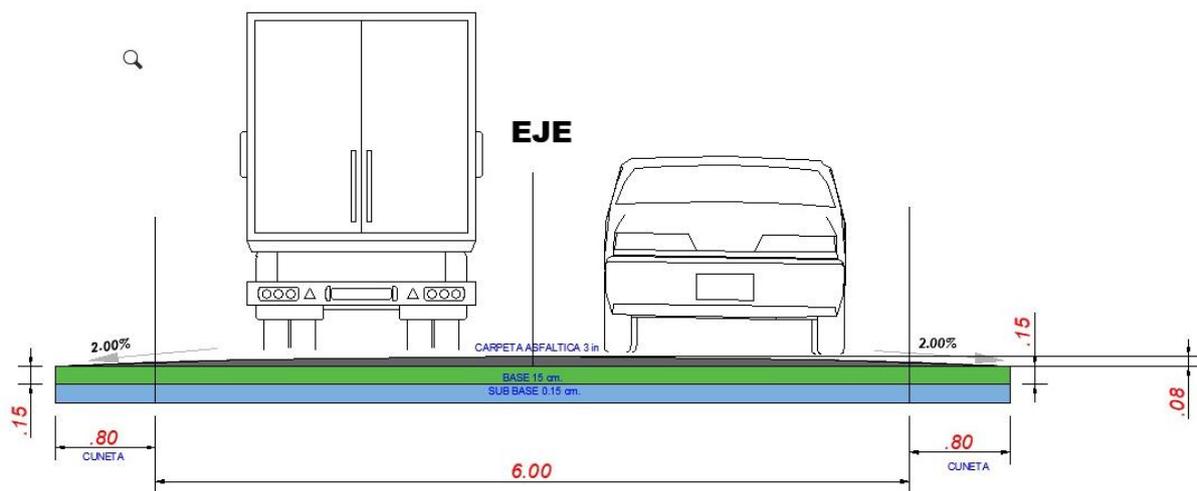
Los espesores se calculan con las Ecuaciones 15, 16 y 17. Estos se comparan con los espesores mínimos de las Tabla 45. De esta forma se establece los espesores para la estructura de pavimento flexible que se presentan en la Tabla 46. Los cálculos se presentan en el Anexo 2.

Tabla 46. Resumen estructura de pavimento flexible.

RESUMEN ESTRUCTURA FINAL:				
Carpeta asfáltica =	3.00	pulg	7.62	cm
Base granular =	6.00	pulg	15.24	cm
Subbase granular =	6.00	pulg	15.24	cm

Nota. Autoría propia.

Ilustración 14. Diagrama de la sección de la estructura del pavimento.



Nota. Autoría propia.

4.5 Diseño de Drenaje

Se realiza la recopilación de datos de las estaciones pluviométricas del INAMHI de la estación más cercana al sitio del proyecto, la estación M0419, que corresponde a Girón, desde el año 1995 hasta el 2003, con lo que se determina en el histórico, la precipitación máxima de 372.80mm en 24 horas.

Mediante el Método de Gumbel se determinan las precipitaciones máximas y las intensidades que corresponden a diferentes periodos de tiempo.

Tabla 47. Ecuación de Intensidad para aplicar en la zona de estudio.

COEFICIENTES DE LA CURVAS IDF		$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$
K	812.7695	
m	0.205540	
n	0.61639	

Nota. Autoría propia

Con la ecuación de la intensidad de precipitación se calculan las intensidades para diferentes periodos de retorno y de esta forma se obtienen las curvas de Intensidad – Frecuencia – Duración (IDF), que se presentan en el Anexo 3.

Tabla 48. Intensidades máximas en 24 horas para varios periodos de retorno.

Código	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Seres de datos	Nº años	TR 2	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	Institución
M0419	Girón	728036.4172	9684691.55	2545	1982-2011	30	1.6	2.27	2.66	3.16	3.52	3.89	INAMHI

Nota. Autoría propia

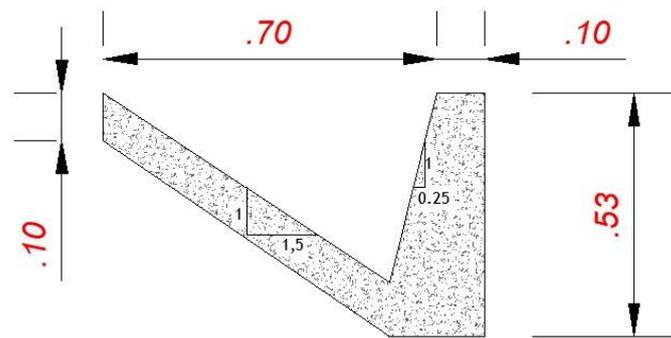
El cálculo de las cunetas se realiza de acuerdo con los parámetros de la tabla 49.

Tabla 49. Parámetros geométricos para el diseño de la cuneta

Hormigón Simple	n=	0.015	Rugosidad
Tipo de sección		Triangular	
Taludes	Za=	0.025	
	Zb=	1.5	
Intensidad máxima (mm/h)		3.89	TR de 100 años, en 1440min
Área de la cuenca		0.790434	km ²
	L=	2.3	km
	L=	2300	m

Nota. Autoría propia

Las dimensiones de la cuneta resultante del diseño se presentan en la Ilustración 15.

Ilustración 15. Dimensiones de la cuneta**SECCIÓN CUNETAS**

Nota. Autoría propia

4.6 Diseño Geométrico

El producto que se obtuvo del diseño geométrico son los planos en planta, con el diseño horizontal del proyecto, los planos del perfil longitudinal con el diseño vertical, además las secciones cada veinte metros, tablas de volúmenes de corte y relleno, datos de inicio, centro y final de cada curva horizontal. Todos los resultados se presentan en el Anexo 4.

Se ha establecido dentro de los parámetros

Tabla 50. Parámetros para el diseño geométrico de la vía

DESCRIPCIÓN	DATOS
Categoría del camino	III
Topografía	Montañosa
Volumen de tránsito diario de diseño	300 - 1000
Velocidad directriz km/h	40
Peralte máximo	8%
Radio mínimo absoluto de proyecto	41 m
Altitud media proyecto	3260 msnm
Pendiente longitudinal máxima	10%
Ancho de calzada	6 m
Pendiente transversal de calzada	2 %

Ancho de espaldones	Sin espaldones
Taludes de terraplenes rellenos	H < 1.5 m pendiente 25%
	1.5 < H < 3m pendiente 33%
	3 < H < 5 pendiente 50%
	H > 5 m pendiente 67%
Contra taludes (Taludes en corte)	150 - 200%
Diferencia de cota con rasante en cunetas	0,4 m

Nota. Autoría propia

Según los parámetros establecidos en la Tabla 50, se presentan tres curvas que no cumple el radio mínimo necesario, por lo que se coloca sobreanchos, los que se calculan en la Tabla 51.

Tabla 51. *Cálculo de sobreanchos en las curvas*

Nº de curva en civil	Nº de Carriles	Radio	Velocidad de Diseño	Sobreancho [S]
		[m]	[Km/h]	[m]
1	2	41	40	0.65
2	2	45	40	0.62
3	2	70	40	0.50
4	2	200	40	0.30
5	2	100	40	0.42
6	2	100	40	0.42
7	2	100	40	0.42
8	2	15	40	1.08
9	2	20	40	0.94
10	2	41	40	0.66
11	2	41	40	0.66
12	2	200	40	0.30
13	2	41	40	0.66
14	2	41	40	0.66
15	2	41	40	0.66
16	2	15	40	1.08
17	2	200	40	0.30
18	2	200	40	0.30
19	2	200	40	0.30
20	2	200	40	0.30
21	2	150	40	0.34
22	2	100	40	0.42
23	2	250	40	0.27

Nota. Autoría propia

Se realiza el cálculo de los sobreeanchos para cada una de las curvas; sin embargo, para 20 de ellas no es necesario colocar sobreeanchos ya que los radios son lo suficientemente amplios para realizar los giros que realizaran los vehículos a la velocidad establecida en el diseño, cabe recalcar que tres de ellas no cumplen con los radios mínimos según la velocidad de diseño; por ello se optó por diseñar sobreeanchos en las curvas horizontales de 1m para las curvas 8, 9 y 16, para posibilitar el tránsito de vehículos como los buses.

4.7 Señalización.

En el Anexo 5, se detalla la señalética utilizada a lo largo del tramo de estudio, la señalización vertical propuesta servirá para informar a los usuarios sobre las regulaciones de circulación que tiene la vía en términos de velocidad e informar de manera preventiva sobre los lugares en los que se debe tener mayor precaución para conducir, como curvas cerradas, contracurvas, pendientes pronunciadas y zonas de prohibición de rebasamiento.

En la señalización horizontal, se empleó líneas longitudinales, líneas de separación de flujos opuestos y líneas de borde de calzada. Además, se colocó marcas sobresalidas de pavimento retro reflectivas.

5 Cronograma.

El periodo para realizar los trabajos se ha establecido en cuatro meses, se realiza el cronograma valorado de la inversión necesaria para el proyecto, en el Anexo 6, se presenta el cronograma con los porcentajes y monto de ejecución para cada periodo.

Tabla 52. *Resumen de los valores mensuales del cronograma valorado*

	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4
INVERSION MENSUAL	\$47,224.46	\$254,766.40	\$322,985.12	\$398,191.69
AVANCE PARCIAL EN %	4.62%	24.90%	31.57%	38.92%
INVERSION ACUMULADA	\$47,224.46	\$301,990.86	\$624,975.99	\$1,023,167.68
AVANCE ACUMULADO EN %	4.62%	29.52%	61.08%	100.00%

Nota. Autoría propia.

Ilustración 16. Curva de Inversión del Proyecto



Nota. Autoría propia a través de InterPro.

6 Presupuesto.

Con los resultados de los diseños, se definió los rubros con su respectivo análisis de precios unitarios y se estimó las cantidades de obra para elaborar el presupuesto.

El costo total del proyecto se ha estimado en Un Millón Veinte y Tres Mil Ciento Sesenta y Siete con 68/100 Dólares de los Estados Unidos de América (\$ 1,023,167.68), sin incluir el IVA. Para la elaboración de este presupuesto se ha considerado un costo indirecto del 20%, porcentaje usado por el Gobierno Provincial del Azuay para la mayoría de sus proyectos. El presupuesto desglosado en todos los precios unitarios se presenta en el Anexo 7.

Tabla 53. Resumen del costo de inversión en la obra.

PRESUPUESTO		
Ítem	Descripción	P. Total
1	DRENAJE PLUVIAL	191,758.17
1.1	Alcantarillas	18,948.08
1.2	Estructura de Hormigón	21,811.07
1.3	Bordillos y cunetas	150,999.02
2	OBRAS GEOTÉCNICAS	13,004.71
2.1	PERFILADO DE TALUD	490.38
2.2	MURO DE GAVIONES	12,514.33
3	PAVIMENTO	796,642.40
3.1	Movimiento de Tierras	171,670.48

3.2	Estructura de Pavimentos	624,971.92
4	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	12,194.01
4.1	Programa de emisiones, polvo y ruido	1,740.14
4.2	Programa de señalización integral	10,453.87
5	SEÑALIZACIÓN VIAL	9,568.39
	SUBTOTAL	1,023,167.68
	IVA 15%	153,475.15
	TOTAL	1,176,642.83

Nota. Autoría propia.

7 Conclusiones.

El tramo de la carretera analizado de este proyecto técnico, al pertenecer a la vía que uniría las cabeceras cantonales de Girón y Nabón, es un proyecto necesario desde el punto de vista de la integración de comunidades rurales y como una alternativa a la vía principal que existe actualmente. Esto disminuiría los tiempos de viaje, mejoraría el comercio actual e incluso puede iniciar actividades comerciales nuevas como el turismo.

En el capítulo del diseño geométrico, se definió la planimetría, sección transversal y el alineamiento vertical, aplicando la Normativa Ecuatoriana Vial, se ha podido respetar casi en su totalidad los parámetros de pendientes máximas de 10 %, radios de curva mínimo de 41m, a excepción de tres curvas pronunciadas a las que se ha buscado como solución la implementación de sobreechamientos de 1m para que sea posible el cruce de dos vehículos pesados a la velocidad de 40 Km/h asegurando un factor de seguridad evitando riesgos de siniestros.

Se diseñó el sistema de drenaje de que consta de drenaje longitudinal con cunetas triangulares de 0,70 m de longitud interior por 0,40 m de alto, con pendientes de 1:1.5 y 1:0.25 y el bordillo de 0,10 m a cada lado de la vía y además cinco alcantarillas transversales de 1m de diámetro para la evacuación de la precipitación.

Para el cálculo de la estructura del pavimento se determinó el TPDA actual y se proyectó para obtener un ESALs de 158.177 vehículos equivalentes para un periodo de diseño de 20 años, debido al tráfico existente se obtuvo como resultado del diseño la estructura de pavimento con

los espesores mínimos especificados para la base de 6in, la subbase de 6in y para la capa de rodadura de 3in según lo establece la normativa.

Finalmente, se puede concluir que el diseño elaborado contiene los productos necesarios para realizar el análisis de su implementación y se podría seguir las siguientes etapas de la reinversión.

8 Recomendaciones.

Se recomienda realizar ensayos adicionales de suelo, para verificar los valores de CBR obtenidos. Además, es necesario determinar los parámetros de diseño para estabilidad de taludes.

Debe realizarse una coordinación con la institución encargada del abastecimiento de agua potable y alcantarillado para que estos trabajos sean realizados previo a la implementación de este proyecto.

Para que el periodo de duración de la vía llegue al periodo de diseño con una buena serviciabilidad, es importante realizar el mantenimiento de esta, con trabajos de limpieza de derrumbes, cunetas y de alcantarillas.

Otro aspecto importante es la socialización del proyecto, para definir los predios que deben ser declarados de utilidad pública y expropiados para la mejora del trazado vial. Debe socializarse con los usuarios del proyecto las restricciones de circulación en cuanto a velocidad y tramos de curvas sinuosas.

9 Bibliografía.

AASHTO. (1993). *AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES*.

Agisoft. (2024). *Metashape 2.1 Photogrammetry + LiDAR*.

Aristizábal, V., Botero, B., & Vélez, J. (2012). *MANUAL DE HIDROLOGÍA PARA OBRAS VIALES BASADO EN EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*.

- Braja M. Das. (2015). *FUNDAMENTO DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA* (CENGAGE Learning, Ed.; Cuarta).
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas Grisales, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito FUNDAMENTOS Y APLICACIONES* (Alfaomega Grupo Editor, Ed.; Novena). <http://www.alfaomega.com.co>
- Cárdenas Grisales, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras* (Ecoe Ediciones, Ed.; Segunda).
- García Ramírez, Y., & Russo Morantes, J. (2020). *PROYECTO DE CARRETERAS: GUÍA PARA ELABORAR EL INFORME DE INGENIERÍA*.
- Higuera Sandoval, C. H. (2012). *Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos* (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Ed.; Primera).
- INAMHI. (2013). *ANUARIO METEOROLÓGICO*.
- INEN. (2011a). *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 004-1:2011 Primera revisión SEÑALIZACIÓN VIAL. PARTE 1. SEÑALIZACIÓN VERTICAL*. (Primera).
- INEN. (2011b). *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 004-2:2011 Primera revisión SEÑALIZACIÓN VIAL. PARTE 2. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL*.
- MOP. (2003). *NORMAS DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS*.
- MTOP. (2016). *Plan Estratégico de Movilidad 2013 - 2037*.
- NEVI-12-MTOP. (2013a). *NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12-MTOP Volumen 2A*.
- NEVI-12-MTOP. (2013b). *NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12-MTOP Volumen 2B*.
- NEVI-12-MTOP. (2013c). *NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12-MTOP Volumen 5*.
- Pérez Carmona, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras* (Ecoe Ediciones, Ed.; Primera).

PETROECUADOR. (2023). *INFORME ESTADISTICO ANUAL 2023*.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos Materiales, construcción y diseño* (Ecoe, Ed.; Primera).

Villón Béjar, M. (2005). *Estructuras Hidráulicas* (Editorial Villón, Ed.; Segunda).
<http://www.itcr.ac.cr/carreras/agricola>

Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (2016). *Topografía* (Alfaomega, Ed.; Décimo cuarta).

10 Anexos.