



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA - RÍO
CURIQUINGUE ENTRE LAS ABSCISAS 0+000 A 2+300 KM, CANTÓN
NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY

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

AUTOR: PABLO EDUARDO FLORES VERDUGO

TUTOR: ING. DANIEL LEONIDAS CÁRDENAS JARAMILLO, MSC.

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Eduardo Flores Verdugo con documento de identificación N° 0105591804 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 20 de enero del 2025

Atentamente,



Pablo Eduardo Flores Verdugo
0105591804

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

Yo, Pablo Eduardo Flores Verdugo con documento de identificación N° 0105591804, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del proyecto técnico: “Diseño geométrico y estructural de la vía Ramada - Río Curiquingue entre las abscisas 0+000 a 2+300 KM, cantón Nabón, 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, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de enero del 2025

Atentamente,



Pablo Eduardo Flores Verdugo
0105591804

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 RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABSCISAS 0+000 A 2+300 KM, CANTÓN NABÓN, realizado por Pablo Eduardo Flores Verdugo con documento de identificación N° 0105591804, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de enero del 2025

Atentamente,



Ing. Daniel Leonidas Cárdenas Jaramillo
0104031232

DEDICATORIA

Primeramente, dedico este proyecto a mis abuelos Fernando Verdugo y Rosa Bustamante quienes han estado pendientes de todo lo que he hecho y no han permitido que me dé por vencido en esta meta, dándome ánimos y fortaleza con cada una de sus palabras. A mis padres Pedro Flores y Rosa Verdugo y a mis hermanos Pedro, Julie, Mateo y Mary que me han apoyado en este camino.

Pablo Flores

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios quien por medio de cada una de las personas que me rodean han permitido que no me rinda en esta meta, dándome ánimos y fortaleza con cada una de sus palabras. A mis padres Pedro Flores y Rosa Verdugo que nunca me han dejado solo y han sido un apoyo fundamental en cada una de mis decisiones a pesar de los tiempos difíciles que se han tenido que pasar, a cada uno de mis hermanos: Pedro, Julie, Mateo y Mary que me han motivado en cada momento para poder culminar esta etapa de la mejor manera. De igual manera a mis compañeros y a mis maestros que con su paciencia han podido ser parte de este camino universitario y mediante sus palabras me han dado fuerza para no rendirme. También a mi tutor el Ing. Daniel Cárdenas que se ha dado tiempo para poder ayudarme durante cada paso de la realización de la tesis, apoyándome en cada una de las decisiones y solventando cada una de las dudas que he tenido. Y por último a la Ing. Soledad Gutiérrez quien me ha tenido paciencia y ha sido el pilar fundamental para la realización del proyecto, quien a pesar de sus ocupaciones se ha dado el tiempo para ayudarme en las distintas etapas del proyecto, es un ejemplo como profesional y sobre todo como persona.

Pablo Flores

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	4
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE DE CONTENIDO	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
ÍNDICE DE FOTOS.....	18
RESUMEN.....	19
ABSTRACT.....	19
GLOSARIO	20
1. CONTENIDO.....	22
1.1. TEMA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	22
1.2. INTRODUCCIÓN	22
1.3. PROBLEMA.....	23
1.4. ANTECEDENTES	24
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	26
1.6. UBICACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO PARA EL TRABAJO DE TITULACIÓN	27
2. OBJETIVOS.....	29
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	29
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
3. MARCO CONCEPTUAL.....	30
3.1. ANÁLISIS DE TRÁFICO.....	30

3.1.1.	Conteo vehicular	31
3.1.2.	Tráfico promedio Diario Actual (TPDA)	33
3.2.	CARRETERAS	33
3.2.1.	Carreteras según su función	34
3.2.2.	Carreteras según el tipo de terreno.....	35
3.2.3.	Carreteras según el tráfico proyectado.....	35
3.3.	DISEÑO GEOMÉTRICO	36
3.4.	VELOCIDAD DE DISEÑO	37
3.5.	TRÁNSITO	37
3.6.	TOPOGRAFÍA	37
3.7.	GEOTECNIA	38
3.7.1.	Estudios Geotécnicos	38
3.7.2.	Granulometría	38
3.7.3.	Clasificación del Suelo	39
3.7.4.	Ensayo de Proctor Estándar y Proctor Modificado.....	40
3.7.5.	Ensayo CBR.....	41
3.8.	NORMATIVA TÉCNICA.....	41
3.9.	AASHTO 93.....	42
3.10.	PAVIMENTOS.....	42
3.10.1.	Diseño de Pavimentos Flexibles	42
3.10.2.	Subbase	44

3.10.3. Base.....	45
3.10.4. Carpeta Asfáltica.....	45
3.10.5. Variables de tiempo	46
3.10.6. Tránsito	46
3.10.7. Confiabilidad (R).....	47
3.10.8. Factores de equivalencia de carga por eje de la AASHTO.....	48
3.10.9. Error normal combinado SO	48
3.10.11. Niveles de Serviciabilidad.....	49
3.10.12. Módulo resiliente de la subrasante Mr.	51
3.10.13. Propiedades mecánicas de los materiales.....	51
3.10.14. Condiciones ambientales y de drenaje	53
3.10.15. Dimensionamiento.....	54
3.11. DISEÑO GEOMÉTRICO	55
3.11.1. Diseño Geométrico Horizontal	56
3.11.2. Diseño Geométrico Vertical	75
3.13. SEÑALIZACIÓN.....	83

3.13.1. Señalización Vertical	83
3.14. DRENAJE.....	91
3.14.1. Clasificación de las estructuras de drenajes.....	91
3.14.2. Drenajes Longitudinales	92
3.15. CUNETAS	92
3.15.1. Localización, pendientes y velocidad	92
3.15.2. Forma de la Sección.....	92
3.15.3. Diseño hidráulico de cuneta.....	93
3.16. ALCANTARILLAS.....	97
3.16.1. Recolección de información	98
3.16.2. Características de diseño.....	98
3.16.3. Análisis Hidrológico	99
3.16.4. Diseño Hidráulico para alcantarilla	100
3.16.5. Procedimiento del Diseño	103
4. METODOLOGÍA	106
4.1. RECONOCIMIENTO DE LA VÍA	106
4.1.1. Levantamiento Topográfico.....	106
4.1.2. Procesamiento de Datos.....	108

4.2.1.	Granulometría	110
4.2.2.	Limite líquido y limite plástico.....	112
4.2.3.	Proctor modificado.....	113
4.2.4.	CBR.....	113
4.4.	ESALS	120
4.5.	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	121
4.6.	ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES	122
4.6.1.	Diseño de cunetas	128
4.6.2.	Diseño de alcantarillas	129
4.7.	DISEÑO GEOMÉTRICO	131
4.7.1.	Diseño Horizontal	131
4.7.2.	Diseño Vertical	133
4.8.	SEÑALIZACIÓN.....	135
4.8.1.	Señalización horizontal.....	135
4.8.2.	Señalización Vertical	138
4.9.	PRESUPUESTO REFERENCIAL	139
5.	CONCLUSIONES.....	142
6.	RECOMENDACIONES	142
	BIBLIOGRAFÍA.....	145
	ANEXOS.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. POBLACIÓN DEL CANTÓN NABÓN – CENSO 2022.....	25
FIGURA 2. POBLACIÓN DEL CANTÓN NABÓN – CENSO 2022.....	26
FIGURA 3. POBLACIÓN DE LA PARROQUIA NABÓN Y DE LA PARROQUIA GIRÓN, CENSO DEL 2022.....	27
FIGURA 4. UBICACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO PARA EL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	28
FIGURA 5. UBICACIÓN DEL TRAMO DE DISEÑO ABSCISA 0+000 KM A ABSCISA 2+300KM	28
FIGURA 6. ESTRUCTURA TÍPICA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	43
FIGURA 7. FACTORES DE EQUIVALENCIA.....	47
FIGURA 8. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL	47
FIGURA 9. NIVELES DE CONFIABILIDAD SUGERIDOS.....	47
FIGURA 10. ERROR NORMAL COMBINADO, SO.....	49
FIGURA 11. NIVELES DE CONFIABILIDAD, R	49
FIGURA 12. DESVIACIÓN NORMAL ESTÁNDAR, Z.....	49
FIGURA 13. SERVICIABILIDAD INICIAL, PO	50
FIGURA 14. SERVICIABILIDAD FINAL, Pf.....	50
FIGURA 15. COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_1 PARA MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO.	52
FIGURA 16. COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_2 PARA BASE GRANULAR NO TRATADA.	52
FIGURA 17. COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_3 PARA SUBBASE GRANULAR NO TRATADA.	53
FIGURA 23. ELEMENTOS DE UNA CURVA CIRCULAR COMPUESTA DE TRES RADIOS.	61

FIGURA 24. VALORES DE DISEÑO RECOMENDADOS MTOP.....	62
FIGURA 25. VELOCIDADES DE DISEÑO (KM/H).....	63
FIGURA 26. EFECTO DE LA INCLINACIÓN TRANSVERSAL DE LA CALZADA SOBRE UN VEHÍCULO.	64
FIGURA 30. RADIOS MÍNIMOS EN CURVAS EN FUNCIÓN DEL PERALTE Y DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL.	66
FIGURA 33. DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS DE TIPO RÍGIDO EN EL CÁLCULO DEL SOBREAÑO.....	70
FIGURA 36. DISTANCIA DE VISIBILIDAD MÍNIMA PARA PARADA DE UN VEHÍCULO CRITERIO DE DISEÑO. PAVIMENTOS MOJADOS Y GRADIENTE HORIZONTAL (0%)	72
FIGURA 37. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO EN CARRETERAS DE DOS CARRILES EN DOS SENTIDOS.....	73
FIGURA 39. DISTANCIA MÍNIMA DE VISIBILIDAD PARA REBASAMIENTO DE UN VEHÍCULO	74
FIGURA 40. VALORES DE DISEÑO DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD MÍNIMAS PARA EL REBASAMIENTO DE UN VEHÍCULO.....	75
FIGURA 41. TANGENTE VERTICAL	76
FIGURA 42. CURVAS VERTICALES CONVEXAS MÍNIMAS	77
FIGURA 43. VALORES MÍNIMOS DE DISEÑO DE COEFICIENTE K	77
FIGURA 44. CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS MÍNIMAS.....	79
FIGURA 45. VALORES MÍNIMOS DE DISEÑO DEL COEFICIENTE DE “K” PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS MÍNIMAS	79
FIGURA 47. PUNTO MÍNIMO DE UNA CURVA VERTICAL ASIMÉTRICA.....	81
FIGURA 48. VALORES DE DISEÑO DE GRADIENTES LONGITUDINALES	82

FIGURA 49. LÍNEAS SEGMENTADAS DE SEPARACIÓN DE CIRCULACIÓN OPUESTA	86
FIGURA 50. DOBLE LÍNEA CONTINUA (LÍNEA DE BARRA)	86
FIGURA 51. DOBLE LÍNEA MIXTA: CONTINUA Y SEGMENTADA	87
FIGURA 52. DISTANCIA DE REBASAMIENTO MÍNIMO	87
FIGURA 53. DISTANCIA DE VISIBILIDAD	88
FIGURA 54. LÍNEAS CONTINUAS DE BORDE	88
FIGURA 55. LÍNEAS DE PARE EN INTERSECCIÓN CON SEÑAL VERTICAL DE PARE	89
FIGURA 56. DEMARCACIÓN TÍPICA EN APROXIMACIONES A RESALTOS	90
FIGURA 58. SECCIONES TÍPICAS DE CUNETAS	93
FIGURA 59. DIMENSIONES TÍPICAS DE CUNETAS TRIANGULARES	93
FIGURA 60. DETALLE DE ESCURRIMIENTO EN CALZADA DE LA VÍA	94
FIGURA 61. CORTE DE SUMIDERO CON DESARENADOR	95
FIGURA 62. RAMPA DE DESCARGA	95
FIGURA 63. REDUCCIÓN DE LA PENDIENTE DE LA CUNETA MEDIANTE CAÍDAS	96
FIGURA 64. DISPOSICIÓN MÁS CONVENIENTE DE LA CUNETA RESPECTO AL PAVIMENTO	96
FIGURA 65. CUNETA TIPO COLECTOR CONTINUO	97
FIGURA 66. ELEMENTOS DE UNA ALCANTARILLA	98
FIGURA 67. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA “C”	102
FIGURA 68. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD “N”	103
FIGURA 69. PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN LOCAL	104
FIGURA 70. CURVAS IDF	124
FIGURA 72. ÁREAS DE APORTE ALCANTARILLAS Y CUNETAS	125

FIGURA 74. PERFILES SECCIONES DE LAS CUNETAS.....	129
FIGURA 75. ÁREAS DE APORTE Y CAUDALES MÁXIMOS	130
FIGURA 76. DIÁMETROS TUBERÍAS ALCANTARILLAS	130
FIGURA 77. MODELO MURO ALCANTARILLA CIRCULAR	131
FIGURA 78. CURVA PARA DEFINIR COEFICIENTES PARA DISEÑO	132
FIGURA 79. LÍNEAS SEGMENTADAS DE SEPARACIÓN DE CIRCULACIÓN OPUESTA	135
FIGURA 80. LÍNEA DE PARE EN CRUCES CEBRA INTERSECCIÓN CONTROLADA POR UNA SEÑAL DE PARE.....	136
FIGURA 81. LÍNEA CEDA EL PASO EN VÍA BIDIRECCIONAL.....	136
FIGURA 82. DIMENSIONES SEÑALES HORIZONTALES.....	137
FIGURA 83. DIMENSIONES SEÑALES HORIZONTALES.....	137
FIGURA 84. SEÑALES VERTICALES.....	138
FIGURA 85. SEÑALES DESCENSO Y ASCENSO	139

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COORDENADAS DEL TRAMO DEL OBJETO DE ESTUDIO, VÍA LA RAMADA-RÍO CURIQUINGUE	28
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE UN TERRENO DE ACUERDO A SUS PENDIENTES	35
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU FUNCIÓN POR TPDA	36
TABLA 4. CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR EL SISTEMA AASHTO.....	39
TABLA 5. CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR EL SISTEMA SUCS	40
TABLA 6. PERIODOS DE ANÁLISIS	46
TABLA 7. CALIDAD DEL DRENAJE.....	54

TABLA 8. VALORES DE <i>m_i</i> RECOMENDADOS PARA CORREGIR LOS COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE BASES Y SUBBASES GRANULARES.....	54
TABLA 9. ESPESORES MÍNIMOS DE CAPAS.....	55
TABLA 10. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE..	57
FIGURA 18. ELEMENTOS DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE	57
TABLA 11. EXPRESIONES QUE RELACIONAN LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS	58
TABLA 12. SISTEMA ARCO - GRADO.....	58
TABLA 13. SISTEMA CUERDA - GRADO	59
TABLA 14. DEFLEXIÓN DE UNA CUERDA CIRCULAR SIMPLE.....	59
TABLA 15. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UNA CURVA CIRCULAR COMPUESTA.....	60
TABLA 16. RADIOS PARA DEFLEXIONES PEQUEÑAS.	63
TABLA 17. CASOS DE DESPLAZAMIENTO DE UN VEHÍCULO SOBRE UNA CURVA CIRCULAR.....	64
TABLA 18. COEFICIENTES DE FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMOS, FT MÁX..	66
TABLA 19. VALORES DE DISEÑO DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD MÍNIMAS PARA PARADAS DE UN VEHÍCULO (M).....	71
TABLA 20. COEFICIENTES DE FRICCIÓN LONGITUDINAL PARA PAVIMENTO HÚMEDO	71
TABLA 21. PRINCIPALES ELEMENTOS QUE CARACTERIZAN ESTA PARÁBOLA	80
TABLA 22. CURVA VERTICAL ASIMÉTRICA CÓNCAVA.....	81
TABLA 23. RELACIÓN SEÑALIZACIÓN LÍNEA DE SEPARACIÓN DE CIRCULACIÓN OPUESTA SEGMENTADA.....	85
TABLA 24. VELOCIDADES DEL AGUA CON QUE SE EROSIONAN DIFERENTES MATERIALES.....	92

TABLA 25. VALORES MÁXIMOS DE VELOCIDADES NO EROSIVAS EN CUNETAS

97

TABLA 26. VELOCIDADES MÁXIMAS ESTABLE DE ALINEAMIENTO RECTO Y TIRANTE DE 0.90M.....	99
TABLA 27. GRANULOMETRÍA Y CURVA GRANULOMÉTRICA	112
TABLA 28. RESULTADOS CBR, VÍA LA RAMADA-RÍO CURIQUINGUE.....	114
TABLA 29. RESULTADOS CBR, VÍA LA RAMADA-RÍO CURIQUINGUE.....	115
TABLA 30. RESUMEN CONTEO VEHICULAR, VÍA LA RAMADA-RÍO CURIQUINGUE	117
TABLA 31. VHMD DEL CONTEO	117
TABLA 32. FACTOR HORARIO	118
TABLA 33. FACTOR SEMANAL.....	118
TABLA 34. FACTOR SEMANAL.....	119
TABLA 35. TPDA CALCULADO PARA EL 2024	120
TABLA 36. TRÁFICO PROYECTADO PARA EL 2044	120
TABLA 37. ESALS CALCULADO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	121
TABLA 38. CÁLCULO DE LAS CAPAS DE BASE, SUBBASE Y PAVIMENTO FLEXIBLE	121
TABLA 39. DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ..	122
TABLA 40. REGRESIÓN POTENCIAL Y DATOS K,M,N	123
TABLA 41. DATOS PARA CURVAS IDF	123
FIGURA 71. CUENCAS DE APORTES A DISEÑO DE CUNETAS	124
TABLA 42. ÁREAS DE APORTE ALCANTARILLAS	126
TABLA 43. ÁREAS DE APORTE CUNETAS.....	126
TABLA 44. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	127
TABLA 45. ÁREAS DE APORTE Y CAUDALES MÁXIMOS.....	128

FIGURA 73. DISEÑO DE CUNETAS	128
TABLA 46. DISEÑO DE CUNETAS	129
TABLA 47. LONGITUD MÍNIMA DE TRANSICIÓN EN FUNCIÓN DEL PERALTE	133
TABLA 48. TABLA DE RESULTADOS DISEÑO VERTICAL.....	134
TABLA 49. PRESUPUESTO REFERENCIAL VÍA RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ABSCISAS 0+000 A 2+308.85.....	140
TABLA 50. DATOS A CONSIDERAR DISEÑO GEOMÉTRICO	149
FIGURA 86. MODELADO VÍA ABSCISA 0+000 KM A ABSCISA 2+300KM.....	149

ÍNDICE DE FOTOS

FOTO1. RECORRIDO VÍA.....	106
FOTO2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	108
FOTO3. ALINEAMIENTO FOTOS DEL LEVANTAMIENTO CON EL DRON EN AGISOFT.....	108
FOTO4. NUBE DE PUNTOS DENSA.....	109
FOTO5. GENERACIÓN CURVAS EN GLOBAL MAPPER.....	109
FOTO6. RECOLECCIÓN Y SECADO DE MUESTRAS PARA ENSAYOS DE LABORATORIO	110
FOTO7. GRANULOMETRÍA Y CURVA GRANULOMÉTRICA	111

RESUMEN

La vialidad es un factor esencial para mejorar las condiciones de vida, ya que facilita el acceso a servicios fundamentales como la salud, la educación y la atención a emergencias. Su funcionalidad y seguridad depende de un diseño y mantenimiento adecuado. Este proyecto aborda los problemas de la vía La Ramada-Río Curiqingue, ubicada en el cantón Nabón. Actualmente, esta ruta de lastre se encuentra en mal estado, con baches, lodo, derrumbes y generando polvo, lo que dificulta el tránsito para los habitantes y usuarios, especialmente agricultores, ganaderos y madereros.

El proyecto se enfoca en mejorar esta vía mediante estudios de infraestructura vial para transformar la conexión en una ruta de alta calidad. Las actividades incluyen el levantamiento topográfico, estudios de tráfico y diseños geométrico, estructural y de pavimento flexible. Estas acciones buscan mejorar la movilidad, reducir tiempos de conexión entre cantones y garantizar una infraestructura más resistente y duradera, cumpliendo con las normativas técnicas establecidas, como MTOP 2003 y ASSHTO 93.

PALABRAS CLAVE: Diseño geométrico y Estructural, Transporte, Infraestructura vial, TPDA, MTOP 2003 Y ASSHTO 93, Pavimentos, SUCS.

ABSTRACT

Roads are an essential factor in improving living conditions, since they facilitate access to fundamental services such as health, education and emergency services. Its functionality and safety depend on proper design and maintenance. This project addresses the problems of the La Ramada-Río Curiqingue road, located in the canton Nabón. The road is currently in poor condition, with potholes, mud, landslides, and dust, making it difficult for residents and users, especially farmers, ranchers, and loggers, to travel on the road.

The project focuses on improving this road through road infrastructure studies to transform the connection into a high-quality route. Activities include topographic surveys, traffic studies, and geometric, structural, and flexible pavement designs. These actions seek to improve mobility, reduce connection times between cantons and guarantee a more resistant and durable infrastructure, complying with established technical regulations, such as MTOP 2003 and ASSHTO 93.

KEY WORDS: Geometric and Structural Design, Transportation, Road Infrastructure, TPDA, MTOP 2003 and ASSHTO 93, Pavements, SUCS.

GLOSARIO

AASHTO: La Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carretera y Transporte.

Calle: Una vía pública diseñada para el tránsito de vehículos y peatones, que puede variar en tamaño e importancia.

Calzada: Parte de una vía dispuesta a la circulación de vehículos.

CBR: Ensayo para evaluar la calidad del material del suelo con base en su resistencia.

ESALS: Equivalent Simple Axial Load (ESAL) o también conocido como Carga Axial Simplemente Equivalente.

Fd: Factor Diario.

Fh: Factor Horario.

Fs: Factor Semanal.

Fm: Factor Mensual.

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado.

Intersección: Área de calzadas que se cruzan o convergen.

MTOP: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

NEVI-12: Libro a norma para estudio y diseños viales.

Redondel o rotonda: Elemento que permite la circulación fluida del tránsito en una intersección confluida por varios vehículos.

RTK: Real Time Kinematic o navegación cinética satelital en tiempo real, es una técnica usada para la topografía.

Seguridad vial: Conjunto de acciones y mecanismos que garantizan el buen funcionamiento de la circulación de tránsito en conocer leyes, reglamentos, y disposiciones y normas de conducta.

Señalizaciones viales: Herramientas que mediante símbolos o leyendas reglamentan el uso de las vías de tránsito terrestre, informa a los usuarios en acercarse a peligros, guía o ubicación.

To: Tráfico inicial en un período de tiempo.

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual

Tránsito: Circulación de peatones y/o vehículos por vías de uso público.

Vehículo: Un vehículo es una máquina que permite desplazarse de un sitio hacia otro.

Velocidad de diseño: Diseño de una vía, que corresponde a la máxima velocidad a la que un vehículo puede circular con seguridad en condiciones determinadas de una vía según su trazado.

Vía: Calle, camino u otro lugar destinado al tránsito.

1. CONTENIDO

1.1. Tema del trabajo de Titulación

Diseño geométrico y estructural de la Vía Ramada – Río Curiquingue entre las abscisas 0+000 a 2+300, cantón Nabón, provincia del Azuay.

1.2. Introducción

El diseño geométrico y estructural de una vía constituye un aspecto fundamental en la planificación y construcción de infraestructuras viales, ya que asegura la seguridad, eficiencia y durabilidad del transporte. Este proceso implica el análisis de factores como las características del terreno, el volumen de tráfico proyectado y las necesidades específicas de los usuarios. Mientras que el diseño geométrico se ocupa de la configuración horizontal y vertical de la vía para garantizar una circulación segura y fluida, el diseño estructural se centra en la capacidad de la vía para resistir cargas vehiculares y condiciones ambientales, teniendo en cuenta aspectos como el espesor del pavimento y la elección de materiales apropiados.

El proyecto tiene como objetivo integrar ambos enfoques con el fin de diseñar una infraestructura que cumpla con los estándares técnicos establecidos y satisfaga las necesidades de las comunidades beneficiadas. La mejora de la calidad de las vías no solo incrementa la seguridad y optimiza el transporte, sino que también promueve el desarrollo económico y social al facilitar el traslado eficiente de bienes y personas. En este contexto, el estudio se enfoca en la vía La Ramada-Río Curiquingue, una arteria vial estratégica en los cantones Girón y Nabón que conecta parroquias, cantones y comunidades rurales.

Esta vía, en su estado actual, presenta múltiples deficiencias que afectan la movilidad y calidad de vida de sus usuarios. Entre las principales problemáticas se encuentran la presencia de baches, acumulación de lodo y la generación de polvo, además de frecuentes derrumbes, los cuales son resultado de condiciones climáticas adversas, una falta de mantenimiento adecuado y el empleo de materiales de baja calidad. Estas carencias impactan de manera significativa a agricultores, ganaderos y madereros del sector, quienes dependen de esta ruta para realizar sus actividades diarias y transportar sus productos.

El trabajo de titulación plantea una evaluación integral del estado actual de la vía con el propósito de identificar sus principales deficiencias y proponer soluciones sostenibles a largo plazo. Estas

soluciones contemplan tanto la rehabilitación de la infraestructura existente como el diseño de mejoras que garanticen una conectividad eficiente y duradera, en beneficio de toda la comunidad y con miras a fomentar su desarrollo integral.

1.3. Problema

La vía La Ramada–Río Curiquingue, con una extensión aproximada de 60 kilómetros y un tiempo de recorrido estimado de 55 minutos de acuerdo a la aplicación de Google Maps, presenta diversas problemáticas que afectan principalmente la movilidad y la seguridad de sus usuarios. Con lo que se plantea un proyecto integral para optimizar su diseño geométrico y estructural, con el objetivo de reducir la distancia en aproximadamente 30 kilómetros, lo que permitirá disminuir significativamente el tiempo de viaje y los costos asociados. Un diseño vial eficiente prolongaría la vida útil de la infraestructura, promoviendo al mismo tiempo un uso más racional de los recursos y su redistribución hacia otras áreas prioritarias.

Entre las principales deficiencias de la vía se identifican condiciones geométricas inadecuadas, como curvas cerradas y pendientes pronunciadas, que incrementan el riesgo de accidentes, especialmente en condiciones climáticas adversas. Adicionalmente, el pavimento de lastre muestra un avanzado estado de deterioro debido a la falta de mantenimiento, con la aparición de baches y deformaciones que afectan tanto la comodidad como la seguridad en el tránsito. La inestabilidad del terreno constituye otro desafío relevante, ya que la zona es propensa a derrumbes y deslizamientos durante la temporada de lluvias, lo que interrumpe el acceso y representa un riesgo constante para los usuarios.

La situación se ve agravada por la ausencia de señalización adecuada y medidas de seguridad vial, dejando a los usuarios sin la información necesaria para transitar de manera segura. Estas carencias impactan negativamente en la población local, limitando además el desarrollo económico de la región al dificultar el acceso a mercados y servicios esenciales para actividades clave como la agricultura, la ganadería y la maderería, pilares económicos de la zona.

Ante estas problemáticas, es imprescindible realizar un análisis detallado del diseño geométrico y estructural de la vía, con el fin de implementar soluciones sostenibles y efectivas. Estas intervenciones garantizarían una movilidad más segura, reducirían los tiempos de recorrido y generarían un impacto positivo en la calidad de vida de las comunidades de los cantones Girón y Nabón y las áreas circundantes, impulsando su desarrollo económico y social.

1.4. Antecedentes

En los últimos años, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) han tomado decisiones clave en cuanto al mantenimiento vial, con el objetivo de mejorar la movilidad, fomentar el comercio, garantizar la seguridad y facilitar otras actividades esenciales entre diversas localidades. En Ecuador, y en particular en la provincia del Azuay, la construcción de nuevas carreteras ha jugado un papel fundamental en la mejora de la comunicación, el turismo y el comercio. Estas infraestructuras no solo han reducido los tiempos de desplazamiento, sino que también han impulsado las oportunidades comerciales y turísticas de las comunidades, especialmente cuando las vías están correctamente diseñadas y ejecutadas.

Las vías han sido esenciales para el desarrollo de las civilizaciones a lo largo de la historia, pasando de simples senderos naturales a modernas carreteras pavimentadas. A medida que la ingeniería ha avanzado, también lo han hecho las normativas técnicas que regulan el diseño y la construcción de estas infraestructuras, abordando aspectos clave como la geometría vial, el tráfico esperado y las condiciones ambientales. En la provincia del Azuay, sin embargo, la Prefectura no ha priorizado la construcción de nuevas vías en el área que conecta los cantones de Girón y Nabón, debido principalmente a limitaciones económicas y a una planificación vial insuficiente. Como consecuencia, los habitantes de estas localidades deben recorrer actualmente 66,7 kilómetros, lo que representa un tiempo de viaje de aproximadamente de 1 hora y 12 minutos, un factor que limita tanto la movilidad como el desarrollo económico de la región.

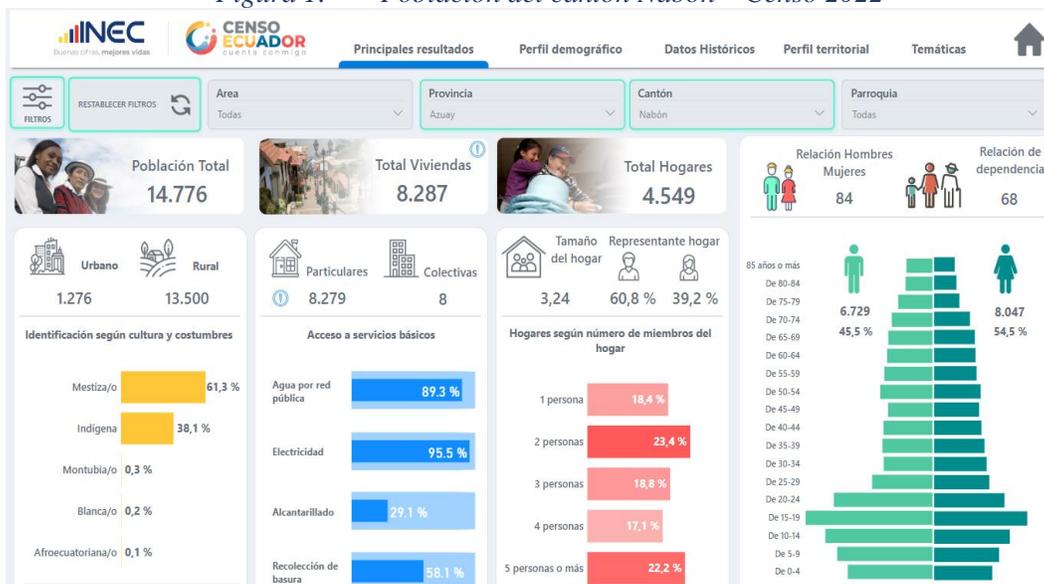
En este contexto, la vía La Ramada–Río Curiquingue, clasificada como una carretera de tercer orden, es utilizada mayormente por los residentes locales, quienes dependen de ella para satisfacer sus necesidades cotidianas. A nivel nacional, uno de los principales desafíos en infraestructura vial es la falta de vías en condiciones óptimas que garanticen la seguridad y proporcionen una conexión eficiente entre ciudades, cantones y parroquias. Es esencial que los diseños viales consideren aspectos técnicos fundamentales como la seguridad, la señalización y el impacto económico y ambiental de las obras.

La vía La Ramada–Río Curiquingue fue construida en un periodo en que la infraestructura vial era vista como una prioridad para el desarrollo regional. Su objetivo principal fue mejorar la conectividad entre las comunidades rurales y los centros urbanos, facilitar el acceso a mercados y optimizar el transporte de productos agrícolas y ganaderos. Sin embargo, su localización en un

terreno montañoso ha presentado desafíos tanto para su construcción como para su mantenimiento. Las condiciones climáticas, especialmente durante la temporada de lluvias, han empeorado el estado de la vía, dificultando la accesibilidad y afectando la conectividad de las comunidades.

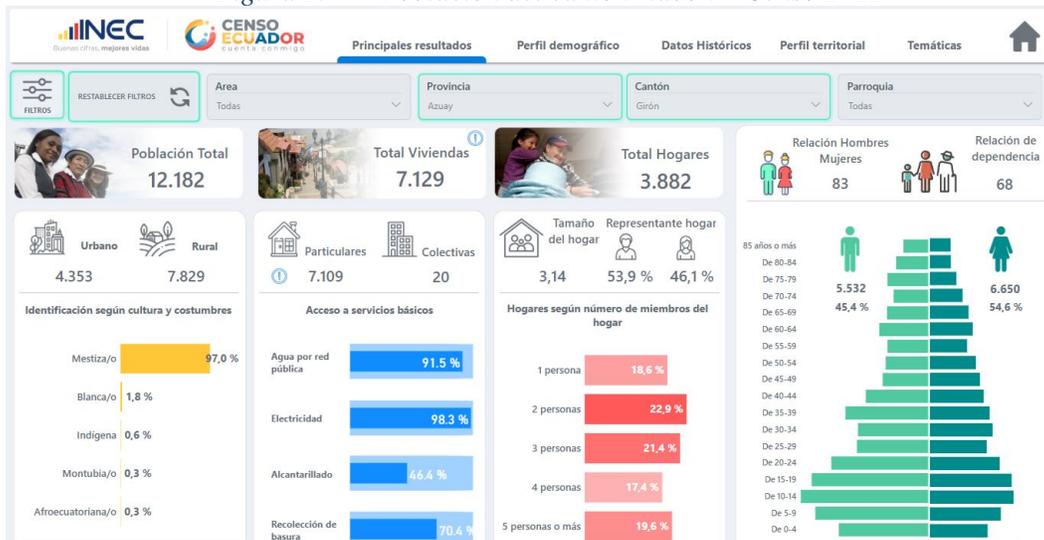
Girón, situado a 36 kilómetros de Cuenca, es un cantón que destaca por su potencial turístico, con atractivos como La Chorrera y la Laguna de Zhogra. A una altitud de 2.162 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio de 15,5 °C, el cantón abarca 346,5 km², lo que representa el 4,3 % del territorio de la provincia. Según el INEC (2022), Nabón cuenta con una población de 14.776 habitantes, mientras que Girón tiene 12.182 habitantes. Mejorar la infraestructura vial de la vía La Ramada–Girón, no solo fortalecería el desarrollo económico y turístico, sino que también traería beneficios significativos para estas dos localidades, asimismo, tendría un impacto positivo en la calidad de vida de sus habitantes.

Figura 1. Población del cantón Nabón – Censo 2022



Fuente y elaboración: Propia, <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>

Figura 2. Población del cantón Nabón – Censo 2022



Fuente y elaboración: Propia, <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>

Además de servir como un corredor estratégico para aquellos que necesiten transitar por la zona. Mejorar la infraestructura vial de la conexión de la vía Ramada – Río Curiquingue reduciría considerablemente el tiempo de viaje, lo que incrementaría la utilización de la vía y contribuiría al desarrollo económico y social de ambas comunidades y comunidades cercanas.

1.5. Justificación

El propósito de este proyecto es mejorar la conectividad vial de las comunidades cercanas a la Vía Río Curiquingue, resolviendo las dificultades de comunicación entre los cantones de Río Curiquingue, Nabón, Girón, Pasaje y otros. El diseño de la nueva ruta es fundamental para evaluar la viabilidad del proyecto y asegurar que, en el futuro, se beneficie directamente a las familias de la zona.

La mejora de esta infraestructura vial impulsará el desarrollo económico regional al facilitar el transporte, lo que reducirá los costos para agricultores y ganaderos, mejorando así su calidad de vida. A su vez, la inversión en infraestructura vial facilitará la implementación de servicios esenciales como la educación y la atención médica, al optimizar la movilidad de recursos humanos y materiales.

La nueva vía beneficiará a 8.441 habitantes de la parroquia de Girón y a 9.097 habitantes de la parroquia de Nabón, y reducirá significativamente la distancia entre los cantones de Nabón y Girón.

Figura 3. Población de la Parroquia Nabón y de la Parroquia Girón, Censo del 2022



Fuente y elaboración: Propia, INEC 2022

Actualmente, la distancia es de 66 km, pero con la pavimentación de la vía, se reduciría a solo 35 km, lo que implicaría un ahorro considerable en combustible, pasando de 1,42 galones a 0,70 galones por trayecto.

El acceso a la comunidad de Río Curiquingue se ve gravemente afectado por la falta de mantenimiento y mejoras viales, lo que impide una intervención adecuada y reduce las conexiones entre cantones. Es crucial mejorar la infraestructura de la vía, que actualmente es de lastre, mediante su pavimentación flexible, la instalación de señalización, iluminación, alcantarillado y medidas para gestionar las precipitaciones. Con la aplicación de las normas de diseño correspondientes, esta vía podría ascender a una categoría de primer orden.

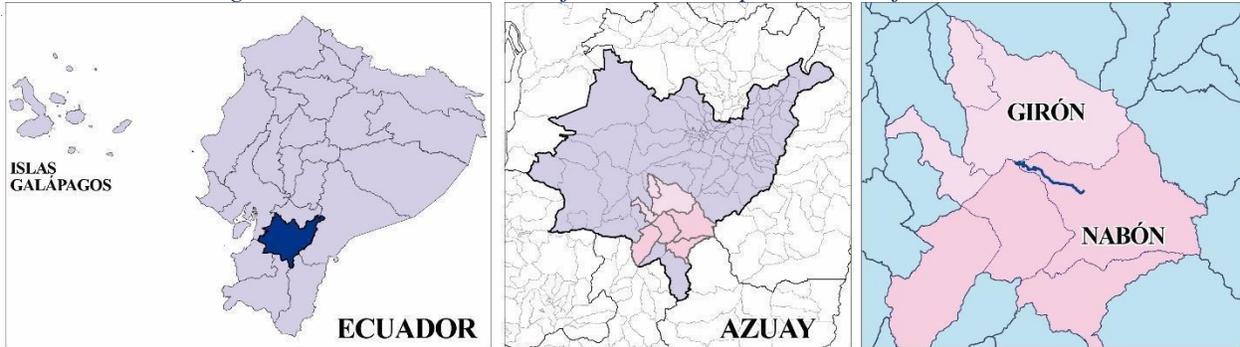
La Vía La Ramada – Río Curiquingue es esencial para la conectividad de varias comunidades de ambos cantones, en una región con alta producción agrícola y ganadera, además de atractivos turísticos. La falta de mantenimiento ha ocasionado deslizamientos de tierra y otros problemas graves. La ausencia de pavimentación también genera problemas ambientales, como el polvo y el desgaste de los vehículos, además de dificultar la movilidad de los habitantes y limitar el acceso a servicios públicos esenciales como transporte, educación, salud y actividades productivas relacionadas con la ganadería y agricultura.

1.6. Ubicación del Objeto de estudio para el trabajo de titulación

El objeto de estudio se ubica en el sector La Ramada – Río Curiquingue, dentro del cantón Nabón, provincia del Azuay, y abarca el tramo comprendido entre las abscisas **0+000 a 2+300**. Durante

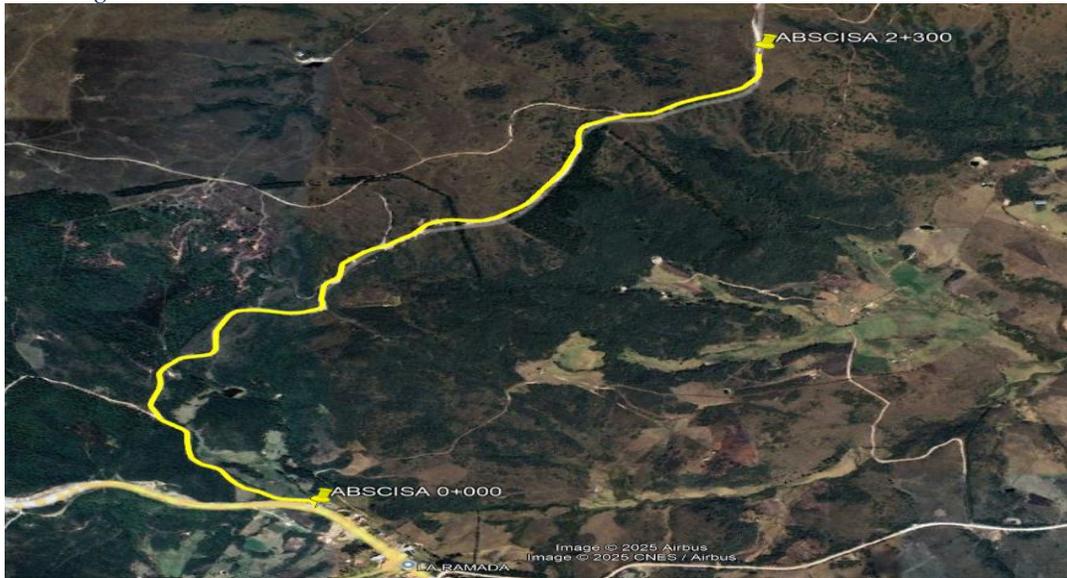
una visita técnica realizada para evaluar el estado de la vía, se constató que el acceso es de lastre y se identificaron diversos problemas en la carretera.

Figura 4. Ubicación del objeto de estudio para el trabajo de titulación



Fuente y elaboración: Propia, Trabajo de Titulación 2024

Figura 5. Ubicación del tramo de diseño abscisa 0+000 km a abscisa 2+300km



Fuente y elaboración: Propia, Google Earth Pro

Tabla 1. Coordenadas del tramo del objeto de estudio, vía La Ramada–Río Curiquingue

	Coordenadas Este (m)	Coordenada Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)
Inicio	713583.00 m E	9638497.00 m S	3199
Fin	712008.00 m E	9639238.00 m S	3306

Fuente y elaboración: Propia, abscisas 0+000 a 2+300km

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar el Diseño geométrico y estructural de la Vía Ramada – Río Curiquingue entre las abscisas 0+000 a 2+300, cantón Nabón, provincia del Azuay.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de una franja topográfica del tramo de estudio, suelo, tráfico, diseño geométrico, estructural y pavimento flexible de la vía la Ramada-Río Curiquingue, entre las abscisas 0+000 a 2+300 km.
- Realizar un conteo vehicular de la vía para determinar el tránsito promedio diario anual (TPDA), entre las abscisas 0+000 a 2+300 km. De la vía la Ramada-Río Curiquingue.
- Determinar las propiedades de la Subrasante en la vía a diseñar mediante un análisis de suelos.
- Realizar el diseño geométrico de la vía cumpliendo las normas ecuatorianas.
- Realizar un diseño de la estructura de pavimento flexible.
- Elaborar un presupuesto de la intervención.

3. MARCO CONCEPTUAL

Tener una base conceptual sólida es crucial para explorar las variables e influencias que se deben considerar en el diseño vial, haciendo que el mismo sea sustentable para ser realizado. A continuación, se abordarán conceptos generales relevantes para este propósito.

3.1. Análisis de Tráfico

El análisis del tráfico vehicular es fundamental para determinar la cantidad de vehículos que circulan por una vía, lo que facilita la proyección del diseño y uso de infraestructuras viales a futuro. Existen diversos métodos para realizar los conteos, tales como los automáticos, manuales y tecnológicos (por ejemplo, cámaras), todos con el objetivo común de determinar el tráfico promedio diario anual y su proyección futura (*Públicas, 2011*).

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), se deben considerar factores que impactan la precisión del conteo, como el tiempo, la cantidad de días y el lugar de medición. Estos elementos son esenciales para calcular tanto el tráfico actual como el futuro (*Armijos, 2007*).

El diseño de carreteras debe basarse en un análisis detallado del tráfico, comparando el volumen de vehículos con la capacidad máxima que la vía puede soportar. Esta información, que incluye tanto los volúmenes actuales como las proyecciones futuras, resulta crucial para determinar las características geométricas y de capacidad de la vía. En áreas desarrolladas o de fácil acceso, estimar el tráfico es relativamente sencillo; sin embargo, en zonas poco exploradas, como algunas regiones de Ecuador, esta tarea se vuelve incierta. Es importante destacar que estos proyectos están interrelacionados con otros, como los de colonización, agricultura, regadío, energía y comercialización, lo cual influye en la demanda futura de tráfico. Se recomienda considerar no solo la demanda más probable, sino también los escenarios extremos, mediante proyecciones máximas y mínimas (*MTOP, 2003*).

Tráfico Anual: Su análisis es esencial para el diseño de vías en Ecuador, ya que permite evaluar si la infraestructura es capaz de manejar el volumen vehicular. El diseño geométrico y estructural debe ajustarse al tráfico real, teniendo en cuenta las características geográficas y socioeconómicas locales, lo que garantiza eficiencia y seguridad tanto en áreas urbanas como rurales. Esta información es clave para determinar la capacidad de la vía, el tipo de pavimento, el número de carriles y las mejoras necesarias a corto y largo plazo.

Tráfico Futuro: Las proyecciones se basan en el tráfico actual, con estimaciones a 15 o 20 años, considerando factores de crecimiento normal, generado y asociado al desarrollo. Estas proyecciones influyen en la clasificación de las carreteras y los parámetros geométricos del proyecto, como la velocidad de diseño. Además, permiten determinar cuándo una carretera necesitará mejoras en su superficie o capacidad, comparando el flujo máximo soportado con el volumen horario anual más alto, que en Ecuador varía entre el 5% y el 10% del TPDA (*MTOP, 2003*).

3.1.1. Conteo vehicular

Dentro de la realización del conteo se debería obtener la mayor cantidad de datos a manera que los resultados obtenidos sean más representativos para la realización de un TPDA de manera correcta. Dentro del cálculo del TPDA se utilizan distintos factores que permiten realizar una proyección más real de acuerdo a los estudios realizados antes para poder definir una proyección de manera correcta.

El proceso del Cálculo del TPDA:

A. Objetivo

El objetivo de este análisis es determinar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) a partir de observaciones puntuales del tráfico y de los factores de variación.

B. Observaciones de campo

Para conocer el nivel de tráfico existente en una vía, es necesario realizar conteos vehiculares que proporcionen datos representativos.

C. Tipos de conteo

Existen diferentes tipos de conteos vehiculares, cada uno con sus aplicaciones específicas:

- **Conteos manuales:** Son fundamentales ya que proporcionan información detallada sobre la composición del tráfico y los giros en intersecciones, lo cual es crucial para el diseño geométrico de la vía.
- **Conteos automáticos:** Permiten registrar el volumen total de tráfico, pero siempre deben complementarse con conteos manuales para obtener detalles sobre la composición del tráfico. Es importante asegurar que los equipos de conteo automático estén correctamente calibrados, ya que suelen registrar dos impulsos por cada vehículo que pasa.

D. Periodo de observación

Para un estudio definitivo, se recomienda realizar al menos un conteo manual durante 7 días consecutivos, en una semana sin eventos especiales. Además, se debe contar con datos de un conteo automático durante un mes para poder cuantificar el volumen total de tráfico y correlacionar con la composición registrada en la semana.

E. Variaciones de tráfico

Las variaciones de tráfico son factores que permiten establecer relaciones entre las observaciones actuales y los datos estadísticos previos. Estas variaciones se basan en la suposición de que los hábitos de movilidad de la población, sin cambios significativos en la estructura social, permanecen constantes durante períodos prolongados. Esto permite calcular el TPDA a partir de muestreos representativos (*MTOP, 2003*).

F. Cálculo de variaciones (factores)

Para calcular el TPDA a partir de una muestra, se deben considerar cuatro factores de variación:

- **Factor Horario (FH):** Transforma el volumen de tráfico registrado en un número determinado de horas a un volumen diario promedio.
- **Factor Diario (FD):** Convierte el volumen de tráfico diario promedio en un volumen semanal promedio.
- **Factor Semanal (FS):** Transforma el volumen semanal promedio en un volumen mensual promedio.
- **Factor Mensual (FM):** Convierte el volumen mensual promedio en el TPDA.

G. Tráfico proyectado

El tráfico proyectado se estima a partir del tráfico actual y la tasa de crecimiento anual. Una fórmula comúnmente utilizada para esta proyección es:

$$Tp = To \times (1 + r)^n$$

T_p = Tráfico proyectado (volumen de tráfico esperado en el futuro)
T_o = Tráfico actual observado (volumen de tráfico en el presente)
r = Tasa de crecimiento anual del tráfico (expresada como decimal)
n = Número de años para el que se realiza la proyección.

Este modelo asume que el tráfico crece a una tasa constante cada año. En escenarios más complejos, se pueden considerar factores adicionales como el crecimiento económico, el desarrollo urbano y la implementación de nuevas infraestructuras.

3.1.2. Tráfico promedio Diario Actual (TPDA)

El cálculo del Volumen de Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se realiza teniendo en cuenta varios factores, dependiendo de las características de la vía:

- En vías de un solo sentido, se considera únicamente el tráfico en esa dirección.
- En vías de doble sentido, se suman los volúmenes de ambos sentidos, ya que, en general, el número de vehículos al final del día suele ser similar en ambos.
- En autopistas, el cálculo del TPDA se realiza por separado para cada sentido, teniendo en cuenta el flujo direccional, es decir, el porcentaje de vehículos en cada dirección, lo que influye en la composición y los volúmenes de tráfico.

Idealmente, el TPDA se obtiene a partir de datos proporcionados por estaciones de conteo permanente, que ofrecen información diaria, semanal y estacional. En caso de no contar con estaciones permanentes, se puede estimar el TPDA semanal mediante muestreos de 24 horas durante al menos 4 días a la semana, incluyendo sábados y domingos, en meses representativos. Los resultados obtenidos se ajustan en función de las variaciones estacionales y, cuando es posible, se corrigen utilizando datos de estaciones permanentes o patrones relacionados con el consumo de gasolina o las cosechas (*MTOP, 2003*).

3.2. Carreteras

Una carretera constituye una infraestructura de transporte destinada a facilitar el tránsito de vehículos, peatones y otros medios de movilidad, promoviendo el desplazamiento eficiente de personas y bienes. Su construcción y diseño desempeñan un papel fundamental en la mejora de la calidad de vida y en la garantía de una vida útil prolongada. Estas vías se desarrollan dentro de un derecho de vía, lo que permite una circulación continua bajo altos estándares de seguridad y comodidad.

El diseño geométrico resulta esencial en la planificación de una carretera, ya que establece su configuración tridimensional para asegurar que sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y respetuosa con el medio ambiente. La funcionalidad de la vía depende de sus características geométricas y de su capacidad para gestionar volúmenes de tránsito adecuados, mientras que su seguridad se garantiza mediante diseños simples, uniformes y consistentes.

La comodidad para los usuarios se logra al minimizar aceleraciones y transiciones bruscas, lo cual se obtiene ajustando la geometría de las curvas a las velocidades de operación habituales. Por su parte, la estética se asegura mediante la adaptación de la vía al paisaje, generando trayectos visualmente agradables y armónicos. Asimismo, una carretera es considerada económica cuando cumple con los objetivos de funcionalidad y seguridad al menor costo posible, tanto en su construcción como en su mantenimiento, y cuando respeta el medio ambiente al integrarse con la topografía natural, los usos del suelo y los valores ambientales de la zona.

El diseño de las carreteras debe tener en cuenta factores externos, como las características topográficas, geológicas y geotécnicas del terreno, las condiciones climáticas e hidrológicas, el tránsito actual y proyectado, y los desarrollos urbanísticos existentes o previstos. También debe considerar factores internos propios de la vía que aseguren su operatividad y compatibilidad con el entorno. Este enfoque integral permite que las carreteras sean sostenibles, eficientes y adaptadas a las necesidades sociales y ambientales.

3.2.1. Carreteras según su función

Carreteras de primer orden: Estas vías, también conocidas como troncales o transversales, son fundamentales para la integración del país. Su función principal es conectar las principales zonas de producción y consumo, tanto a nivel interno como con otros países. Estas carreteras incluyen los accesos a las capitales departamentales y suelen contar con calzadas divididas según los requerimientos del proyecto. Además, deben estar siempre pavimentadas para garantizar su funcionalidad y durabilidad.

Carreteras de segundo orden: Las carreteras secundarias conectan cabeceras municipales entre sí o con una carretera primaria. Estas vías pueden estar pavimentadas o en afirmado, dependiendo de las condiciones locales y del tránsito que soportan. Su propósito es facilitar la movilidad regional, complementando la red de carreteras primarias.

Carreteras de tercer orden: Estas vías se encargan de unir cabeceras municipales con sus veredas o conectar diferentes veredas entre sí. Por lo general, funcionan en afirmado, aunque pueden ser pavimentadas si cumplen con las condiciones geométricas establecidas para carreteras secundarias. Las vías terciarias son esenciales para mejorar la accesibilidad en áreas rurales y promover el desarrollo local.

3.2.2. Carreteras según el tipo de terreno

La clasificación del terreno a lo largo de un tramo de carretera está determinada por las características topográficas predominantes en la zona de estudio. Por esta razón, es común que una carretera atraviese diferentes tipos de terrenos homogéneos en distintas secciones. Esta clasificación se basa en las pendientes naturales de las laderas, tanto en el entorno como en su orientación transversal a la vía.

Las pendientes longitudinales y transversales del terreno hacen referencia a las inclinaciones naturales a lo largo y a través del eje de la carretera, respectivamente. Asimismo, la línea de máxima pendiente del terreno natural corresponde a la mayor inclinación registrada en cualquier dirección en las proximidades del eje de la vía.

La topografía desempeña un papel crucial en la ubicación física de una vía, ya que influye en su alineamiento horizontal, las pendientes, la visibilidad y las secciones transversales. La normativa aplicada en los estudios y diseños viales clasifica los terrenos en función de la topografía predominante, dividiéndolos en cuatro categorías: plano (P), ondulado (O), montañoso (M) y escarpado (E).

Esta clasificación permite adaptar el diseño y la construcción de la carretera a las condiciones geográficas específicas, asegurando una mayor eficiencia, seguridad y compatibilidad con el entorno.

Tabla 2. Clasificación de un terreno de acuerdo a sus pendientes

Clasificación del terreno según sus pendientes transversales		
Tipo de terreno	Pendientes Transversales	Pendientes Longitudinales
Plano (P)	Inferiores al 5%	Inferiores al 3%
Ondulado (O)	6% - 12%	3% - 6%
Montañoso (M)	13% - 40%	6% - 8%
Escarpado (E)	Superiores al 40%	Superiores al 8%

Fuente y elaboración: Propia, NEVI – 12, volumen 2

3.2.3. Carreteras según el tráfico proyectado

El Ministerio de Obras Públicas (MOP) clasifica las carreteras principalmente según el volumen de tráfico y el número de calzadas necesarias, sin priorizar su jerarquía dentro de la red vial. Según

esta clasificación, las carreteras deben diseñarse con características geométricas específicas para cada categoría y construirse de manera progresiva, considerando el aumento proyectado del tráfico, lo que asegura una planificación eficiente y adaptable.

La clasificación de las vías, basada en el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y su función en la red vial, es crucial para determinar los parámetros técnicos y funcionales en el diseño de la infraestructura. La **Tabla 3** resume las especificaciones geométricas correspondientes a cada tipo de carretera, facilitando la adecuada planificación y construcción de la red vial, con el fin de garantizar su eficiencia, seguridad y sostenibilidad a largo plazo.

Tabla 3. Clasificación de carreteras según su función por TPDA

Función	Clase de carretera	Tráfico Proyectado TPDA
Corredor Arterial	RI – RIII	Más de 8000
	I	3000 – 8000
Colectora	II	1000 – 3000
	III	300 – 1000
	IV	100 – 300
Vecinal	V	Menos de 100

Fuente y elaboración: Propia, MTOP, Norma de Diseño Geométrico de carreteras, 2003

Corredores Arteriales: Son carreteras de alta jerarquía que conectan capitales provinciales con el resto del país, puertos marítimos y pasos fronterizos, principalmente para viajes largos. Estas rutas deben garantizar alta movilidad, acceso controlado, maniobras reguladas y estándares geométricos adecuados para una operación segura y eficiente del tráfico.

Vías Colectoras: Son caminos de jerarquía media, diseñados para captar el tráfico de áreas rurales o regionales y dirigirlo hacia la red principal de corredores viales. Su función es facilitar el tránsito de distancias intermedias, y deben cumplir con ciertos estándares geométricos para ser eficaces.

Caminos Vecinales: Son rutas convencionales que incluyen caminos rurales no categorizados en las anteriores, destinados a recibir tráfico local de zonas rurales y áreas agrícolas.

3.3. Diseño Geométrico

El diseño geométrico de una vía implica definir sus características estructurales en tres

dimensiones: plano, perfil y sección transversal. También incluye la planificación de las facilidades de circulación y los elementos necesarios para garantizar la seguridad vial. Estos aspectos dependen de la función de la vía dentro de la red, las condiciones de los usuarios, las características de los vehículos y los requisitos geométricos de la infraestructura. Los parámetros geométricos se establecen tomando en cuenta el volumen de tráfico proyectado y el nivel de servicio esperado para un año futuro determinado. (*MTOP, 2003*)

3.4. Velocidad de diseño

La velocidad máxima segura para los vehículos en una carretera, en condiciones óptimas de clima y tráfico, se establece tomando en cuenta factores como las características del terreno, la importancia de la vía, el volumen de tráfico y el uso del suelo. Su propósito es mejorar la seguridad, eficiencia, fluidez y movilidad vehicular. Esta velocidad es clave para orientar el diseño geométrico de la carretera, incluyendo su alineación horizontal y vertical. (*MTOP, 2003*)

3.5. Tránsito

El tránsito se define como el movimiento de vehículos y personas por calles, carreteras u otros caminos públicos. Determinar los volúmenes de tránsito es esencial en este proyecto, ya que facilita el diseño adecuado de la vía y sus componentes, ajustándolos al flujo vehicular específico de la zona (*Porto & Gardey, 2010*).

3.6. Topografía

La topografía es una **disciplina** que describe de manera detallada la superficie de un terreno, proporcionando datos esenciales sobre su forma y características (*Pérez Porto & Merino, 2010*).

Es una herramienta clave en la ingeniería civil, utilizada para la planificación, diseño y construcción de diversas obras. Su objetivo principal es determinar las dimensiones y el contorno tridimensional de la superficie terrestre mediante la medición de distancias, direcciones y elevaciones. Además, establece las líneas y niveles necesarios para la construcción de infraestructuras como edificios, carreteras y presas. Más allá de las mediciones de campo, la topografía incluye cálculos de áreas, volúmenes y otras cuantificaciones, así como la elaboración de diagramas y planos indispensables para los proyectos.

En el caso específico del **diseño de vías**, el levantamiento topográfico comprende una serie de actividades fundamentales:

- **Determinación de elevaciones y pendientes:** Mide las alturas del terreno para definir la alineación vertical de la vía.
- **Recopilación de información del terreno:** Identifica accidentes geográficos, estructuras existentes y obstáculos que puedan afectar la construcción.
- **Medición de distancias y ángulos:** Realiza mediciones precisas, necesarias para trazar y planificar el proyecto.
- **Estudio de topografía y geomorfología:** Analiza el tipo de suelo, condiciones geológicas y estabilidad del terreno, elementos clave para el diseño y ejecución de obras civiles.

Este levantamiento es esencial para definir la traza, las curvas horizontales y verticales, y los sistemas de drenaje, garantizando la seguridad y funcionalidad de la vía. Las actividades se llevan a cabo utilizando equipos especializados, como estaciones totales y GPS, complementados con tecnologías avanzadas como drones para levantamiento aéreos, lo que asegura precisión y eficiencia en el proceso.

3.7. Geotecnia

La geotecnia, o ingeniería geotécnica, es la ciencia que estudia las propiedades del suelo y su interacción con factores naturales y estructurales para el desarrollo seguro de obras de construcción. Esta disciplina abarca áreas como la geología, mecánica de suelos y rocas, hidrogeología y ciencia de materiales, y tiene como objetivo prevenir riesgos como deslizamientos de tierra mediante el análisis del terreno y su comportamiento.

3.7.1. Estudios Geotécnicos

Un estudio geotécnico consiste en una evaluación técnica del suelo en un sitio específico, donde se emplean diversos ensayos especializados para determinar las características del terreno que son necesarias para el diseño y construcción de la estructura proyectada.

3.7.2. Granulometría

La granulometría es el método utilizado para analizar y comprender el tamaño de las partículas en una muestra de suelo, evaluando su relevancia dentro de la fracción que representan. Este análisis se realiza mediante tamizado, utilizando una serie de tamices con aberturas de tamaño decreciente

para separar las partículas. El procedimiento se lleva a cabo conforme a la normativa ASTM D422, y sus resultados permiten representar gráficamente la distribución de los tamaños de partículas que constituyen la muestra analizada.

Según el sistema de clasificación SUCS, los suelos se dividen en finos (limos y arcillas), que pasan por la malla No. 200 (0,075 mm); arenas, que pasan por el tamiz No. 4 (4.75 mm) y quedan retenidas en el No. 200; y gravas, que son retenidas en el tamiz No. 4. Este análisis también determina la gradación, que es la proporción de partículas en función de su tamaño, información esencial para el diseño y clasificación.

3.7.3. Clasificación del Suelo

Los sistemas de clasificación de suelos, como el de la AASHTO y el Sistema Unificado, permiten agrupar los suelos en función de sus propiedades mecánicas, granulometría y plasticidad, aspectos clave para evaluar su comportamiento en ingeniería. El sistema AASHTO, desarrollado en 1929 y actualizado en 1945 bajo la norma ASTM D-3282 y el método AASHTO M 145, clasifica los suelos en siete grupos principales (A-1 a A-7) según su idoneidad para su uso en proyectos viales. Este sistema es ampliamente utilizado por departamentos de carreteras, ya que facilita la evaluación y selección de materiales para subrasantes y bases granulares. (*Braja M Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica 4ta edición, 2013*).

Tabla 4. Clasificación del Suelo por el sistema AASHTO

Sistema de Clasificación AASHTO	
A-1	Materiales granulares $\leq 35\%$ pasan a través del tamiz # 200
A-2	
A-3	
A-4	Limo y materiales arcillosos, $\geq 35\%$ pasan a través del tamiz # 200
A-5	
A-6	
A-7	

Fuente y elaboración: Propia, Braja M Das, *Fundamentos de ingeniería geotécnica 4ta edición, 2013*

Por su parte, el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, preferido por ingenieros geotécnicos, se basa en la distribución granulométrica y los límites de plasticidad, proporcionando

una descripción detallada y estandarizada de las propiedades del suelo. Estos sistemas de clasificación son fundamentales para garantizar la estabilidad y funcionalidad de las obras de ingeniería al permitir una selección y manejo adecuado de los materiales según su comportamiento esperado.

Tabla 5. Clasificación del Suelo por el sistema SUCS

Sistema de Clasificación SUCS	
Símbolos	Suelos (Materiales)
G: Grava o suelos de grava	Materiales gruesos en estado natural ≤50% pasan a través del tamiz # 200
S: Arena o suelos arenosos	
M: Limo Inorgánico	Materiales granulares finos ≥ 50% pasan a través del tamiz # 200
C: Arcilla Inorgánica	
O: Limos orgánicos o arcillas	
PT: Turba, lodo y suelos altamente orgánicos	

Fuente y elaboración: Propia, Braja M Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica 4ta edición, 2013

3.7.4. Ensayo de Proctor Estándar y Proctor Modificado

El ensayo Proctor, tanto en su versión Estándar como en la Modificada, se utiliza para determinar el grado óptimo de compactación de un suelo, así como la humedad necesaria para alcanzar dicho nivel. Este procedimiento consiste en compactar el suelo en capas dentro de un molde cilíndrico normado, aplicando impactos con un martillo apisonador del peso especificado. La principal diferencia entre ambos métodos radica en la energía de compactación, que depende del peso del martillo y la altura desde la que se deja caer. El Proctor Estándar se realiza siguiendo la normativa ASTM D-698, mientras que el Proctor Modificado se rige por las normas ASTM D-1557 y AASHTO T-180.

El Proctor Estándar evalúa la relación entre la densidad seca y la humedad del suelo mediante la compactación en tres o cinco capas en un molde de 10,1 cm o 15,24 cm de diámetro. Para cada capa, se aplican 25 o 56 golpes con un pistón de 2,5 kg o 4,54 kg. En el Proctor Modificado, se emplea un pistón más pesado y con mayor altura de caída, lo que resulta en una energía de compactación superior. Los resultados de ambos ensayos son fundamentales para controlar la calidad de la compactación en proyectos de construcción y garantizar la estabilidad del terreno.

3.7.5. Ensayo CBR

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) es un método empleado para evaluar la capacidad portante de terrenos compactados, como terraplenes, capas de firme y explanadas, además de ser útil en la clasificación de suelos. Este procedimiento, desarrollado antes de la Segunda Guerra Mundial por el Departamento de Transportes de California, implica compactar una muestra de suelo en moldes normalizados, sumergirla en agua y aplicar una carga a través de un pistón estándar. El ensayo se rige por normativas internacionales como ASTM D-1883 y UNE 103502.

La prueba consiste en determinar la carga necesaria para que un pistón circular de 19,35 cm² penetre en la muestra de suelo a una velocidad de 1,27 mm/min hasta alcanzar una profundidad de 2,54 mm. Con este proceso se calcula el Índice CBR, que es la relación entre la carga aplicada a la muestra y la carga requerida para una muestra tipo de roca machacada, expresada en porcentaje. Este índice proporciona una medida relativa de la resistencia y estabilidad del suelo.

Para materiales con partículas superiores a 19 mm, se permite modificar la gradación del suelo, asegurando que todo el material utilizado en la prueba pase por un tamiz de 19 mm, mientras se conserva la proporción original de grava. Aunque este procedimiento puede alterar las propiedades mecánicas del suelo en comparación con el material original, su uso generalizado ha permitido desarrollar métodos de diseño efectivos basados en estos resultados.

El ensayo CBR es fundamental en proyectos de ingeniería civil, ya que permite determinar la capacidad de carga y las características de resistencia del suelo, facilitando el diseño adecuado de infraestructuras. Este método sigue siendo una herramienta esencial para evaluar la estabilidad y durabilidad de los terrenos en diversas aplicaciones constructivas.

3.8. Normativa Técnica

Una norma técnica es un documento aprobado por consenso que define los requisitos mínimos que un producto, proceso o servicio debe cumplir para su propósito previsto. En ingeniería civil, estas normas regulan los procesos constructivos y administrativos, siendo fundamentales para garantizar la calidad y seguridad.

Entre las organizaciones más destacadas en este campo se encuentran el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM), el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) y la Asociación Americana de Oficiales de

Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO), Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO). Estas instituciones desempeñan un papel crucial en la definición y aplicación de estándares técnicos que garantizan la calidad y seguridad en la ingeniería civil.

3.9. AASHTO 93

Las normas AASHTO, establecidas por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales, establecen estándares y especificaciones técnicas que regulan el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras de transporte. Estas normas aseguran la calidad, seguridad y uniformidad en los proyectos de ingeniería civil vinculados al transporte, promoviendo la eficiencia operativa de las vías y la optimización de recursos. Además, de minimizar riesgos y a desarrollar infraestructuras sostenibles y duraderas, adaptadas a las necesidades actuales. *(Normas AASHTO, 2024)*

3.10. Pavimentos

Un pavimento está compuesto por varias capas horizontales superpuestas, diseñadas con materiales específicos y compactados de manera precisa para garantizar su durabilidad. Estas capas descansan sobre la subrasante, una base preparada durante la construcción mediante trabajos de movimientos de tierra. El propósito principal de estas capas estratificadas es soportar las cargas repetitivas del tráfico durante toda la vida. *(Ing. Vías, 2020)*

Pavimento Flexible tiene dos métodos: el AASHTO y RACIONAL, estos métodos permiten determinar el espesor de las capas de material al elaborar un pavimento flexible. Se determinan las capas después de determinar ciertos factores que afectarían directamente a la carpeta asfáltica colocada y así determinar de mejor manera la correcta a usar dentro de la construcción de la estructura de la vía. *(Laura Aristizabal, 2014)*

3.10.1. Diseño de Pavimentos Flexibles

Un pavimento flexible está compuesto por varias capas superpuestas de materiales específicos, cada una de ellas con una función particular para garantizar la durabilidad y el rendimiento bajo las cargas del tráfico. Estas capas incluyen la subrasante, que es la capa más profunda y se prepara mediante movimientos de tierra, y varias capas superiores que se colocan sobre ella. La capa más baja, conocida como base, está formada por materiales resistentes como grava o arena, y tiene la

función de distribuir las cargas provenientes del tráfico hacia la subrasante. Encima de la base se encuentra la subbase, que actúa como un amortiguador, mejorando la capacidad de carga y la estabilidad del pavimento. Finalmente, la capa superior, también llamada capa de rodadura, es la que entra en contacto directo con el tráfico, y está compuesta por materiales más resistentes, como mezclas asfálticas, que proporcionan una superficie rugosa y segura para la circulación. El diseño de un pavimento flexible se basa en la correcta selección, compactación y combinación de estos materiales para asegurar que el pavimento sea capaz de resistir las cargas repetitivas del tráfico, las condiciones climáticas y el desgaste a lo largo de su vida útil.

Figura 6. Estructura típica del pavimento flexible



Fuente: *Procesos Constructivos de Una vía Flexible*, 2017

El diseño de pavimentos según el método AASHTO tiene sus orígenes en el AASHTO Road Test, realizado entre 1958 y 1960 en Ottawa, Illinois, cuyos resultados proporcionaron datos clave para el diseño de pavimentos. En 1962, se publicó la "AASHTO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavement", basada en modelos empíricos derivados de esos ensayos, y en 1986 se publicó una versión modificada, la "AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures", que incorporó mejoras como la confiabilidad, módulos resilientes de materiales y el impacto de subrasantes expansivas o congeladas. (AASHTO, 1993).

$$\text{Log } W = \text{Log } \rho + \frac{G}{\beta}$$

$$\beta = 0.40 + \frac{0.81(L_1 + L_2)}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}} \quad 3.23$$

W = número de cargas de ejes tipo aplicadas hasta la serviciabilidad final.

G = una función (el logaritmo) de la relación de pérdida de serviciabilidad en el tiempo *t* con respecto a la pérdida potencial para una serviciabilidad de 1.5 función del diseño y de las cargas que influyen en la forma de la curva **p** (serviciabilidad) vs. **W**.

SN = número estructural

L1 = carga por eje simple o eje tándem

L2 = código de ejes (1 para eje simple, 2 para eje tándem)

La fórmula deducida por la AASHTO:ρ es una función del diseño y de las cargas que tiene en cuenta el número de aplicaciones de cargas para llevar la calzada a una serviciabilidad de 1.5.

$$\text{Log } \rho = 5.93 + 9.36 \lg(SN + 1) - 4.79 \log(L_1 + L_2) + 4.33 \log L_2$$

Para el método de diseño AASHTO 86 Y 93 la fórmula de diseño es:

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_O + 9.36 \lg(SN + 1) - 0.2 + \frac{\frac{\log(\Delta PSI)}{4.2+1.5}}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log } M_{R+8.07}$$

Donde:

SN número estructural (pulg)

W_{18} número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas

Z_R abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada

S_O desvío estándar de todas las variables

ΔPSI pérdida de serviciabilidad

M_R módulo resiliente de la subrasante (en psi)

ai = Coeficiente estructural de la capa i.

Di = Espesor de la capa i en pulgadas

mi = Coeficiente de drenaje de la capa i.

$$SN = a1. D1 + a2. M2. D2 + a3. M3D3$$

3.10.2. Subbase

La capa subbase en un pavimento tiene diversas funciones clave, tanto económicas como técnicas. Una de sus principales funciones es la optimización de costos. Aunque el espesor total del pavimento podría construirse con materiales de alta calidad, es más rentable distribuir las capas más resistentes en la parte superior y utilizar materiales de menor calidad, pero más económicos, en la base. Esta estrategia puede aumentar el espesor total del pavimento, pero, a largo plazo, resulta más asequible sin comprometer su resistencia.

Otra función importante de la subbase es la de actuar como una capa de transición. Bien diseñada, la subbase impide la penetración de los materiales de la base en la subrasante, además de servir como filtro para evitar que los finos de la subrasante contaminen la base, lo que podría deteriorar su calidad. Esto contribuye a mantener la integridad de las capas superiores y asegura una mayor durabilidad.

La subbase también desempeña un papel esencial en la disminución de las deformaciones en el pavimento. Los cambios volumétricos en la subbase, causados por variaciones en el contenido de agua o fluctuaciones extremas de temperatura, pueden ser absorbidos por la subbase, evitando que estas deformaciones se reflejen en la superficie de rodadura. Además, la subbase debe tener suficiente resistencia para soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas vehiculares y transferirlos de manera adecuada a la subbase. En muchos casos, también actúa como un sistema de drenaje, permitiendo la evacuación del agua que pueda filtrarse desde la carpeta o las bermas, y previniendo la ascensión capilar que podría afectar la estabilidad del pavimento. (Miranda, 2020)

3.10.3. Base

La base granular dentro de sus funciones, cumple una función crítica en los pavimentos, que es la de resistir esfuerzos generados por el tráfico vehicular y transmitir los mismos de manera eficaz hacia la subbase y la subrasante distribuyéndolos de manera adecuada. Desde una perspectiva económica, su principal objetivo es optimizar el uso de materiales, asignando capas superiores con materiales de alta calidad y utilizando capas inferiores más económicas, sin comprometer la resistencia global del pavimento. De este modo, se garantiza un equilibrio adecuado entre costo y funcionalidad.

3.10.4. Carpeta Asfáltica

La carpeta asfáltica desempeña varias funciones fundamentales en la estructura de los pavimentos. En primer lugar, debe garantizar una superficie de rodamiento uniforme y estable, con una textura y color apropiados que sean capaces de resistir los efectos abrasivos del tránsito vehicular. Esto contribuye a la seguridad y comodidad del conductor, además de mantener la integridad del pavimento.

Una de las funciones más importantes de la carpeta es su impermeabilidad, ya que debe evitar la infiltración de agua al interior del pavimento. Esto es crucial para prevenir el daño de las capas inferiores y aumentar la durabilidad general del pavimento. El control de la humedad interna previene la formación de grietas y otros problemas estructurales causados por la penetración de agua.

Finalmente, la resistencia a la tensión de la carpeta asfáltica complementa la capacidad estructural del pavimento. Al ser capaz de soportar las cargas dinámicas y estáticas generadas por el tráfico,

asegura que el pavimento mantenga su funcionalidad y vida útil, resistiendo las presiones a las que está expuesto durante su uso.

3.10.5. Variables de tiempo

Las dos variables clave en el diseño de pavimentos son la vida útil y el período de análisis. La vida útil se refiere al tiempo transcurrido desde la construcción o rehabilitación del pavimento hasta que alcanza un nivel mínimo de serviciabilidad. El período de análisis abarca el tiempo total considerado para cada estrategia de diseño, que puede coincidir con la vida útil o incluir varios ciclos si se prevén futuras reconstrucciones o refuerzos.

Tabla 6. Periodos de análisis

Clasificación de la vía	Periodo de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50 años
Rural de alto volumen de tráfico	20 - 50 años
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25 años
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 – 20 años

Fuente: AASHTO, 1993

3.10.6. Tránsito

Se emplea el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (ESALs) para estimar el tránsito en una vía. La conversión de la carga por eje a ESAL se realiza mediante factores equivalentes de carga (LEF). El tránsito de diseño se expresa en ejes equivalentes de 8.2 toneladas, que representan el tránsito proyectado para el carril de diseño en los próximos años. Existen diversas metodologías para calcular el tránsito equivalente, siendo una de las más comunes el método AASHTO, que define factores de equivalencia para convertir ejes de diferentes vehículos comerciales a ejes de 8.2 toneladas. Además, se utilizan factores derivados de la Investigación Nacional de Pavimentos, ajustados a las condiciones locales del país, considerando el tipo de vehículos y las cargas que transitan por la red vial.

Figura 7. Factores de equivalencia

Buses	Bus	0.40
	Bus metropolitano	1.00
C2P	C2P	1.14
C2G	C2G	3.44
C3 y C4 FE Ponderado 3.74	C3	3.76
	C2S1	3.37
	C4	6.73
	C3S1	2.22
	C2S2	3.42
C5	C3S2	4.40
> C5	> C5	4.72

Fuente: AASHTO, 1993

En cuanto a los factores de distribución del flujo vehicular por carril, se sigue la recomendación de la AASHTO.

Figura 8. Factor de distribución por carril

Número de carriles de cada dirección	% de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Fuente: AASHTO, 1993

3.10.7. Confiabilidad (R)

Se refiere al nivel de certeza de que un diseño determinado podrá mantenerse en buenas condiciones al final de su período de análisis. En el caso de una construcción por etapas (cuando la vida útil es menor que el período de análisis), es necesario combinar las confiabilidades de cada etapa para obtener la confiabilidad total durante todo el período de diseño.

$$R_{etapa} = (R_{total})^{\frac{1}{n}}$$

Figura 9. Niveles de confiabilidad sugeridos

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

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad R [%]	
	Urbana	Interurbana
Colectoras	80.0 – 95.0	75.0 – 95.0
Locales	50.0 – 80.0	50.0 – 80.0

Fuente: AASHTO, 1993

3.10.8. Factores de equivalencia de carga por eje de la AASHTO

El método de diseño AASHTO transforma los ejes con diversas magnitudes y repeticiones en un número equivalente de repeticiones de carga de un eje estándar de 18,000 libras (80 kN), aplicado a un eje simple con ruedas dobles. El concepto de ESAL se refiere al número de repeticiones equivalentes de este eje estándar que generan el mismo daño al pavimento que cada repetición del eje en análisis. Para ello, la guía AASHTO emplea los factores de equivalencia de carga (EALF) que comparan el impacto de diversas configuraciones de ejes con el eje estándar.

$$\frac{W_x}{W_{18}} \quad \begin{array}{l} W_x = \text{Número de aplicaciones de carga del eje de 18,000 libras en un tiempo } t. \\ W_{18} = \text{Número de aplicaciones de carga de un eje } x \text{ en un tiempo } t. \end{array}$$

Acorde a los datos obtenidos de la prueba vial AASHTO, se tiene las ecuaciones de regresión para definir los factores de equivalencia de carga para pavimentos flexibles.

$$\frac{W_x}{W_{18}} = \left[\frac{L_{18} + L_{25}}{L_{18}} \right]^{4.79} \left[\frac{10^{\frac{G}{\beta x}}}{10^{\frac{G}{\beta 18}}} \right] [L_{2x}]^{4.33}$$

$$G = \log \left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5} \right)$$

$$\beta = 0.4 + \left(\frac{0.081(L_x + L_{2x})^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_{2x}^{3.23}} \right)$$

- W_x Inverso de los factores de equivalencia de aplicación de ejes
- W_{18} Número de ejes simples de 18,000 lb (80 kN)
- L_x Carga del eje evaluado
- L_{18} (carga del eje estándar en libras/1,000)
- L_2 código para la configuración del eje. (1 = eje simple, 2 = eje tándem, 3 = eje tridem)
- x factor de equivalencia de carga del eje evaluado
- s código para el eje estándar, igual a 1 (eje simple)
- G función de la proporción de la pérdida de serviciabilidad en un tiempo t , para la pérdida potencial observada en el punto donde $P_t = 1.5$
- F Función que determina la relación entre serviciabilidad y aplicaciones de eje de carga
- P_t índice de serviciabilidad final
- SN número estructural del pavimento

3.10.9. Error normal combinado S_o

El error normal combinado considera la desviación del diseño, así como variaciones en las propiedades de los materiales, la subrasante, la estimación del tránsito, las condiciones climáticas y la calidad de la construcción. Los valores de S_o se obtienen a partir de un cuadro específico.

Figura 10. Error normal combinado, S_0

Proyecto de pavimento	Desviación estándar, S_0	
	Flexible	Rígido
	0.40 – 0.50	0.30 – 0.40
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

Fuente: AASHTO, 1993

3.10.10. Nivel de confianza R(%)

El nivel de confianza R se utiliza para determinar el valor de la desviación estándar normal Z_r , con el cual se desea diseñar el pavimento.

Figura 11. Niveles de 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

Fuente: AASHTO, 1993

Figura 12. Desviación normal estándar, Z

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

Fuente: AASHTO, 1993

3.10.11. Niveles de Serviciabilidad

La serviciabilidad, según la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), mide el grado en que un pavimento cumple con los requisitos de funcionalidad, confort y seguridad durante su vida útil. Este concepto evalúa el desempeño del pavimento desde la perspectiva del usuario, considerando la calidad de la superficie y su capacidad para soportar el tráfico sin sufrir un deterioro excesivo.

La AASHTO utiliza el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI) para cuantificar la calidad del pavimento, con valores que van de 0 (condición deteriorada) a 5 (condición excelente). El PSI se calcula observando los defectos en la superficie y su impacto en la conducción.

Los niveles de serviciabilidad son los siguientes:

- **Excelente (PSI cercano a 5):** Pavimento nuevo o recién rehabilitado.
- **Bueno (PSI de 4):** Pavimento funcional y cómodo, con pocos defectos.
- **Aceptable (PSI de 3):** Pavimento con algunos defectos, pero aún funcional.
- **Pobre (PSI de 2):** Pavimento deteriorado, con defectos que afectan la seguridad y confort.
- **Inaceptable (PSI cercano a 0):** Pavimento completamente deteriorado, que necesita rehabilitación o reemplazo.

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

El cambio en el PSI (ΔPSI) se calcula como la diferencia entre el valor inicial (P_o) y el valor final (P_f). Para pavimentos flexibles, el valor inicial es $P_o = 4.2$ y el valor final en el que ocurre la falla funcional es $P_f = 2.2$, resultando en una pérdida de serviciabilidad de $PSI = 4.2 - 2.2 = 2.0$. Además, la AASHTO recomienda valores específicos para los índices de serviciabilidad inicial y final.

Figura 13. Serviciabilidad Inicial, P_o

Tipo pavimento	Serviciabilidad inicial, P_o
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Fuente: AASHTO, 1993

Figura 14. Serviciabilidad final, P_f

Tipo de vía	Serviciabilidad final, P_f
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

Fuente: AASHTO, 1993

3.10.12. Módulo resiliente de la subrasante M_r .

El módulo resiliente de la subrasante puede determinarse mediante retrocálculo, utilizando las deflexiones medidas con el deflectómetro de impacto, los ensayos de módulos resilientes o las correlaciones indicadas en la ecuación.

$$M_r \left[\frac{N}{m^2} \right] = 10^7 CBR$$

$$M_r \left[\frac{Kg}{cm^2} \right] = 100 CBR$$

$$M_r \left[\frac{lb}{pulg^2} \right] = 1500 CBR$$

$$M_r [Mpa] = 10 CBR$$

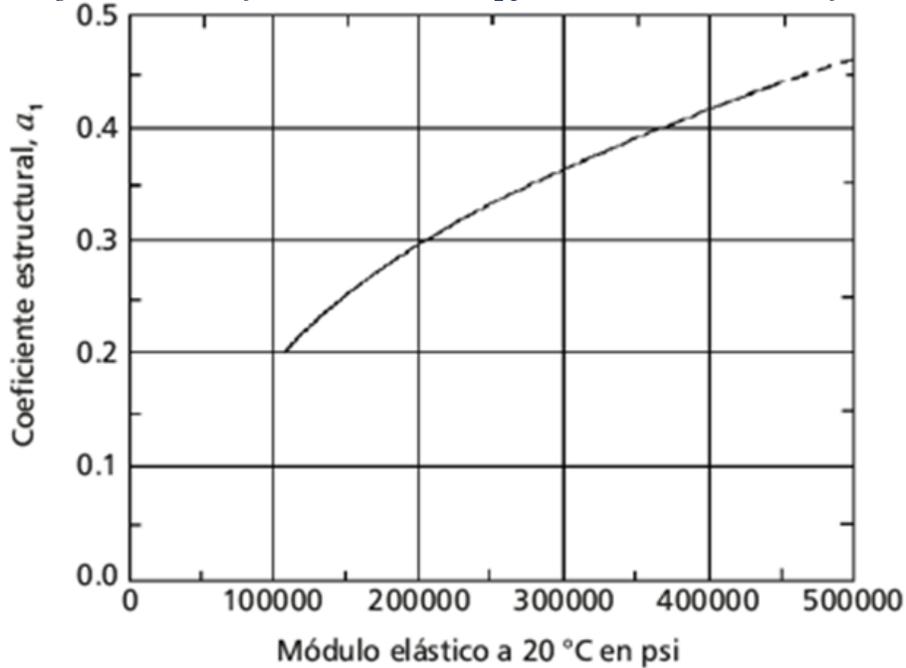
3.10.13. Propiedades mecánicas de los materiales

El parámetro mecánico utilizado para caracterizar los materiales en el diseño de pavimentos es el módulo resiliente, expresado en psi. Sin embargo, para el diseño y dimensionamiento del espesor de las capas del pavimento, este parámetro se traduce en coeficientes estructurales de capas, denominados a_1 . Estos coeficientes son aplicables exclusivamente en estructuras de pavimento flexible y miden la capacidad relativa de una unidad de espesor de una capa para actuar como componente estructural del pavimento.

El coeficiente estructural para cada capa varía según su tipo: para la capa de concreto asfáltico, el subíndice $i=1$; para la capa granular no tratada de base, que corresponde a una estructura flexible

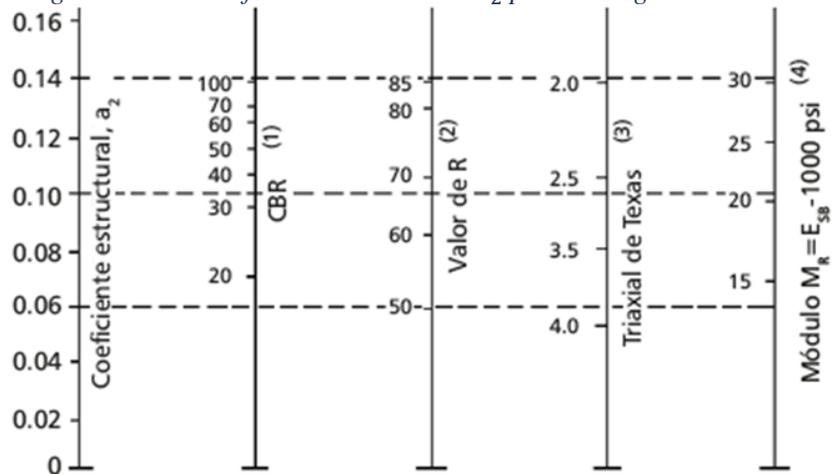
o a una base estabilizada con un cemento hidráulico en estructuras semirrígidas, el subíndice $i=2$; y para la capa granular no tratada de subbase, el subíndice $i=3$ (AASHTO, 1993).

Figura 15. Coeficiente estructural a_1 para mezcla de concreto asfáltico.



Fuente: Rondón et al., 2015

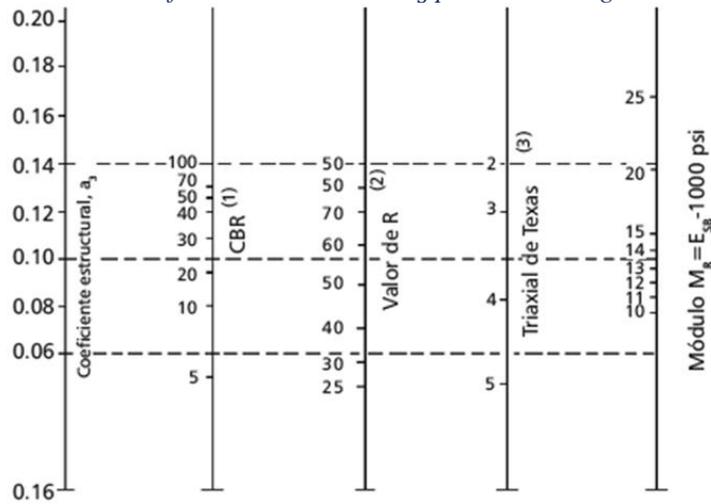
Figura 16. Coeficiente estructural a_2 para base granular no tratada.



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Rondón et al., 2015

Figura 17. Coeficiente estructural a_3 para subbase granular no tratada.



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Rondón et al., 2015

Los coeficientes estructurales a_2 para bases estabilizadas con cementantes hidráulicos varían según la resistencia a la compresión simple (f'_c) medida a los siete días. Los valores típicos de a_2 son 0.14, 0.15, 0.16, 0.17 y 0.18 para materiales con resistencias de 300, 400, 450, 500 y 550 psi (equivalentes a 2.1, 2.8, 3.2, 3.5 y 3.9 Mpa), respectivamente. Para estos coeficientes, el módulo elástico aproximado de los materiales se encuentra entre 5.7×10^5 y 6.8×10^5 .

Además, las ecuaciones para calcular los coeficientes estructurales en función de los módulos resilientes (E_1, E_2, E_3) de las capas son las siguientes:

- $a_1 = 0.184 \times \ln(E_1) - 1.9547$ (13.8)

- $a_2 = 0.249 \times \log(E_2) - 0.977$ (13.9)

- $a_3 = 0.227 \times \log(E_3) - 0.839$ (13.10)

En estas ecuaciones: E_1, E_2, E_3 , representan los módulos resilientes de la capa asfáltica, la base granular y la subbase granular no tratada, respectivamente.

3.10.14. Condiciones ambientales y de drenaje

Los coeficientes de drenaje (m) para las capas de base y subbase se seleccionan según las características del material, la calidad del drenaje y el tiempo durante el cual la estructura del

pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación. Este tiempo se calcula como la relación entre los días promedio de lluvia en la zona y los 365 días del año.

El subíndice $i = 2$ corresponde a la capa granular no tratada de base en estructuras flexibles, o a una base estabilizada con cementante hidráulico en estructuras semirrígidas, mientras que $i = 3$ se refiere a la subbase granular no tratada. Para la capa asfáltica, el coeficiente de drenaje (m) se establece en 1.0. En una estructura semirrígida, el valor de m para la base estabilizada con cementante hidráulico se toma como 1.0 o superior, bajo la suposición de que esta capa es impermeable.

Tabla 7. 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

Fuente: AASHTO, 1993

Valores recomendados de m_i
 Se proporcionan valores de m_i para corregir los coeficientes estructurales de las bases y subbases granulares, según las condiciones de drenaje y las características del material.

Tabla 8. Valores de m_i recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares.

Características del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a granos de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.36 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.7 - 0.40	0.40

Fuente: AASHTO, 1993

3.10.15. Dimensionamiento

Los espesores de las capas (h_i , en pulgadas) que conforman las estructuras de pavimento flexible se definen según su tipo: el subíndice $i = 1$ se refiere a la capa de concreto asfáltico, $i = 2$ a la base granular no tratada en pavimentos flexibles o a una base estabilizada con cemento hidráulico

en pavimentos semirrígidos, y $i = 3$ a la subbase granular no tratada.

Las ecuaciones para calcular los espesores de las capas son las siguientes:

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1} \qquad h_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \times m_2} \qquad h_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 \times m_3}$$

Donde SN_i , son los números estructurales de capa, los cuales se calculan introduciendo el módulo resiliente (M_r) de la base, subbase y subrasante en la ecuación correspondiente.

La siguiente fórmula se emplea para determinar el $\log W_{18}$ relacionado con el diseño de pavimentos:

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

Es importante considerar que, en el caso de estructuras de pavimentos flexibles, al determinar los espesores h_i , deben cumplirse los espesores mínimos establecidos para cada capa que conforma el pavimento.

Tabla 9. 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

Fuente: AASHTO, 1993

3.11. Diseño Geométrico

Una carretera es un sistema de transporte que permite la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo con cierto nivel de seguridad, rapidez y comodidad. Puede ser de una o varias calzadas conformadas por uno o varios carriles y tener uno o ambos sentidos de circulación, de acuerdo a los volúmenes en la demanda del tránsito, la composición vehicular, su clasificación funcional y distribución direccional. Para los criterios de diseño se debe considerar

la velocidad de diseño, seguridad, comodidad, entorno, funcionalidad, economía, vehículos a circular por la vía, proyección vehicular; estos aspectos garantizan un correcto diseño de la vía. (Ospina, 2002)

Para el diseño geométrico es necesario realizar también un estudio hidrológico para considerar las pendientes de las vías y el diseño correcto de las alcantarillas necesarias para el paso del agua en los puntos necesarios para garantizar la durabilidad de la vía. Los estudios hidrológicos se realizan considerando las cuencas que aportan para determinar el caudal que aportaría a la zona de estudio determinada. (Ramirez., 2013)

Las normas que rigen el diseño geométrico es la NEVI-12 que es la última revisada en Quito en el año 2013, con la cual se realizan los diseños de las vías del Ecuador. “El Ministerio de Transporte y Obras Públicas, como entidad competente para formulación de políticas, regulaciones, planes, programas y proyectos, que garanticen un Sistema Nacional del Transporte Intermodal y Multimodal, sustentando en una red de Transporte con estándares internacionales de calidad, alineados con las directrices económicas, sociales, medioambientales y el plan nacional de desarrollo; todo lo que ha generado en la iniciativa para la revisión, actualización y complementación de las normas y especificaciones técnicas del sector transporte (vial) del MTOP”. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013)

El factor que más afecta a una vía es el agua, por lo que debemos considerar un sistema de drenaje. “El propósito del manual es proveer guías para el planeamiento y el diseño de los dispositivos hidráulicos relacionados con la infraestructura de transporte terrestre a cargo del Instituto Nacional de Vías. El manual incluye aspectos relacionados con la hidrología, el drenaje superficial y subsuperficial y la socavación, mediante los cuales se pretende contribuir en la generación de una condición de circulación cómoda y segura para los usuarios, así como proteger las carreteras nacionales contra el efecto adverso de las aguas superficiales y subterráneas”. (Ministerio de Transporte de Colombia, 2009)

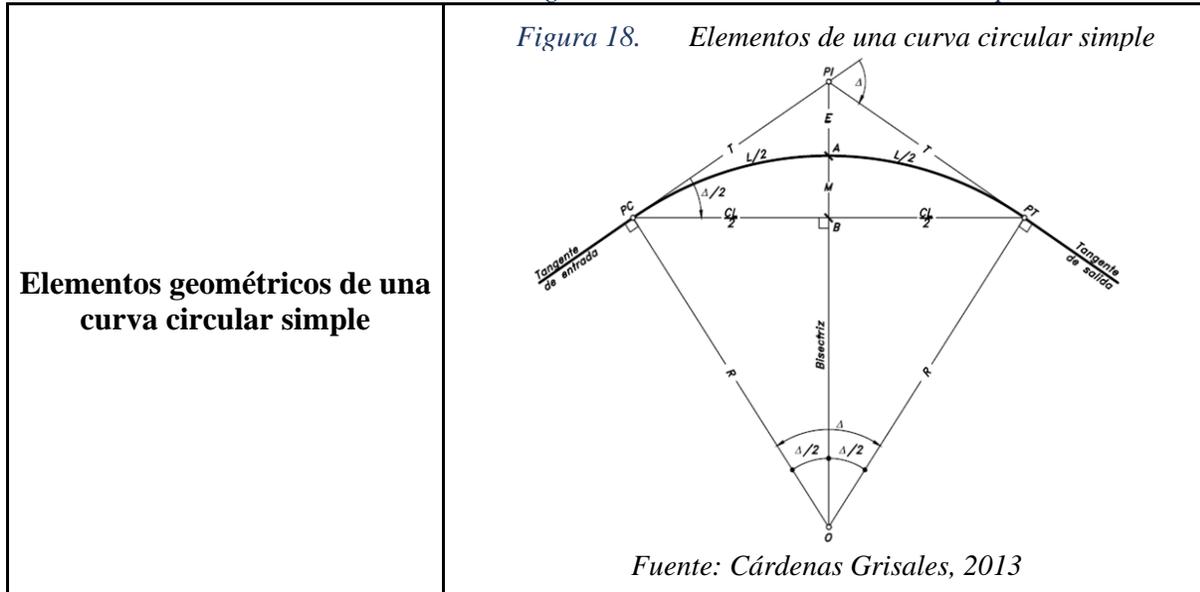
3.11.1. Diseño Geométrico Horizontal

Es la relación de los elementos físicos y las características de uso de cada vehículo, por medio de matemáticas, física y geometría se realiza un trazado en planta del eje de la vía, cumpliendo las normas establecidas en el lugar de la ejecución de la obra y garantizando la seguridad de los usuarios de la misma.

Dentro del diseño geométrico se utilizan ciertos tipos de diseño de curvas como son:

Curvas circulares simples: son arcos de una circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes, formando una proyección en el espacio. Por este motivo en el espacio no siempre son circulares.

Tabla 10. Elementos geométricos de una curva circular simple



Simbología	Detalle
PI	Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva
PC	Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.
PT	Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.
O	Centro de la curva circular
Δ	Ángulo de deflexión de las tangentes: ángulo de deflexión principal. Es igual al ángulo central subtendido por el arco PC×PT.
R	Radio de la curva circular simple.
T	Tangente o subtangente: distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT
L	Longitud de curva circular: distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.
CL	Cuerda larga: distancia en línea recta desde el PC al PT
E	Externa: distancia desde el PI al punto medio de la curva A.
M	Ordenada media: distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B.

Fuente y elaboración: Propia, Cárdenas Grisales, 2013

Expresiones que relacionan los elementos geométricos:

Tabla 11. Expresiones que relacionan los elementos geométricos

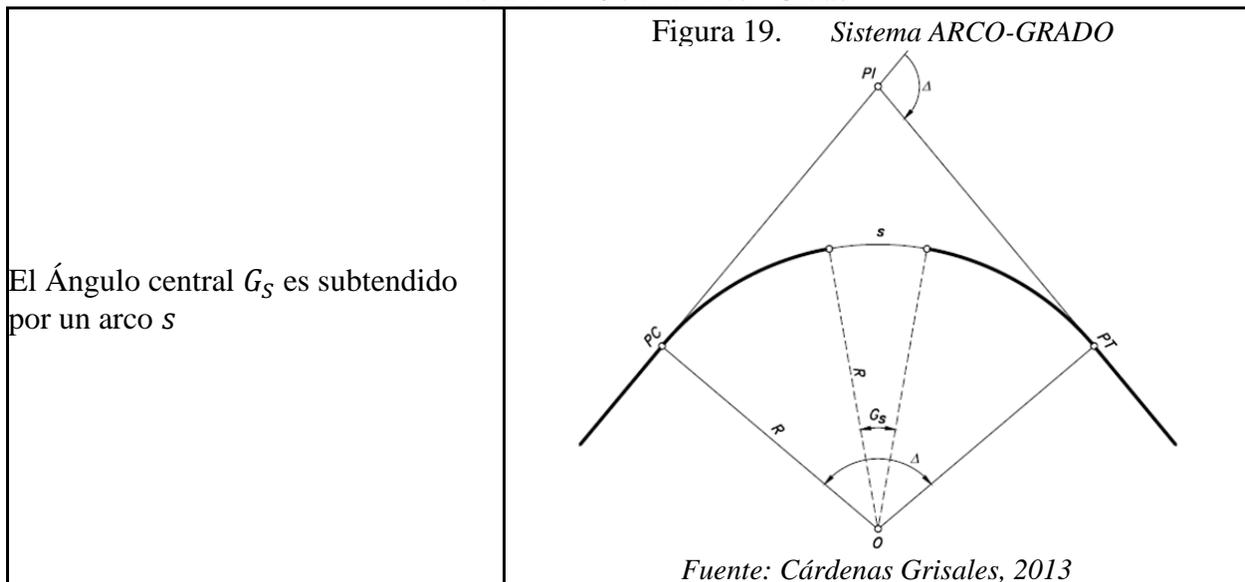
T en función de R y Δ :	$T = \tan \frac{\Delta}{2}$	E en función de R y Δ :	$E = R \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right)$
R en función de T y Δ :	$R = \frac{T}{\frac{\Delta}{2}}$	E en función de T y Δ :	$E = \left(\frac{T}{\operatorname{sen} \frac{\Delta}{2}} \right) \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$ $E = T \frac{\Delta}{4}$
CL en función de R y Δ :	$CL = 2R \times \operatorname{sen} \frac{\Delta}{2}$	M en función de R y Δ :	$M = \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$

Fuente y elaboración: Propia, Cárdenas Grisales, 2013

La curvatura de un arco circular se define por su radio R o grado de curvatura G , que corresponde al ángulo central subtendido por un arco o cuerda de longitud específica. En el contexto local, los valores más comunes para el arco unidad o la cuerda unidad son 5, 10 y 20 metros (Cárdenas Grisales, 2013).

Sistema ARCO-GRADO

Tabla 12. Sistema Arco - Grado

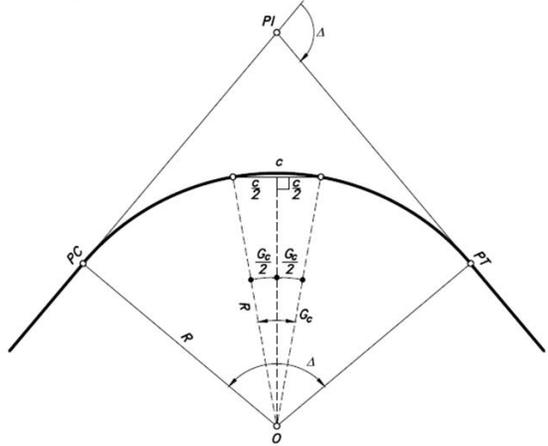


Matemáticamente: a mayor curvatura, menor radio, y a menor curvatura, mayor radio.	$Curvatura = \frac{1}{R}$
Para una curva circular del radio R , el arco s se calcula multiplicando el radio R por el ángulo central G_S , en radianes.	$G_S = \frac{s}{R}$
Para el radio R expresado en metros y para un valor del arco s de 1 metro se tiene:	$G_{S=1} = \frac{1}{R}$

Fuente y elaboración: Propia, Cárdenas Grisales, 2013

Sistema CUERDA-GRADO

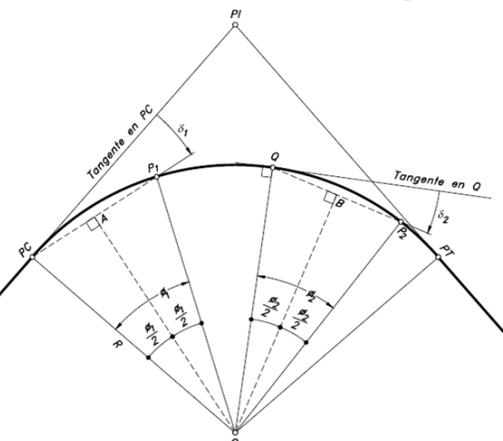
Tabla 13. Sistema Cuerda - Grado

<p>El Ángulo central G_S es subtendido por una cuerda unidad c.</p> <p>Donde: $G_S = 2 \operatorname{arcsen} \frac{2}{2R}$</p>	<p>Figura 20. Sistema CUERDA-GRADO</p>  <p>Fuente: Cárdenas Grisales, 2013</p>
---	---

Fuente y elaboración: Propia, Cárdenas Grisales, 2013

Deflexión de una cuerda circular simple

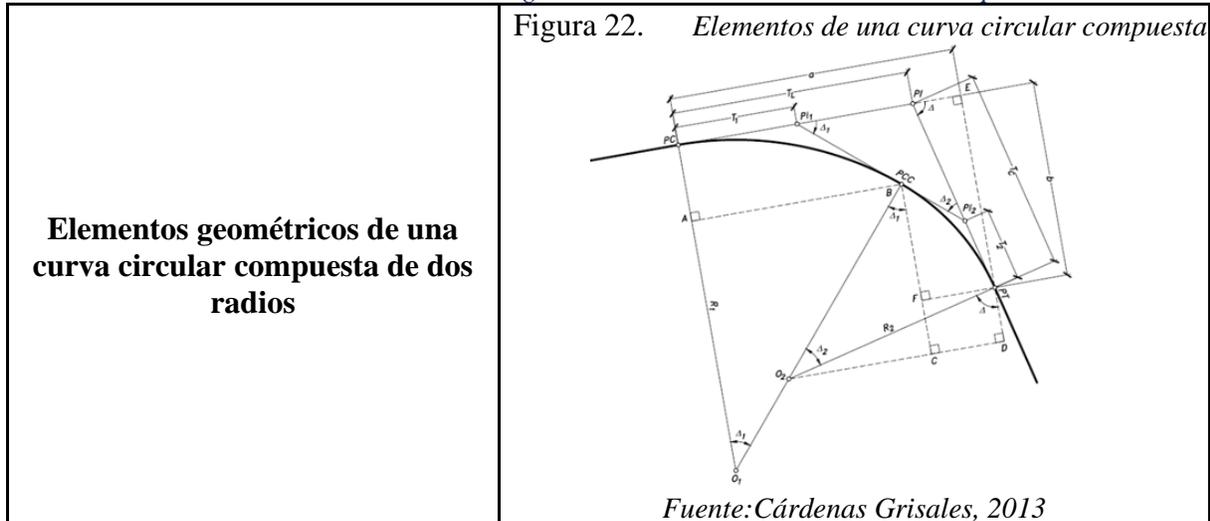
Tabla 14. Deflexión de una cuerda circular simple

<p>El cálculo y la ubicación de las curvas circulares simples en el terreno, especialmente en la localización directa, se realizan utilizando el método de los ángulos de deflexión. Este ángulo δ se define como el ángulo formado entre cualquier tangente a la curva y la cuerda que conecta el punto de tangencia con otro punto P sobre la curva. Este concepto se aplica tanto al ángulo de deflexión δ_1, correspondiente a la tangente en el punto PC y el punto $P1$, como al ángulo de deflexión δ_2, que se refiere a la tangente en el punto Q y el punto $P2$.</p> $\delta = \frac{\varphi}{2}$	<p>Figura 21. Deflexión de una cuerda circular simple</p>  <p>Fuente: Cárdenas Grisales, 2013</p>
---	---

Fuente y elaboración: Propia, Cárdenas Grisales, 2013

Curvas circulares Compuestas: Es la combinación de dos o más curvas simples, a pesar de no ser frecuentes se usan de manera adecuada en terrenos montañosos ajustando de mejor manera la carretera a la topografía del lugar reduciendo de manera significativa el movimiento de tierras.

Tabla 15. Elementos geométricos de una curva circular compuesta

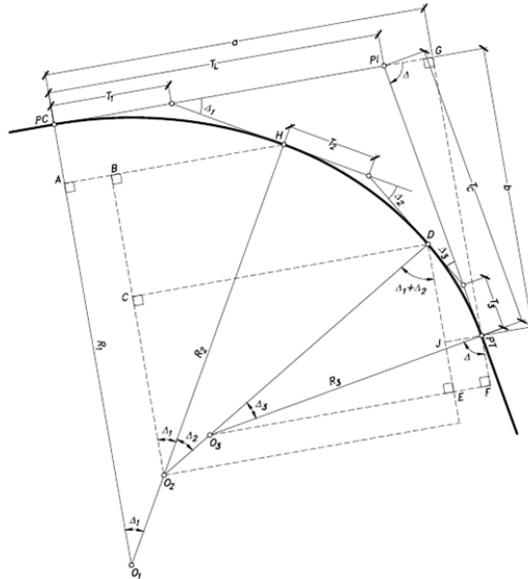


Simbología	Detalle
PI	Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva
PC	Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.
PT	Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.
PCC	Punto común de curvas o punto de curvatura compuesta. Punto donde termina la primera curva circular simple y empieza la segunda.
R1	Radio de la curva de menor curvatura o mayor radio.
R2	Radio de la curva de mayor curvatura o menor radio.
O1	Centro de la curva de mayor radio.
O2	Centro de la curva de menor radio.
Δ	Ángulo de deflexión principal.
Δ1	Ángulo de deflexión principal de la curva de mayor radio.
Δ2	Ángulo de deflexión principal de la curva de menor radio.
T1	Tangente de la curva de mayor radio.
T2	Tangente de la curva de menor radio.
TL	Tangente larga de la curva circular compuesta.
TC	Tangente corta de la curva circular compuesta.

Fuente y elaboración: Propia, Cárdenas Grisales, 2013

Curvas circulares compuestas de tres radios: Una curva compuesta de tres radios de longitudes diferentes tal que $R_1 > R_2 > R_3$ y de ángulos de deflexión principal Δ_1 , Δ_2 Y Δ_3 respectivamente. Los puntos H y D son los puntos comunes a cada par de curvas circulares, o sea, los dos PCC de la curva compuesta. Para el cálculo y localización de la curva circular compuesta es necesario determinar la tangente larga TL y la tangente corta TC.

Figura 23. Elementos de una curva circular compuesta de tres radios.



Fuente: Cárdenas Grisales, 2013

Velocidad de diseño: Es la velocidad máxima a la que los vehículos pueden circular de manera segura en una carretera, bajo condiciones óptimas de clima y tráfico. Esta velocidad se determina considerando diversos factores, como las características físicas y topográficas del terreno, la importancia de la carretera, el volumen de tránsito y el uso del suelo. El objetivo es lograr un equilibrio entre seguridad, eficiencia y movilidad de los vehículos.

La velocidad de diseño es fundamental para el cálculo de los elementos geométricos de la vía, tanto en el alineamiento horizontal como vertical. Es un parámetro clave en el diseño geométrico de carreteras, ya que influye directamente en la definición de las características mínimas de los elementos del trazado, asegurando que se mantengan condiciones de comodidad y seguridad para los usuarios (MTO, 2003).

Este valor también es crucial para garantizar la seguridad en el tránsito, ya que debe estudiarse, regularse y controlarse adecuadamente. La velocidad de diseño debe permitir un equilibrio

perfecto entre el usuario, el vehículo y la carretera, asegurando que se minimicen los riesgos y se maximice la seguridad.

En el caso de tramos de carretera con cambios topográficos, la velocidad de diseño debe mantenerse constante, aunque los ajustes pueden ser necesarios. La diferencia de velocidad entre tramos contiguos no debe superar los 20 km/h, y se debe implementar señalización progresiva para facilitar los cambios de velocidad. Además, la velocidad de diseño debe aplicarse en el tramo más desfavorable y mantenerse durante al menos 5 a 10 kilómetros. En general, se recomienda optar por velocidades superiores a los valores mínimos establecidos, especialmente en carreteras planas o con alto volumen de tráfico (Cárdenas Grisales, 2013).

Figura 24. Valores de Diseño recomendados MTOP.

NORMAS	CLASE I 3 000 - 8 000 TPDA ⁽¹⁾		CLASE II 1 000 - 3 000 TPDA ⁽¹⁾		CLASE III 300 - 1 000 TPDA ⁽¹⁾		CLASE IV 100 - 300 TPDA ⁽¹⁾		CLASE V MENOS DE 100 TPDA ⁽¹⁾																					
	RECOMENDABLE		ABSOLUTA		RECOMENDABLE		ABSOLUTA		RECOMENDABLE		ABSOLUTA																			
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M															
Velocidad de diseño (K.P.H.)	110	100	80	100	80	60	100	90	70	90	80	50	90	80	60	40	80	60	50	60	35	25 ⁽⁴⁾	60	50	40	50	35	25 ⁽⁴⁾		
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	275	160	275	210	75	275	210	110	210	110	42	210	110	75	110	30	30	110	75	42	75	30	20 ⁽⁵⁾
Distancia de visibilidad para parada (m)	180	160	110	160	110	70	160	135	90	135	110	55	135	110	70	110	70	40	110	70	55	70	35	35	70	55	40	55	35	25
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	830	690	565	690	565	415	690	640	490	640	565	345	640	565	415	565	415	270	480	290	210	290	150	110	290	210	150	110	150	110
Peralte	MAXIMO = 10%											10% (Para V > 50 K.P.H.)					8% (Para V < 50 K.P.H.)													
Coefficiente "K" para: ⁽⁶⁾																														
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3
Gradiente longitudinal ⁽⁷⁾ máxima (%)	3	4	6	3	5	7	3	4	7	4	6	8	4	6	7	6	7	9	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14
Gradiente longitudinal ⁽⁸⁾ mínima (%)	0,5%																													
Ancho de pavimento (m)	7,3		7,3		7,0		6,70		6,70		6,00		6,00		4,00 ⁽⁹⁾															
Clase de pavimento	Carpetas Asfálticas y Hormigón				Carpetas Asfálticas				Carpetas Asfálticas o D.T.S.B.				D.T.S.B., Capa Gramular o Empedrado				Capa Gramular o Empedrado													
Ancho de espaldones ⁽¹⁰⁾ estables (m)	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	0,5	0,60 (C.V. Tipo 6 y 7)				—							
Gradiente transversal para pavimento (%)	2,0				2,0				2,0				—				4,0													
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 ⁽¹¹⁾ - 4,0				2,0 - 4,0				2,0 - 4,0				—				—													
Curva de transición	USENSE ESPIRALES CUANDO SEA NECESARIO											HS - 20 - 44; HS - MOP; HS - 25																		
Puentes	Carga de diseño											SERÁ LA DIMENSION DE LA CALZADA DE LA VIA INCLUIDOS LOS ESPALDONES																		
	Ancho de la calzada (m)											0,50 m mínimo a cada lado																		
	Ancho de Aceras (m) ⁽¹²⁾											Según el Art 3º de la Ley de Caminos y el Art 4º del Reglamento aplicativo de dicha Ley																		
Mínimo derecho de vía (m)	LL = TERRENO PLANO 0 = TERRENO ONDULADO M = TERRENO MONTAÑOSO																													

- 1) El TPDA indicado es el volumen promedio anual de tráfico diario proyectado a 15 - 20 años, cuando se proyecta un TPDA en exceso de 7 000 en 10 años debe investigarse la necesidad de construir una autopista. (Las normas para esta serán parecidas a las de la Clase I, con velocidad de diseño de 10 K.P.H. más para clase de terreno - Ver secciones transversales típicas para más detalles. Para el diseño definitivo debe considerarse el número de vehículos equivalentes.
- 2) Longitud de las curvas verticales: $L = KA$, en donde K = coeficiente respectivo y A = diferencia algebraica de gradientes, expresado en tanto por ciento. Longitud mínima de curvas verticales: $L_{min} = 0,60 V$, en donde V es la velocidad de diseño expresada en kilómetros por hora.
- 3) En longitudes cortas menores a 500 m. se puede aumentar la gradiente en 1% en terrenos ondulados y 2% en terrenos montañosos, solamente para las carreteras de Clase I, II y III. Para Caminos Vecinales (Clase IV) se puede aumentar la gradiente en 1% en terrenos ondulados y 3% en terrenos montañosos, para longitudes menores a 750 m.
- 4) Se puede adoptar una gradiente longitudinal de 0% en rellenos de 1 m. a 6 m. de altura, previo análisis y justificación.
- 5) Espaldón pavimentado con el mismo material de la capa de rodadura de la vía. (Ver Secciones Típicas en Normas). Se ensanchará la calzada 0,50 m más cuando se prevé la instalación de guarda caminos.
- 6) Cuando el espaldón está pavimentado con el mismo material de la capa de rodadura de la vía.
- 7) En los casos en los que haya bastante tráfico de peatones, usense dos aceras completas de 1,20 m de ancho.
- 8) Para tramos largos con este ancho, debe ensancharse la calzada a intervalos para proveer refugios de encuentro vehicular.
- 9) Para los caminos Clase IV y V, se podrá utilizar $V_0 = 20$ Km/h y $R = 15$ m siempre y cuando se trate de aprovechar infraestructuras existentes y relieve difícil (escarpado).

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

2-R

Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Relación con la velocidad de circulación: Es la velocidad real a la que un vehículo se desplaza en un tramo específico de carretera, y se calcula dividiendo la distancia recorrida entre el tiempo de circulación. También puede referirse a la velocidad promedio de un conjunto de vehículos. Esta velocidad es un indicador clave de la calidad del servicio que una vía ofrece a los usuarios. En el

diseño de carreteras, es importante considerar las velocidades esperadas según el volumen de tráfico, ya que un mayor volumen reduce la velocidad debido a la interacción entre vehículos. En situaciones de congestión, la saturación del tráfico afecta más la velocidad que la velocidad de diseño. Por ello, se debe evitar que el tráfico alcance niveles de saturación que perjudiquen la fluidez. (MTO, 2003).

Figura 25. Velocidades de diseño (Km/h).

CATEGORÍA DE LA VIA	TPDA ESPERADO	VELOCIDADES DE DISEÑO (Km/h)											
		BÁSICA				PERMISIBLE EN TRAMOS DIFÍCILES							
		(RELIEVE LLANO)				(RELIEVE ONDULADO)				RELIEVE MONTAÑOSO			
		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	Recomendada	Absoluta	Recomendada	Absoluta	Recomendada	Absoluta
R-I o R-II (Tipo)	>8000	120	110	100	95	110	90	96	86	90	80	90	80
I	Todas	3000-8900	110	100	100	90	100	80	90	80	60	80	60
II	Todas	1000-8900	100	90	90	85	90	80	86	80	70	50	70
III	Todas	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60
IV	po 5,5E 5 y 4 y 4E	100-300	80	60	80	60	60	35	60	35	50	25	50
V	4 y 4E	<100	60	50	60	50	50	35	50	35	40	25	40

NOTAS:
 * Los valores recomendados se emplearán cuando el TPDA es cercano al límite superior de la respectiva categoría de vía.
 * Los valores absolutos se emplean cuando el TPDA es cercano al límite inferior de la respectiva categoría de la vía y/o el relieve sea difícil o escarpado.
 * La categoría IV incluye además los caminos vecinales tipo 5, 5E, 6 y 7 contenidos en el manual de caminos vecinales 'Berger-Protectvia' 1984 y categoría V son los caminos vecinales 4 y 4E.
 * En zonas de meteorización profunda (estribaciones) requerirán de un diseño especial considerando los aspectos geológicos.
 * Para la categoría IV y V en caso de relieve escarpado se podrá reducir la Vd mínima a 20 km/h.

Fuente: MTO, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Desplazamiento de un vehículo sobre una curva circular: Para ángulos de deflexión principal $\Delta \leq 6^\circ$, se recomienda utilizar curvas circulares con los radios mínimos establecidos si no es posible evitar las curvas. Los radios mínimos varían según el ángulo de deflexión, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16. Radios para deflexiones pequeñas.

ÁNGULO DE DEFLEXIÓN Δ	6°	5°	4°	3°	2°
RADIO MÍNIMO R (metros)	2000	2500	3500	5500	9000

Fuente y elaboración: Propia, Cárdenas Grisales, 2013

Es fundamental analizar la relación entre la velocidad y la curvatura para garantizar seguridad y eficiencia en el diseño de la vía. En las curvas horizontales, los vehículos experimentan una fuerza centrífuga que los desvía hacia el exterior de la trayectoria, cuya magnitud se calcula mediante la fórmula:

$$F = ma$$

m = Masa del vehículo

a = Aceleración radial, dirigida hacia el centro de curvatura.

Peso, la masa m y la aceleración radial a son iguales a:

W = Peso del vehículo

g = Aceleración de la gravedad

V = Velocidad del vehículo

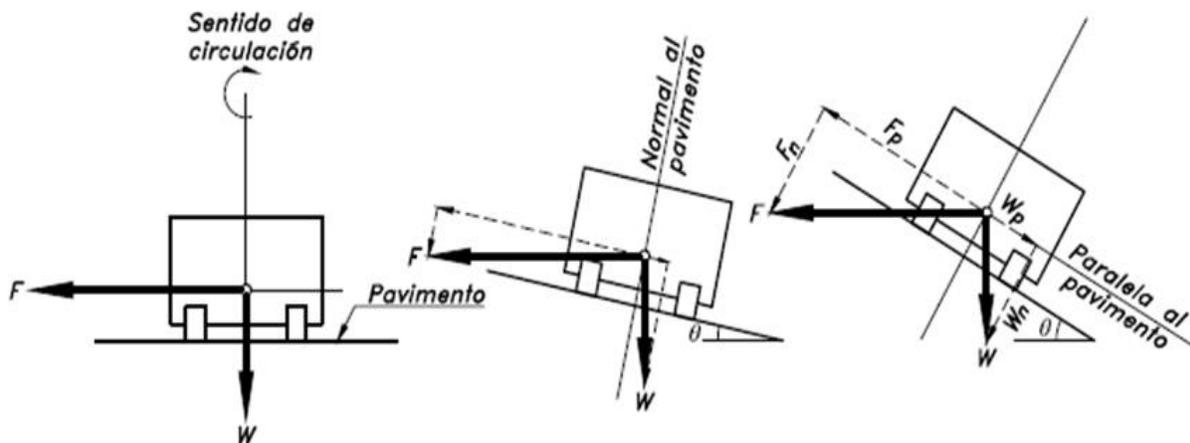
R = Radio de la curva circular horizontal.

$$F = \frac{WV^2}{gR}$$

Los componentes normales y paralelos de las fuerzas W y F se definen de la siguiente manera.

Según la relación entre Wp y Fp, se pueden presentar en:

Figura 26. Efecto de la inclinación transversal de la calzada sobre un vehículo.



Fuente: Cárdenas Grisales, 2013

Tabla 17. Casos de desplazamiento de un vehículo sobre una curva circular.

Caso 1 Wp = 0
La calzada es completamente horizontal, es decir, no presenta inclinación transversal, la componente de la fuerza Fp alcanza su valor máximo, lo que significa que la fuerza centrífuga F tiene el mayor impacto en el vehículo

Caso 2 $W_p = F_p$	
<p>En este escenario, la fuerza resultante de $F+W$ es perpendicular a la superficie del pavimento. Esto provoca que la fuerza centrífuga F no sea percibida por el vehículo. La velocidad a la cual ocurre este equilibrio se denomina velocidad de equilibrio.</p>	<p>Figura 27. Caso $W_p = F_p$</p> <p>Fuente: Cárdenas Grisales, 2013</p>
Caso 3 $W_p < F_p$	
<p>El componente W_p es menor que F_p, la fuerza resultante de $F+W$ actúa en la dirección de la fuerza centrífuga F. En este caso, el vehículo tiende a deslizarse hacia el exterior de la curva, debido a la creación de un momento que actúa en sentido contrario al movimiento de las agujas del reloj. Este tipo de deslizamiento es común en vehículos livianos.</p>	<p>Figura 28. Caso $W_p < F_p$</p> <p>Fuente: Cárdenas Grisales, 2013</p>
Caso 4: $W_p > F_p$	
<p>Cuando W_p es mayor que F_p, la fuerza resultante de $F+W$ actúa en dirección contraria a la fuerza centrífuga F, haciendo que el vehículo tienda a deslizarse hacia el interior de la curva. Este fenómeno es común en vehículos pesados, que son más propensos a volcarse en estas condiciones.</p>	<p>Figura 29. Caso $W_p > F_p$</p> <p>Fuente: Cárdenas Grisales, 2013</p>

Fuente y elaboración: Propia, Cárdenas Grisales, 2013

Velocidad, curvatura, peralte y fricción lateral: Existen dos fuerzas principales que se oponen al deslizamiento lateral de un vehículo: la componente W_p del peso y la fuerza de fricción transversal que se genera entre las llantas y el pavimento. Para prevenir este deslizamiento, se suele proporcionar una inclinación transversal a la calzada en las curvas. Esta inclinación, conocida como peralte, se representa con la letra "e".

Tabla 18. Coeficientes de fricción transversal máximos, fT máx

Coeficientes de fricción transversal máximos, fT máx											
VELOCIDAD ESPECÍFICA VCH (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMO fT máx	0.35	0.284	0.221	0.19	0.165	0.16	0.14	0.134	0.13	0.124	0.12

Fuente y elaboración: Propia, MTOP, 2003

A continuación, se presentan los radios mínimos absolutos R_{min} para las diferentes velocidades específicas VCH, así como los peraltes máximos recomendados $e_{máx}$ y los coeficientes máximos de fricción transversal fT máx.

Figura 30. Radios mínimos en curvas en función del peralte y del coeficiente de fricción lateral.

Velocidad de Diseño km/h	r máximo	RADIO MÍNIMO CALCULADO				RADIO MÍNIMO RECOMENDADO			
		$e=0.10$	$e=0.08$	$e=0.06$	$e=0.04$	$e=0.10$	$e=0.08$	$e=0.06$	$e=0.04$
20	0.350		7.32	7.68	8.08		18	20	20
25	0.315		12.48	13.12	13.88		20	25	25
30	0.284		19.47	20.80	21.87		25	30	30
35	0.255		28.79	30.82	32.70		30	35	35
40	0.221		41.88	44.83	48.27		42	45	50
45	0.200		55.75	59.94	64.82		58	60	65
50	0.190		72.91	78.74	85.59		75	80	90
60	0.165	105.97	115.70	126.98	138.28	110	120	130	140
70	0.160	164.53	187.75	193.73	203.97	180	170	185	205
80	0.140	209.97	229.08	251.97	279.97	210	230	255	280
90	0.134	272.58	298.04	328.76	360.55	275	300	330	370
100	0.130	342.35	374.95	414.42	463.18	350	375	415	465
110	0.124	426.34	487.04	517.80	580.95	430	470	520	585
120	0.120	515.59	588.93	629.82	708.88	520	570	630	710

Fuente: MTOP, 2003

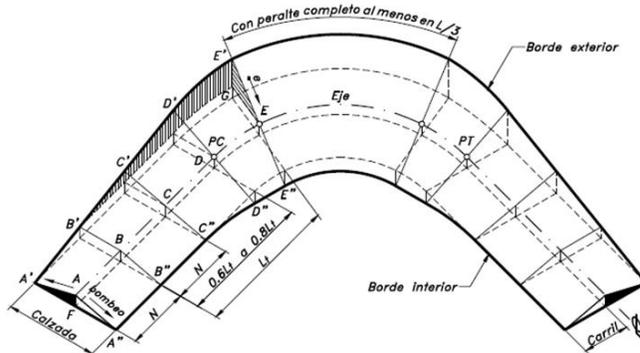
Acorde a estudios realizados, se ha adoptado la práctica de contrarrestar aproximadamente el 55% de la fuerza centrífuga mediante el peralte, mientras que el 45% restante es absorbido por la fricción lateral. Para carreteras de dos carriles, se recomienda un peralte máximo del 10% en vías con capas de rodadura asfáltica, de concreto o empedrada, para velocidades de diseño superiores a 50 km/h. En cambio, para caminos con capa granular de rodadura (como los caminos vecinales tipo 4, 5 y 6) y velocidades de hasta 50 km/h, el peralte máximo recomendado es del 8% (MTOP, 2003).

Transición del peralte: La sección transversal de la calzada en un alineamiento recto presenta una inclinación conocida como bombeo normal, la cual facilita el drenaje de las aguas pluviales hacia las cunetas laterales. El valor de este bombeo varía entre un 1% y un 4%, dependiendo de factores como el tipo de superficie y la intensidad de las lluvias en la zona del proyecto. Esta inclinación es esencial para garantizar una adecuada evacuación del agua y evitar la acumulación sobre la calzada.

En los alineamientos curvos, la calzada presenta una inclinación asociada al peralte, cuyo objetivo es mejorar la seguridad del desplazamiento de los vehículos y prevenir deslizamientos. El paso de una sección con bombeo normal a una con peralte debe realizarse de manera gradual, en una zona conocida como transición de peraltado. Este cambio se ajusta según la curvatura del alineamiento, siendo más pronunciado en curvas circulares o espirales de transición.

Existen tres métodos para realizar la transición del bombeo al peralte: rotar la calzada alrededor de su eje central, alrededor del borde interior o alrededor del borde exterior. El primer método es el más recomendable, ya que ofrece una transición más uniforme y menos distorsionada. En las curvas circulares, la transición se divide entre la recta y la curva, permitiendo hasta un 50% del peralte en la curva, siempre que la tercera parte central de la curva tenga el peralte completo (Cárdenas Grisales, 2013).

Figura 31. *Transición del peralte*



La figura muestra de manera esquemática y tridimensional la transición del peralte en una curva circular, lograda al rotar la calzada alrededor de su eje central.

Lt = Longitud de transición

N = Longitud de aplanamiento

L = Longitud de la curva circular.

e = Peralte necesario de la curva circular.

Fuente: Cárdenas Grisales, 2013

La longitud de transición (L_t) se define como el tramo que va desde la sección donde el carril exterior está a nivel o sin bombeo, hasta la sección en la que la calzada alcanza el peralte completo. Por otro lado, la longitud de aplanamiento (N) corresponde a la distancia necesaria para que el carril exterior pierda su bombeo o quede completamente nivelado. En las curvas circulares sin

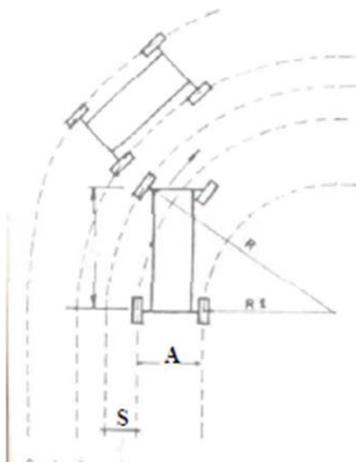
espiral, la transición del peralte se distribuye entre la tangente y la curva, logrando entre un 60% y un 80% del peralte total en el punto de curvatura (PC) y el punto de tangencia (PT), con valores preferentemente promedios dentro de este rango.

Con el fin de mejorar la comodidad y la estética, se recomienda que la longitud de la transición sea diseñada de tal manera que la pendiente longitudinal de los bordes de la vía, en relación con el eje de la calzada, no supere un valor m . Este valor se define como la máxima diferencia permitida entre las pendientes longitudinales de los bordes y el eje de la calzada, asegurando una transición suave y adecuada.

Sobreancho en las curvas: El sobreancho en las curvas horizontales se implementa con el objetivo de garantizar la seguridad y comodidad del tránsito de vehículos, debido a las siguientes razones: al tomar una curva, los vehículos requieren un ancho mayor porque las ruedas traseras siguen una trayectoria más interior que las delanteras, mientras que el extremo delantero describe una trayectoria exterior. Además, los conductores suelen tener dificultades para mantener el vehículo centrado en el carril, especialmente en las curvas. Esta dificultad aumenta con la velocidad y disminuye con radios de curva mayores.

Para calcular el sobreancho, es necesario considerar un vehículo representativo del tránsito en la vía, aunque no se toma en cuenta la variabilidad en la velocidad y las características de los vehículos. Este cálculo es esencial para asegurar que el diseño de la curva permita un paso seguro y eficiente de los vehículos, minimizando el riesgo de deslizamientos o accidentes (MTOP, 2003).

Figura 32. Esquema para determinar el sobreancho de un carril de tránsito en una curva



$$R1 + A = \sqrt{R^2 - L^2}$$

$$R1 + A = R - S$$

$$R - S = \sqrt{R^2 - L^2}$$

$$S = R - \sqrt{R^2 - L^2}$$

- R**= Radio de la curva en metros
- A**= Ancho del vehículo en metros
- S**= Sobreancho en metros
- V**= Velocidad de diseño en Km/h
- n** = Número de carriles

Fuente: MTOP, 2003

Teniendo en cuenta la influencia de la velocidad de tránsito y el número de carriles, se aplica la siguiente fórmula empírica.

$$S = n(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

S = Valor de sobreancho, metros.

n = Número de carriles de la calzada.

R = Radio de la curva circular, metros.

L = Longitud entre la parte frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros.

V = Velocidad de diseño, Km/hora.

Cálculo del sobreancho para tractocamiones de 2 ejes y semirremolque de 1 eje

$$S = \left[R - \sqrt{R^2 - (L_2^2 + L_3^2)} \right] + \left[\sqrt{R^2 + L_1(L_1 + 2L_2)} - R \right] + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Se recomienda que los sobreanchos "S" calculados con las fórmulas previamente mencionadas se apliquen considerando una calzada con un ancho de carril de 3,35 m. Para calzadas con anchos diferentes, se deben realizar las correcciones correspondientes utilizando la siguiente ecuación.

$$Sa = 2 \times 3.35 + S - Ac$$

Sa = Sobreancho para una calzada diferente a 6,7 m de ancho

S = Sobreancho obtenido por las fórmulas antes descritas

Ac = Ancho de la calzada

Figura 33. Dimensiones de los vehículos de tipo rígido en el cálculo del sobrecargo

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0 octopus			32	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
VZS			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
S3			24	13,00	2,60	4,10
S2			20	13,00	2,60	4,10
S1			11	13,00	2,60	4,10
R2			22	10,00	2,60	4,10
R3			31	10,00	2,60	4,10
B1			11	10,00	2,60	4,10
B2			20	10,00	2,60	4,10
B3			24	10,00	2,60	4,10

Fuente: MTOP, 2012

Distancia de visibilidad: Hace referencia a la longitud de la carretera que un conductor puede observar de manera continua hacia adelante. Se evalúa en dos aspectos principales:

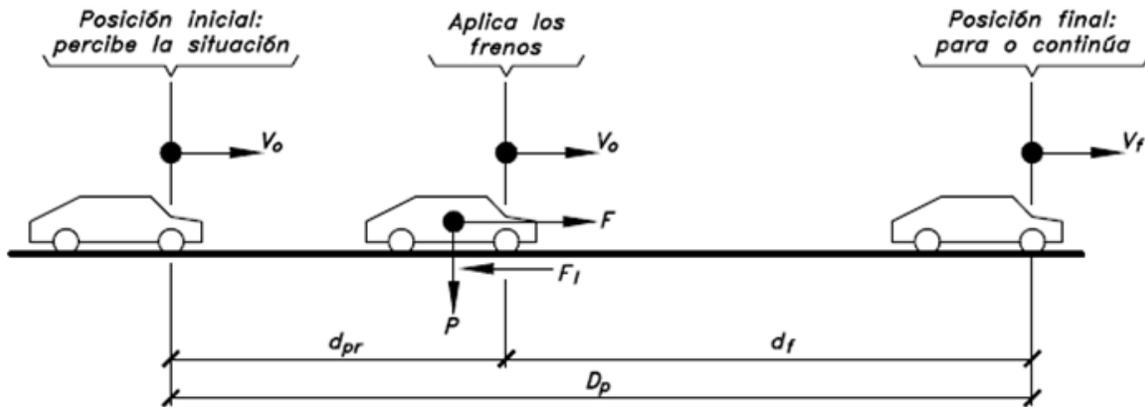
1. La distancia necesaria para que un vehículo se detenga, ya sea por limitaciones en la visibilidad horizontal o vertical.
2. La distancia requerida para adelantar a otro vehículo.

Tabla 19. Valores de Diseño de la distancia de visibilidad mínimas para paradas de un vehículo (m)

VALORES DE DISEÑO DE LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD MÍNIMAS PARA PARADA DE UN VEHICULO (metros)							
Clasificación de carretera en función del tráfico proyectado		Valor recomendable			Valor Absoluto		
Clase de carretera	TPDA	L	O	M	L	O	M
R-1 o R-II	Más de 8000	220	180	135	180	135	110
I	De 3000 a 8000	180	160	110	160	110	70
II	De 1000 a 3000	160	135	90	135	110	55
III	De 300 a 1000	135	110	70	110	70	40
IV	De 100 a 300	110	70	55	70	35	25
V	Menos de 100	70	55	40	55	35	25

Fuente y elaboración: Propia, MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Figura 34. Distancia de visibilidad de parada



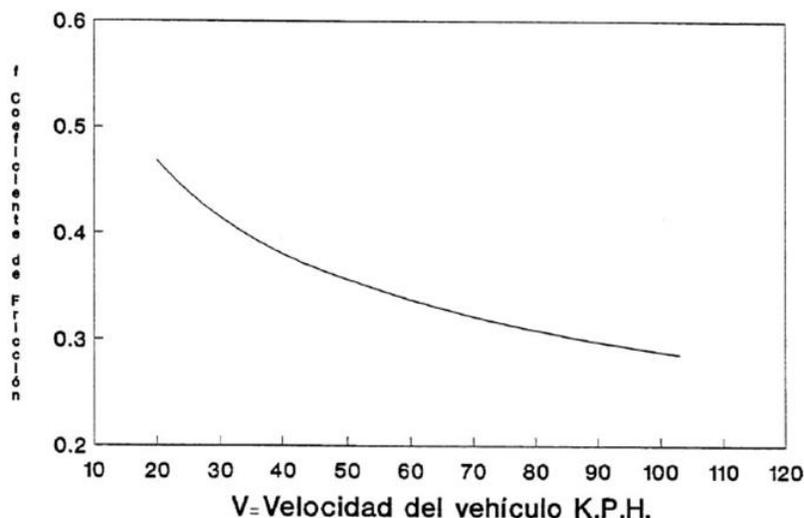
Fuente: Cárdenas Grisales, 2013

Tabla 20. Coeficientes de fricción longitudinal para pavimento húmedo

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_e (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
COEFICIENTE DE FRICCIÓN LONGITUDINAL f_t	0.4 4	0.4 0	0.3 7	0.3 5	0.3 3	0.3 2	0.315	0.3 1	0.305	0.3 0

Fuente y elaboración: Propia. Cárdenas Grisales, 2013

Figura 35. Gráfica de Coeficiente de fricción para patinaje longitudinal



Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Distancia de Visibilidad mínima para parada de un vehículo Criterio de Diseño.

Pavimentos mojados y gradiente horizontal (0%), según MTOP.

Figura 36. Distancia de Visibilidad mínima para parada de un vehículo Criterio de Diseño. Pavimentos mojados y gradiente horizontal (0%)

Velocidad de Diseño-Vd (Kph)	Velocidad de Circulación Asumida-Vc (Kph)	Percepción + Reacción para Frenaje		Coeficiente de Fricción Longitudinal "f"	Distancia de Frenaje "d2" Gradiente Cero (m)	Distancia de Visibilidad para parada (d=d1+d2)	
		Tiempo (seg)	Distancia Recorrida "d" (m)			Calculada (m)	Redondeada (m)
20	20	2,5	13,89	0,47	3,36	17,25	20
25	24	2,5	16,67	0,44	5,12	21,78	25
30	28	2,5	19,44	0,42	7,29	26,74	30
35	33	2,5	22,92	0,40	10,64	33,56	35
40	37	2,5	25,69	0,39	13,85	39,54	40
45	42	2,5	29,17	0,37	18,53	47,70	50
50	46	2,5	31,94	0,36	22,85	54,79	55
60	55	2,5	38,19	0,35	34,46	72,65	70
70	63	2,5	43,75	0,33	47,09	90,84	90
80	71	2,5	49,31	0,32	62,00	111,30	110
90	79	2,5	54,86	0,31	79,25	134,11	135
100	86	2,5	59,72	0,30	96,34	156,06	160
110	92	2,5	63,89	0,30	112,51	176,40	180
120	100	2,5	71,53	0,29	145,88	217,41	220

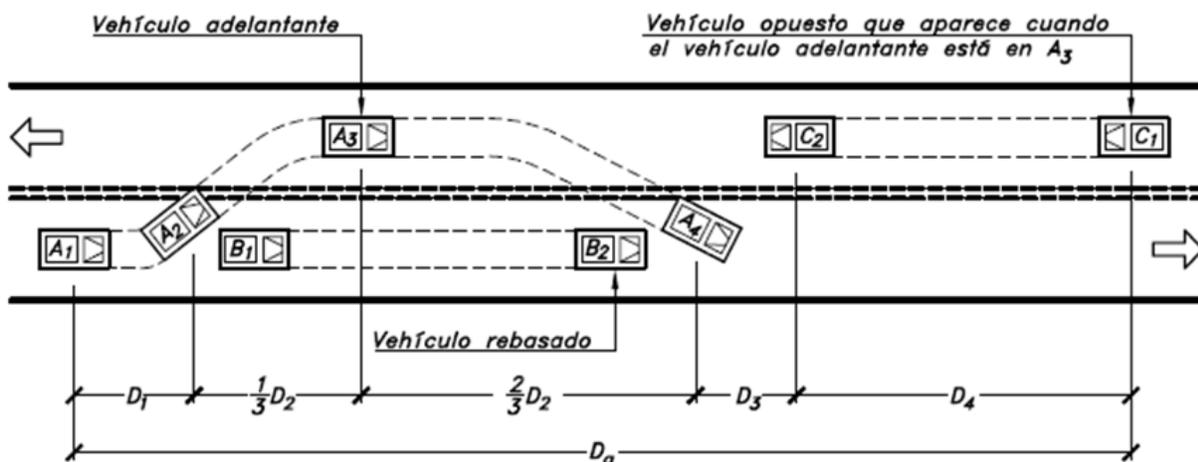
Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Distancia de Visibilidad para rebasamiento de un vehículo: La distancia de visibilidad necesaria para el rebasamiento se calcula en función de la longitud de carretera requerida para llevar a cabo la maniobra de adelantamiento de manera segura. Aunque pueden ocurrir rebasamientos múltiples, se asume, en general, que sólo un vehículo adelanta a otro, ya que este

es el caso más común. Los valores de diseño, sin embargo, son generalmente suficientes para permitir rebasamientos ocasionales de varios vehículos de manera segura. Para calcular la distancia mínima de rebasamiento en carreteras de dos carriles, se consideran los siguientes aspectos:

1. El vehículo que se va a adelantar circula a una velocidad constante.
2. Al llegar a la zona de rebasamiento, el conductor del vehículo que va a adelantar necesita un breve tiempo para identificar la zona de adelantamiento y reaccionar iniciando la maniobra.
3. El vehículo que adelanta acelera durante la maniobra, alcanzando una velocidad promedio de 16 km/h, la cual es superior a la del vehículo que está siendo adelantado.
4. Cuando el vehículo rebasante regresa a su carril derecho, debe haber suficiente espacio entre él y cualquier otro vehículo que se acerque en sentido contrario por el carril opuesto. (MTO, 2003)

Figura 37. Distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles en dos sentidos



Fuente: Cárdenas Grisales, 2013

La distancia de visibilidad para el rebasamiento se calcula tomando en cuenta estos factores para asegurar que la maniobra de adelantamiento se realice de manera segura. Aunque se pueden producir rebasamientos múltiples, el diseño se basa en el supuesto de un único rebasamiento por vez. La norma mencionada proporciona una tabla para ayudar en el cálculo y diseño de esta distancia (MTO, 2003).

Figura 38. Elementos de la distancia de visibilidad para rebasamiento

**ELEMENTOS DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD PARA REBASAMIENTO
EN CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES**

Grupo de Velocidades- kph	48-64	64-80	80-96	96-112
Velocidad Promedio para Rebasamiento-kph	56,00	70,00	84,00	99,00
Maniobra inicial:				
a = aceleración promedio-kph/seg	2,24	2,29	2,35	2,40
t ₁ = tiempo - seg	3,60	4,00	4,30	4,50
d ₁ = distancia recorrida - m	44,00	66,00	88,00	112,00
Ocupación del carril del lado izquierdo:				
t ₂ = tiempo - seg	9,30	10,00	10,70	11,30
d ₂ = distancia recorrida - m	145,00	196,00	251,00	313,00
Vehículo opuesto:				
d ₃ = distancia libre entre el vehículo rebasante y el vehículo opuesto	30,00	55,00	76,00	91,00
d ₄ = distancia recorrida - m	30,00	55,00	76,00	91,00
Distancia de visibilidad para rebasamiento - m				
d _r = d ₁ + d ₂ + d ₃ + d ₄	316	448	583	725

Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Figura 39. Distancia mínima de visibilidad para rebasamiento de un vehículo

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

Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Figura 40. Valores de diseño de la distancia de visibilidad mínimas para el rebasamiento de un vehículo

VALORES DE DISEÑO DE LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD MÍNIMAS PARA EL REBASAMIENTO DE UN VEHÍCULO							
Clasificación de carretera en función del tráfico proyectado		Valor recomendable			Valor Absoluto		
Clase de carretera	TPDA	L	O	M	L	O	M
R-1 o R-II	Más de 8000	830	830	640	830	640	565
I	De 3000 a 8000	830	690	565	690	565	415
II	De 1000 a 3000	690	640	490	640	565	345
III	De 300 a 1000	640	565	415	565	415	270
IV	De 100 a 300	480	290	210	290	150	110
V	Menos de 100	290	210	150	210	150	110

Fuente y elaboración: Propia. MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

3.11.2. Diseño Geométrico Vertical

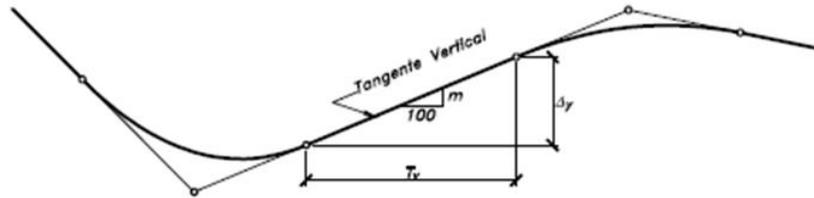
El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, consiste en proyectar el eje real de la vía sobre una superficie vertical, mostrando su longitud real, conocida como rasante o sub rasante.

Es fundamental que el alineamiento horizontal y vertical sean coherentes y equilibrados, de modo que sus parámetros coincidan. Además, los elementos del diseño vertical deben mantener la misma velocidad específica que el sector correspondiente en el diseño horizontal. El objetivo es crear rasantes largas con curvas adaptadas a las condiciones del tráfico y el terreno, optimizando tanto los costos de construcción como de operación.

Elementos geométricos que integran el alineamiento vertical: El alineamiento vertical de una carretera, al igual que el diseño en planta, está compuesto por una serie de tramos rectos llamados tangentes verticales, los cuales se conectan mediante curvas verticales. La pendiente de las tangentes y la longitud de las curvas dependen principalmente de factores como la topografía del terreno, el alineamiento horizontal, la visibilidad, la velocidad proyectada, los costos de construcción y operación, así como el porcentaje de vehículos pesados y su rendimiento en los ascensos (Cárdenas Grisales, 2013).

Tangentes verticales: Las tangentes en un plano vertical se definen por su longitud y pendiente, y están delimitadas por dos curvas sucesivas. La longitud de una tangente vertical, denotada como T_v , es la distancia horizontal entre el final de la curva anterior y el inicio de la siguiente.

Figura 41. Tangente vertical



Fuente: Cárdenas Grisales, 2013

La pendiente (m) de la tangente vertical se calcula como la relación entre el desnivel y la distancia horizontal entre dos puntos a lo largo de la tangente, expresada de la siguiente manera:

$$m = \left(\frac{\Delta y}{T_v} \right) 100$$

En el diseño vial, las pendientes deben ajustarse a un rango adecuado según el tipo de vía, estableciendo valores máximos y mínimos. La pendiente máxima depende de factores como el volumen y la composición del tráfico esperado, el tipo de terreno y la velocidad de diseño. En particular, la pendiente máxima de una tangente vertical está vinculada a la velocidad de los vehículos, la cual varía según el tipo de carretera. Para las carreteras primarias, las pendientes máximas se determinan en función de velocidades de entre 60 y 130 km/h, mientras que en las carreteras terciarias, se ajustan a velocidades de 20 a 60 km/h, con un enfoque en reducir los movimientos de tierra y mejorar la calidad de la superficie.

Curvas verticales: Una curva vertical es un componente del diseño en perfil que conecta dos tangentes verticales consecutivas, permitiendo un cambio gradual en la pendiente entre la tangente de entrada y la tangente de salida. Este diseño busca garantizar una circulación vehicular segura y cómoda, con un aspecto visualmente agradable y un drenaje adecuado. La curva más adecuada para cumplir con estas condiciones es la parábola de eje vertical (Cárdenas Grisales, 2013).

Curvas verticales convexas: La longitud mínima de las curvas verticales se calcula en función de la distancia de visibilidad necesaria para que un vehículo se detenga, tomando en cuenta la altura del ojo del conductor de 1,15 metros y una altura del objeto visible de 0,15 metros. Esta longitud se determina mediante la fórmula:

$$L = \frac{AS^2}{426}$$

L = longitud de la curva vertical convexa, expresada en metros.

A = diferencia algebraica de las gradientes, expresada en porcentaje.

S = distancia de visibilidad para la parada de un vehículo, expresada en metros.

Figura 42. Curvas Verticales convexas mínimas

Velocidad de diseño kph	Distancia de Visibilidad para Parada-"s" (metros)	Coeficiente $K=S^2/426$	
		Calculado	Redondeado
20	20	0,94	1
25	25	1,47	2
30	30	2,11	2
35	35	2,88	3
40	40	3,76	4
45	50	5,87	6
50	55	7,1	7
60	70	11,5	12
70	90	19,01	19
80	110	28,4	28
90	135	42,78	43
100	160	60,09	60
110	180	76,06	80
120	220	113,62	115

Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

$$L = KA$$

Valores mínimos de diseño del coeficiente "K" para la determinación de la longitud de curvas verticales convexas mínimas.

Figura 43. Valores mínimos de diseño de coeficiente K

Clasificación de carretera en función del tráfico proyectado		Valor recomendable			Valor Absoluto		
Clase de carretera	TPDA	L	O	M	L	O	M

R-1 o R-II	Más de 8000	115	80	43	80	43	28
I	De 3000 a 8000	80	60	28	60	28	12
II	De 1000 a 3000	60	43	19	43	28	7
III	De 300 a 1000	43	28	12	28	12	4
IV	De 100 a 300	28	12	7	12	3	2
V	Menos de 100	12	7	4	7	3	2

Fuente y elaboración: Propia. MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

L= Terreno llano; **O** = Terreno Ondulado; **M**= Terreno montañoso

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

$$L_{min} = 0.60V$$

V = velocidad de diseño expresada en K/h.(MTOP, 2003)

Curvas verticales cóncavas: Por razones de seguridad, las curvas verticales cóncavas deben tener una longitud adecuada para garantizar que la luz de los faros de un vehículo cubra la distancia de visibilidad necesaria para detenerse a tiempo. La siguiente fórmula relaciona la longitud de la curva, la diferencia de gradientes y la distancia de visibilidad para la parada:

$$L = \frac{AS^2}{122 + 3.5 S}$$

L = longitud de la curva vertical cóncava, expresada en metros.
A = diferencia algebraica de gradientes.
S = distancia de visibilidad para la parada, expresada en metros.

Esta fórmula se basa en una altura de 60 centímetros para los faros del vehículo y un ángulo de divergencia de los rayos de luz respecto al eje longitudinal del vehículo (MTOP, 2003).

En su forma más simple, la longitud de una curva vertical cóncava se expresa como:

$$L = KA$$

Figura 44. Curvas Verticales cóncavas mínimas

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

Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Figura 45. Valores mínimos de diseño del coeficiente de "K" para la determinación de la longitud de curvas verticales cóncavas mínimas

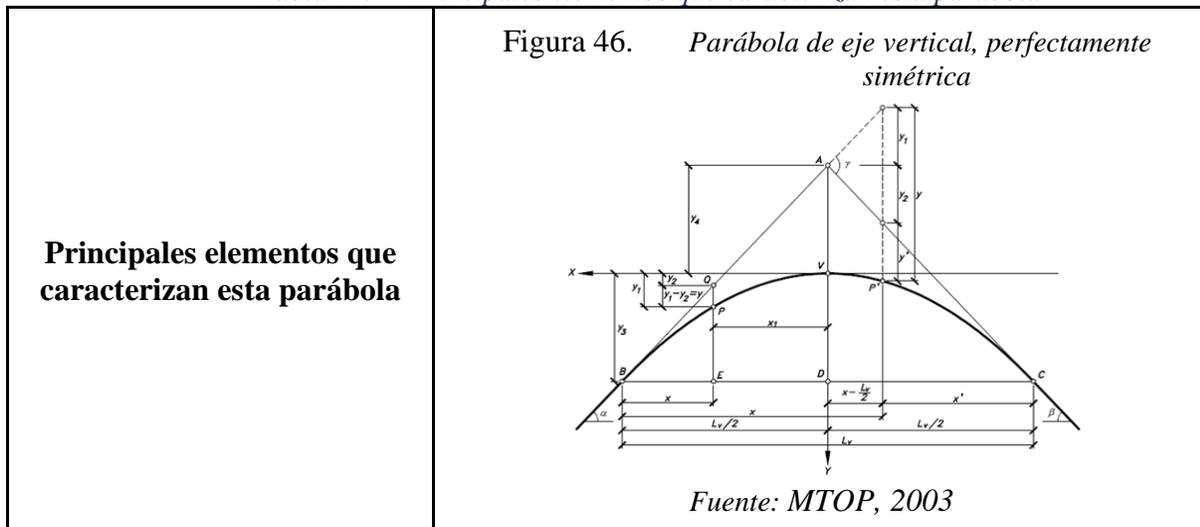
Clase de Carretera	Valor Recomendable			Valor Absoluto						
	L	O	M	L	O	M				
R—Io	R—II	>	8.000	TPDA	115	80	43	80	43	28
I	3.000	a	8.000	TPDA	80	60	28	60	28	12
II	1.000	a	3.000	TPDA	60	43	19	43	28	7
III	300	a	1.000	TPDA	43	28	12	28	12	4
IV	100	a	300	TPDA	28	12	7	12	3	2
V	Menos de		100	TPDA	12	7	4	7	3	2

Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Curvas verticales simétricas: La parábola empleada para conectar dos tangentes verticales consecutivas debe cumplir las siguientes características:

- La pendiente de la curva varía de manera constante a lo largo de su longitud.
- El punto de intersección de las tangentes se encuentra en el centro de la línea que une las proyecciones horizontales de los puntos de tangencia.
- Las cotas de la curva cambia proporcionalmente con el cuadrado de las abscisas.
- La pendiente de cualquier cuerda de la parábola es el promedio de las pendientes de las tangentes en sus extremos.

Tabla 21. Principales elementos que caracterizan esta parábola

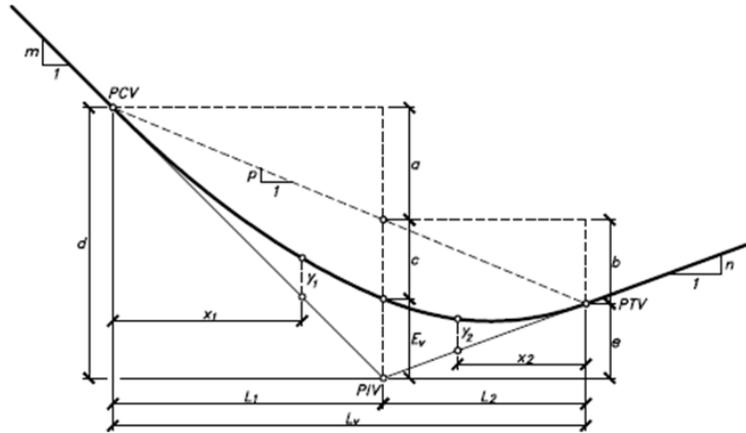


Simbología	Descripción
A = PIV	Punto de intersección vertical. Es el punto donde se interceptan las dos tangentes verticales.
B = PCV	Principio de curva vertical. Donde empieza la curva.
C=PTV	Principio de tangente vertical. Donde termina la curva.
BC = L _v	Longitud de la curva vertical, medida en proyección horizontal.
VA = Ev	Externa vertical. Es la distancia vertical del PIV a la curva.
VD = f	Flecha vertical.
P (x ₁ , y ₁)	Punto sobre la curva de coordenadas (x ₁ , y ₁).
Q (x ₁ , y ₂)	Punto sobre la tangente de coordenadas (x ₁ , y ₂), situado sobre la misma vertical de P.
QP = y	Corrección de pendiente. Desviación vertical respecto a la tangente de un punto de la curva P. Valor a calcular.
BE = x	Distancia horizontal entre el PCV y el punto P de la curva.
α	Ángulo de pendiente de la tangente de entrada.
β	Ángulo de pendiente de la tangente de salida.
γ	Ángulo entre las dos tangentes. Ángulo de deflexión vertical.
m=tan α	Pendiente de la tangente de entrada.
n=tan β	Pendiente de la tangente de salida.
i= tan γ	Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y de salida.

Fuente y elaboración: Propia. Cárdenas Grisales, 2013

Curvas verticales asimétricas: Una curva vertical se considera asimétrica cuando las proyecciones horizontales de sus tangentes tienen longitudes diferentes. Esta situación ocurre cuando, por algún motivo, la longitud de la curva en una de sus ramas se ve restringida.

Tabla 22. Curva vertical asimétrica cóncava



Fuente: Cárdenas Grisales, 2013

Las correcciones de pendiente para cada rama se determinan utilizando las siguientes fórmulas:

$$Y_1 = E_v \left(\frac{X_1}{L_1} \right)^2$$

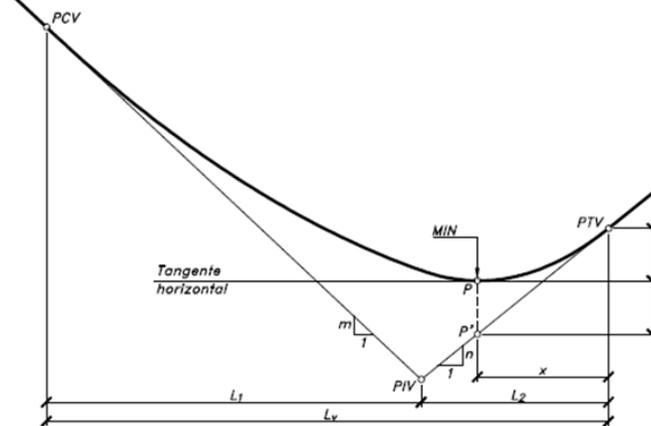
Donde E_v se calcula:

$$Y_2 = E_v \left(\frac{X_2}{L_2} \right)^2$$

$$a + c + E_v = d$$

Como se explicó previamente, es crucial identificar el punto máximo o mínimo en las curvas verticales. El punto P indica el punto mínimo de una curva vertical cóncava asimétrica.

Figura 47. Punto mínimo de una curva vertical asimétrica



Fuente: Cárdenas Grisales, 2013

Gradientes: La selección de las gradientes debe basarse directamente en la topografía del terreno, buscando que sean lo más suaves posibles. Esto facilita mantener velocidades de circulación adecuadas y mejora la operación de los vehículos. De acuerdo con las velocidades de diseño, las

cuales dependen del volumen de tráfico y las características del terreno, en la Figura 35. presenta las gradientes medias máximas recomendadas de manera general.

Figura 48. Valores de diseño de Gradientes Longitudinales
**VALORES DE DISEÑO DE LAS GRADIENTES LONGITUDINALES
 MAXIMAS**
 (Porcentaje)

Clase de Carretera					Valor Recomendable			Valor Absoluto		
					L	O	M	L	O	M
R—I _o	R—II	>	8.000	TPDA	2	3	4	3	4	6
1	3.000	a	8.000	TPDA	3	4	6	3	5	7
II	1.000	a	3.000	TPDA	3	4	7	4	6	8
III	300	a	1.000	TPDA	4	6	7	6	7	9
IV	100	a	300	TPDA	5	6	8	6	8	12
V	Menos de		100	TPDA	5	6	8	6	8	14

Fuente: MTOP, 2003

3.12. EALs (Eje Carga Equivalentes)

Los ejes equivalentes, o ESAL (Equivalent Single Axial Load), representan el número estimado de repeticiones de una carga estándar de 18 kips (aproximadamente 8.16 toneladas) durante un período determinado. Esta medida se utiliza para unificar el impacto de los vehículos sobre el pavimento, ya que el tránsito está compuesto por vehículos con diversos pesos y configuraciones de ejes. La utilización de los ejes equivalentes facilita la evaluación y diseño de pavimentos al proporcionar una base común para comparar el impacto de diferentes tipos de vehículos.

La fórmula para calcular los ejes equivalentes es la siguiente:

$$N = TPDA \times \%Vc \times 365 \times \frac{FD}{100} \times \frac{FL}{100} \times FP \times FCG$$

Donde:

TPDA: Tráfico promedio diario anual

%Vc: Porcentaje de vehículos comerciales (buses y camiones).

FD: Factor de distribución por dirección del tráfico.

FL: Factor de distribución por carril

FP: Factor de proyección para el crecimiento del tráfico.

FCG: Factor Camión Global que ajusta la contribución de diferentes tipos de camiones.

3.13. Señalización

La señalización en carreteras puede ser de manera horizontal o vertical y de esa clasificación se dividen en señales informativas, preventivas, reglamentarias; las cuales varían de acuerdo a su color, forma y demás normas que están estipuladas en las normas del instituto ecuatoriano de normalización RTE INEN 004-1:2011. Estas normas han sido realizadas y revisadas por técnicos encargados de esta área en concreto (INEN, 2011)

La señalización es un medio de seguridad vial e informativa para los usuarios ya que se visualizan durante la circulación por la misma determinando normas de seguridad durante la circulación como es la velocidad, cruce de peatones, dirección de las curvas, reductores de velocidad, entre otros que ayudan a tener una circulación segura al uso de la vía. (Ecuador, 2023)

3.13.1. Señalización Vertical

Para garantizar la seguridad vial, es esencial utilizar señalización que cumpla con los estándares establecidos. Esto permite a los conductores anticipar las acciones necesarias y reducir el riesgo de accidentes. El uso de señales que no sigan las normativas puede generar confusión y aumentar los peligros. Por ello, el diseño de las señales debe ser uniforme y fácilmente reconocible tanto para conductores como para peatones, utilizando formas, colores e información regulada por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2011).

Colores de las Señales: Cada color en las señales tiene un propósito específico, según las normativas del INEN (2011):

- **Rojo:** Se usa en señales de alto, prohibiciones, límites de velocidad bajos y advertencias especiales.
- **Negro:** Para emblemas, encabezados y flechas en señales de fondo blanco, amarillo, verde lima y naranja.
- **Blanco:** Predomina como fondo en señales reglamentarias, de caminos y nombres de avenidas.
- **Amarillo:** Se emplea en señales de advertencia y límites de velocidad adicionales.
- **Naranja:** Utilizado en señales temporales, como en construcciones de carreteras o cruces escolares.
- **Verde:** Para indicar destinos, tarifas de control de peso, y estacionamiento gratuito.

- **Azul:** Usado en señales de información sobre servicios, direcciones y estacionamientos de pago.
- **Café:** En señales informativas turísticas y medioambientales.

Distancia de Legibilidad: Las señales deben ser legibles a distancias apropiadas, utilizando las series tipográficas adecuadas (C, D, E), especialmente en señales reglamentarias y de advertencia. La serie E modificada, en particular, es ideal para señales informativas, con tamaños de letra que varían entre mayúsculas y minúsculas, según el tipo de vía (*INEN, 2011*).

Ubicación y Diseño de Señales: Las señales de advertencia deben colocarse a distancias estratégicas: en áreas urbanas, aproximadamente a 100 metros antes de la intersección, y en áreas rurales entre 150 y 200 metros. Además, el diseño de las flechas en las señales de tráfico debe ser claro y estándar, indicando direcciones y acciones específicas como continuar recto, reducir la velocidad o cambiar de carril, para guiar a los conductores de manera eficiente y segura.

3.13.2. Señalización Horizontal

La señalización horizontal, que incluye líneas, símbolos y leyendas pintadas sobre la vía, es efectiva para captar la atención de los conductores sin desviar su mirada de la carretera. Además, los dispositivos complementarios, como los que emiten vibraciones y sonidos cuando los vehículos los atraviesan, mejoran la seguridad. Sin embargo, las señales horizontales tienen limitaciones: su visibilidad disminuye con el agua, la neblina o el sedimento, y requieren más mantenimiento debido al tráfico y las condiciones ambientales (*INEN, 2011*).

Ubicación de la Señalización: La ubicación de las señales debe ser estratégica para que los usuarios, circulando a la velocidad máxima permitida, tengan suficiente tiempo para ver y comprender su mensaje, permitiéndoles reaccionar adecuadamente. Esto garantiza que las señales cumplan con su función, ya sea para indicar el inicio, tramo o fin de una restricción, o para advertir de maniobras que deben realizarse más adelante (*INEN, 2011*).

Colores de la Señalización: Los colores blanco y amarillo son predominantes en la señalización vial, y deben mantenerse uniformes. Las señales complementarias pueden ser blancas, amarillas o rojas, y su color debe coincidir con el elemento que las contiene, excepto en el caso de tachas bicolores. El blanco se usa para líneas que pueden ser cruzadas, el amarillo para líneas que pueden

o no cruzarse según la situación, y el rojo, solo junto a la línea del borde derecho, indica peligro y prohíbe el cruce (INEN, 2011).

Retro reflexión: Las señales de tránsito deben ser visibles en todo momento, incluso en condiciones climáticas adversas. Para ello, se utilizan materiales como microesferas de vidrio que aseguran la retro reflexión, mejorando la visibilidad nocturna al devolver parte de la luz hacia la fuente luminosa de los vehículos. Estas señales deben cumplir con las normativas correspondientes para garantizar su eficacia (INEN, 2011).

Líneas Longitudinales: Las líneas longitudinales en las carreteras sirven para delimitar carriles, indicar zonas donde se permite o prohíbe adelantar o estacionar, y designar carriles exclusivos. También advierten sobre la proximidad de cruces peatonales. Estas líneas, que pueden ser continuas, segmentadas o en zigzag, envían distintos mensajes dependiendo de su forma y color. Las continuas y en zigzag prohíben maniobras como estacionamiento, mientras que las segmentadas permiten adelantar. Las líneas amarillas separan el tráfico en direcciones opuestas y las blancas lo hacen en la misma dirección, además de marcar el borde derecho de la vía y zonas de estacionamiento (INEN, 2011).

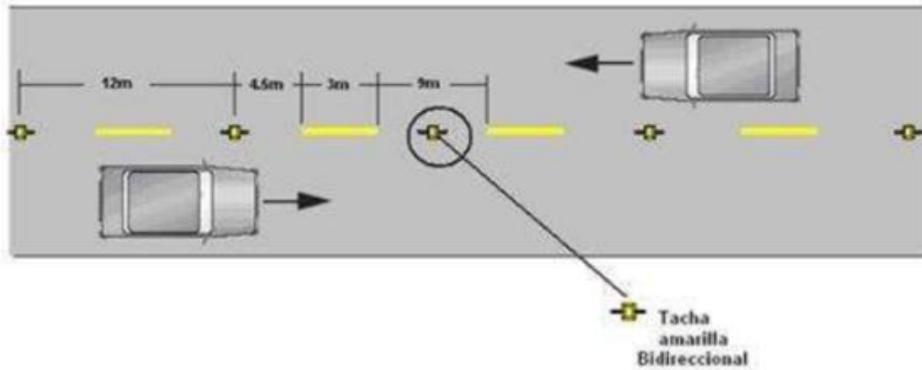
Líneas Segmentadas de Separación de Circulación Opuesta: Las líneas amarillas segmentadas separan el tráfico en direcciones opuestas y pueden ser cruzadas cuando es seguro hacerlo, especialmente en áreas con geometría adecuada para adelantamientos y giros (INEN, 2011).

Tabla 23. 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

Fuente y elaboración: Propia. INEN, Señalización Horizontal, 2011

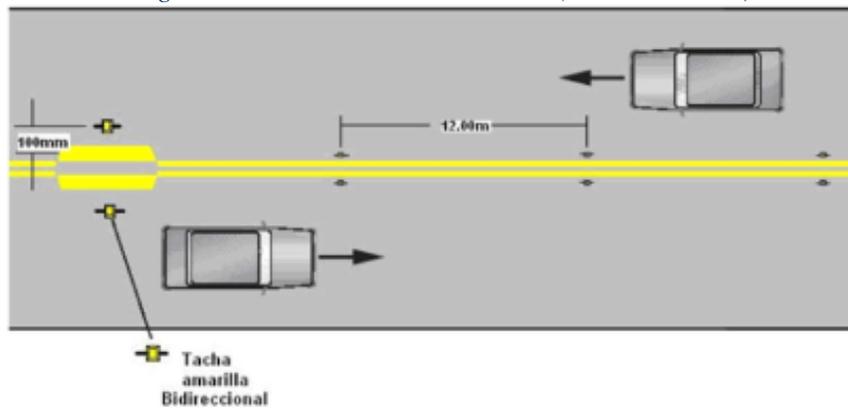
Figura 49. Líneas segmentadas de separación de circulación opuesta



Fuente: INEN, Señalización Horizontal, 2011

Doble línea continua (línea de barrera): La doble línea continua, también conocida como línea de barrera, está compuesta por dos líneas amarillas paralelas: una continua y una segmentada, cada una con un ancho mínimo de 100 mm y separadas por un espacio de 100 mm. Esta señalización permite a los vehículos adelantar de manera segura desde el lado de la línea segmentada, pero prohíbe el cruce desde el lado de la línea continua para realizar esta maniobra (INEN, 2011).

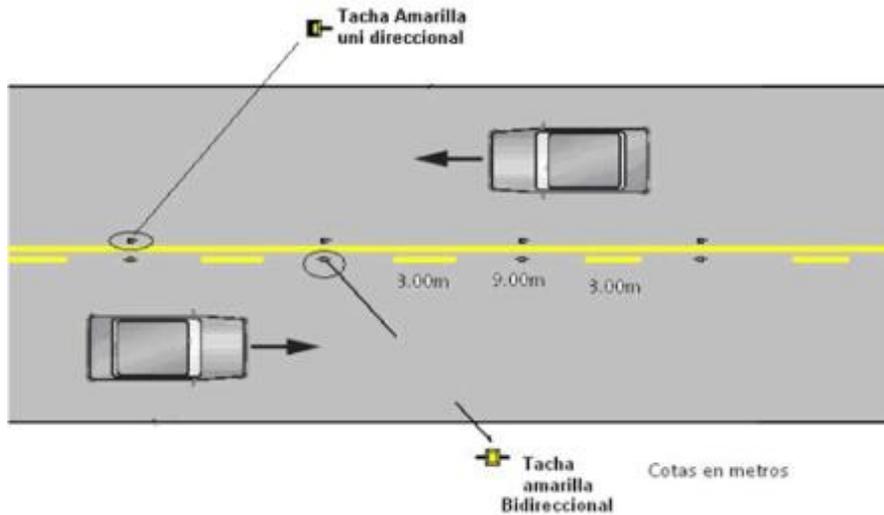
Figura 50. Doble línea continua (Línea de barra)



Fuente: INEN, Señalización Horizontal, 2011

Doble línea mixta: La doble línea mixta en las carreteras está formada por dos líneas amarillas paralelas: una continua y una segmentada, ambas con un ancho mínimo de 100 mm y separadas por un espacio de 100 mm. Esta señalización permite a los vehículos adelantar de manera segura desde el lado de la línea segmentada, mientras que prohíbe el cruce desde el lado de la línea continua para realizar la maniobra (INEN, 2011).

Figura 51. Doble línea mixta: continua y segmentada



Fuente: INEN, Señalización Horizontal, 2011

Zonas de no rebasar: Las zonas de "NO REBASAR" deben establecerse no solo en los lugares indicados por el Reglamento de Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, sino también en cualquier área donde la visibilidad para realizar un adelantamiento sea insuficiente. La distancia mínima necesaria para un rebasamiento seguro debe permitir que el vehículo salga de su carril, adelante al vehículo que le precede y regrese a su carril sin afectar la velocidad de ambos vehículos. En las curvas horizontales, esta distancia se mide desde el centro del carril derecho, entre dos puntos situados a 1,10 m sobre el pavimento, alineados tangencialmente al radio interno o cualquier obstrucción que limite la visibilidad en la curva.

Figura 52. Distancia de rebasamiento mínimo

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

Fuente: INEN, Señalización Horizontal, 2011

Figura 53. Distancia de visibilidad

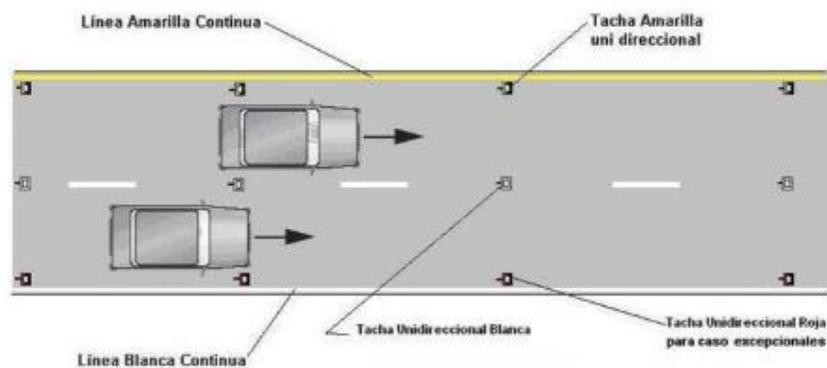
Velocidad de diseño (km/h)	Velocidad del vehículo a ser rebasado (km/h)	Velocidad de rebasamiento (km/h)	Distancia de visibilidad mínima (m)
30	29	44	217
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	407
70	59	74	482
80	65	80	541
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	728
120	91	106	792

Fuente: INEN, Señalización Horizontal, 2011

Líneas de borde de calzada: Las líneas de borde de calzada son esenciales para orientar a los conductores, especialmente en condiciones de baja visibilidad. Estas líneas indican claramente el límite de la calzada, ayudando a los conductores a mantenerse en su carril, particularmente cuando son deslumbrados por las luces de vehículos que se aproximan en sentido contrario. Son especialmente importantes en carreteras, vías rurales y periféricas.

Líneas de borde de calzada continua: Las líneas de borde de calzada continua son de color blanco y se colocan en el borde de la calzada, nunca fuera de ella. En casos donde la calzada está separada por un parterre o isla, se emplea una línea amarilla en el lado izquierdo del sentido de circulación. En vías urbanas, el ancho mínimo de estas líneas es de 100 mm, mientras que en autopistas y carreteras es de 150 mm.

Figura 54. Líneas continuas de borde



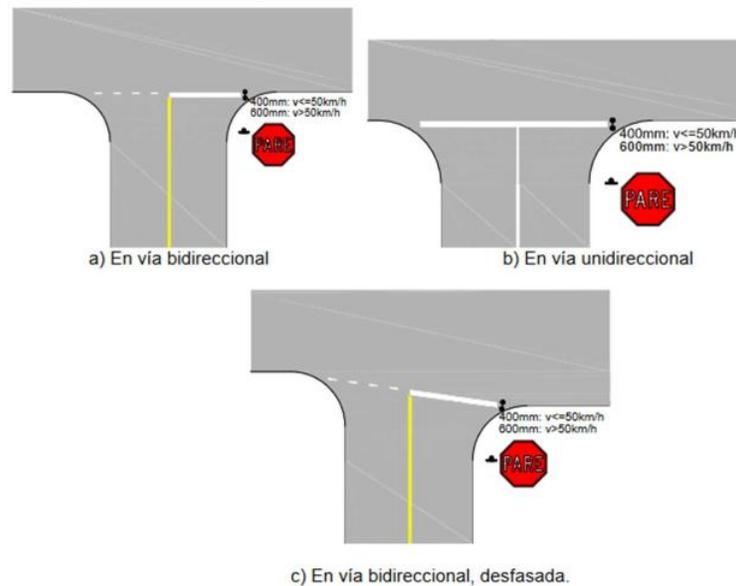
Fuente: INEN, Señalización Horizontal, 2011

Las líneas transversales: Ubicadas en los cruces, indican a los vehículos dónde deben detenerse, ceder el paso o reducir la velocidad, y marcan los pasos para peatones o ciclistas, priorizando a estos últimos. Estas

líneas son siempre blancas y pueden ser continuas o segmentadas. Se colocan en el punto más cercano a la intersección o paso peatonal para asegurar una clara señalización de seguridad y orden del tráfico.

Líneas de pare: Indican el lugar donde los vehículos deben detenerse. Su ancho depende de la velocidad máxima permitida: 400 mm para vías de hasta 50 km/h y 600 mm para vías con velocidades superiores. Estas líneas se colocan antes de un control de tránsito, alineándose con los bordillos para garantizar que los vehículos se detengan de manera segura.

Figura 55. Líneas de pare en intersección con señal vertical de pare

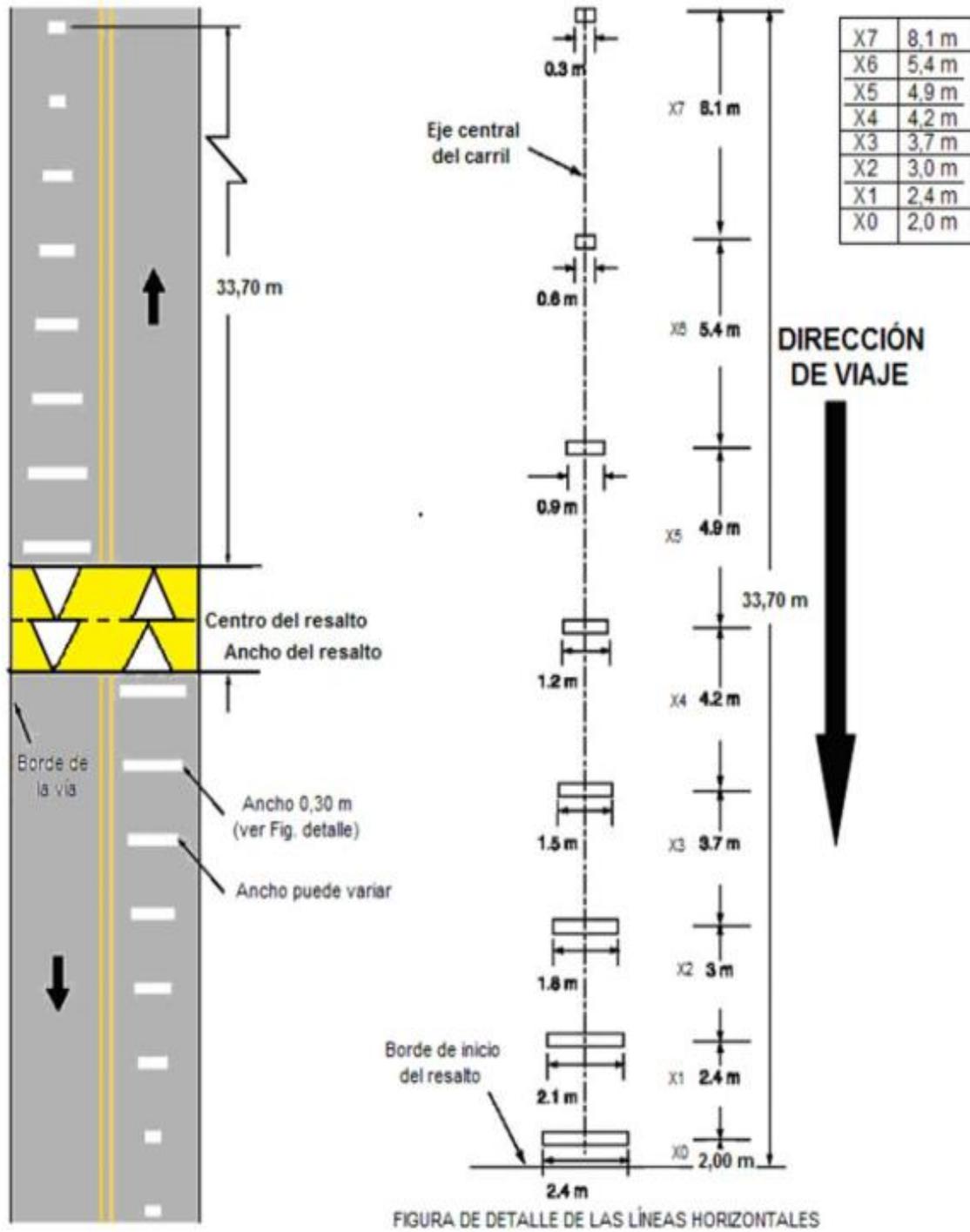


Fuente: INEN, *Señalización Horizontal*, 2011

Los reductores de velocidad: Son elementos instalados en la calzada para reducir la velocidad de circulación y mejorar la seguridad de los peatones sin detener completamente el vehículo. Además, buscan disuadir el uso de ciertas vías por motivos de seguridad.

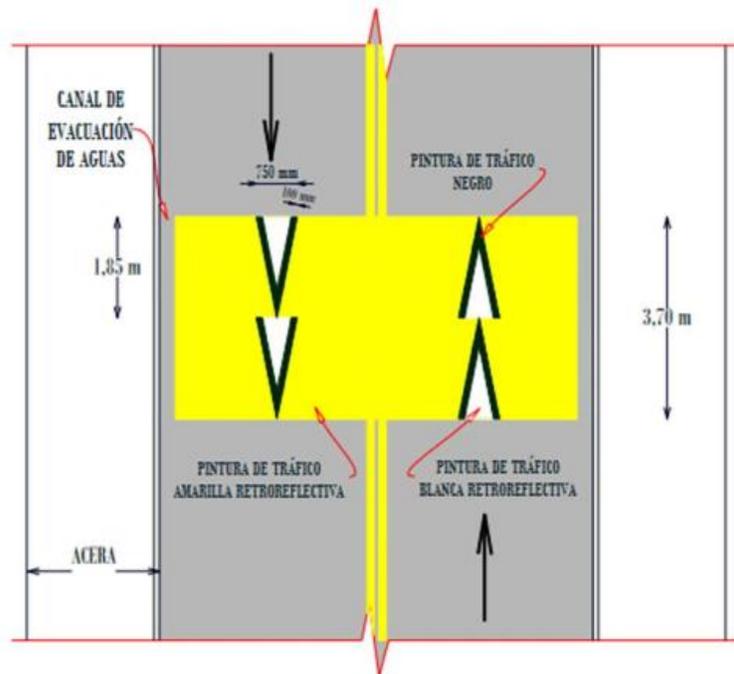
Los Resalto: Deben instalarse a al menos 20 metros de una intersección, con una visibilidad mínima de 100 metros en zonas urbanas y 150 metros en rurales. La distancia entre los reductores debe ser de 20 a 100 metros. Estos resaltos, que limitan la velocidad a 25 km/h, deben ser construidos a lo largo de toda la calzada y tener en cuenta aspectos como el drenaje y la resistencia de la vía. La instalación debe cumplir con ciertos requisitos de seguridad y señalización, y ser supervisada por las autoridades competentes.

Figura 56. Demarcación típica en aproximaciones a resaltos



Fuente: INEN, Señalización Horizontal, 2011

Figura 57. Resalto en calzada bidireccional de circulación



Fuente: INEN, Señalización Horizontal, 2011

El resalto debe tener las siguientes dimensiones:

Ancho: Entre 3,50 m y 3,70 m.

Altura: De 80 mm a 100 mm respecto a la calzada.

Largo: Variable, dependiendo del ancho de la calzada.

Pendiente máxima: 8% en los puntos de ingreso y salida

3.14. Drenaje

3.14.1. Clasificación de las estructuras de drenajes

Los sistemas de drenaje desempeñan un papel crucial en el correcto funcionamiento y operación de las carreteras, cumpliendo cuatro funciones principales:

1. Eliminar de manera eficiente el agua de lluvia que se acumula sobre la calzada.
2. Regular el nivel freático para evitar la saturación del suelo.
3. Captar el agua que, tanto superficial como subterráneamente, se desplaza hacia la carretera.
4. Dirigir de manera controlada el agua que cruza la vía.

Las tres primeras funciones son responsabilidad de los drenajes longitudinales, tales como cunetas, bordillos y subdrenes. La cuarta función, en cambio, corresponde a los drenajes transversales, como alcantarillas y puentes (MTO, 2003).

3.14.2. Drenajes Longitudinales

El drenaje longitudinal incluye las estructuras de captación y protección, cuya ubicación debe determinarse mediante el cálculo del área hidráulica necesaria, así como la sección, longitud, pendiente y nivelación del fondo. Además, se debe elegir el tipo de proyecto constructivo adecuado (MTO, 2003).

3.15. Cunetas

Las cunetas se construyen en las áreas de corte, a un solo lado o en ambos lados de la carretera, con el fin de captar el agua de lluvia proveniente de la calzada, el talud y las zonas adyacentes. Su propósito es redirigir el agua hacia un drenaje natural o una estructura transversal, permitiendo su evacuación eficiente fuera del área ocupada por la vía.

3.15.1. Localización, pendientes y velocidad

La cuneta se ubicará entre el espaldón de la carretera y el talud del corte, con una pendiente no inferior al 0.50%. La pendiente máxima dependerá de la velocidad del agua, la cual determinará la necesidad de revestimiento. Por lo general, se limita la velocidad del agua en las cunetas a 3,00 m/s en zampeado y a 4,00 m/s en hormigón.

Tabla 24. Velocidades del agua con que se erosionan diferentes materiales

MATERIAL	VELOCIDAD m/s	MATERIAL	VELOCIDAD m/s
Arena fina	0.45	Pizarra suave	2.0
Arcilla arenosa	0.50	Grava gruesa	3.5
Arcilla ordinaria	0.85	Zampeado	3.4 - 4.5
Arcilla firme	1.25	Roca sana	4.5 - 7.5
Grava fina	2.00	Hormigón	4.5 - 7.5

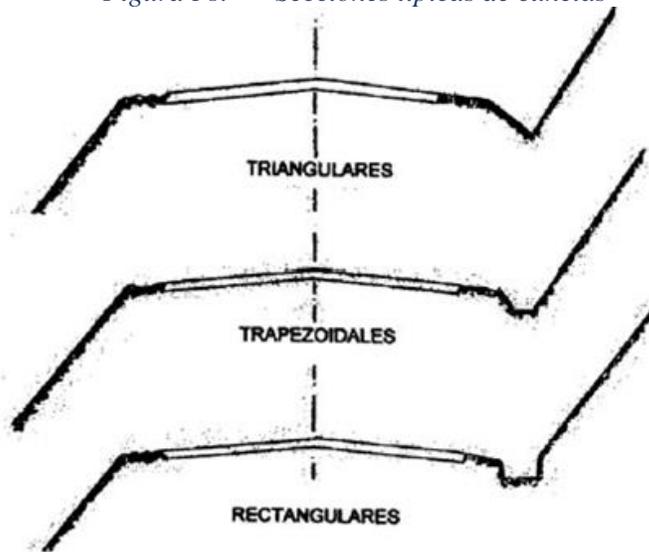
Fuente y elaboración: Propia. MTO, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

3.15.2. Forma de la Sección

Las cunetas pueden tener secciones transversales triangulares, rectangulares o trapezoidales. Las cunetas triangulares son las más comunes debido a su facilidad de construcción y mantenimiento,

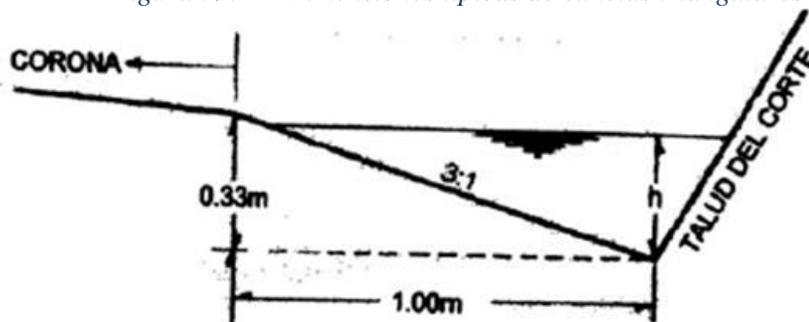
aunque en algunos casos se emplean secciones rectangulares o trapezoidales según los requisitos hidráulicos. La sección rectangular se descarta principalmente por motivos de seguridad vial, ya que puede generar sensación de peligro. Por su parte, la sección trapezoidal se utiliza menos, a menos que el talud del corte sea muy suave. En las cunetas triangulares, el talud hacia la carretera debe tener una pendiente mínima de 3:1, siendo preferible 4:1, y el lado del corte sigue la inclinación del talud, con una lámina de agua que no debe superar los 30 cm.

Figura 58. Secciones típicas de cunetas



Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Figura 59. Dimensiones típicas de cunetas triangulares

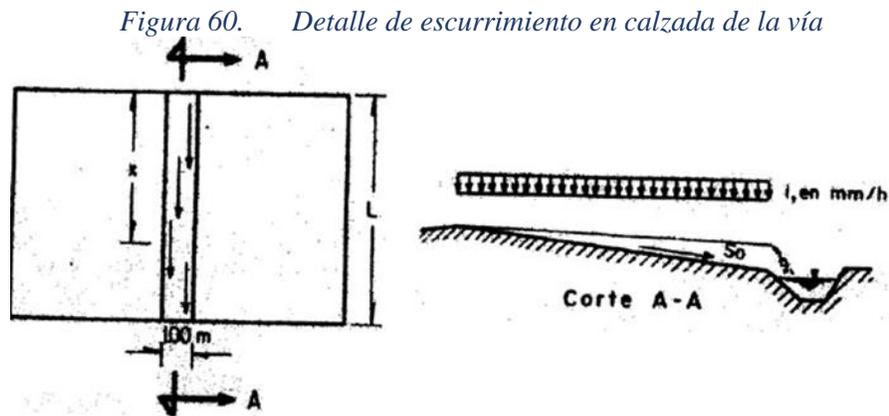


Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

3.15.3. Diseño hidráulico de cuneta

El área hidráulica de una cuneta se calcula considerando factores como el caudal máximo de diseño, la sección transversal, la longitud, la pendiente y la velocidad del agua.

Caudal de diseño y período de retorno: El caudal máximo de escurrimiento, por ancho unitario, se determina para un período de retorno de 100 años, tomando en cuenta una lluvia de 20 a 30 minutos de duración. Henderson propuso un método basado en las ecuaciones fundamentales de la hidráulica para establecer la relación entre precipitación y escurrimiento en superficies planas con pendiente transversal. Este método supone que la intensidad de la precipitación es constante y uniformemente distribuida, y permite calcular el tiempo (t_e) en que se alcanza el caudal máximo por unidad de ancho y su valor al final de la superficie plana (MTOP, 2003).



Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Ecuación:

$$V_0 = \frac{i}{3.6 * 10^6}$$

$$a = \left(\frac{S^{\frac{1}{2}}}{n} \right)$$

$$t_e = \left(\frac{L}{a * V_0^{2/3}} \right)^{3/5}$$

$$q = a * (V_0 * t)^{\frac{5}{3}} \text{ para } 0 < t < t_e$$

$$q \text{ máx} = a * (V_0 * t_e)^{\frac{5}{3}} \text{ para } t_e < t < d$$

Donde:

d = Duración de la lluvia, en s.

i = Intensidad de la precipitación en exceso, en mm/h.

L = Longitud desde el parteaguas hasta la cuneta de intersección en m.

n = Coeficiente de rugosidad (fórmula de Manning).

q = Caudal unitario en el tiempo "t", en m³/s/m.

q máx = Caudal unitario máximo durante el intervalo(d-te), en m³/s/m.

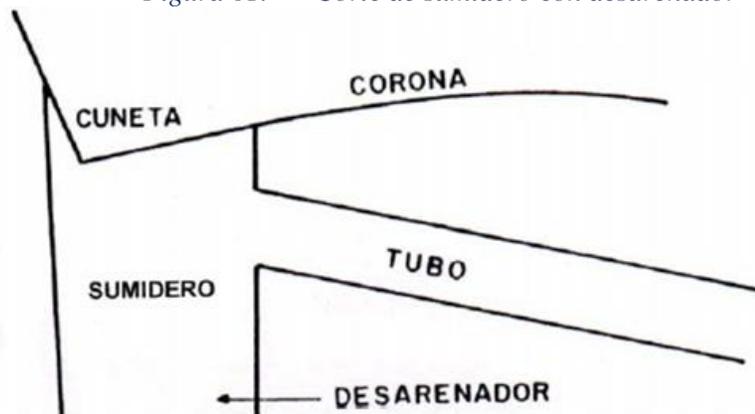
So = Pendiente media de la superficie.

t = Tiempo, en s.

t_e = Tiempo de equilibrio para que se presente el qmax, en s.

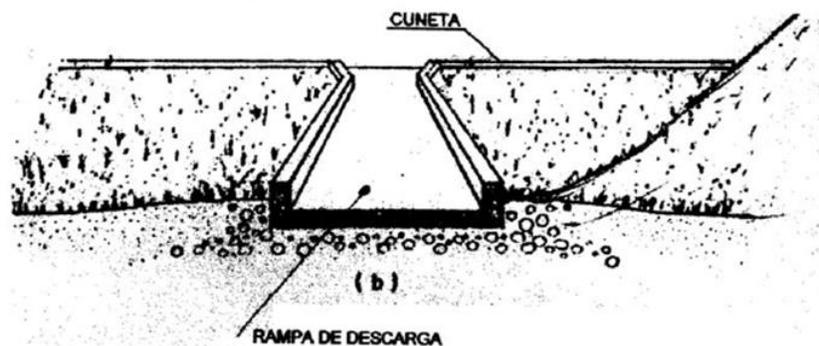
Longitud permisible y descarga: Es necesario determinar la longitud máxima permisible de la cuneta para garantizar su funcionamiento eficiente y evitar que el agua rebose o cause depósitos (azolves) en tramos con cambios de pendiente. Si la longitud de la cuneta supera la capacidad máxima, se deben incorporar alcantarillas para canalizar el agua hacia un drenaje natural. La distancia entre estas obras de descarga debe coincidir con la longitud máxima permisible. Además, la transición entre la cuneta y la descarga puede incluir un sumidero con desarenador para controlar los azolves en la alcantarilla y permitir la sedimentación. En tramos donde la cuneta pase de un corte a un relleno, deberá extenderse hasta su descarga en un cauce natural o una obra transversal, protegiendo el talud con una rampa para prevenir la erosión (MTOPI, 2003).

Figura 61. Corte de sumidero con desarenador



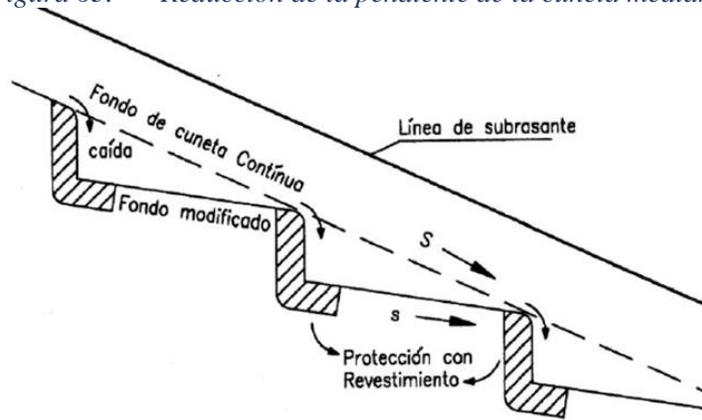
Fuente: MTOPI, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Figura 62. Rampa de descarga



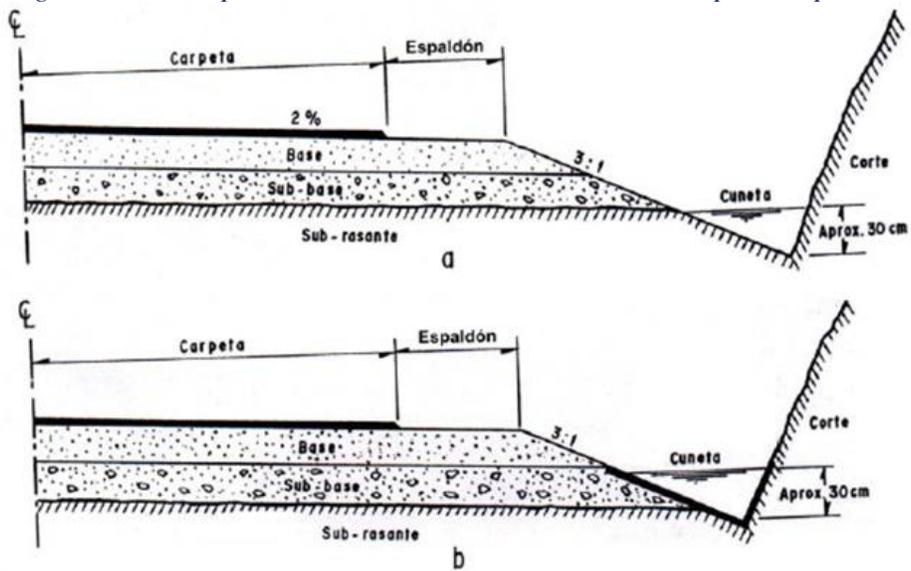
Fuente: MTOPI, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Figura 63. Reducción de la pendiente de la cuneta mediante caídas



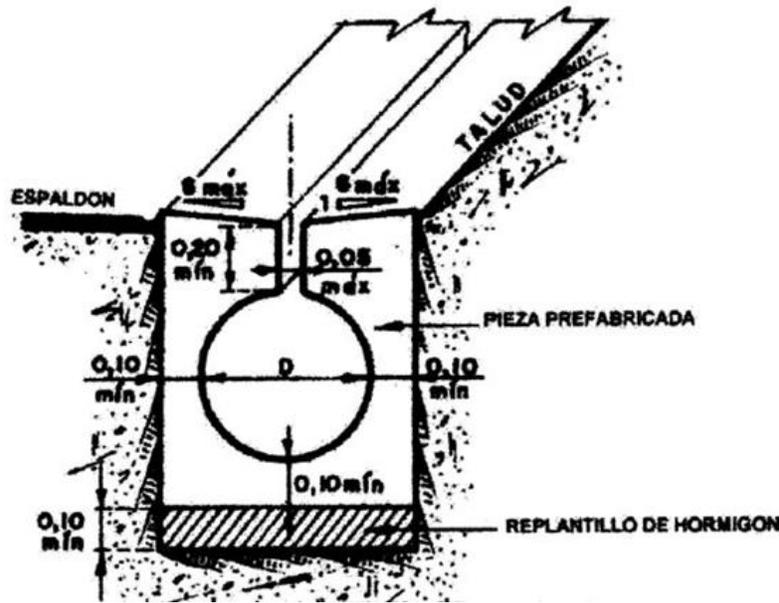
Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Figura 64. Disposición más conveniente de la cuneta respecto al pavimento



Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Figura 65. Cuneta tipo colector continuo



Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Tabla 25. Valores máximos de velocidades no erosivas en cunetas

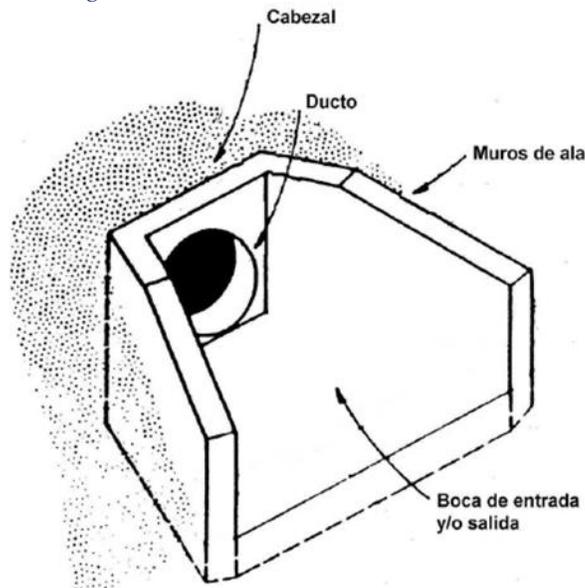
MATERIAL	VELOCIDAD m/s
Arenas finas y limos	0.40 - 0.60
Arcilla arenosa	0.50 - 0.75
Arcilla ordinaria	0.75 - 1.00
Arcilla firme	1.00 - 1.50
Grava limosa	1.50 - 2.00
Pizarras suaves	1.50 - 2.00
Grava fina	1.50 - 2.00
Grava gruesa	2.00 - 3.50
Zampeados	3.00 - 4.50
Rocas sanas y hormigón	4.50 - 7.50

Fuente y elaboración: Propia. MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

3.16. Alcantarillas

El diseño de alcantarillas debe considerar las características de la cuenca hidráulica y de la carretera que atenderán. Dado que los sistemas de drenaje influyen en los costos de conservación y mantenimiento, es fundamental que las alcantarillas sean proyectadas de acuerdo con las capacidades y métodos de conservación existentes. Los componentes principales de una alcantarilla incluyen el ducto, los cabezales, los muros de ala en las entradas y salidas, así como dispositivos que optimicen el escurrimiento y prevengan la erosión regresiva debajo de la estructura. Dependiendo de la forma del ducto, las alcantarillas pueden ser circulares, rectangulares, de arco, de bóveda o de ductos múltiples.

Figura 66. Elementos de una alcantarilla



Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

3.16.1. Recolección de información

Es importante recopilar toda la información relevante sobre la zona de influencia del área de cruce. Las fuentes de datos pueden incluir reconocimientos aéreos y terrestres, entrevistas, instituciones especializadas en recursos hidráulicos, informes de prensa y estudios previos. (MTOP, 2003).

Entre los datos clave a reunir se encuentran:

1. Información topográfica.
2. Detalles sobre las cuencas de drenaje.
3. Características del cauce.
4. Niveles de agua registrados.
5. Estructuras existentes en la zona

3.16.2. Características de diseño

El diseño del sistema de drenaje transversal menor en una carretera consta de dos etapas clave: el análisis hidrológico de la zona y el diseño hidráulico de las estructuras.

El análisis hidrológico tiene como objetivo prever los valores máximos de precipitación o picos de escurrimiento, de acuerdo con el período de retorno y la importancia del sistema. Por otro lado,

el diseño hidráulico se enfoca en determinar las dimensiones adecuadas de las estructuras para evacuar los caudales de lluvia, garantizando así su efectividad en el desalojo de aguas.

Algunos aspectos clave en este proceso incluyen:

- Localización.
- Longitud de la alcantarilla.
- Velocidad de la corriente.
- Carga admisible en la entrada.
- Selección del tipo de estructura.

Además, se establecen velocidades máximas permisibles para canales estables de alineamiento recto y tirante de 0.90 m, a fin de mantener un flujo seguro y eficiente.

Tabla 26. Velocidades máximas estable de alineamiento recto y tirante de 0.90m

MATERIAL	AGUA LIMPIA	AGUA CON LÍNEAS COLOIDALES
Arena fina coloidal	0.46	0.76
Marga arenosa no coloidal	0.53	0.76
Marga limosa no coloidal	0.61	0.91
Limo aluvial no coloidal	0.61	0.107
Marge fime ordinaria	0.76	0.107
Ceniza Volcánica	0.76	0.107
Arcilla fuerte no coloidal	0.14	0.152
Marga aluvial coloidal	0.114	0.152
Esquistos y arcilla compacta	0.183	0.183
Arena fina	0.76	0.152
Marga graduada a piedra redondeada	0.114	0.152
Limo graduado a piedra	0.122	0.168
Grava gruesa no coloidal	0.122	0.183
Piedras y lajas	0.152	0.168

Fuente y elaboración: Propia. MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

3.16.3. Análisis Hidrológico

En el análisis hidrológico de las áreas de drenaje, los dos componentes principales son la precipitación y el escurrimiento. A partir de los registros de mediciones, se establece la relación entre ambos factores, considerando mediciones directas, estimaciones de condiciones no medibles y la predicción de eventos dentro de un período determinado. Estas condiciones son esenciales para guiar el diseño de la estructura de drenaje. (MTOP, 2003)

Existen diversos métodos para evaluar los caudales de diseño:

- Métodos empíricos: Se emplean cuando no se disponen de datos sobre las características de la precipitación en la cuenca. Los más comunes son los métodos de Creager y Lowry. (*MTOP, 2003*)
- Métodos semi-empíricos: Toman en cuenta la intensidad de la lluvia en la relación funcional del caudal de diseño. Estos métodos, como el Racional y el de Ven Te Chow, se basan en el ciclo hidrológico y varían en el nivel de detalle de los factores considerados. (*MTOP, 2003*)
- Métodos estadísticos: Son útiles cuando se dispone de un registro adecuado de caudales. Se asume que los caudales máximos anuales son una muestra aleatoria de una población de caudales máximos, y se diferencian según la función de distribución de probabilidades utilizada. (*MTOP, 2003*)
- Modelos matemáticos: Requieren datos extensos y completos, lo cual puede ser difícil de obtener. Aunque presentan limitaciones, su uso es recomendado siempre que se preste atención a la calidad de los datos y a la interpretación de los resultados. (*MTOP, 2003*)

3.16.4. Diseño Hidráulico para alcantarilla

El análisis hidráulico de una estructura de drenaje se fundamenta en los principios básicos de la hidráulica, como las ecuaciones de continuidad, energía y cantidad de movimiento. Estos principios se aplican tanto en sistemas de conducción forzada como de superficie libre, aunque en este último caso es necesario considerar las variaciones del tirante de la sección según las características geométricas e hidráulicas de la conducción. (*MTOP, 2003*)

Las alcantarillas pueden operar de dos maneras: cuando están a sección llena o parcialmente llena, sin presión, se consideran como canales; mientras que aquellas que operan bajo presión se clasifican como conductos cerrados. Por lo tanto, es esencial determinar si la alcantarilla funcionará a presión para calcular sus dimensiones adecuadamente. (*MTOP, 2003*)

a. Esgurrimiento en alcantarillas

El flujo en una alcantarilla puede presentarse de dos formas: 1) con control de entrada, y 2) con control de salida.

b. Parámetros de diseño

El cálculo de las dimensiones de una alcantarilla debe tener en cuenta el caudal máximo de diseño, la pendiente establecida y la verificación de la velocidad máxima o el remanso en

la entrada. Los parámetros hidrológicos necesarios para el diseño se determinan de la siguiente manera:

Área de drenaje: Se obtiene mediante cartas topográficas del IGM o fotografías aéreas, calculando la superficie proyectada horizontalmente limitada por el parteaguas. Esta área se expresa en hectáreas o kilómetros cuadrados.

Intensidades de precipitación: Se determinan en función de su frecuencia y duración. En ausencia de información local, el INAMHI proporciona análisis estadísticos periódicos de intensidades para calcular la relación intensidad-frecuencia-duración, usando las ecuaciones pluviométricas de las "zonas de intensidades" del país.

Período de retorno: Dependiendo del tipo de carretera, se asignan períodos de retorno: 200 años para carreteras arteriales, 150 años para carreteras colectoras y 100 años para carreteras vecinales.

Tiempo de concentración: En casos con información limitada, se recomienda considerar el tiempo de concentración igual al tiempo de duración de la lluvia, ya que es cuando la cuenca contribuye la mayor cantidad de agua al cauce. Existen fórmulas empíricas para calcularlo, siendo la fórmula de Rowe una de las más utilizadas. (*MTOP, 2003*)

$$tc = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.395}$$

Donde:

Tc = El tiempo de concentración, en min.

L = La longitud del cauce principal, en m.

H = El desnivel entre el extremo de la cuenca y el punto de descarga, en m.

La precipitación máxima en 24 horas: Se calculará a partir de los registros de estaciones pluviométricas cercanas al área del proyecto. Si no se dispone de estos datos, se utilizará el mapa de isolíneas del INAMHI junto con la zonificación de las ecuaciones aplicables.

El coeficiente de escorrentía: refleja la relación entre la precipitación total y la que escurre superficialmente. Su valor depende de factores como la permeabilidad del suelo, la morfología de la cuenca, la pendiente longitudinal y la cobertura vegetal.

Figura 67. Coeficiente de escorrentía "C"

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPECIABLE
		50%	20%	5%	1%	
SIN VEGETACION	IMPERMEABLE	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	SEMIPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	PERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
CULTIVOS	IMPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	SEMIPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	PERMEABLE	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
PASTOS VEGETACION LIGERA	IMPERMEABLE	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	SEMIPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	PERMEABLE	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
HIERBA, GRAMA	IMPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	SEMIPERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	PERMEABLE	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
BOSQUES DENSA VEGETACION	IMPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	SEMIPERMEABLE	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	PERMEABLE	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

c. Caudal de Diseño

El cálculo del caudal de diseño, para un período de retorno específico, dependerá de la información hidrológica disponible, la importancia de la estructura a diseñar y el tipo de servicio de drenaje que se proporcionará.

Alcantarillas en cuencas pequeñas: Un método comúnmente utilizado para estimar el caudal máximo en cuencas pequeñas (hasta 400 ha) es el "Método Racional". Este método calcula el caudal en función de la precipitación, el tamaño de la cuenca, la topografía y el tipo de suelo

$$Q = \frac{c \cdot I \cdot A}{360}$$

Q = Caudal máximo probable (m³/s).
c = Coeficiente de escorrentía.
I = Intensidad de la precipitación (mm/h) durante el tiempo de concentración.
A = Área de la cuenca (ha).

Alcantarillas en carreteras paralelas a ríos en planicies o sabanas de inundación: El "Método de Manning" es adecuado para estimar el caudal máximo en estas condiciones, ya que depende de la sección de flujo y la pendiente.

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

Q = Caudal máximo probable (m³/s).

n = Coeficiente de rugosidad.

RRR = Radio hidráulico (m).

SSS = Pendiente de la planicie (m/m).

Figura 68. Coeficiente de rugosidad "n"

DESCRIPCION	"n"
TUBOS DE HORMIGON	0.012
Tubos de metal corrugado o tubos en arco:	
a) Simple o revestido	0.024
b) Solera pavimentada	0.019
Tubo de arcilla vitrificada	0.012
Tubo de hierro fundido	0.013
Alcantarilla de ladrillo	0.015
Pavimento asfáltico	0.015
Pavimento de hormigón	0.014
Parterre de césped	0.05
Tierra	0.02
Grava	0.02
Roca	0.035
Areas cultivadas	0.03-0.05
Matorrales espesos	0.07-0.14
Bosques espesos-poca maleza	0.10-0.15
Cursos de agua	
a) Algo de hierba y maleza-poco o nada de matorrales	0.03-0.035
b) Maleza densa	0.035-0.05
c) Algo de maleza-matorrales espesos a los costados	0.05-0.07

Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

3.16.5. Procedimiento del Diseño

El diseño de alcantarillas puede llevarse a cabo mediante procesos analíticos o utilizando los nomogramas elaborados por el U.S. Bureau of Public Roads, que simplifican los cálculos y permiten determinar las condiciones hidráulicas de la alcantarilla. Además, el uso de programas informáticos facilita la evaluación de alternativas y la optimización de los procesos de diseño. (MTOP, 2003)

Independientemente del método elegido, deben considerarse las siguientes variables en el diseño de alcantarillas:

Q: Caudal de diseño (m³/s)

B: Ancho de la sección transversal en alcantarillas rectangulares (m)

D: Diámetro o altura de la alcantarilla, según el tipo (m)

So: Pendiente del fondo

HEP: Tirante de agua permisible en la entrada (m)

CE: Coeficiente de pérdida de carga en la entrada (ver Anexo 4-B)

L: Longitud de la alcantarilla (m)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

HS: Tirante de agua en la salida (m)

Figura 69. Protección contra la socavación local

VELOCIDAD V1 (m/s)	PESO ESPECIFICO DEL MATERIAL(kg/m3)				
	1600	1800	2000	2200	2400
1	8	8	7	6	6
1.3	15	113	112	11	10
2	18	16	13	13	12
2.5	27	24	21	19	18
3	38	34	31	28	26
3.5	53	46	42	38	35
4	68	60	54	50	46
4.5	86	77	69	63	58
5			85	77	70

Fuente: MTOP, Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

Periodo de retorno de diseño: El diseño debe basarse en el período de retorno del caudal y los niveles de agua, definidos según el tipo de carretera:

- A. Caminos vecinales:** Período de retorno entre 50 y 100 años.
- B. Carreteras colectoras:** Período de retorno entre 100 y 250 años.
- C. Carreteras principales con tráfico intenso:** Período de retorno entre 200 y 1,000 años.
- D. Vados:** Período de retorno entre 25 y 100 años, dependiendo de su importancia.

La seguridad vial debe ser una prioridad en el proceso de diseño y mantenimiento de las carreteras. A continuación, se detallan las normativas y principios fundamentales para asegurar la protección de los usuarios de las vías:

Normativas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP):

Las especificaciones técnicas establecidas por el MTOP determinan los parámetros para el diseño

de carreteras en Ecuador, considerando aspectos como el diseño geométrico, la señalización, la seguridad vial y el drenaje.

Diseño geométrico:

- **Radio de curvatura:** Las curvas deben tener un radio adecuado para permitir un paso seguro de los vehículos, tomando en cuenta la velocidad de diseño y el tipo de vehículos.
- **Pendientes:** Las pendientes deben ser moderadas para evitar riesgos de deslizamientos o pérdida de control, especialmente en áreas montañosas.
- **Ancho de la calzada:** El ancho de la vía debe ser suficiente para el tipo de tráfico previsto, garantizando la seguridad, incluso para vehículos pesados.
- **Banquetas y veredas:** Deben diseñarse con el objetivo de proteger a peatones y ciclistas, sobre todo en áreas urbanas.

Señalización y visibilidad:

- **Señales verticales y horizontales:** Estas deben ser claras, visibles y apropiadas para las condiciones de la carretera.
- **Visibilidad:** El diseño debe asegurar que se mantenga una visibilidad adecuada en puntos críticos, como intersecciones y zonas de alto riesgo.

Elementos de seguridad:

- **Barreras de seguridad:** Se deben instalar en tramos peligrosos, como zonas de alta pendiente o cerca de puentes y alcantarillas.
- **Muros de contención:** Estos deben incorporarse en áreas con alto riesgo de deslizamientos de tierra.

Estudio de tráfico: Es necesario realizar un análisis del tipo y volumen de tráfico, a fin de ajustar el diseño de acuerdo a las condiciones reales de la vía (vehículos ligeros, pesados, transporte público).

Seguridad en puentes y alcantarillas: Los puentes y alcantarillas deben diseñarse cumpliendo con normas de resistencia y estabilidad, con sistemas de drenaje apropiados que prevengan inundaciones o fallas estructurales.

Drenaje adecuado: Un sistema de drenaje eficiente es esencial para evitar la acumulación de agua en la vía, lo que podría generar deslizamientos, inundaciones y pérdida de adherencia en la calzada.

Riesgos naturales: El diseño debe tener en cuenta factores geográficos y climáticos, como deslizamientos de tierra e inundaciones, que son comunes en algunas zonas.

Accesibilidad: Debe garantizarse el acceso adecuado para personas con discapacidad, incluyendo rampas y señalización accesible, para asegurar la seguridad de todos los usuarios de la vía.

Mantenimiento y conservación: Es fundamental que el diseño contemple los costos y la facilidad de mantenimiento de la vía, para asegurar su funcionalidad a largo plazo.

4. METODOLOGÍA

4.1. Reconocimiento de la vía

Para el diseño fue necesario un recorrido previo de la vía para verificar su estado en ese momento y poder determinar qué factores se aplicarían en el diseño a realizar, como por ejemplo: condiciones de la vía, estabilidad de la misma, seguridad, entre otros. Todos estos factores se pudieron determinar en el recorrido total de la vía.

Foto1. Recorrido Vía



Fuente: Propia, durante el recorrido de la vía 2024

4.1.1. Levantamiento Topográfico

Para la realización del levantamiento topográfico se colocó algunos hitos de control con el GPS diferencial KOLIDA K20s, posterior a eso se realizó un vuelo con el dron Matrice 350 RTK que

tiene la tecnología de posicionamiento RTK, el cuál permite realizar el levantamiento con un nivel de precisión elevado sin la necesidad de colocar lonas o pintar marcas de control para una corrección posterior al realizado el levantamiento.

El levantamiento fué realizado en una franja de 14 m a cada lado del eje de la vía para garantizar la información necesaria para el correcto diseño de la vía.

Los pasos necesarios para la realización de este levantamiento fueron los siguientes:

- 1) **Elaboración de la ruta de vuelo:** Para poder realizar el levantamiento con este equipo es necesario realizar un plan de vuelo, el mismo fue realizado en oficina mediante el uso de google Earth para trazar un eje aproximado de la ruta de vuelo. Este eje fue cargado al control del equipo y en campo al colocar la antena del RTK se pudo modificar en ciertos tramos el eje de la vía teniendo en cuenta las modificaciones realizadas anteriormente por la prefectura del eje de la vía.
- 2) **Ubicación de los equipos en campo:** Para la realización del vuelo fue necesario ver un punto desde el cual se mantenga la visibilidad del dron durante el vuelo y la menor interferencia de la antena del RTK, de manera que los equipos estén conectados correctamente y nunca se pierda contacto visual del dron al momento del vuelo.
- 3) **Levantamiento con el dron:** Para el levantamiento con el dron fue necesario encender el equipo y modificar las condiciones de vuelo necesarias en ese momento como la altura de vuelo, velocidad y otros factores necesarios. Posterior a eso se espera que se calienten los sensores de la cámara para proceder al vuelo y realización del levantamiento. Debido a la duración de las baterías del dron fue necesario la carga de las baterías en campo usando un generador eléctrico.
- 4) **Descarga de datos y procesamiento de los mismos:** Para descargar los datos se retiró la memoria de la cámara y se pasaron los datos a una computadora para con eso realizar el procesamiento de los datos obtenidos en campo mediante el uso de distintos softwares como fue el caso de Agisoft, en el cual se procesó las fotografías teniendo en cuenta la referenciación de las mismas con los puntos de control del GPS diferencial y los distintos pasos a seguir para obtener un MDE (Modelo Digital de Elevaciones). Posterior a esto obtuvo las curvas de nivel del levantamiento con el software de Global Mapper, el cual

permite que el peso del archivo a usar en civil 3D sea menor y no genere molestias durante el trabajo del diseño.

- 5) **Elaboración del diseño de la vía:** Con los datos obtenidos en civil 3D se procedió a elaborar el diseño de la vía cumpliendo las normas que regulan los mismos en el Ecuador.

Foto2. Levantamiento Topográfico



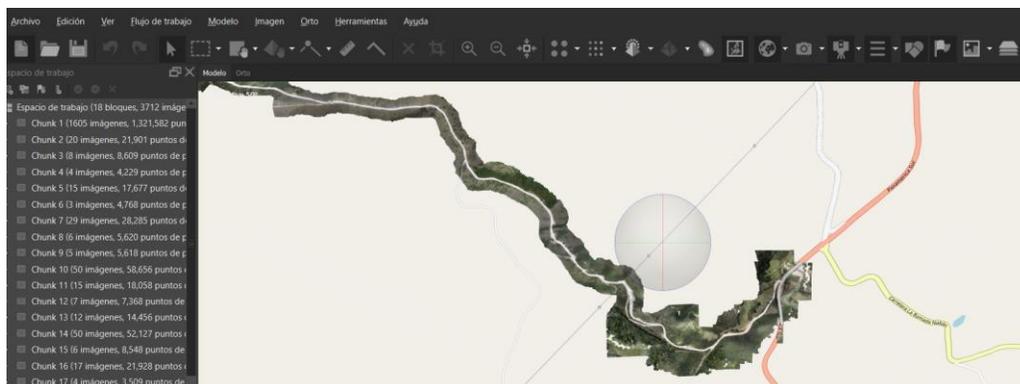
Fuente: Propia, realización levantamiento con el Dron Matrice 350 RTK ,2024

El levantamiento fue realizado en un lapso de 5 días debido a las condiciones climáticas, duración de las baterías y otros factores que afectaron a la realización del mismo.

4.1.2. Procesamiento de Datos

Para el procesamiento de datos obtenidos del levantamiento se utilizó distintos programas para el procesamiento de datos, en este caso se usó el software Agisoft, en el cual permitió alinear las fotos realizadas por el dron y referenciarlas a los puntos estáticos obtenidos con anterioridad.

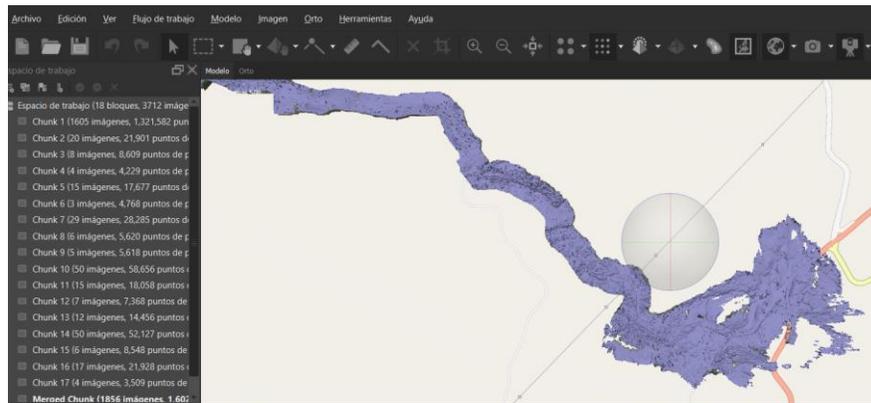
Foto3. Alineamiento Fotos del levantamiento con el dron en Agisoft



Fuente: Propia, Recorte programa Agisoft 2024

Posterior al alineamiento de fotos se genera una nube de puntos densa lo que permitió obtener la mayor cantidad e información levantada durante el vuelo y así poder limpiar la superficie retirando la información de la vegetación levantada y poder obtener la topografía de toda la superficie de la franja levantada y así se pudo obtener un DEM de la topografía de la zona.

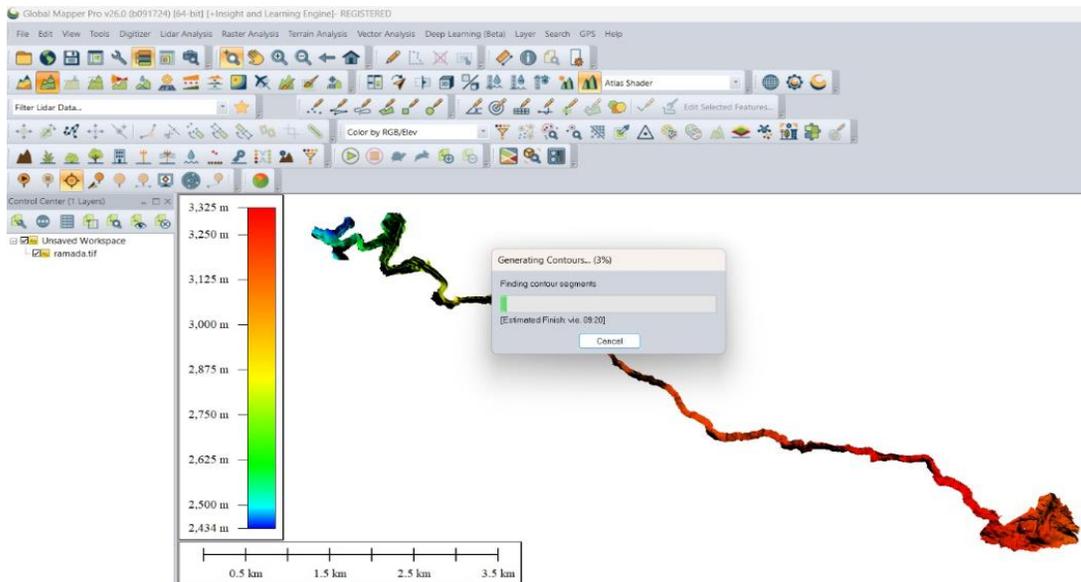
Foto4. Nube de puntos densa



Fuente: Propia, Obtención de nube de puntos densa en Agisoft, 2024

Para poder reducir el tamaño del archivo a cargar en el civil 3D se usó el programa de Global Mapper en el cual se cargó el DEM para generar las curvas y exportarlas a civil generando menos carga al programa y al procesador de la computadora.

Foto5. Generación Curvas en Global Mapper



Fuente: Propia, Curvas en Global mapper para exportar a civil 3D 2024

4.2. Ensayos de Laboratorio

Para los ensayos de laboratorio se extrajo material de dos calicatas en las abscisas 0+575 y 1+725 para las cuales se cavó a mano una profundidad de 1.50m y desde esa profundidad se recolectó el material para los distintos ensayos.

Foto6. Recolección y secado de muestras para ensayos de laboratorio



Fuente: Propia, calicatas 0+575 y 1+725, 2024

Los ensayos realizados en el laboratorio fueron los siguientes:

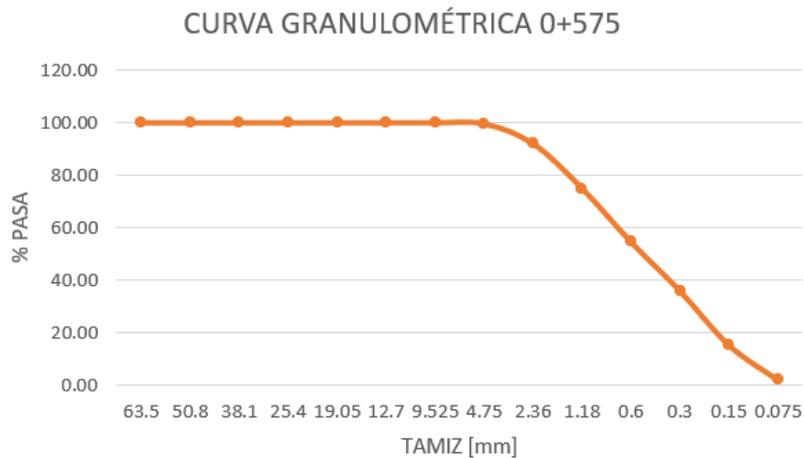
- Granulometría.
- Limite líquido y limite plástico
- Proctor modificado
- CBR

4.2.1. Granulometría

El ensayo se realizó de las dos calicatas según las normas estudiadas durante la carrera para poder determinar el índice granulométrico y la curva granulométrica de cada muestra obtenida obteniendo como resultado un índice granulométrico de 0 para las dos calicatas y una curva granulométrica como se muestra a continuación:

Foto7. Granulometría y curva granulométrica

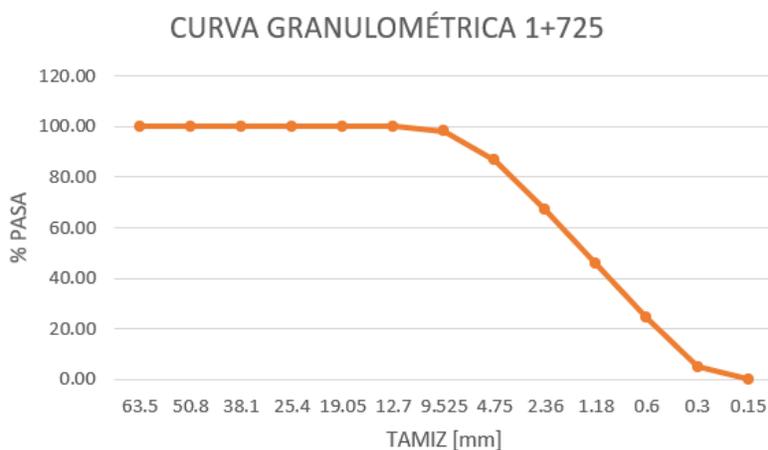
GRANULOMETRIA DEL SUELO							
Peso del ensayo (gr)		1000		ACUMULADO		% PARCIAL RETENIDO	
TAMIZ		P.RET. PARC.(GR.)	P.RET. ACUM.(GR.)	%	RET.		% PASA.
mm	U.S.						
63.5	2 1/2"	0	0	0.00	100.00	0.00	
50.8	2"	0	0	0.00	100.00	0.00	
38.1	1 1/2"	0	0	0.00	100.00	0.00	
25.4	1"	0	0	0.00	100.00	0.00	
19.05	3/4"	0	0	0.00	100.00	0.00	
12.7	1/2"	0	0	0.00	100.00	0.00	
9.525	3/8"	0	0	0.00	100.00	0.00	
4.75	N°4	4.3	4.3	0.43	99.57	0.43	
2.36	N°8	75.3	79.6	7.96	92.04	7.53	
1.18	N°16	169.4	249	24.90	75.10	16.94	
0.6	N°30	203.9	452.9	45.29	54.71	20.39	
0.3	N°50	185.8	638.7	63.87	36.13	18.58	
0.15	N°100	205.9	844.6	84.46	15.54	20.59	
0.075	N°200	132.6	977.2	97.72	2.28	13.26	
	FONDO	22.8	1000	100.00	0.00	2.28	



Fuente y elaboración: Propia, abscisa 0+575

Tabla 27. Granulometría y curva granulométrica

GRANULOMETRIA DEL SUELO						% PARCIAL RETENIDO
Peso del ensayo (gr)		1000		% ACUMULADO		
TAMIZ		P.RET. PARC.(GR.)	P.RET. ACUM.(GR.)	% RET.	% PASA.	
mm	U.S.					
63.5	2 1/2"	0	0	0.00	100.00	0.00
50.8	2"	0	0	0.00	100.00	0.00
38.1	1 1/2"	0	0	0.00	100.00	0.00
25.4	1"	0	0	0.00	100.00	0.00
19.05	3/4"	0	0	0.00	100.00	0.00
12.7	1/2"	0	0	0.00	100.00	0.00
9.525	3/8"	0	0	0.00	100.00	0.00
4.75	N°4	19.7	19.7	1.97	98.03	1.97
2.36	N°8	113.2	132.9	13.29	86.71	11.32
1.18	N°16	196.4	329.3	32.93	67.07	19.64
0.6	N°30	213.3	542.6	54.26	45.74	21.33
0.3	N°50	214.6	757.2	75.72	24.28	21.46
0.15	N°100	192.9	950.1	95.01	4.99	19.29
0.075	N°200	48.1	998.2	99.82	0.18	4.81
	FONDO	1.8	1000	100.00	0.00	0.18



Fuente y elaboración: Propia, abscisa 1+725

4.2.2. Limite líquido y limite plástico

Los límites líquido y plástico fueron realizados en el laboratorio obteniendo como resultado que la calicata 0+575 tiene un LL= 61.78, un LP= 40.48 y un IP=21.30 y la calicata 1+725 tiene un LL=47.49, un LP= 39.65 y un IP=7.83 que con estos datos y la granulometría se procedió a realizar una clasificación de suelos según la AASHTO obteniendo como resultado:

Calicata 0+575 = Suelo se clasifica como: Arena arcillosa de alta plasticidad A-2-7 de calidad aceptable y por la SUCS se clasifica como una arena arcillosa mal graduada de alta plasticidad (SP).

Calicata 1+725 = El suelo se clasifica como: Arena arcillosa de media plasticidad A-2-5 de calidad buena y por la SUCS se clasifica como una arena arcillosa mal graduada de baja plasticidad (SP).

4.2.3. Proctor modificado

El ensayo del proctor modificado se realizó con distintos valores de humedad del suelo con la finalidad de determinar la densidad seca óptima y su humedad con la cual alcance esa densidad y posterior a eso proceder a realizar el ensayo que permite determinar la capacidad portante del suelo (CBR). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Calicata 0+575= humedad óptima de 29.96% y una densidad seca de 1.557 g/cm³

Calicata 1+725= humedad óptima de 17.78% y una densidad seca de 1.620 g/cm³

4.2.4. CBR

Los ensayos realizados en el laboratorio con la humedad óptima de cada material determinado con el ensayo del proctor permitió determinar la cantidad de agua necesaria para poder realizar el ensayo de CBR, lo cual dió como resultado un CBR de 10.641% para la calicata 0+575 y un CBR de 52.022% para la calicata 1+725, lo cual indicó que el material presente en la segunda calicata puede ser considerado como base por la capacidad portante del mismo y para el diseño de pavimentos se utilizó el CBR más crítico presente en el sitio a implantar la vía.

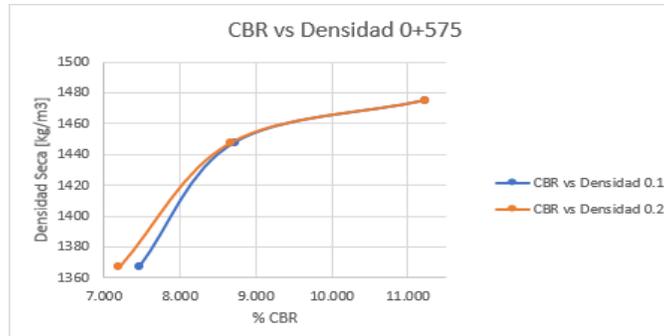
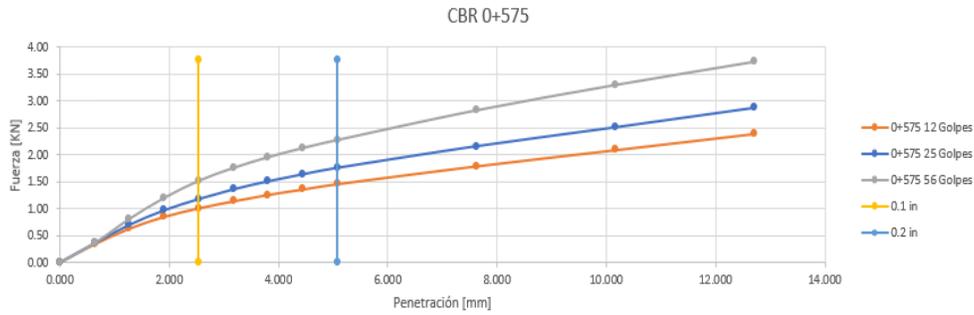
El CBR determinado para el diseño estructural de la vía es el CBR de 10.641% que pertenece a la primera calicata ubicada en la abscisa 0+575 de la vía a diseñar.

Tabla 28. Resultados CBR, vía La Ramada-Río Curiquingue

CBR 0.1	7.464	8.720	11.233	13.017	10.641	
CBR 0.2	7.193	8.671	11.233	13.237	10.661	
				CBR 100%	CBR %95	
Area de Pistón:	19.62		cm2			
0+575 12 Golpes						
Esfuerzo Unitario	Tiempo	Carga	Penetracion	Carga	Esfuerzo	% CBR
[kg/cm2]		[KN]	[mm]	[kg]	[kg/cm2]	
	0:00:00	0.00	0.000	0.00	0.000	
	0:00:37	0.34	0.635	34.66	1.767	
	0:01:08	0.63	1.270	64.22	3.273	
	0:01:37	0.85	1.905	86.65	4.416	
70.307	0:02:05	1.01	2.540	102.96	5.248	7.464
	0:02:34	1.14	3.175	116.21	5.923	
	0:03:03	1.26	3.810	128.44	6.547	
	0:03:33	1.36	4.445	138.64	7.066	
105.46	0:04:01	1.46	5.081	148.83	7.586	7.193
	0:06:02	1.79	7.620	182.47	9.300	
	0:08:02	2.09	10.160	213.05	10.859	
	0:10:03	2.39	12.700	243.64	12.418	

0+575 25 Golpes					
Tiempo	Carga	Carga	Esfuerzo	Penetracion	% CBR
	[KN]	[kg]	[kg/cm2]	[mm]	
0:00:00	0.00	0.00	0.000	0.000	
0:00:29	0.36	36.70	1.870	0.635	
0:00:59	0.70	71.36	3.637	1.270	
0:01:28	0.97	98.88	5.040	1.905	
0:01:58	1.18	120.29	6.131	2.540	8.720
0:02:27	1.36	138.64	7.066	3.175	
0:02:56	1.51	153.93	7.846	3.810	
0:03:26	1.64	167.18	8.521	4.445	
0:03:55	1.76	179.41	9.144	5.080	8.671
0:05:56	2.16	220.19	11.223	7.620	
0:07:57	2.51	255.87	13.041	10.160	
0:09:58	2.87	292.57	14.912	12.700	

0+575 56 Golpes					
Tiempo	Carga	Carga	Esfuerzo	Penetracion	% CBR
	[KN]	[kg]	[kg/cm2]	[mm]	
0:00:00	0.00	0.00	0.000	0.000	
0:00:35	0.36	36.70	1.870	0.635	
0:01:05	0.81	82.57	4.209	1.270	
0:01:34	1.20	122.33	6.235	1.905	
0:02:05	1.52	154.95	7.897	2.540	11.233
0:02:35	1.76	179.41	9.144	3.175	
0:03:04	1.96	199.80	10.184	3.810	
0:03:33	2.13	217.13	11.067	4.445	
0:04:03	2.28	232.42	11.846	5.080	11.233
0:06:06	2.83	288.49	14.704	7.620	
0:08:07	3.30	336.40	17.146	10.160	
0:10:08	3.73	380.24	19.380	12.700	



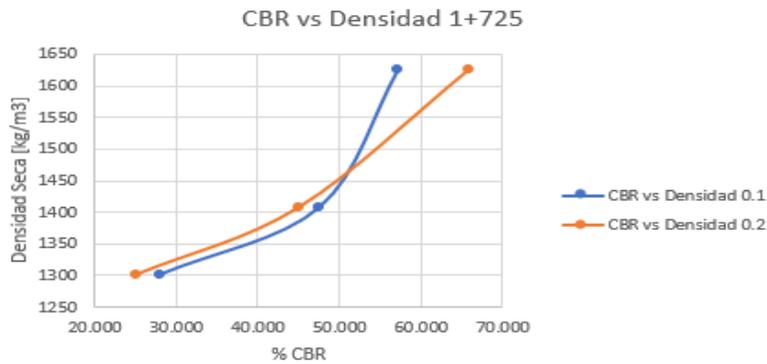
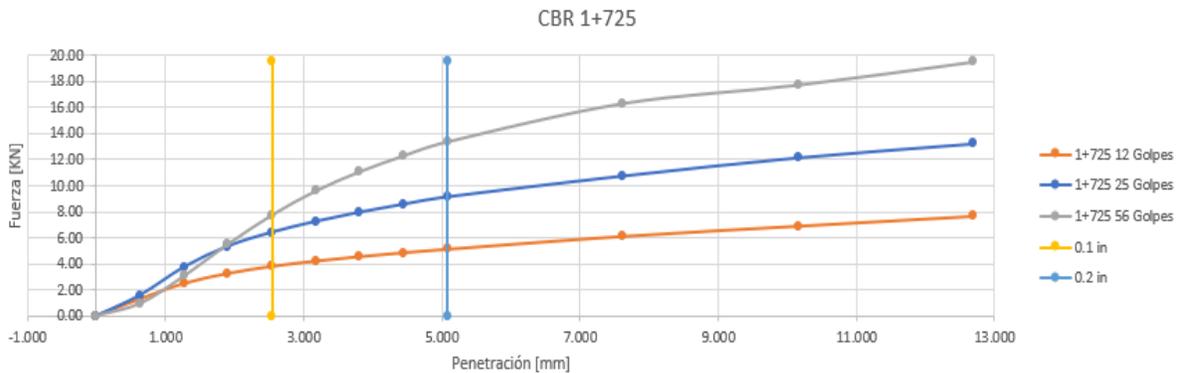
Fuente y elaboración: Propia, cálculos CBR abscisa 0+575

Tabla 29. Resultados CBR, vía La Ramada-Río Curiquingue

CBR 0.1	28.082	47.518	57.199	58.737	52.022	
CBR 0.2	25.225	45.030	65.920	66.497	56.703	
Area de Pistón:			19.62	cm2		
Esfuerzo Unitario		1+725 12 Golpes				% CBR
[kg/cm2]	Tiempo	Carga [kN]	Penetración [mm]	Carga [kg]	Esfuerzo [kg/cm2]	
	0:00:00	0.00	0.000	0.00	0.000	
	0:00:34	1.30	0.635	132.52	6.754	
	0:01:05	2.49	1.270	253.83	12.937	
	0:01:35	3.26	1.905	332.32	16.938	
70.307	0:02:06	3.80	2.540	387.37	19.744	28.082
	0:02:35	4.21	3.175	429.17	21.874	
	0:03:05	4.55	3.810	463.83	23.641	
	0:03:34	4.85	4.445	494.41	25.199	
105.46	0:04:03	5.12	5.080	521.93	26.602	25.225
	0:06:04	6.11	7.620	622.85	31.746	
	0:08:06	6.90	10.160	703.39	35.850	
	0:10:07	7.66	12.700	780.86	39.799	

1+725 25 Golpes					
Tiempo	Carga [kN]	Carga [kg]	Esfuerzo [kg/cm2]	Penetración [mm]	% CBR
0:00:00	0.00	0.00	0.000	0.000	
0:00:35	1.60	163.10	8.313	0.635	
0:01:09	3.77	384.31	19.588	1.270	
0:01:42	5.36	546.40	27.849	1.905	
0:02:13	6.43	655.47	33.408	2.540	47.518
0:02:43	7.26	740.08	37.721	3.175	
0:03:15	7.97	812.46	41.410	3.810	
0:03:45	8.58	874.65	44.579	4.445	
0:04:16	9.14	931.73	47.489	5.080	45.030
0:06:18	10.74	1094.84	55.802	7.620	
0:08:21	12.14	1237.55	63.076	10.160	
0:10:24	13.21	1346.63	68.635	12.700	

1+725 56 Golpes					
Tiempo	Carga	Carga	Esfuerzo	Penetración	% CBR
	[KN]	[kg]	[kg/cm ²]	[mm]	
0:00:00	0.00	0.00	0.000	0.000	
0:00:32	0.95	96.84	4.936	0.635	
0:01:04	3.07	312.96	15.951	1.270	
0:01:36	5.51	561.69	28.628	1.905	
0:02:07	7.74	789.02	40.215	2.540	57.199
0:02:39	9.60	978.62	49.879	3.175	
0:03:10	11.08	1129.50	57.569	3.810	
0:03:40	12.30	1253.86	63.907	4.445	
0:04:11	13.38	1363.96	69.519	5.080	65.920
0:06:14	16.33	1664.68	84.846	7.620	
0:08:16	17.75	1809.44	92.224	10.160	
0:10:19	19.53	1990.89	101.472	12.700	



Fuente y elaboración: Propia, cálculos CBR abscisa 1+725

4.3. TPDA

Para la determinación del tráfico promedio diario anual se realizó un conteo presencial durante 7 días seguidos en un horario de 7am a 7pm, este conteo se realizó en la entrada a la vía la Ramada-Girón en las coordenadas E=713583 N=9638497 durante el periodo de 25 de diciembre al 31 de diciembre del año 2023.

Tabla 30. Resumen conteo vehicular, vía La Ramada–Río Curiquingue

Resumen Conteo Vehicular									
VEHICULOS	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	TOTAL	TOTAL PROMEDIO
AUTOS	23	33	32	43	49	54	32	266	38
BUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BUSETA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-2D	2	4	4	0	0	0	0	10	2
C-2DB	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-3A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-4C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V2DE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOTOS	0	0	0	2	0	0	0	2	1
TOTAL	25	37	36	45	49	54	32	278	41

Fuente y elaboración: Propia, abscisas 0+000 a 2+300km

El volumen horario de máxima demanda durante el conteo realizado es el siguiente:

Tabla 31. VHMD del conteo

VOLUMEN HORARIO DE MAXIMA DEMANDA "VHMD"			
Resumen para hora pico			
HORA	SENTIDO		AMBOS SENTIDOS
	NORTE-SUR	SUR-NORTE	
6-7	7	7	14
7-8	8	7	15
8-9	8	0	8
9-10	14	14	28
10-11	24	0	24
11-12	14	13	27
12-13	11	7	18
13-14	13	17	30
14-15	7	13	20
15-16	7	26	33
16-17	15	20	35
17-18	12	14	26
		VHMD =	35 Veh/hora
Hora pico		HORA =	16-17

Fuente y elaboración: Propia Volumen horario de máxima demanda

Para realizar el TPDA calculamos los factores de corrección como es el FH, FD, FS, FM

El factor horario se determinó teniendo en cuenta el número de horas contadas durante el día permite determinar el FH, obteniendo como resultado los valores a continuación:

Tabla 32. Factor Horario

Factor Horario			
Horas que contiene 1 día =	24	286	
Horas contadas en el mismo día =	12	278	8.34
Fh =	1.03	1.1	Factor horario

Fuente y elaboración: Propia, determinación del factor horario

El factor diario depende del número de días de la semana dividido para el número de días contados que como resultado obtenido en este caso es de 1, ya que se contaron los 7 días de la semana.

El factor semanal se determinó considerando el número de días y semanas dentro de un mes obteniendo como resultado el indicado a continuación:

Tabla 33. Factor Semanal

MES	No Días	No SEMANAS	Fs
Enero	31	4.43	1.11
Febrero	28	4.00	1.00
Marzo	31	4.43	1.11
Abril	30	4.29	1.07
Mayo	31	4.43	1.11
Junio	30	4.29	1.07
Julio	31	4.43	1.11
Agosto	31	4.43	1.11
Septiembre	30	4.29	1.07
Octubre	31	4.43	1.11
Noviembre	30	4.29	1.07
Diciembre	31	4.43	1.11
Total	365		
Fs =	1.107	Factor semanal	

Fuente y elaboración: Propia, determinación del factor semanal

El factor mensual se determinó en función tomando en cuenta el consumo de combustible de la provincia del Azuay correspondiente al año 2023 enfocado en cada mes y cada tipo de combustible vendido, con estos valores se determinó un factor mensual como se indica a continuación:

Tabla 34. Factor Semanal

CONSUMO DE COMBUSTIBLE AÑO 2023				
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
	51,129,699	7,120,380	37,531,146	95,781,225
			COSTO PROMEDIO MENSUAL	7,981,769
			FM	0.9117303

Fuente y elaboración: Propia, determinación del factor semanal

El factor de expansión se determinó de la multiplicación de los factores determinados anteriormente y se fijó el siguiente valor:

$$Fe = Fh * Fd * Fs * Fm = 1.11$$

Con los datos obtenidos se procedió a calcular el TPDA para el año 2024 obteniendo como resultado el siguiente valor:

Tabla 35. TPDA Calculado para el 2024

TPDA 2024									
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	TOTAL	TOTAL PROMEDIO
AUTOS	26.00	37.00	36.00	48.00	55.00	60.00	36.00	298	43.00
BUS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
BUSETA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
C-2D	3.00	5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13	2
C-2DB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
C-3A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
C-4C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
V2DE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
MOTOS	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	3	1
TOTAL	29	42	41	51	55	60	36	314	46.00
							TPDA 2024	46	

Fuente y elaboración: Propia, determinación del TPDA para el año 2024

La proyección vehicular para el año 2044 se realiza considerando las tasas de crecimiento vehicular de cada año de cada tipo de vehículo obteniendo como resultado la proyección mostrada a continuación:

Tabla 36. Tráfico proyectado para el 2044

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

Fuente y elaboración: Propia, proyección vehicular para el año 2044

Con esta proyección se determinó que la vía entra dentro del rango de 300-1000 determinando como una colectoras de tipo 3

4.4. ESALS

Para determinar el ESALS se procedió a categorizar los vehículos determinados en el conteo vehicular para determinar su impacto en el suelo de acuerdo al peso y el número de ejes que van a circular por la vía diseñada.

De acuerdo a las categorías más comunes tenemos las siguientes:

- **Livianos:** Autos y motocicletas

- **Medianos:** Camionetas y furgonetas
- **Pesados:** Camiones, buses y vehículos articulados

Con esta clasificación se determinó la carga aplicada en la vía y así diseñar la estructura del pavimento. El factor equivalente se calculó de acuerdo al método AASHTO 93 con un factor de distribución del 100% en cada carril ya que se trate de una vía de dos carriles, uno en cada sentido con un porcentaje de confiabilidad del 85% obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 37. ESALs Calculado para el diseño de pavimentos

TIPO	FRECUENCIA	FACTOR CAMION	TASA DE CRECIMIENTO	FACTOR DE CRECIMIENTO	N. ESALs p/diseño	N. ESALs CORREGIDO p/diseño
AUTOS	300	0.001	0.0319	27.827	1,296	1,461
2D	46	0.097	0.0111	22.377	18,233	20,544
				TOTAL	19,529	22,004

Fuente y elaboración: Propia, ESALs.

4.5. Diseño de Pavimento Flexible

El diseño de pavimento flexible se realiza considerando la AASHTO 93 o siguiendo la norma MOP como el caso usado en este diseño, donde se ingresa el valor del CBR=10.641, módulo resiliente de la subrasante de 13952.8 psi, calidad de drenaje bueno, tiempo que demora en escurrir el agua de un día, datos del CBR de la base, subbase y pavimento, pérdida de serviciabilidad inicial de 4.2 y final de 2.5.

Con los valores ingresados de acuerdo a tablas o ábacos definidos por la norma se determinó los números de SN y en el programa se determina el espesor de cada capa como se indica a continuación:

Tabla 38. Cálculo de las capas de Base, Subbase y Pavimento Flexible

CAPAS	mi	ai	MODULOS	SN	SN POR CAPA			
SUPERFICIE	0.00	1	0.45	475000	1	0.96	1	0.957
BASE	1.225	2	0.134	28550	2	1.31	2	0.355
SUB-BASE	1.225	3	0.107	14690	3	1.34	3	0.030
SUBRASANTE				13952.75				1.34

ESPESOR (PULG)	ESPESOR * (PULG)	SN*	ESPESOR FINAL (PULG)	CM				
1	2.12	1	3.00	1	1.36	1	3.000	8
2	-0.27	2	-0.39	2	-0.06	2	3.937	10
3	0.38	3	0.39	3	0.05	3	0.394	1
					1.34		7.33	19

Fuente y elaboración: Propia, Diseño de Pavimentos.

De acuerdo a los cálculos obtenidos se determina espesores de las capas, por el CBR obtenido no es necesario reemplazar el material de la subrasante, pero por norma se debe colocar una capa mínima de cada material.

Como resultado se obtuvo un diseño de 3in de pavimento, 15cm de Base y 15cm de Subbase.

4.6. Estructuras de evacuación de Aguas Pluviales

Para determinar el caudal que se procedió a elaborar una tabla con los datos de registro del INAMHI de las precipitaciones de máximas mensuales registradas en cada año, en este caso se encontró valores entre los años 1995 - 2013

Tabla 39. Datos mensuales de precipitación máxima en 24 horas

DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)										
Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
84.30	48.40	69.20	1.40	10.10	-	11.90	22.70	83.10	95.80	95.80
203.10	101.10	46.30	14.50	0.60	0.80	6.90	89.20	29.30	0.10	203.10
135.00	88.70	18.30	48.20	4.10	-	36.00	61.80	173.70	140.30	173.70
193.40	166.90	18.50	1.00	1.70	10.40	0.60	51.40	20.40	28.50	193.40
273.10	147.60	87.40	106.80	7.00	2.00	25.70	2.00	0.90	176.50	273.10
332.00	121.40	44.40	1.80	-	1.70	88.00	0.80	2.30	61.80	332.00
224.70	98.70	84.80	0.80	1.30	-	9.10	-	89.10	50.00	224.70
131.50	125.60	33.30	-	-	-	-	-	60.80	90.60	131.50
-	128.10	39.20	102.70	5.40	-	9.30	-	-	79.90	128.10
94.70	139.20	71.90	-	15.00	-	143.00	49.60	26.50	51.90	143.00
258.40	40.60	32.60	8.70	-	-	15.60	31.60	12.50	70.50	258.40
185.20	211.60	14.90	20.50	3.00	8.20	9.70	31.50	60.90	110.10	211.60
144.40	-	74.10	21.20	8.50	3.30	3.30	51.50	83.30	100.80	144.40
281.90	63.90	44.50	38.80	10.30	14.60	17.20	48.80	168.50	108.10	281.90
187.80	161.80	49.00	21.40	-	3.80	-	-	-	100.00	195.10
313.90	56.90	52.60	88.60	86.60	5.40	-	-	176.00	193.70	313.90
117.70	210.80	2.50	78.50	30.00	44.40	-	39.40	73.80	117.80	313.30
189.90	222.30	32.90	26.50	7.20	9.10	9.30	108.30	93.70	84.70	372.80
80.80	11.90	-	61.30	26.00	-	-	60.90	4.70	76.00	146.80
332.00	222.30	87.40	106.80	86.60	44.40	143.00	108.30	176.00	193.70	372.80

Fuente y elaboración: INAMHI, registro de precipitaciones estación M0419

Mediante método de Gumbel se procedió a determinar las probabilidades de distribución de las precipitaciones para luego aplicando la regresión potencial se determinó los valores de k, m y n y poder aplicar la fórmula de la intensidad para los distintos períodos de retorno.

Tabla 40. Regresión potencial y datos k,m,n

Resumen de aplicación de regresión potencial			Regresión potencial						
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]	Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
			1	2	874.2330	0.6931	6.7733	4.6949	0.4805
2	874.233	-0.6164	2	5	1174.6738	1.6094	7.0687	11.3767	2.5903
5	1174.674	-0.6164	3	10	1373.5917	2.3026	7.2252	16.6366	5.3019
10	1373.592	-0.6164	4	25	1624.9250	3.2189	7.3932	23.7978	10.3612
25	1624.925	-0.6164	5	50	1811.3785	3.9120	7.5018	29.3474	15.3039
50	1811.378	-0.6164	6	100	1996.4551	4.6052	7.5991	34.9953	21.2076
100	1996.455	-0.6164	6	192	8855.2571	16.3412	43.5615	120.8487	55.2453
Promedio	1475.876	-0.6164	Ln (K) =	6.7004	K =	812.7695	m =	0.2055	

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

Fuente y elaboración: Propia, determinación valores k,n,m

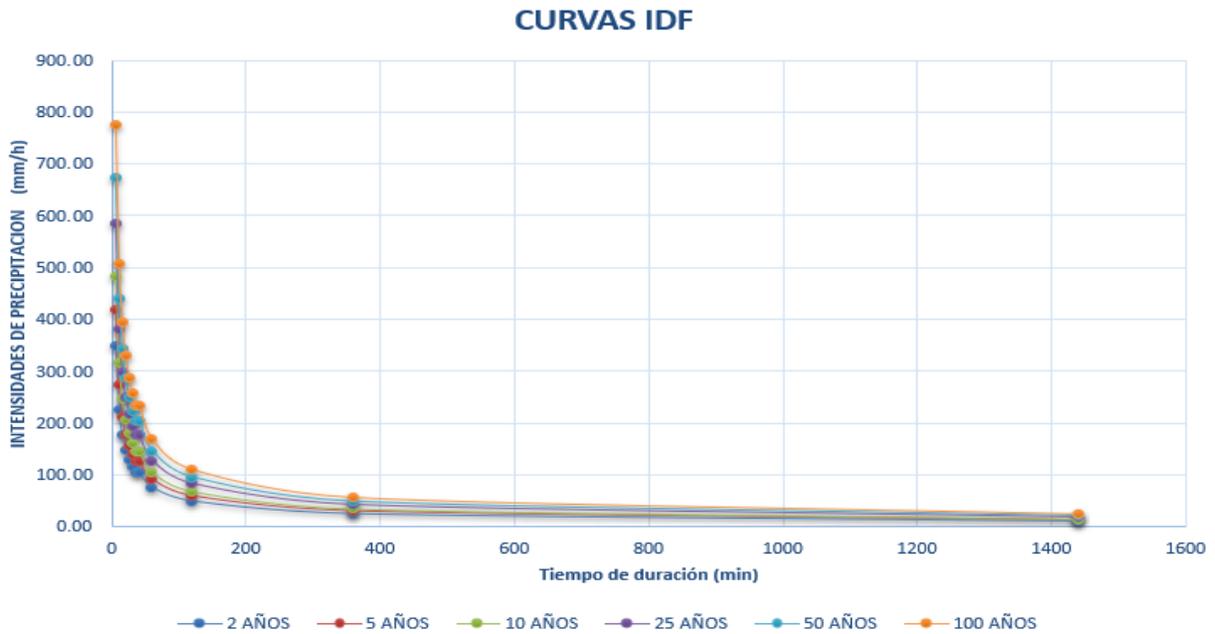
Aplicando la ecuación de la intensidad realizamos los cálculos respectivos para graficar las curvas de intensidad, duración y frecuencia mostradas a continuación, en el cual se observa que la intensidad con un tiempo de concentración de 30min a un periodo de retorno de 100 años es de 257.38 mm/h

Tabla 41. Datos para curvas IDF

INTENSIDAD MAXIMA (mm/h)												
Periodo de retorno T años	Tiempo (minutos)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	60	120	360	1440
2	347.54	226.70	176.57	147.88	128.88	115.18	104.74	104.74	75.13	49.01	24.90	10.59
5	419.56	273.68	213.16	178.52	155.58	139.05	126.44	126.44	90.70	59.16	30.06	12.79
10	483.81	315.59	245.80	205.86	179.41	160.34	145.80	145.80	104.59	68.22	34.66	14.75
25	584.07	380.99	296.74	248.52	216.59	193.56	176.02	176.02	126.26	82.36	41.84	17.80
50	673.50	439.33	342.17	286.57	249.75	223.20	202.97	202.97	145.59	94.97	48.25	20.53
100	776.63	506.60	394.57	330.45	287.99	257.38	234.05	234.05	167.89	109.51	55.64	23.67

Fuente y elaboración: Propia, cálculos IDF

Figura 70. Curvas IDF



Fuente: Propia, Curvas Intensidad, duración y frecuencia datos Estación Girón

Para determinar las cuencas se utilizó un software InfraWorks en el cual se cargó la superficie exportada de ASF(Alos Palsar) el cual tiene una mejor precisión que la superficie generada por Google Earth, a esta superficie generada se carga también el diseño geométrico elaborado en el civil 3D y con esto se generó las áreas de las cuencas y se exportó nuevamente a civil 3D.

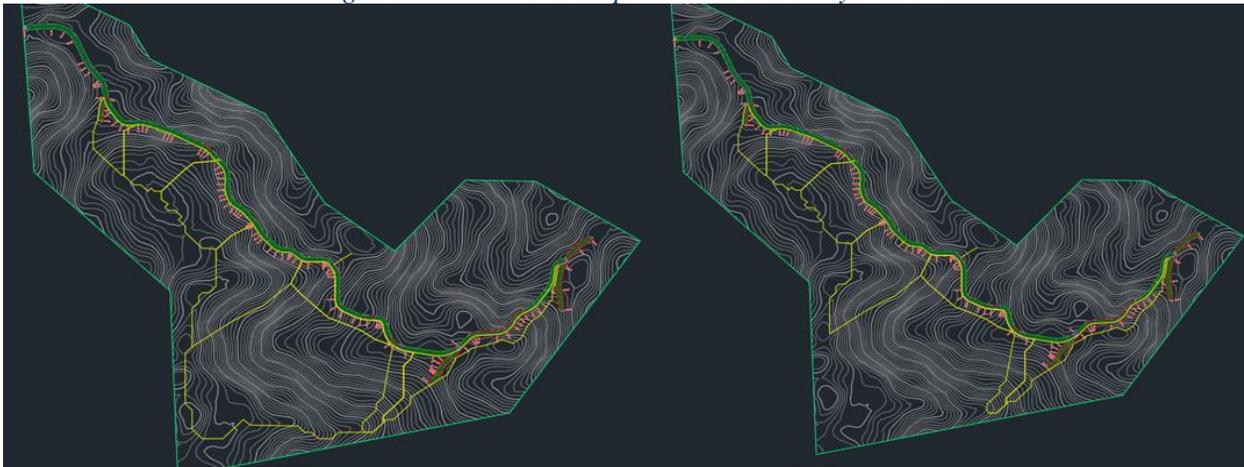
Figura 71. Cuencas de aportes a diseño de cunetas



Fuente: Propia, Izquierda generación de cuencas en InfraWorks y derecha cuencas exportadas a civil 3D

En este caso particular el área de aporte para la cuneta no es completamente en un tramo, se consideró la parte que genera escorrentía hacia la vía por lo que las áreas varían como se ve en la siguiente gráfica.

Figura 72. Áreas de aporte alcantarillas y cunetas



Fuente: Propia, Izquierda aportes Alcantarillas y derecha aportes cunetas.

En civil 3D se pudo analizar las cuencas generadas y considerar ciertas partes que también aportan para el diseño de cunetas afinando más el diseño realizado con la herramienta de la gota de agua que permite analizar las áreas no consideradas en el programa de Infracworks, con estas herramientas se consideró alcantarillas en las siguientes abscisas:

- 0+000
- 0+650
- 1+115
- 1.740
- 2+042
- 2+308

Las cunetas también se consideraron de acuerdo a las abscisas citadas antes obteniendo un área de aporte para las cunetas y las alcantarillas presentadas a continuación:

Tabla 42. Áreas de aporte Alcantarillas

Abscisa	Área de aporte Alcantarillas		
	Vegetación [m2]	Pavimento [m2]	
		Izquierda	Derecha
0+000	27919.952	2065	2065
0+650	239282.939	1785	1785
1+115	59175.601	663.25	663.25
1+400	42202.852	848.925	848.925
1+740	34546.56	959.805	959.805
2+042	13911.016	1308.02	1308.02
3+308.75	0	3950.625	3950.625

Fuente y elaboración: Propia, Áreas de aporte diseño de alcantarillas y cunetas

Tabla 43. Áreas de aporte cunetas

Abscisa	Área de aporte cunetas		
	Vegetación [ha]	Pavimento [ha]	
		Izquierda	Derecha
0+000	2.792	0.207	0.207
0+650	3.568	0.179	0.179
1+115	5.918	0.066	0.066
1+400	4.220	0.085	0.085
1+740	3.455	0.096	0.096
2+042	1.391	0.131	0.131
3+308.75	0.000	0.395	0.395

Fuente y elaboración: Propia, Áreas de aporte diseño de cunetas

Coeficiente de escorrentía: el coeficiente se determinó por tablas que de acuerdo a la zona o material determina un coeficiente de escorrentía. En el caso de la vía se considera un coeficiente de escorrentía de 0.50 debido a que la topografía de la zona tiene pendientes que varían por un promedio de 20% en las transversales a la vía diseñada, para el pavimento asfáltico y la cuneta de hormigón según tablas específica un rango entre 0.7-0.95 por lo que un promedio se considera de 0.825 para los cálculos realizados.

Tabla 44. Coeficiente de Escorrentía

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPECIABLE
		50%	20%	5%	1%	
SIN VEGETACION	IMPERMEABLE	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	SEMIPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	PERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
CULTIVOS	IMPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	SEMIPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	PERMEABLE	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
PASTOS VEGETACION LIGERA	IMPERMEABLE	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	SEMIPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	PERMEABLE	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
HIERBA, GRAMA	IMPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	SEMIPERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	PERMEABLE	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
BOSQUES DENSA VEGETACION	IMPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	SEMIPERMEABLE	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	PERMEABLE	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente y elaboración: MTOP, 2003

El caudal de diseño de las cunetas y de las alcantarillas se determina teniendo en cuenta los valores definidos del coeficiente de escorrentía de acuerdo a la superficie por la intensidad de lluvia y por el área de aporte dividido para 360 como se indica en la siguiente ecuación:

$$Q(m^3/s) = (c * I * A)/360$$

Donde:

Q=Caudal máximo [m3/s]

c=Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de la lluvia de Diseño [mm/h]

A= Área de la cuenca [ha]

Aplicando las ecuaciones se obtiene el caudal máximo en cada abscisa.

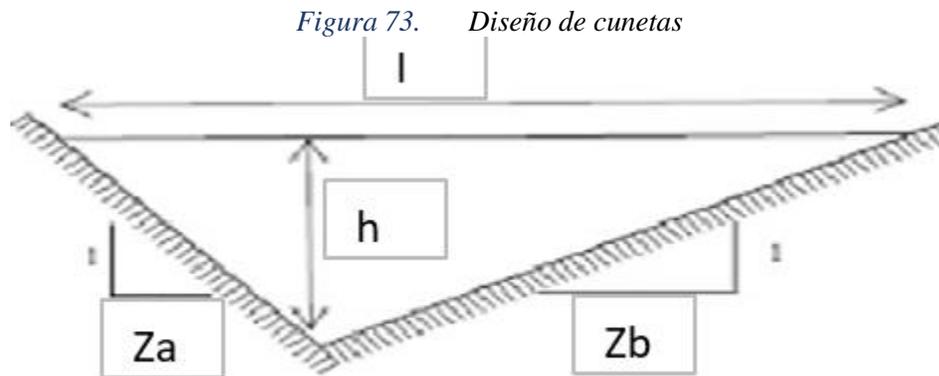
Tabla 45. Áreas de aporte y caudales máximos

Abscisa	Área de aporte cunetas			Caudal cunetas		Área cuenca [km ²]
	Vegetación [ha]	Pavimento [ha]		Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	
0+000	2.792	0.207	0.207	1.721	0.122	0.030
0+650	3.568	0.179	0.179	2.168	0.105	0.037
1+115	5.918	0.066	0.066	3.514	0.039	0.060
1+400	4.220	0.085	0.085	2.520	0.050	0.043
1+740	3.455	0.096	0.096	2.072	0.057	0.036
2+042	1.391	0.131	0.131	0.867	0.077	0.015
3+308.75	0.000	0.395	0.395	0.141	0.233	0.004

Fuente y elaboración: Propia, caudales máximos y área en km² para diseñar las cunetas

4.6.1. Diseño de cunetas

El diseño más utilizado para el diseño de cunetas es el triángulo por la comodidad en la vía y la capacidad de llevar pequeños caudales hacia las alcantarillas o sumideros. Los factores que se consideran para el diseño son: la pendiente, material a usar para la construcción de las mismas y la capacidad hidráulica de tal manera que no se erosione la cuneta. Su forma típica es la siguiente:



Fuente: Google, recorte imagen

Uno de los factores considerados para el diseño de las cunetas es garantizar que no exista erosión en las cunetas diseñadas, por tal motivo se consideró que para el diseño el rango de velocidad del agua tenga un rango entre 4.5-7.5 m/s según indica la MTOP

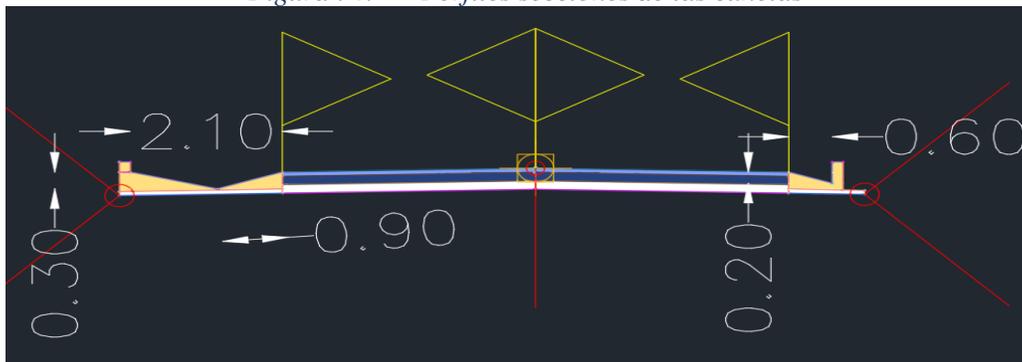
Tabla 46. Diseño de Cunetas

Abscisa	Lado	S	Za	Zb	a	l	V
					[m]	[m]	[m/s]
0+000	Izquierda	0.170	4.000	3.000	0.750	1.800	6.690
	Derecha	0.170	0.000	3.000	0.600	0.600	4.760
0+650	Izquierda	0.117	4.000	2.000	0.600	1.800	7.5
	Derecha	0.170	0.000	3.000	0.600	0.600	4.760
1+115	Izquierda	0.170	4.000	3.000	0.900	2.100	7.5
	Derecha	0.170	0.000	3.000	0.600	0.600	4.760
1+400	Izquierda	0.170	3.000	2.000	0.600	1.500	7.37
	Derecha	0.170	0.000	3.000	0.600	0.600	4.760
1+740	Izquierda	0.170	4.000	2.000	0.600	1.800	7.5
	Derecha	0.170	0.000	3.000	0.600	0.600	4.760
2+042	Izquierda	0.170	0.000	3.000	0.900	0.900	6.24
	Derecha	0.170	0.000	3.000	0.600	0.600	4.760
3+308.75	Izquierda	0.170	0.000	3.000	0.900	0.900	6.24
	Derecha	0.170	0.000	3.000	0.600	0.600	4.760

Fuente y elaboración: Propia, pendiente, dimensiones y velocidades determinadas en las cunetas

Por los caudales que aportan a la cuneta derecha sería de la misma sección, en el caso de la cuneta izquierda tenemos distintas dimensiones por lo que se considera la más crítica para poder diseñar una misma cuneta que cumple con todos los tramos.

Figura 74. Perfiles secciones de las cunetas



Fuente: Propia, 2024

4.6.2. Diseño de alcantarillas

Las alcantarillas garantizan la libre circulación de los caudales presentes en las distintas cunetas y en los canales de la vía de tal manera que no afecte el agua a la estructura de la vía. Del mismo análisis realizado en las cunetas respecto a la hidrología, se realizó también para el diseño de las alcantarillas obteniendo un caudal máximo en cada alcantarilla como se indica a continuación:

Figura 75. Áreas de aporte y caudales máximos

Abscisa	Area de aporte			Caudal alcantarillas		Caudal Salida Alcantarilla [m3/s]
	Vegetación [ha]	Pavimento [ha]		Q [m3/s]	Q [m3/s]	
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	
0+000	2.792	0.207	0.207	1.721	0.122	1.842
0+650	23.928	0.179	0.179	14.177	0.105	14.283
1+115	5.918	0.066	0.066	3.514	0.039	3.553
1+400	4.220	0.085	0.085	2.520	0.050	2.570
1+740	3.455	0.096	0.096	2.072	0.057	2.129
2+042	1.391	0.131	0.131	0.867	0.077	0.944
3+308.75	0.000	0.395	0.395	0.141	0.233	0.374

Fuente y elaboración: Propia, caudales máximos a considerar en el diseño de alcantarillas

Los factores considerados para el diseño de alcantarillas fueron las ubicaciones de las mismas manteniendo un flujo normal de las cuencas presentes en la zona, las pendientes de diseño que cumplan con la norma como máximo del 5%, garantizar el libre acceso a los distintos mantenimientos de las cunetas, velocidades de diseño que garanticen la no erosión de la tubería como del sitio a liberar el caudal acumulado. En el caso de ser necesario disipadores de energía se recomienda diseñar los mismos teniendo en cuenta la velocidad de salida del agua de las alcantarillas como se indica a continuación:

Figura 76. Diámetros tuberías alcantarillas

Abscisa	Area de Aporte [ha]	Caudal [m3/s]	Pendiente alcantarilla [S]	Velocidad Salida [m/s]	Coefficiente de Rugosidad n	Diámetro tubería [mm]	Porcentaje de llenado de la tubería [%]	Material Tubería	Caudal por Maning Q[m3/s]	Cumple o no cumple	Cumple Velocidad mínima y máxima
0+000	2.998	1.721	0.02	6.08538427	0.013	600	80	Armico	29.073	Cumple	OK
0+650	24.107	14.177	0.02	7.05120046	0.013	1600	80	Armico	77.528	Cumple	OK
1+115	5.984	3.514	0.02	6.9909316	0.013	800	80	Armico	38.764	Cumple	OK
1+400	4.305	2.520	0.02	6.54697194	0.013	700	80	Armico	33.919	Cumple	OK
1+740	3.551	2.072	0.02	7.32801541	0.013	600	80	Armico	29.073	Cumple	OK
2+042	1.522	0.867	0.02	6.90145281	0.009	400	80	PVC	27.996	Cumple	OK
3+308.75	0.395	0.141	0.02	5.36922891	0.009	183	80	PVC	12.808	Cumple	OK

Fuente y elaboración: Propia, material y diámetro interior de las tuberías necesarias.

Los diámetros considerados para el diseño son los diámetros comerciales de las distintas tuberías y en el caso de la tubería de PVC de rival es el diámetro interior de la misma.

Para la construcción de las alcantarillas se consideran muros tipo elaborados de acuerdo a la norma MTOP que varía sus dimensiones de acuerdo al diámetro de la alcantarilla propuesta.

Figura 77. Modelo muro alcantarilla circular

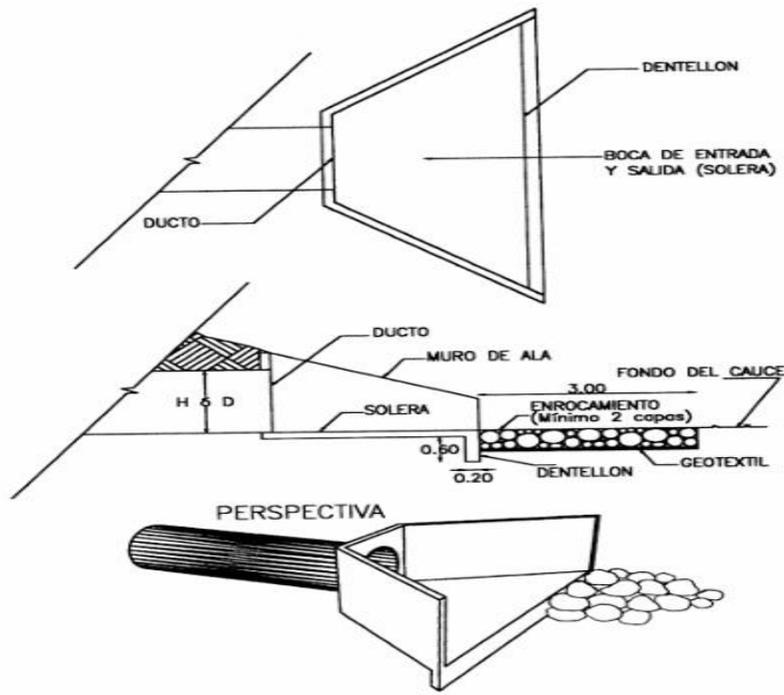


FIGURA IX.30 DETALLES DE PROTECCION DE UNA ALCANTARILLA

Fuente: MTOP,2003, Muro tipo

4.7. Diseño Geométrico

4.7.1. Diseño Horizontal

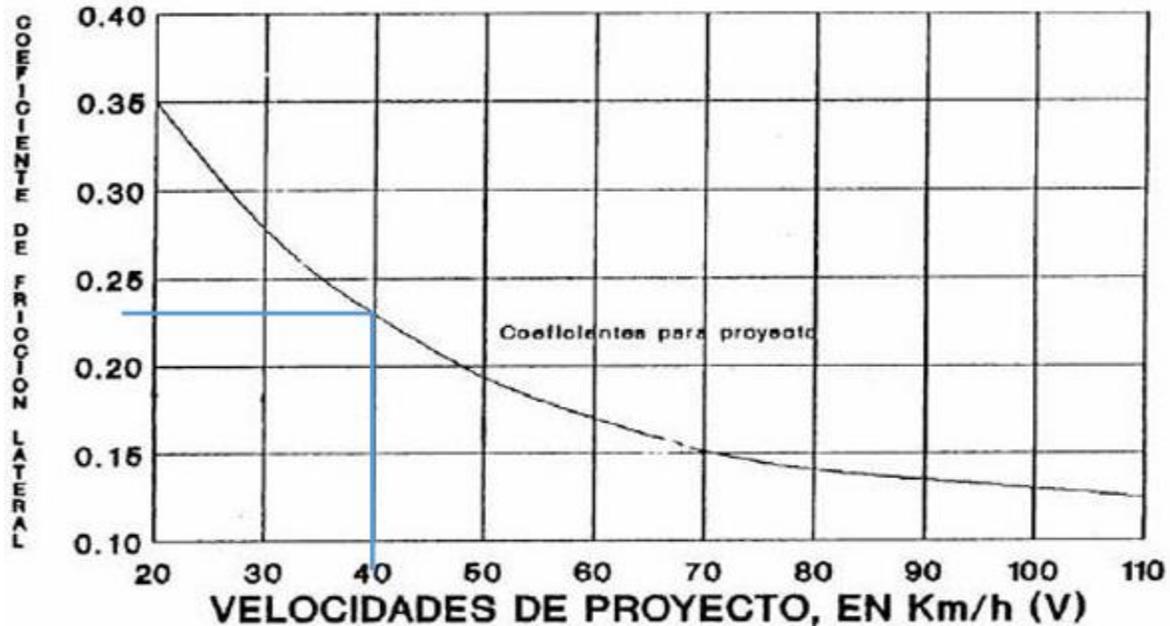
Las condiciones analizadas para el diseño geométrico fueron la velocidad de diseño que de acuerdo al cálculo del TPDA se puede ver en qué rango se encuentra la vía, obteniendo como resultado una velocidad de 40 km/h con un TPDA de 974 vehículos para el 2044. Estos valores se determinan por la tabla de la MTOP adjunta en anexos.

También se consideró el coeficiente de fricción lateral definido por la gráfica de la curva de coeficiente de fricción lateral y las velocidades de diseño para realizar el cálculo de la velocidad de diseño por fórmula como se indica a continuación:

$$R = (V^2)/(127 * (e + f))$$

Con la fórmula se realizó el cálculo del radio mínimo obteniendo como resultado un valor de 40.73m, pero lo recomendado por la norma es 42m

Figura 78. Curva para definir coeficientes para diseño



Fuente: MTOP, 2003

El peralte de la vía según la MTOP para vías de clase III es de 10%, pero considerando la Velocidad de diseño el peralte máximo es de 8% el cual se usó para las curvas y el sobreancho determinado por la MTOP para vías con una velocidad inferior a 50 km/h es de 50 cm y cada carril de 3.50 m dando un total de 7 m de sección sin incluir las cunetas.

Las distancias mínimas de parada de la vía es de 40 m y la distancia de visibilidad para rebasar es de 270 m, según lo estipulado en la norma MTOP en vías de clase III. El sobre ancho en las curvas esta dado por la siguiente fórmula: $S = n(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$, donde L es la longitud del vehículo a circular y n el numero de carriles de la vía.

Para la longitud de transición de los sobreanchos usados en el diseño se consideró las distancias dadas por la MTOP 2003 en la tabla dando como una longitud mínima de 34m indicada a continuación:

Tabla 47. Longitud mínima de transición en función del peralte

Velocidad de diseño km/h	Pendiente de Borde %	Ancho de calzada (6,00 m (2 x 3,00 m))				Valor de la Longitud Tangencial			
		e				e			
		0,10	0,08	0,06	0,04	0,10	0,08	0,06	0,04
Bombeo = 2 %									
20	0,800		30	23	15		8	8	8
25	0,775		31	23	15		8	8	8
30	0,750		32	24	16		8	8	8
35	0,725		33	25	17		8	8	8
40	0,700		34	26	17		9	9	9
45	0,675		36	27	18		9	9	9
50	0,650		37	28	18		9	9	9
60	0,600	50	40	30	20	10	10	10	10
70	0,550	55	44	33	22	11	11	11	11
80	0,500	60	48	36	24	12	12	12	12
90	0,470	64	51	38	26	13	13	13	13
100	0,430	70	56	42	28	14	14	14	14
110	0,400	75	60	45	30	15	15	15	15
120	0,370	81	65	49	32	16	16	16	16

Fuente y elaboración: MTOP, 2003.

4.7.2. Diseño Vertical

Para determinar las longitudes mínimas tanto en curvas cóncavas como en convexas se usó la Tabla de la norma MTOP puesta en anexos en el cual indica que los valores de k en la vía son de 12 en convexas y 13 en cóncavas, pero debido a que es un diseño de una vía recientemente arreglada no se puede modificar mucho en el perfil vertical para evitar inconvenientes con los propietarios manteniendo estos valores cercanos a los existentes en campo. La longitud mínima de las curvas verticales es de $0.6 \cdot V_{\text{diseño}}$ dando como resultado un valor de 24 m

Tabla 48. Tabla de resultados diseño vertical

PVI Station	PVI Elevation	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius	Design Speed
0+000.00m	3197.842m					
0+013.41m	3198.993m					
0+025.10m	3199.417m	Sag	1.111m	0.104	10.356m	0 km/h
0+094.01m	3209.311m	Crest	55.475m	⚠ 6.101	610.084m	40 km/h
0+142.19m	3211.846m	Sag	36.045m	⚠ 4.873	487.293m	40 km/h
0+210.87m	3220.542m	Crest	67.428m	⚠ 8.979	897.867m	40 km/h
0+251.80m	3222.650m	Sag	11.955m	⚠ 1.305	130.489m	40 km/h
0+279.77m	3226.653m	Crest	31.320m	⚠ 7.455	745.502m	40 km/h
0+325.95m	3231.323m	Sag	60.800m	22.335	2233.482m	40 km/h
0+411.69m	3242.325m	Crest	79.796m	23.851	2385.098m	40 km/h
0+453.68m	3246.310m	Crest	3.990m	⚠ 1.130	113.019m	40 km/h
0+497.05m	3248.894m	Crest	77.089m	⚠ 13.952	1395.205m	40 km/h
0+600.00m	3249.339m	Crest	25.435m	⚠ 3.621	362.070m	40 km/h
0+656.97m	3245.583m	Sag	30.226m	⚠ 1.429	142.926m	40 km/h
0+707.38m	3252.921m	Crest	29.006m	⚠ 9.609	960.943m	20 km/h
0+800.47m	3263.661m	Sag	91.431m	39.360	3936.037m	20 km/h
0+883.06m	3275.108m	Crest	73.667m	27.787	2778.750m	20 km/h
0+967.68m	3284.592m	Crest	95.204m	⚠ 11.866	1186.577m	20 km/h
1+021.00m	3286.291m	Sag	5.431m	⚠ 0.904	90.384m	20 km/h
1+063.97m	3290.241m	Crest	77.510m	⚠ 7.189	718.854m	20 km/h
1+120.00m	3289.351m	Sag	32.820m	3.980	398.040m	20 km/h
1+149.10m	3291.289m	Sag	24.115m	⚠ 2.242	224.236m	20 km/h
1+190.18m	3298.441m	Crest	40.938m	⚠ 3.468	346.825m	40 km/h
1+223.23m	3300.294m	Sag	12.864m	⚠ 1.680	168.027m	40 km/h
1+281.25m	3307.990m	Crest	41.651m	⚠ 2.411	241.051m	40 km/h
1+319.58m	3306.451m	Sag	18.983m	⚠ 5.552	555.176m	40 km/h
1+417.00m	3305.870m	Sag	60.940m	19.863	1986.282m	40 km/h
1+508.90m	3308.142m	Crest	32.393m	⚠ 12.346	1234.568m	40 km/h
1+602.19m	3308.000m	Crest	57.131m	⚠ 20.380	2037.977m	40 km/h
1+658.46m	3306.337m	Sag	22.102m	9.476	947.646m	40 km/h
1+761.21m	3305.697m	Sag	47.144m	⚠ 3.689	368.929m	40 km/h
1+795.89m	3309.912m	Crest	20.787m	⚠ 1.543	154.334m	20 km/h
1+860.00m	3309.070m	Crest	85.628m	99.879	9987.911m	40 km/h
1+905.07m	3308.092m	Crest	4.281m	⚠ 2.288	228.771m	40 km/h
2+001.63m	3304.189m	Sag	45.300m	12.590	1258.991m	40 km/h
2+052.96m	3303.961m	Sag	26.491m	10.724	1072.384m	40 km/h
2+121.70m	3305.354m	Sag	62.012m	14.639	1463.888m	40 km/h
2+178.87m	3308.934m	Crest	44.318m	⚠ 4.438	443.812m	40 km/h
2+248.63m	3306.337m	Sag	44.452m	14.052	1405.161m	40 km/h
2+308.85m	3306.000m					

Fuente y elaboración: Propia, diseño vertical civil 3d

4.8. Señalización

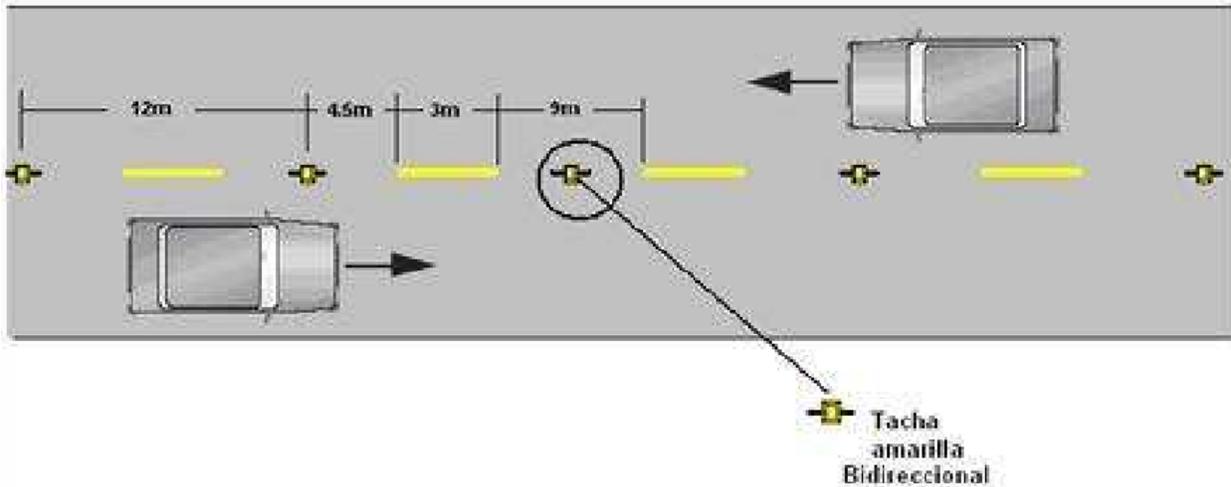
La señalización es uno de los principales factores para la seguridad vial, el incumplimiento de las señales de tránsito es una de las principales causas de accidentes de tránsito debido a que sin importar las señales puestas en la vía, circulan de manera incorrecta y por ese motivo originan accidentes.

Las normas que regulan la señalización vial se rigen a la norma INEN en el cual se especifican los criterios técnicos necesarios para la señalización tanto horizontal como vertical.

4.8.1. Señalización horizontal

Las principales señalizaciones fueron las líneas continuas y entrecortadas, estas líneas tienen un ancho de 100mm por la velocidad de diseño y en los tramos entrecortados una brecha de 3 - 9m cumpliendo un patrón de 12m como indica a continuación:

Figura 79. Líneas segmentadas de separación de circulación opuesta

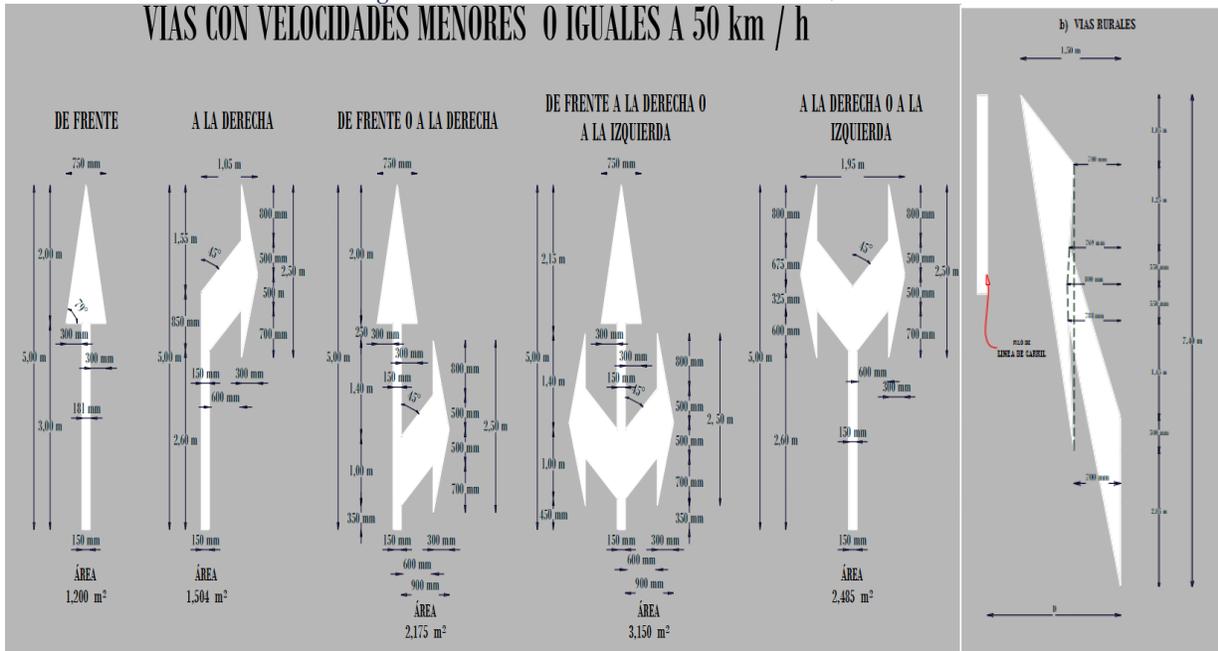


Fuente: INEN, 2011

En las líneas continuas también se ubican las tachas cada 12m y en tramos en los cuales solo se puede rebasar en un sentido se determina la línea entrecortada en el sentido que se puede rebasar.

Las distancias mínimas de para rebasar según la velocidad de diseño de 40 km/h es de 110 m tanto en el alineamiento horizontal como vertical.

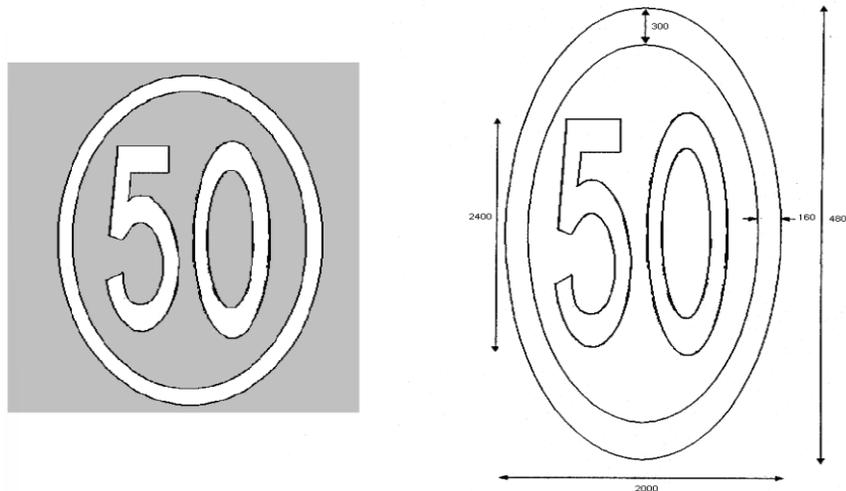
Figura 82. Dimensiones señales horizontales
VIAS CON VELOCIDADES MENORES O IGUALES A 50 km / h



Fuente: INEN, 2011. Derecha está la flecha de incorporación

Las señales de la velocidad máxima también están normadas, así como las dimensiones de los textos en las tablas presentadas en la norma INEN como se indica a continuación:

Figura 83. Dimensiones señales horizontales

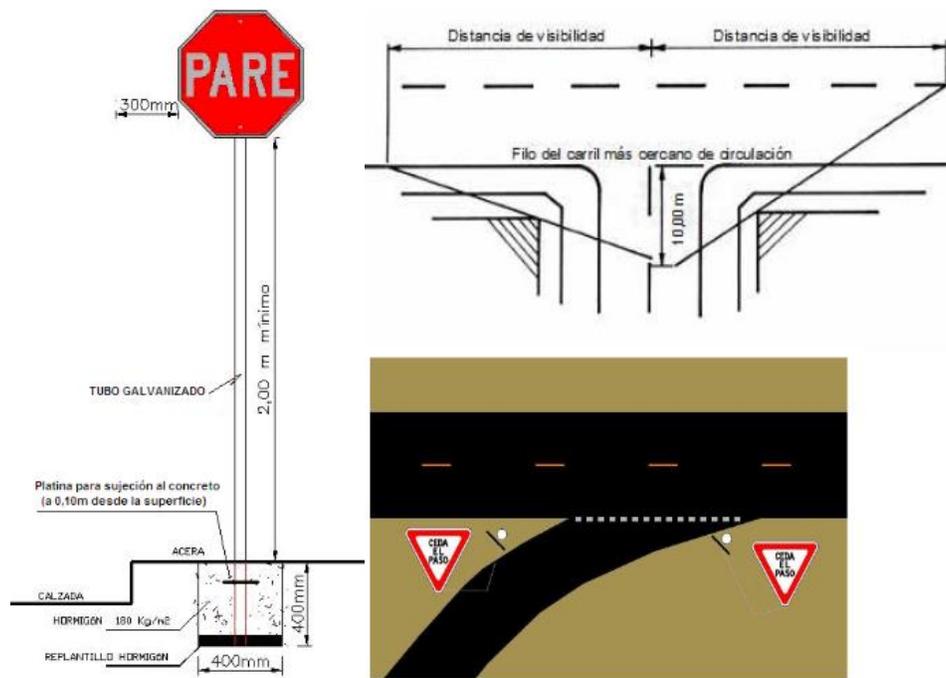


Fuente: INEN, 2011. Derecha está la flecha de incorporación

4.8.2. Señalización Vertical

Las señales de tránsito solo pueden ser colocadas con la debida autorización de la entidad pública que tenga jurisdicción en la vía que se desea implementar las señales. Todas tienen distintas medidas especificadas en la norma INEN, un ejemplo es la señal de pare que se coloca para que los conductores se detengan completamente hasta que pueda salir de una intersección y la señal de ceda el paso que informa que ceda el paso a vehículos que transitan por una vía principal manteniendo una visibilidad mínima de 70 m a cada lado como se ve a continuación:

Figura 84. Señales verticales



Fuente: INEN, 2011. Señal de pare y ceda el paso.

Las señales de curvas a la derecha o curvas a la izquierda es recomendable ubicarlas en conjunto con una señal de velocidad R4-1 de dimensiones de 600x600 de acuerdo a la velocidad de diseño de la vía. Otra señal colocada es la de descenso pronunciado y ascenso pronunciado en tramos donde la vía tiene una pendiente mayor al 10% y una longitud mínima de 130 en descenso y de 120 en ascenso a una pendiente superior al 11% como es el caso de la vía en ciertos tramos.

Figura 85. Señales descenso y ascenso



Fuente: INEN, 2011.

4.9. Presupuesto referencial

El presupuesto realizado para el diseño Geométrico y Estructural de la vía La Ramada -Rio Curiqingue desde la abscisa 0+000 a 2+300, Cantón Nabón, Provincia del Azuay. Fue realizado basándose en las tablas y valores generados por el civil 3D de los cortes y rellenos, longitud del eje, ubicación del proyecto y referencias de presupuestos realizados por la Prefectura del Azuay, Asfaltar EP, entre otros. Esto determinó el estudio presupuestario realizado del proyecto que se presenta a continuación:

Tabla 49. Presupuesto Referencial Vía Ramada - Río Curiquingue abscisas 0+000 a 2+308.85

PRESUPUESTO						
Ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1		OBRAS PRELIMINARES				484,151.55
1.1	500004	Replanteo y nivelación de vías	m	2,308.85	3.50	8,080.98
1.2	500010	Excavación a máquina con retroexcavadora	m3	41,510.62	1.96	81,360.82
1.3	500014	Excavación manual material sin clasificar	m3	207.55	12.53	2,600.64
1.4	500001	Cargado de material con cargadora	m3	54,233.63	1.37	74,300.07
1.5	500002	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m3	54,233.63	2.22	120,398.65
1.6	500003	Sobreacarreo de materiales para desalojo, lugar determinado por el Fiscalizador, Distancia > 6 Km	m3-km	759,270.76	0.26	197,410.40
2		ESTRUCTURA VIAL				636,936.47
2.1	500005	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m2	23,088.50	1.31	30,245.94
2.2	500006	Pedraplén, conformación y compactación con equipo pesado	m3	230.89	25.01	5,774.43
2.3	500007	Mejoramiento, conformación y compactación con equipo pesado	m3	988.17	23.45	23,172.56
2.4	500040	Sub base conformación y compactación con equipo pesado	m3	3,463.28	29.69	102,824.63
2.5	500041	Base Granular conformación y compactación con equipo pesado	m3	3,463.28	35.93	124,435.47
2.6	500011	Imprimación asfáltica con barrido mecánico	m2	23,088.50	1.22	28,167.97
2.7	500039	Carpeta asfáltica (e=3") Ho Asf. mezclado en	m2	23,088.50	13.96	322,315.46
2.8	500013	Brocal de hormigón para pozos (h=20cm) y tapa (h=10cm) cónicos, D=700mm. Tipo A	u	0.00	105.35	0.00
2.9	500017	Recuperación de pozo, d = 600 mm	u	0.00	78.54	0.00
3		DRENAJES VIAL				46,106.91
3.1	504006	Excavación manual, zanja 0-2 m, material sin clasificar	m3	90.00	17.50	1,575.00
3.2	504019	Excavación mecánica, zanja 0-2 m, material sin clasificar, cuchara 40cm	m3	55.00	3.64	200.20
3.3	500001	Cargado de material con cargadora	m3	92.00	3.50	322.00
3.4	500002	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m3	200.00	2.22	444.00
3.5	500003	Sobreacarreo de materiales para desalojo, lugar determinado por el Fiscalizador, Distancia > 6 Km	m3-km	80.00	0.26	20.80
3.6	552338	Cama de arena e=3cm	m2	60.34	1.55	93.53
3.7	513040	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2 (incluye corte y doblado)	kg	725.00	2.36	1,711.00
3.8	507003	Hormigón simple f'c: 210kg/cm2 para cunetas triangulares h= 35cm e:10cm. (inc. Encofrado y desencofrado)	m3	201.81	31.50	6,357.02
3.9		Hormigón simple f'c: 210kg/cm2 para cunetas triangulares h= 20cm e:10cm. (inc. Encofrado y desenco0frado)	m3	281.08	29.09	8,176.62
3.10	512001	Encofrado metalico para cunetas	ml	2,308.85	4.62	10,666.89
3.11	512005	Encofrado de madera recto (2 usos)	m2	156.00	10.21	1,592.76
3.12	DN1035	Tubería circular PVC D=1035mm para alcantarillas (inc. material fino para encamado e: 10cm, material para apostillado y relleno inicial)	ml	22.00	431.76	9,498.72
3.13	DN840	Tubería circular PVC D=840mm para alcantarillas (inc. material fino para encamado e: 10cm, material para apostillado y relleno inicial)	ml	14.00	389.17	5,448.38
4		SEÑALIZACION				25,094.20
4.1	500018	Señalización vertical	u	36.00	148.76	5,355.36
4.2	500019	Pintura para señalización de tráfico, manual, franja de hasta 15cm	ml	9,235.40	1.60	14,776.64
5		MITIGACION DE IMPACTOS AMBIENTALES				2,481.10

	550A3O	Alquiler de baterias sanitarias movil, incluye instalacion, desinstalacion y accesorios	u	2.00	310.46	620.92
5.1	500028	Letrero metálico de información del Proyecto	u	2.00	484.84	969.68
5.2	500020	Señalización con cinta	ml	200.00	0.23	46.00
5.3	500021	Parante con base de hormigón, 20 usos	u	20.00	6.46	129.20
5.4	500022	Cobertura de plástico (5 usos)	m2	50.00	0.29	14.50
5.5	500023	Difusión Social	global	1.00	700.80	700.80
SUBTOTAL						1,194,770.22
IVA					15%	179,215.53
TOTAL						1,373,985.75

Fuente y elaboración: Propia, 2025

5. Conclusiones

En conclusión, en este trabajo se realizó el diseño de la Ramada-Río Curiquingue entre las ABCISAS 0+000 A 2+300, ubicada en el Cantón Nabón, de la provincia del Azuay, la cual prioriza la seguridad y eficiencia en cada uno de sus aspectos. Uno de los aspectos fue el $CBR=10.641$ considerando el más crítico entre las abscisas a diseñar, con este valor se procedió a diseñar la estructura del pavimento, pero por los valores determinados se consideró una estructura mínima que es de 3in de pavimento, 15 cm de subrasante y 15 cm de base que es la estructura mínima considerada para un pavimento flexible. En las curvas verticales no se pudo cumplir con los valores mínimos de K debido a que se trata de una vía existente en la cual no se puede modificar demasiado en el alineamiento horizontal y vertical a lo existente, quedando como resultado 37 PIV y 29 PIH considerando que estos PIs se consideró manteniendo la alineación existente y reduciendo la velocidad en ciertos tramos para cumplir con los radios mínimos en ciertos tramos por la vía existente. El costo previsto para la construcción de la vía realizado hasta el momento alcanza un valor de \$ 1373985.75

Desde el análisis hidrológico y el diseño geométrico, hasta la implementación de sistemas de drenaje y señalización adecuada, cada elemento debe estar cuidadosamente planificado para garantizar la funcionalidad y seguridad de la carretera. Además, la consideración de factores naturales, accesibilidad para personas con discapacidad y el mantenimiento a largo plazo son fundamentales para asegurar que la infraestructura vial responda a las necesidades del tráfico y las condiciones del entorno. Este enfoque integral contribuye a la construcción de carreteras más seguras, duraderas y adecuadas para todos los usuarios.

6. Recomendaciones

Recomendaciones para ejecutar el diseño de una vía que garantice la sostenibilidad y la eficiencia operativa a largo plazo.

Priorizar la seguridad vial: Es esencial que el diseño de la vía se base en normativas y especificaciones técnicas como las establecidas por el MTOP, asegurando que todos los aspectos relacionados con la seguridad, drenaje, señalización y geometría sean considerados para proteger a los usuarios de la carretera.

Considerar el análisis hidrológico y el drenaje: Es fundamental realizar un análisis detallado de las precipitaciones y el escurrimiento en el área, utilizando métodos adecuados como el "Método Racional" o el "Método de Manning", dependiendo de las condiciones del terreno. El diseño debe incorporar un sistema de drenaje eficiente para evitar acumulaciones de agua que puedan afectar la calzada o generar deslizamientos.

Diseño geométrico adecuado: Asegurarse de que el radio de curvatura sea apropiado para el tipo de vehículos y la velocidad de diseño. Las pendientes deben ser suaves y seguras, especialmente en áreas montañosas, y el ancho de la calzada debe adaptarse al volumen de tráfico esperado, considerando también la inclusión de carriles para vehículos pesados y áreas de peatones y ciclistas.

Garantizar visibilidad y señalización clara: El diseño debe asegurar visibilidad suficiente en puntos críticos como intersecciones, curvas y zonas de alto riesgo. La señalización vertical y horizontal debe ser clara y adecuada, facilitando la comprensión de las normas y advertencias por parte de los conductores.

Implementar elementos de seguridad: Colocar barreras de seguridad en tramos de alto riesgo, como pendientes pronunciadas o áreas cercanas a puentes y alcantarillas. Además, en zonas propensas a deslizamientos, se deben incorporar muros de contención para prevenir accidentes.

Realizar estudios de tráfico: Es importante analizar el tipo de tráfico (vehículos ligeros, pesados, transporte público) y ajustar el diseño de acuerdo con las condiciones reales del tránsito en la zona.

Diseñar puentes y alcantarillas con resistencia: Asegurarse de que los puentes y alcantarillas estén diseñados conforme a normativas de resistencia y estabilidad, considerando también un sistema de drenaje adecuado para evitar problemas de inundación o fallas estructurales.

Incluir accesibilidad: El diseño debe contemplar accesos adecuados para personas con discapacidad, como rampas y señalización accesible, garantizando la seguridad de todos los usuarios de la vía.

Evaluar riesgos naturales: Tener en cuenta los factores geográficos y climáticos, como deslizamientos de tierra, inundaciones o erosión, que puedan impactar la estabilidad de la vía. Estos aspectos deben ser evaluados para tomar decisiones de diseño preventivas.

Planificar mantenimiento a largo plazo: Incluir en el diseño consideraciones sobre el mantenimiento de la carretera, priorizando la facilidad de acceso para trabajos de conservación y evaluación de costos a largo plazo, para asegurar la funcionalidad y durabilidad de la infraestructura vial.

Otra recomendación sería que al momento de construir la vía se recomienda realizar los CBRs de campo cada 500 m como determina la norma para determinar los distintos puntos críticos que pueden estar presentes en cada tramo de la vía a construir.

BIBLIOGRAFÍA

(01 de 01 de 2025). Obtenido de Censo Ecuador: <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>

Construyored. (29 de 04 de 2020). *Ing. vías que es un pavimento*. Obtenido de <https://construyored.com/noticias/2299-que-es-un-pavimento>

Fonseca. (2020). *Academia* . Obtenido de https://doi.org/1085776/s200_tatiana

Gardey, J. (07 de October de 2010). *Transito*. Obtenido de <https://definicion.de/transito/>

Geobienal. (22 de 06 de 2021). *Que es la Geotecnia*. Obtenido de <https://www.geobienal.com/que-es-la-geotecnia/>

Gobierno Autonomo Descentralizado del Cantón Girón Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. (2014). Obtenido de Gobierno Autonomo Descentralizado del Cantón Girón: https://www.giron.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/PDOT_GAD-Municipal-Giron.pdf

Grisales, C. (2013). *Textos universitarios. Ingeniería*. Obtenido de https://www.academia.edu/41350934/Dise%C3%B1o_Goem%C3%A9trico_de_Carreteras_James_C%C3%A1rdenas_Grisales?auto=download

Latinoamerica, A. (s.f.). *Normas AASHTO en español*. Obtenido de <https://la.astm.org/standards/aashto/>

Mancera, A. L. (2017). *Proceso constructivo de una vía flexible*. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/servicio-nacional-de-capacitacion-para-la-industria-de-la-construccion/costos-y-presupuestos/procesos-constructivos-de-una-via-flexible/60635784>

Montejo, A. (s.f.). *Ingeniería de Pavimentos*. Obtenido de https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fonseca

NABÓN, G. (2024). *PDOT_PUGS*. Obtenido de https://www.nabon.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/NABON_PDOT_PUGS_AA-1.pdf

Públicas, M. d. (2013). *NEVI-12*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_COMPLEMENTARIO-2.pdf

Públicas, M. d. (06 de 2023). *Transporte y Obras Publicas*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/06/PNMUS_MTOP_1-Mecanismos-para-el-fomento-de-la-seguridad-vial.pdf

s.f. (s.f.). *Geotecnia Facil*. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-cbr-laboratorio/>

S/N. (2020). Obtenido de <https://definicion.de/topografia/>

Armijos, G. J. (Octubre de 2007). *Escuela Politécnica del Ejército*. Obtenido de <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/000d3e5a-fa4a-432c-9786-ec5c0c9d173c/content>

Azuay Prefectura. (20 de Agosto de 2024). Obtenido de Azuay Prefectura: <https://www.azuay.gob.ec/index.php/2024/08/20/firma-de-convenios-para-mejorar-la-infraestructura-vial-en-parroquias-del-azuay/>

Ecuador, G. d. (2023). *Obras Publicas*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/06/PNMUS_MTOP_1-Mecanismos-para-el-fomento-de-la-seguridad-vial.pdf

Geotecnia Facil. (s.f.). Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-cbr-laboratorio/>

INEN. (2011). *Obras Públicas.* Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015_reglamento-tecnico-ecuatoriano-rte-inen-004-1-2011.pdf

Laura Aristizabal, J. H. (2014). *Diseño de Pavimento Flexible.* Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16959/DISE%20C3%91O%20DE%20UN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE.pdf?sequence=1>

Ministerio de Transporte de Colombia. (Diciembre de 2009). *Manual de Drenaje para Carreteras.* Obtenido de <https://onl.dnp.gov.co/sites/comunidadvirtual/Tecnologas%20%20intervenciones/Manual%20de%20drenajes%20para%20carreteras.pdf>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). *Obras Públicas.* Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf

Ospina, J. J. (2002). Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55513650/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo-libre.pdf?1515703095=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENO_GEOMETRICO_DE_VIAS_Ajustado_a_l_Ma.pdf&Expires=1728924995&Signature=ADtqMbrU

públicas, M. d. (Marzo de 2011). *Obras Públicas.* Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/06-09-2011_informe_tecnico_zamora_gualaquiza_parteII.pdf

Ramirez., H. C. (2013). *Manual tecnico diseño hidrológico*. Obtenido de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/disenio-hidrologico-del-terreno/files/assets/common/downloads/publication.pdf

Anexos

Tabla 50. Datos a considerar Diseño Geométrico



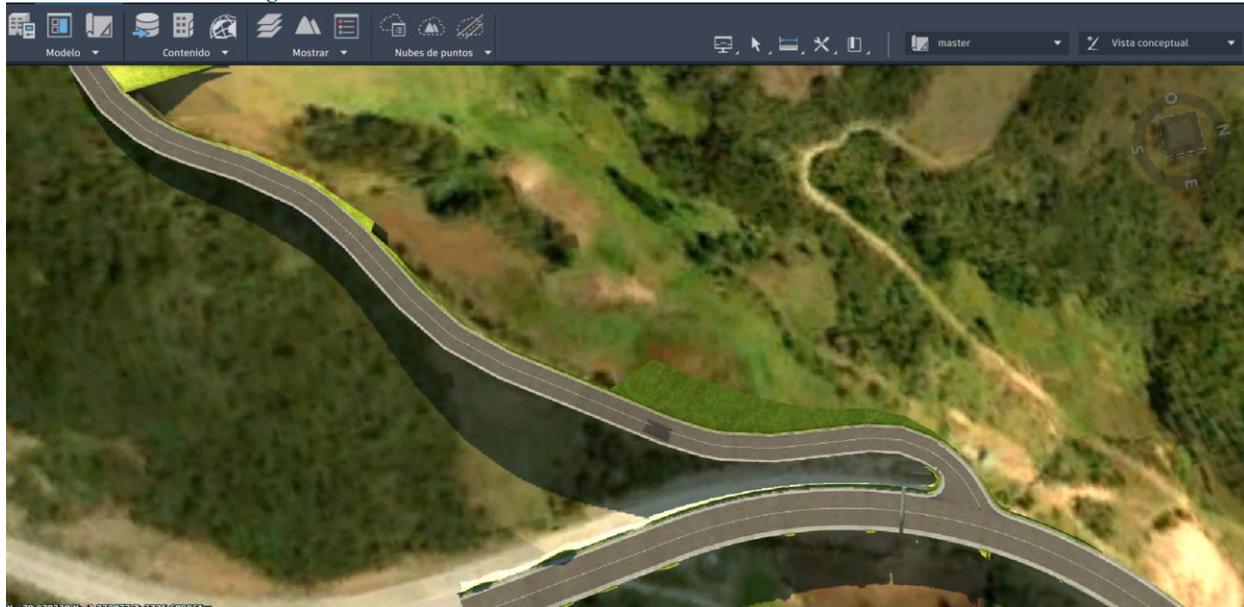
República del Ecuador
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

VALORES DE DISEÑO RECOMENDADOS PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES Y CAMINOS VECINALES DE CONSTRUCCIÓN

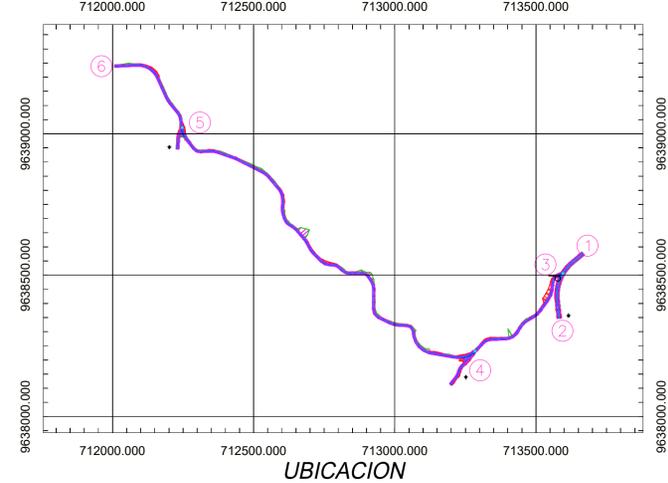
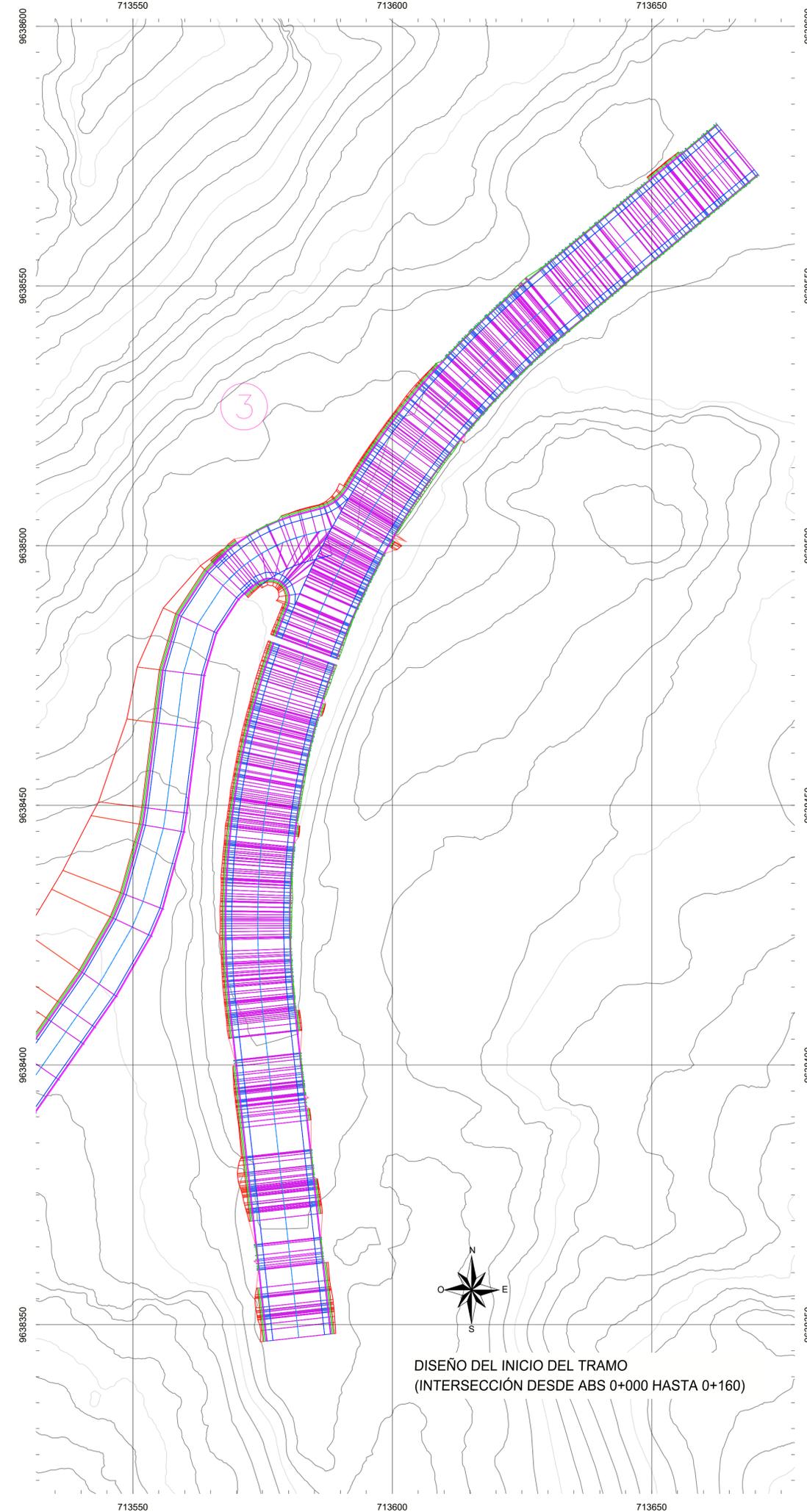
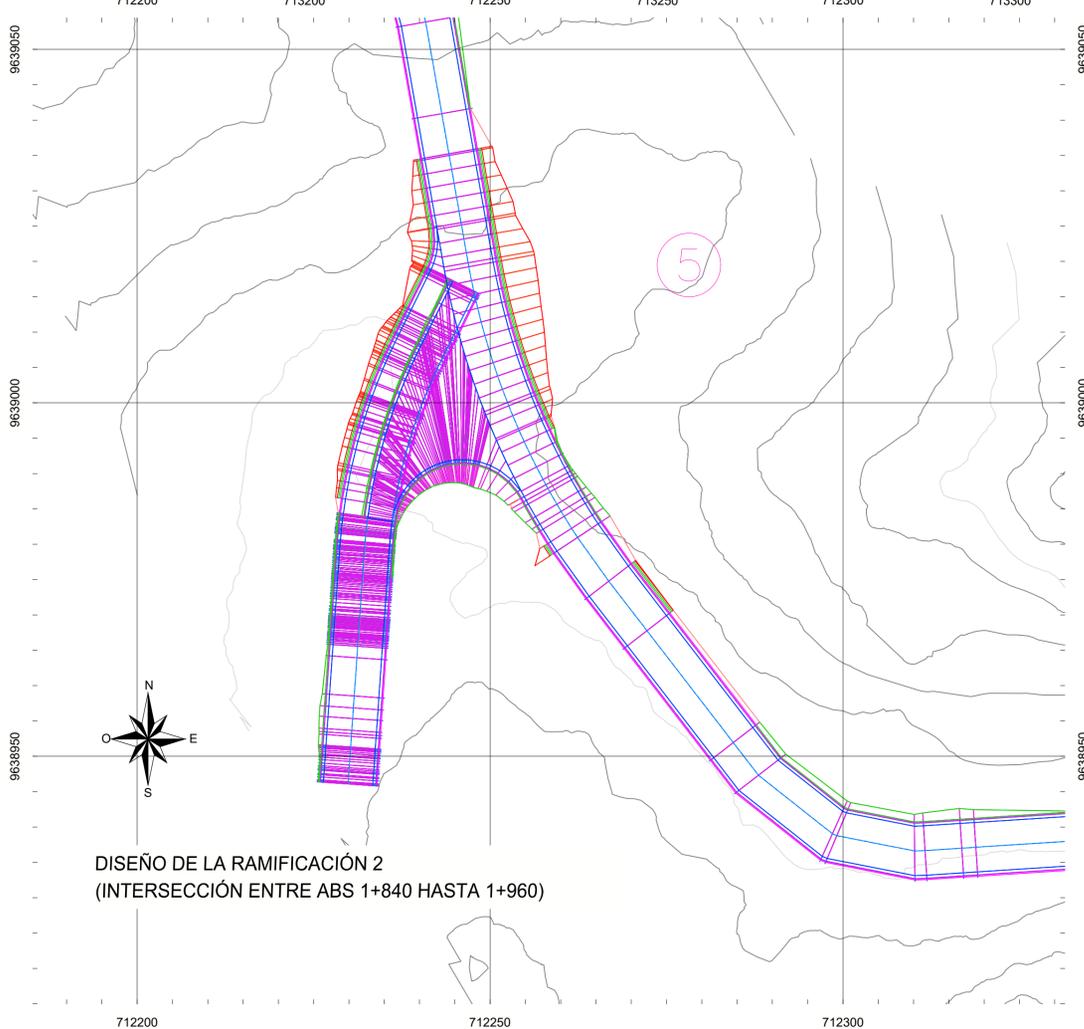
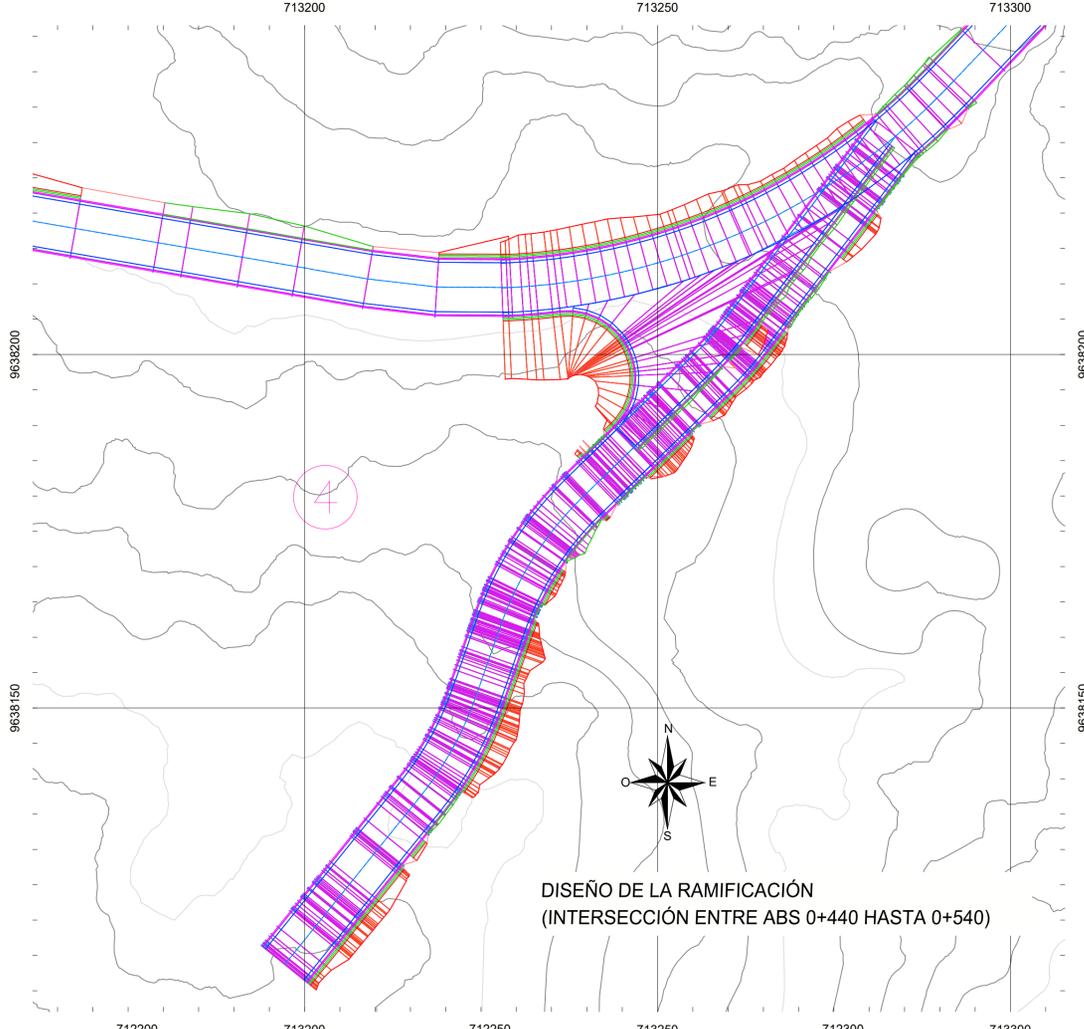
NORMAS	CLASE I 3 000 – 8 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE II 1 000 - 3 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE III 300 – 1 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE IV 100 – 300 TPDA ⁽¹⁾						CLASE V MENOS DE 100 TPDA ⁽¹⁾											
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA								
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M			
Velocidad de diseño (K.P.H.)	110	100	80	100	80	60	100	90	70	90	80	50	90	80	60	80	60	40	80	60	50	60	35	25 ⁽⁹⁾	60	50	40	50	35	25 ⁽⁹⁾	60	50	40	50	35	25 ⁽⁹⁾
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	275	160	275	210	75	275	210	110	210	110	42	210	110	75	110	30	20	110	75	42	75	30	20 ⁽⁹⁾	110	75	42	75	30	20 ⁽⁹⁾
Distancia de visibilidad para parada (m)	180	160	110	160	110	70	160	135	90	135	110	55	135	110	70	110	70	40	110	70	55	70	35	25	70	55	40	55	35	25	70	55	40	55	35	25
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	830	690	565	690	565	415	690	640	490	640	565	345	640	565	415	565	415	270	480	290	210	290	150	110	290	210	150	210	150	110	290	210	150	210	150	110
Peralte	MÁXIMO = 10%																		10% (Para V > 50 K.P.H.)						8% (Para V < 50 K.P.H.)											
Coefficiente "K" para: ⁽³⁾																																				
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2	12	7	4	7	3	2
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3	13	10	6	10	5	3
Gradiente longitudinal ⁽⁹⁾ máxima (%)	3	4	6	3	5	7	3	4	7	4	6	8	4	6	7	6	7	9	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14
Gradiente longitudinal ⁽⁹⁾ mínima (%)	0,5%																																			
Ancho de pavimento (m)	7,3			7,3			7,0			6,70			6,70			6,00			6,00						4,00 ⁽⁹⁾											
Clase de pavimento	Carpeta Asfáltica y Hormigón						Carpeta Asfáltica						Carpeta Asfáltica o D.T.S.B.						D.T.S.B, Capa Granular o Empedrado						Capa Granular o Empedrado											
Ancho de espaldones ⁽⁵⁾ estables (m)	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	0,5	0,60 (C.V. Tipo 6 y 7)						---											
Gradiente transversal para pavimento (%)	2,0																																			
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 ⁽⁶⁾ - 4,0						2,0 - 4,0						2,0 - 4,0						2,0 - 4,0						---											
Curva de transición	USENSE ESPIRALES CUANDO SEA NECESARIO																																			
Puentes	Carga de diseño HS - 20 - 44; HS - MOP; HS - 25																																			
	Ancho de la calzada (m) SERA LA DIMENSION DE LA CALZADA DE LA VIA INCLUIDOS LOS ESPALDONES																																			
	Ancho de Aceras (m) ⁽⁷⁾ 0,50 m mínimo a cada lado																																			
Mínimo derecho de vía (m)	Según el Art. 3º de la Ley de Caminos y el Art. 4º del Reglamento aplicativo de dicha Ley																																			
LL = TERRENO PLANO 0 = TERRENO ONDULADO M = TERRENO MONTAÑOSO																																				

Fuente y elaboración: MTOP, 2003

Figura 86. Modelado vía abscisa 0+000 km a abscisa 2+300km

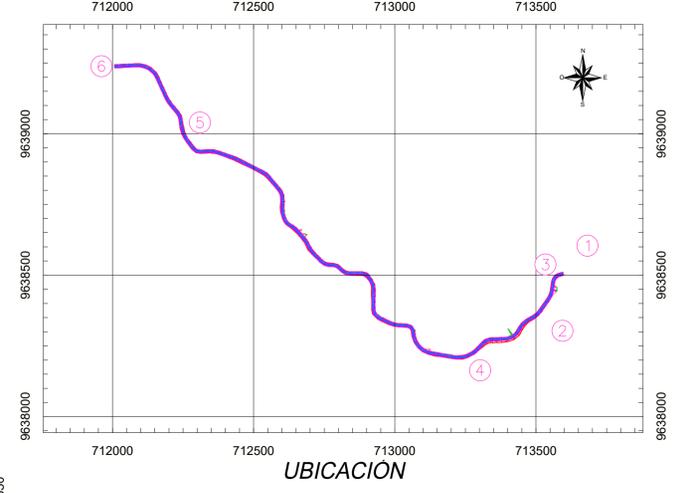
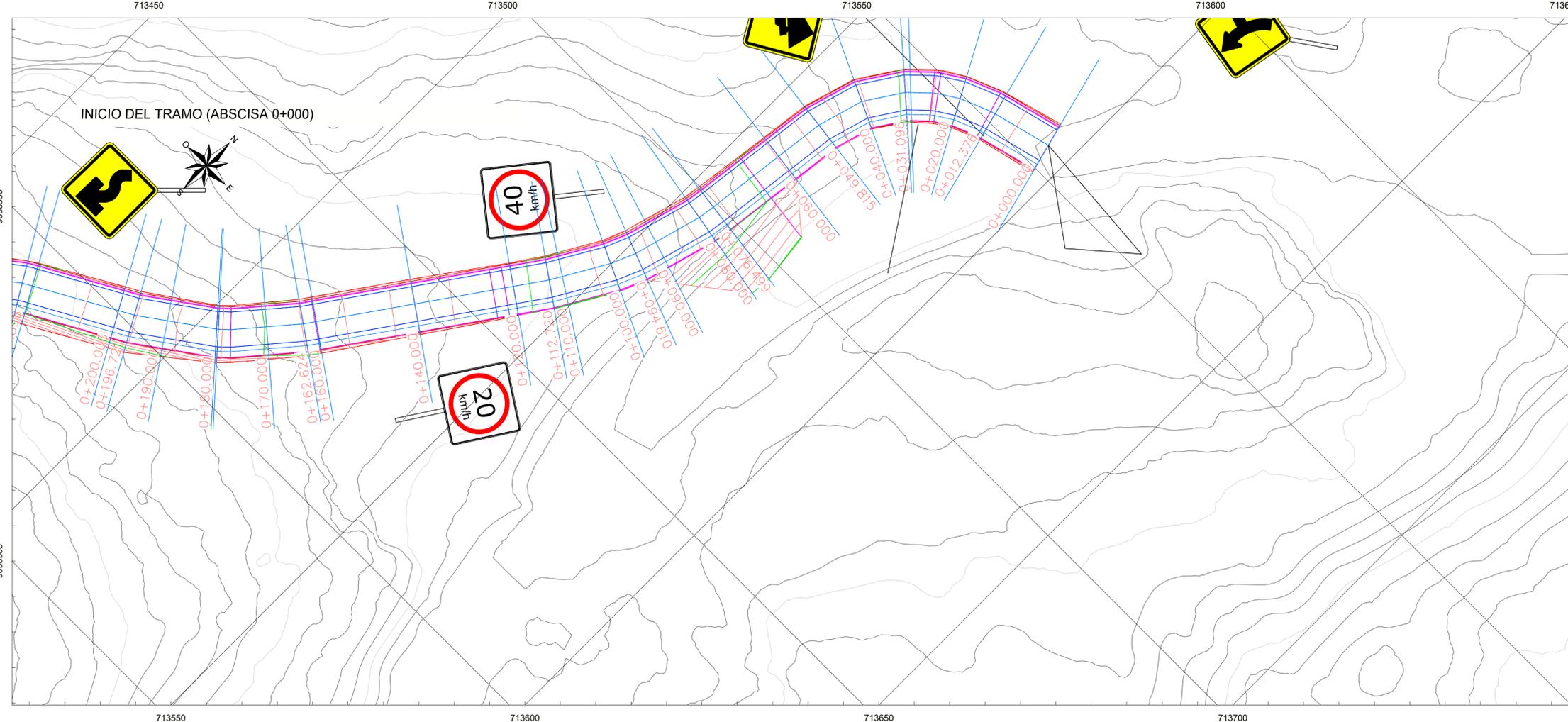


Fuente: Propia, InfraWorks



- LEYENDA**
- ① PANAMERICANA
 - ② INICIO DEL TRAMO (ABSCISA 0+000)
 - ③ RAMIFICACIÓN 1 (INTERSECCIÓN)
 - ④ RAMIFICACIÓN 2 (INTERSECCIÓN)
 - ⑤ FIN DEL TRAMO (ABSCISA 2+300)

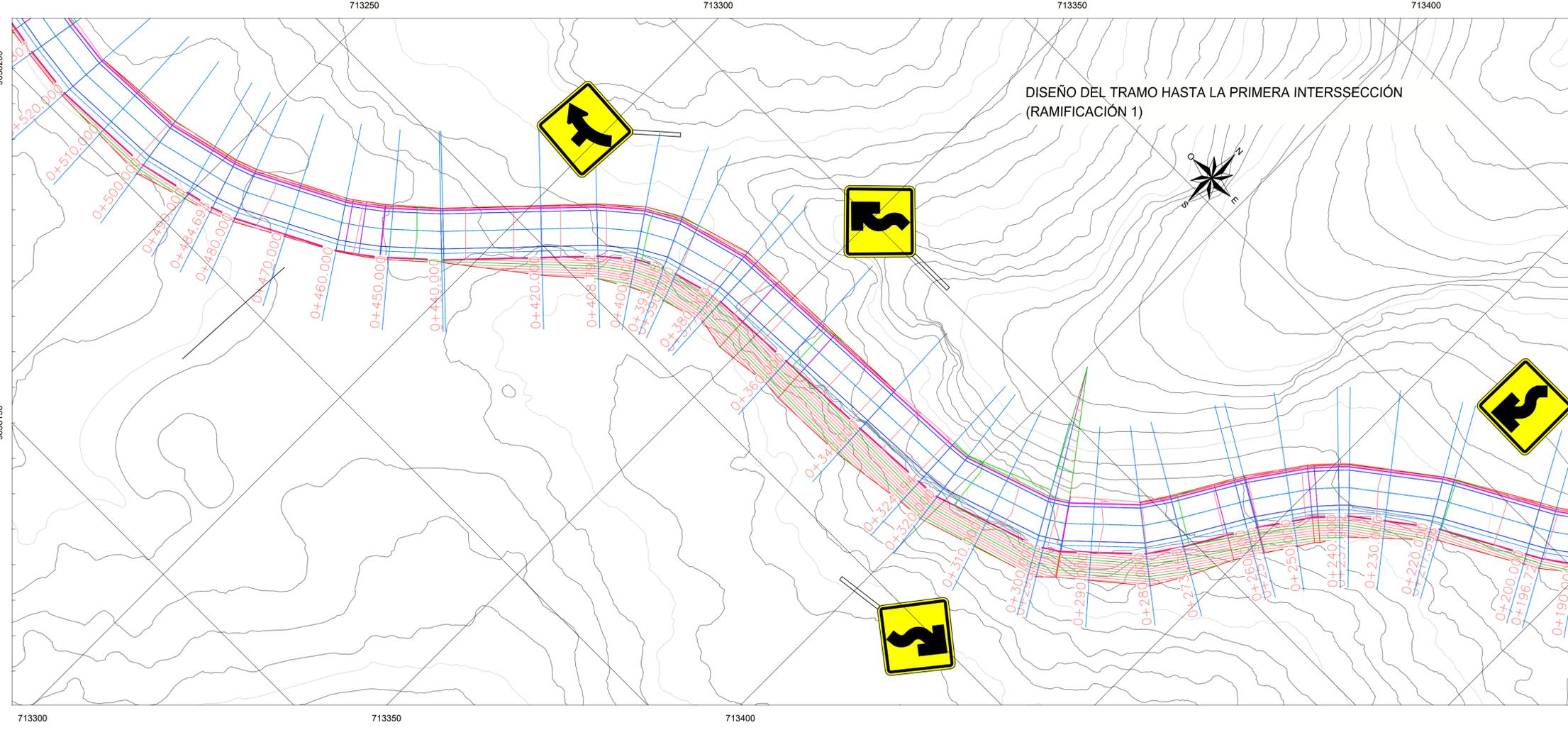
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		CARRERA INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE TITULACIÓN: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABSCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY		
CONTENIDO DEL PLANO: DISEÑO DE LAS INTERSECCIONES PRESENTES EN EL TRAMO ABSCISAS 0+000 A 2+300		
TUTOR: ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR: ING. PABLO FLORES	PERIODO 2024 - 2025
FECHA 15 de Enero de 2025	ESCALA 1: 500	PLANO 1 DE 1



- LEYENDA**
- ① PANAMERICANA
 - ② INICIO DEL TRAMO (ABSCISA 0+000)
 - ③ RAMIFICACIÓN 1 (INTERSECCIÓN)
 - ④ RAMIFICACIÓN 2 (INTERSECCIÓN)
 - ⑤ FIN DEL TRAMO (ABSCISA 2+300)

Total Volume Table

Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+012.38	0.00	5.10	0.00	31.54	0.00	31.54
0+020.00	0.00	4.38	0.00	34.38	0.00	65.93
0+030.00	0.00	3.37	0.00	36.92	0.00	102.85
0+031.10	0.00	2.71	0.00	32.22	0.00	106.07
0+040.00	0.00	1.97	0.00	20.38	0.00	126.44
0+049.81	0.25	1.84	1.04	19.14	1.04	145.58
0+060.00	0.00	3.29	1.26	26.12	2.31	171.70
0+076.50	19.75	5.05	162.95	68.78	165.25	240.48
0+080.00	22.39	5.85	84.73	18.85	249.98	259.33
0+090.00	0.59	10.13	131.79	80.34	381.77	339.66
0+094.61	0.00	6.83	1.51	39.30	383.28	378.97
0+100.00	0.01	4.99	0.04	31.59	383.32	410.56
0+110.00	0.05	3.65	0.33	42.62	383.65	453.18
0+112.72	0.01	2.94	0.08	8.79	383.73	461.97
0+120.00	0.00	3.45	0.02	23.24	383.75	485.21
0+140.00	0.00	8.81	0.00	122.56	383.75	607.77
0+160.00	0.00	10.09	0.00	189.01	383.75	796.78
0+162.62	0.00	10.47	0.00	26.98	383.75	823.76
0+170.00	0.00	9.40	0.00	74.22	383.75	897.99





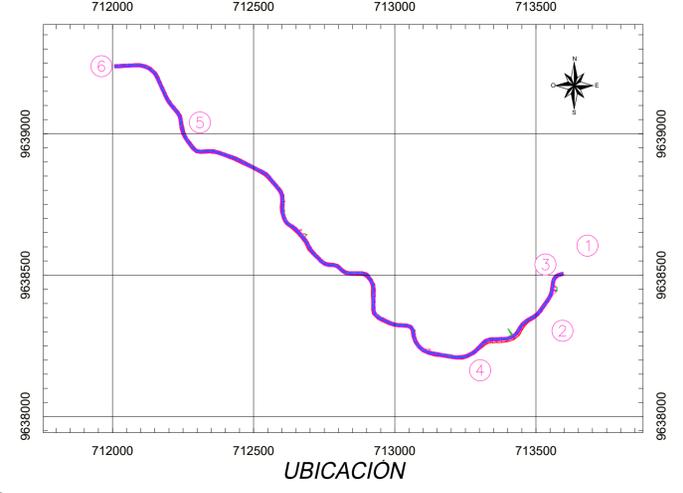
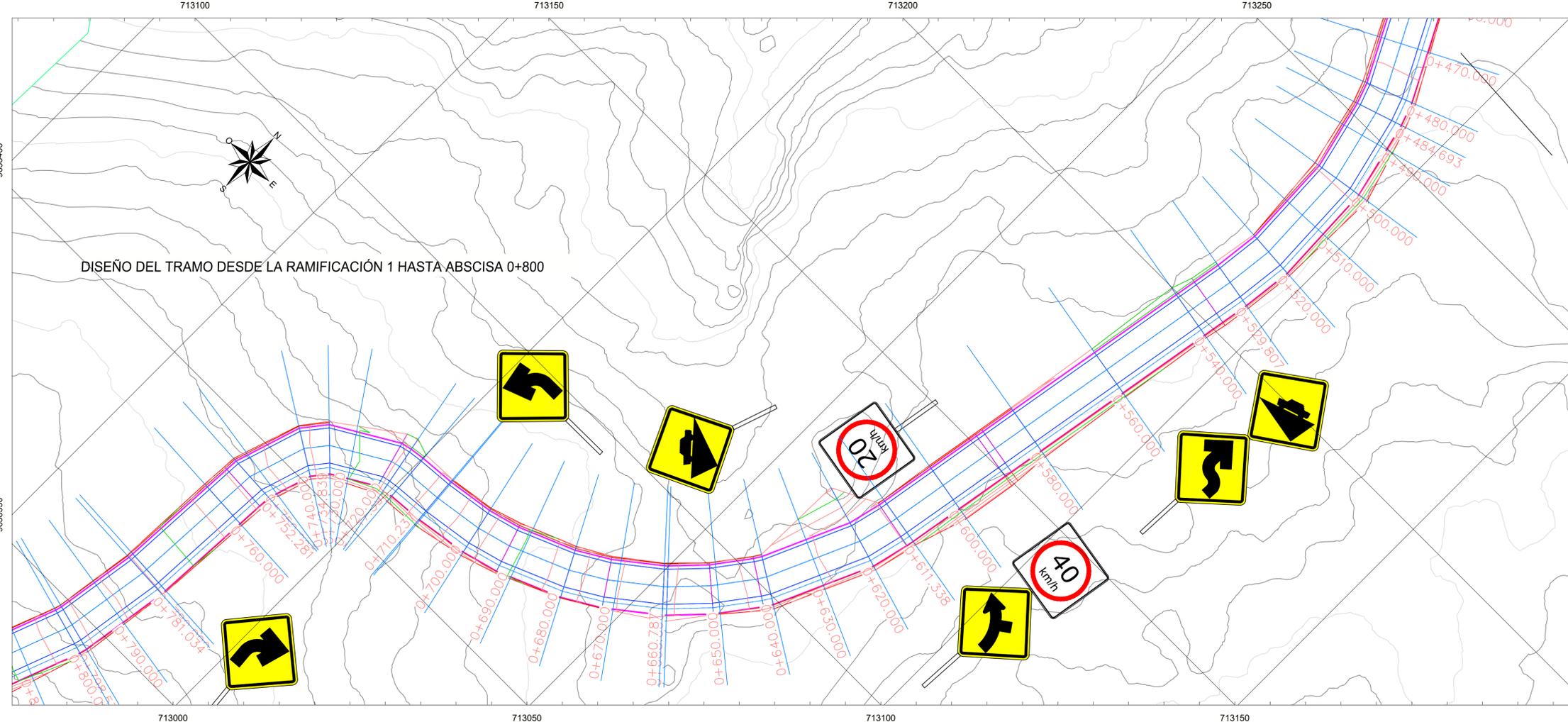
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR**

CARRERA
INGENIERÍA CIVIL

Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA – RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABSCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY

TUTOR: ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR: ING. PABLO FLORES	PERIODO 2024 - 2025
FECHA 15 de Enero de 2025	ESCALA 1:500	PLANO 1 DE 11

PROYECTOR: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, BOGOTÁ, COLOMBIA



Total Volume Table

Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+179.67	0.00	9.54	0.00	93.55	383.75	991.53
0+180.00	0.00	9.70	0.00	3.15	383.75	994.68
0+190.00	0.00	13.87	0.00	120.74	383.75	1115.42
0+196.72	0.00	15.07	0.00	100.22	383.75	1215.64
0+200.00	0.00	14.16	0.00	47.92	383.75	1263.56
0+217.90	0.00	9.92	0.00	215.52	383.75	1479.07
0+220.00	0.00	13.17	0.00	22.94	383.75	1502.01
0+230.00	0.00	22.08	0.00	163.74	383.75	1665.75
0+237.94	0.00	19.42	0.00	152.00	383.75	1817.75
0+240.00	0.00	21.52	0.00	38.93	383.75	1856.69
0+250.00	0.05	18.65	0.22	186.27	383.97	2042.96
0+257.99	0.00	19.14	0.18	141.13	384.14	2184.08
0+260.00	0.00	20.09	0.00	39.52	384.14	2223.60
0+273.16	0.00	33.24	0.00	350.81	384.14	2574.41
0+280.00	0.00	34.97	0.00	262.51	384.14	2836.92
0+290.00	7.18	2.09	42.07	208.67	426.22	3045.59
0+298.67	26.92	21.92	120.35	118.11	546.56	3163.70
0+300.00	0.24	20.93	12.96	32.47	559.52	3196.17
0+310.00	0.60	28.85	4.00	281.29	563.53	3477.47
0+320.00	0.02	43.22	2.94	403.97	566.47	3881.44



Total Volume Table

Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+324.19	0.09	33.86	0.20	181.37	566.67	4062.81
0+340.00	0.00	49.26	0.71	656.89	567.38	4719.70
0+360.00	0.00	25.10	0.00	743.63	567.38	5463.32
0+377.64	0.00	26.64	0.00	456.48	567.38	5919.80
0+380.00	0.00	30.67	0.00	59.77	567.38	5979.57
0+390.00	0.00	27.98	0.00	255.75	567.39	6235.32
0+393.22	0.00	36.81	0.00	89.70	567.39	6325.02
0+400.00	0.00	38.80	0.00	221.08	567.39	6546.10
0+408.79	0.00	19.07	0.00	222.52	567.39	6768.62
0+420.00	0.00	29.05	0.00	269.65	567.39	7038.27
0+439.58	0.01	1.79	0.10	301.84	567.49	7340.11
0+440.00	0.00	2.01	0.00	0.80	567.49	7340.91
0+450.00	0.01	3.58	0.05	28.47	567.55	7369.37
0+460.00	0.00	3.27	0.05	34.19	567.60	7403.56
0+470.00	0.01	5.84	0.06	45.37	567.66	7448.94
0+480.00	0.00	8.97	0.06	74.60	567.73	7523.54
0+484.69	0.00	11.45	0.00	48.53	567.73	7572.07
0+490.00	0.00	15.00	0.00	71.17	567.73	7643.24
0+500.00	0.00	18.20	0.00	168.69	567.73	7811.93
0+510.00	0.17	11.78	0.91	151.74	568.64	7963.67

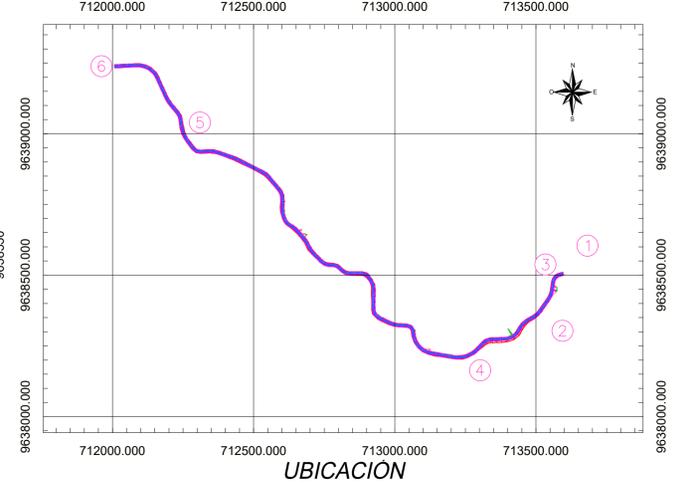
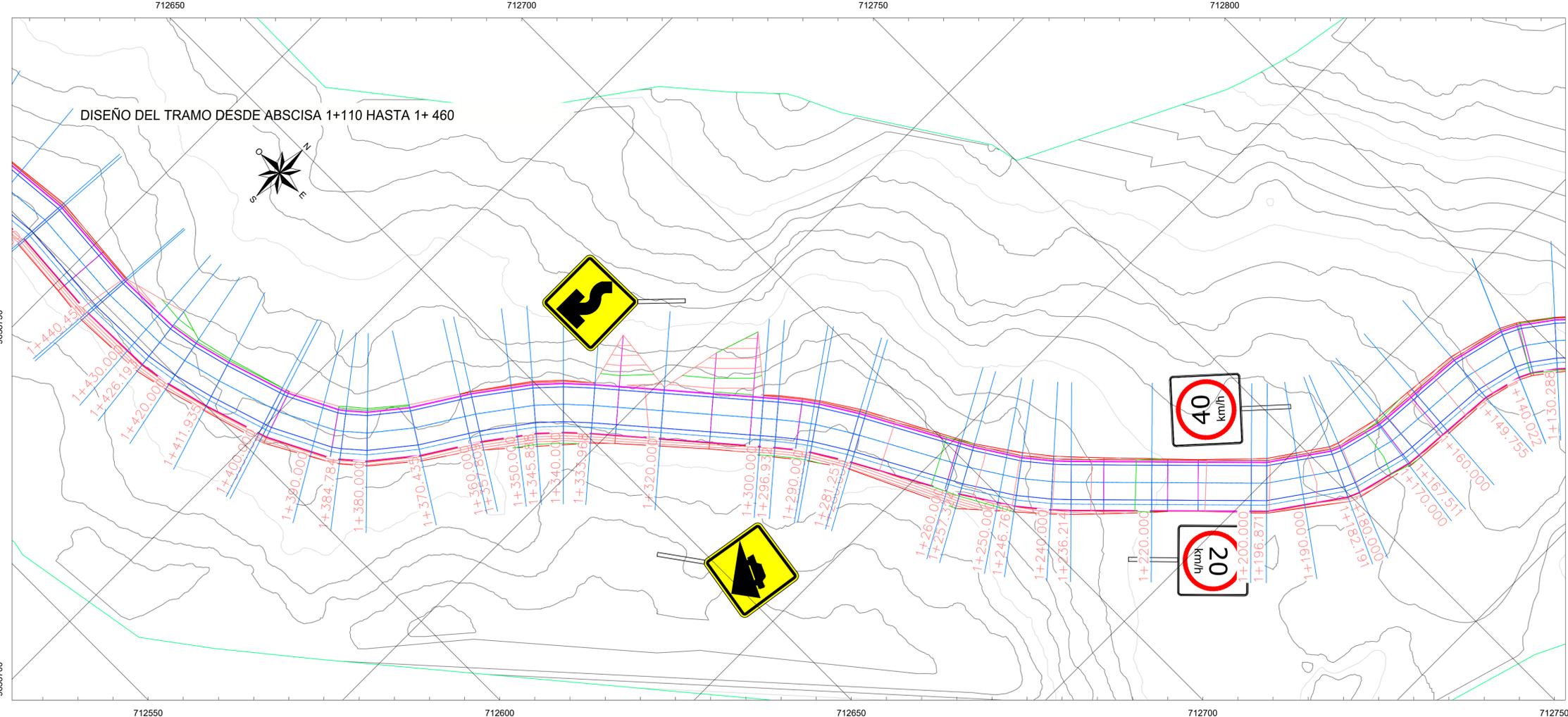
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY

TUTOR: ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR: ING. PABLO FLORES	PERIODO 2024 - 2025
FECHA 15 de Enero de 2025	ESCALA 1:500	PLANO 2 DE 11

PROFESORA: WANDERLEIA DE MORAES RIBEIRO, RUA S. J. J. 11, HAMBURGERS BUR



Total Volume Table

Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+520.00	0.00	5.13	0.91	85.42	569.55	8049.09
0+529.81	0.45	3.59	2.12	44.08	571.67	8093.18
0+540.00	1.16	2.85	8.19	32.84	579.86	8126.01
0+560.00	0.08	6.63	12.33	94.85	592.19	8220.86
0+580.00	0.00	10.53	0.76	171.62	592.95	8392.48
0+600.00	0.00	14.48	0.00	250.05	592.95	8642.53
0+611.34	0.00	7.38	0.00	123.87	592.95	8766.40
0+620.00	6.54	6.99	25.21	64.03	618.16	8830.43
0+630.00	0.16	6.54	29.84	68.41	648.00	8898.84
0+640.00	0.00	3.74	0.74	52.09	648.74	8950.94
0+650.00	0.01	2.45	0.05	31.94	648.78	8982.88
0+660.00	1.93	1.84	10.32	21.39	659.11	9004.27
0+660.79	1.80	1.59	1.47	1.35	660.57	9005.62
0+670.00	0.33	1.01	10.38	11.96	670.95	9017.57
0+680.00	0.01	2.21	1.72	15.79	672.67	9033.37
0+690.00	0.00	5.21	0.07	36.42	672.74	9069.78
0+700.00	0.00	9.23	0.00	73.13	672.75	9142.92
0+710.00	0.00	10.21	0.00	100.38	672.75	9243.29
0+710.24	0.00	10.29	0.00	2.43	672.75	9245.72
0+717.40	0.16	8.93	0.58	68.82	673.32	9314.54



Total Volume Table

Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+720.00	1.02	6.74	1.82	17.26	675.15	9331.80
0+730.00	0.00	9.44	6.06	68.30	681.20	9400.09
0+734.84	0.00	7.47	0.00	36.45	681.20	9436.54
0+740.00	0.00	5.09	0.00	30.72	681.20	9467.25
0+750.00	0.00	6.99	0.01	57.00	681.21	9524.26
0+752.28	0.00	7.00	0.00	15.18	681.21	9539.44
0+760.00	0.00	7.17	0.00	54.70	681.21	9594.14
0+780.00	0.00	2.98	0.00	101.58	681.21	9695.72
0+781.03	0.00	2.98	0.00	3.08	681.21	9698.80
0+790.00	0.04	2.03	0.17	22.53	681.38	9721.33
0+798.57	0.00	4.08	0.17	26.58	681.55	9747.91
0+800.00	0.00	4.69	0.00	6.26	681.55	9754.17
0+810.00	0.03	6.41	0.18	56.58	681.73	9810.75
0+816.11	0.00	9.03	0.11	48.26	681.83	9859.01
0+820.00	0.00	10.22	0.00	37.46	681.83	9896.47
0+840.00	0.00	12.32	0.00	225.37	681.83	10121.84
0+857.30	0.45	7.31	3.91	169.81	685.74	10291.66
0+860.00	1.24	7.18	1.91	21.04	687.66	10312.70
0+870.00	0.91	6.63	9.02	72.79	696.68	10385.49
0+875.82	0.04	6.94	2.33	40.94	699.01	10426.42



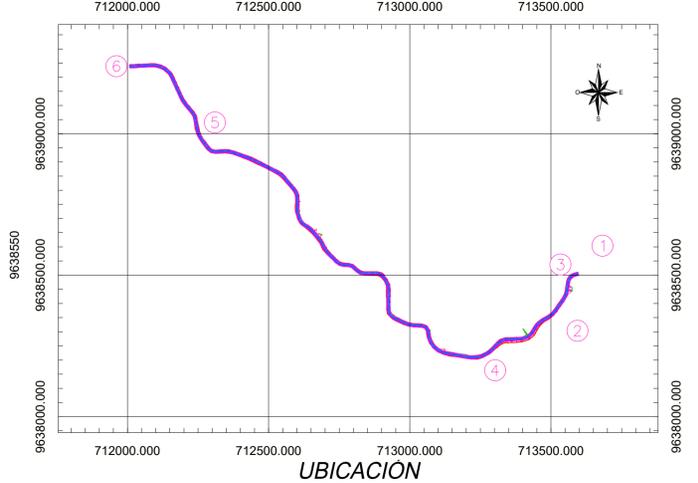
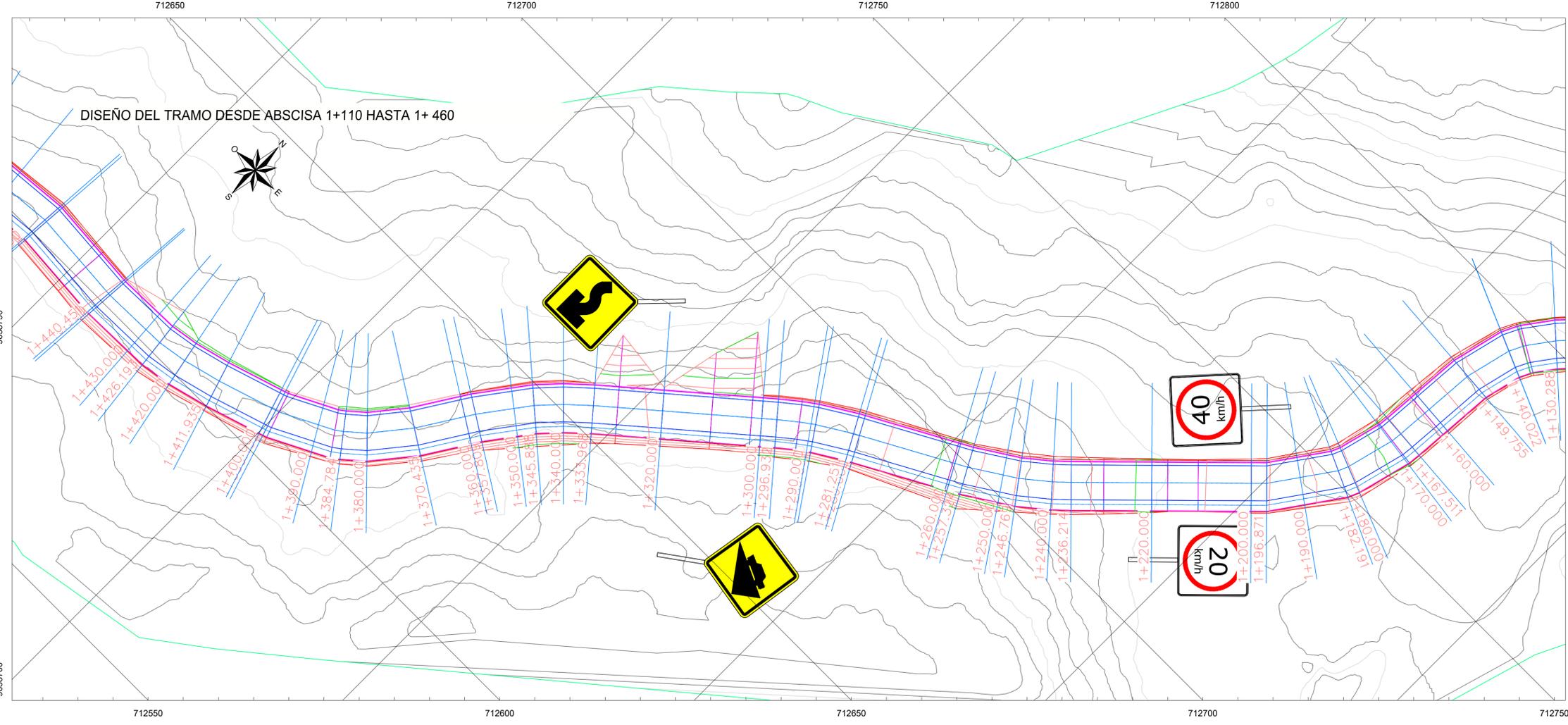
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR

CARRERA
INGENIERÍA CIVIL

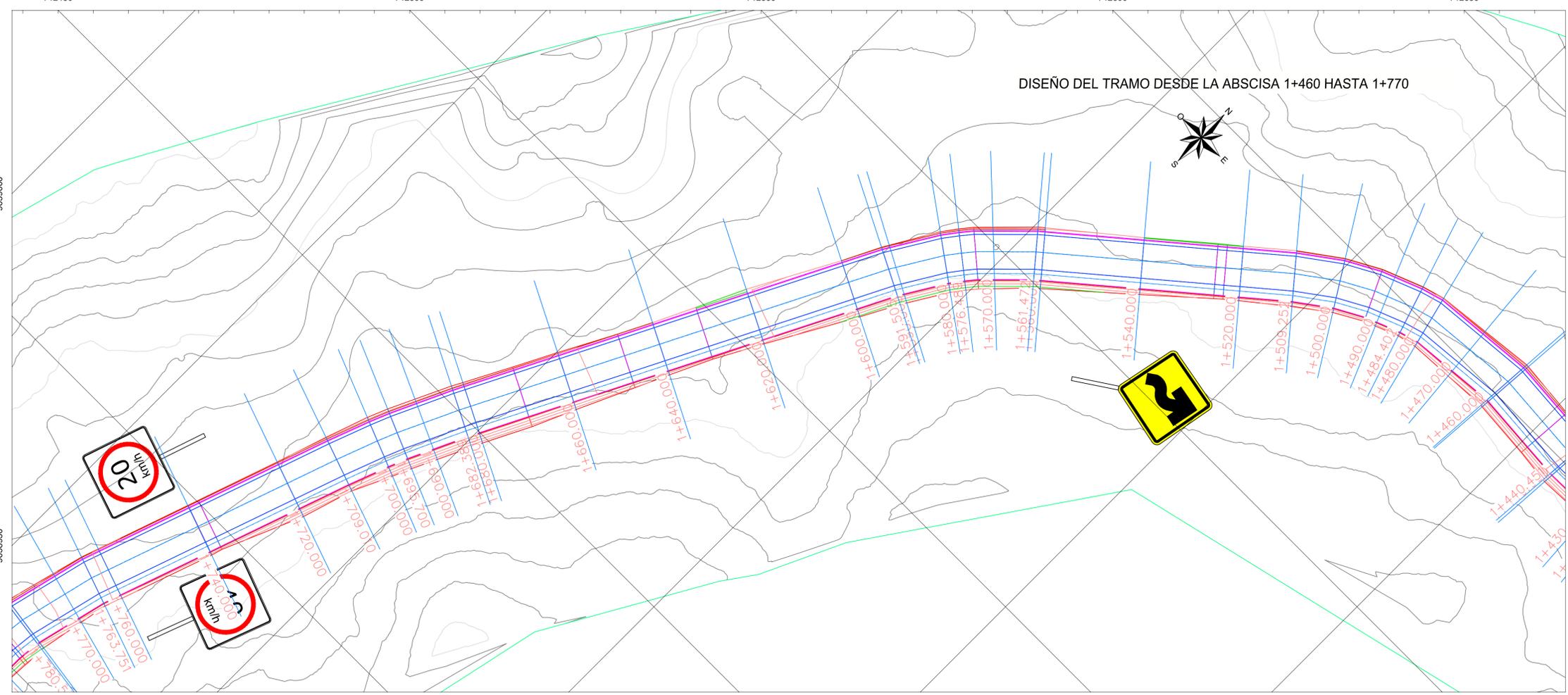
Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY

TUTOR: ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR: ING. PABLO FLORES	PERIODO 2024 - 2025
FECHA 15 de Enero de 2025	ESCALA 1:500	PLANO 3 DE 11

PROYECTOR: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, QUITO, ECUADOR



Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+880.00	0.00	7.99	0.08	32.86	699.08	10459.29
0+890.00	0.00	8.28	0.02	85.90	699.10	10545.19
0+894.33	0.02	7.39	0.05	36.51	699.16	10581.69
0+900.00	0.00	6.68	0.06	39.91	699.22	10621.60
0+920.00	0.49	0.58	4.93	72.61	704.15	10694.21
0+940.00	0.00	12.65	4.93	132.37	709.09	10826.58
0+960.00	0.00	12.72	0.00	253.73	709.09	11080.31
0+965.53	0.00	13.05	0.00	71.18	709.09	11151.49
0+970.00	0.00	13.18	0.00	56.19	709.09	11207.68
0+980.00	0.00	11.40	0.00	117.97	709.09	11325.65
0+981.32	0.00	11.77	0.00	14.72	709.09	11340.37
0+990.00	0.01	10.18	0.04	91.87	709.13	11432.23
0+997.12	0.00	8.45	0.04	64.06	709.17	11496.29
1+000.00	0.00	7.98	0.00	23.68	709.17	11519.98
1+015.51	0.00	15.78	0.00	184.26	709.17	11704.24
1+020.00	0.00	19.20	0.00	67.13	709.17	11771.38
1+027.50	0.00	24.81	0.00	139.13	709.17	11910.51
1+030.00	0.00	27.81	0.00	55.11	709.17	11965.62
1+039.49	0.00	15.85	0.00	172.62	709.17	12138.24
1+040.00	0.00	16.09	0.00	8.16	709.17	12146.40



Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
1+060.00	0.00	15.93	0.00	320.19	709.17	12466.59
1+080.00	0.00	16.74	0.00	326.70	709.17	12793.29
1+084.01	0.00	16.76	0.00	67.13	709.17	12860.43
1+090.00	0.00	15.01	0.00	98.94	709.17	12959.37
1+098.99	0.00	12.83	0.00	128.56	709.17	13087.93
1+100.00	0.00	12.74	0.00	13.16	709.17	13101.08
1+110.00	0.00	8.05	0.00	106.08	709.17	13207.16
1+113.97	0.00	3.14	0.00	22.80	709.17	13229.96
1+120.00	0.00	1.50	0.00	13.98	709.17	13243.94
1+130.29	0.00	6.55	0.00	41.43	709.17	13285.38
1+140.00	0.00	7.38	0.00	65.23	709.17	13350.61
1+140.02	0.00	7.39	0.00	0.16	709.17	13350.77
1+149.76	0.00	8.42	0.00	76.07	709.17	13426.83
1+160.00	0.00	10.29	0.00	95.86	709.17	13522.69
1+167.51	0.00	11.13	0.00	80.44	709.17	13603.13
1+170.00	0.00	10.59	0.00	26.92	709.17	13630.06
1+180.00	0.00	11.71	0.00	112.45	709.17	13742.50
1+182.19	0.00	11.77	0.00	26.32	709.17	13768.82
1+190.00	0.00	9.20	0.01	83.15	709.17	13851.97
1+196.87	0.00	6.14	0.01	52.89	709.18	13904.86



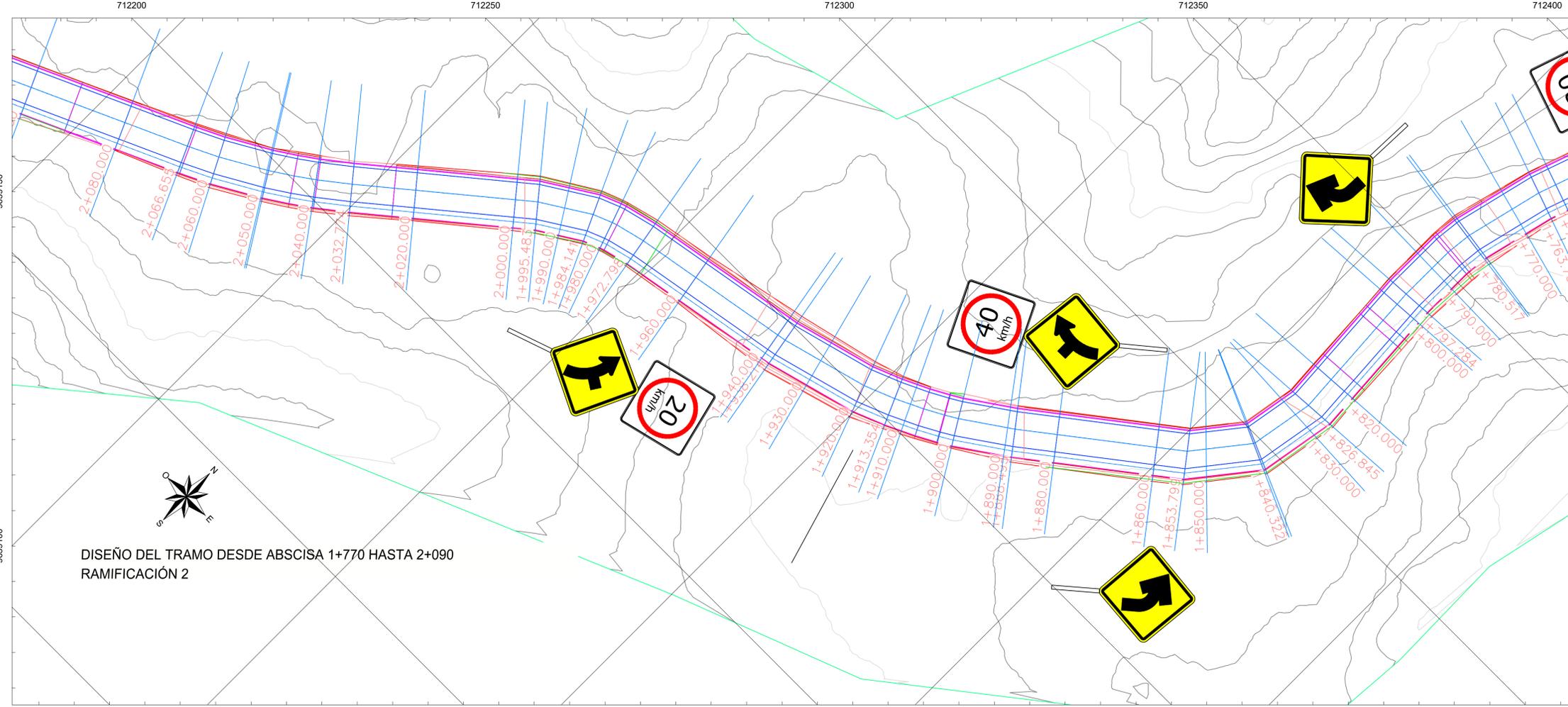
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR

CARRERA
INGENIERÍA CIVIL

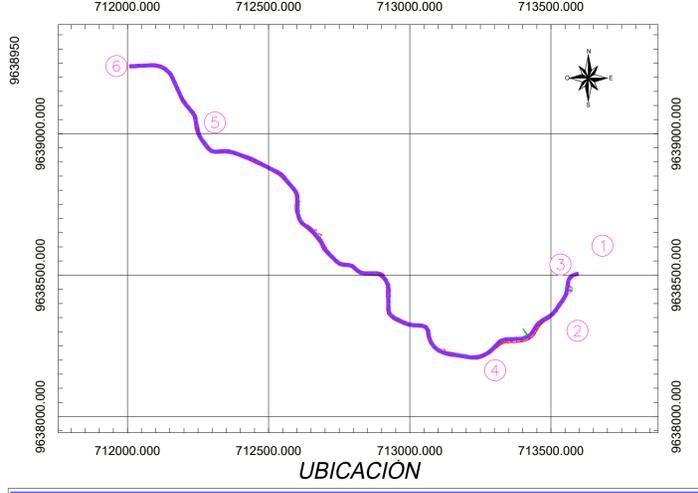
Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA – RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISIAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY

TUTOR: ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR: ING. PABLO FLORES	PERIODO 2024 - 2025
FECHA 15 de Enero de 2025	ESCALA 1:500	PLANO 4 DE 11

PROYECTOR: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, BOGOTÁ, COLOMBIA



DISEÑO DEL TRAMO DESDE ABCISIA 1+770 HASTA 2+090
RAMIFICACIÓN 2



Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
1+200.00	0.00	5.26	0.00	17.83	709.18	13922.69
1+220.00	0.00	5.97	0.00	112.23	709.18	14034.92
1+236.21	0.00	11.32	0.00	140.18	709.18	14175.10
1+240.00	0.00	13.34	0.00	47.13	709.18	14222.23
1+246.77	0.00	16.72	0.00	102.94	709.18	14325.17
1+250.00	0.01	17.77	0.01	56.73	709.19	14381.90
1+257.32	0.00	22.46	0.02	152.38	709.21	14534.28
1+260.00	0.00	19.34	0.00	55.94	709.21	14590.22
1+280.00	0.00	17.68	0.00	370.18	709.21	14960.40
1+281.25	0.00	17.81	0.00	22.19	709.21	14982.59
1+289.00	0.00	14.77	0.00	124.08	709.21	15106.67
1+290.00	0.00	15.29	0.00	13.66	709.21	15120.33
1+296.93	0.00	11.80	0.00	90.11	709.21	15210.45
1+300.00	0.00	11.07	0.00	35.08	709.21	15245.53
1+320.00	0.00	8.64	0.00	197.12	709.21	15442.65
1+333.97	0.00	14.36	0.00	160.63	709.21	15603.27
1+340.00	0.00	20.20	0.00	100.14	709.21	15703.41
1+345.89	0.00	23.11	0.00	122.18	709.21	15825.60
1+350.00	0.00	22.78	0.00	90.31	709.21	15915.91
1+357.81	0.00	14.32	0.00	138.72	709.21	16054.62



DISEÑO DEL TRAMO DESDE LA ABCISIA 2+090 HASTA 2+300

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
1+360.00	0.00	10.17	0.00	26.83	709.21	16081.46
1+370.44	0.05	6.42	0.26	86.57	709.47	16168.02
1+380.00	0.05	5.52	0.41	62.10	709.89	16230.12
1+384.78	0.20	5.20	0.53	27.85	710.41	16257.97
1+390.00	0.27	4.44	1.26	26.90	711.68	16284.86
1+399.13	0.00	9.34	1.39	67.68	713.07	16352.54
1+400.00	0.00	9.14	0.00	8.02	713.07	16360.56
1+411.93	0.13	4.77	0.79	83.05	713.86	16443.61
1+420.00	0.08	8.21	0.82	54.51	714.68	16498.12
1+426.19	1.06	8.57	3.30	54.29	717.98	16552.41
1+430.00	1.29	9.64	4.14	36.31	722.13	16588.72
1+440.00	0.00	15.76	5.94	132.24	728.07	16720.96
1+440.45	0.00	15.79	0.00	7.11	728.07	16728.07
1+459.55	0.00	16.89	0.00	312.13	728.07	17040.20
1+460.00	0.00	17.38	0.00	7.68	728.07	17047.88
1+470.00	0.00	17.29	0.00	167.07	728.07	17214.95
1+480.00	0.00	10.12	0.00	131.59	728.07	17346.54
1+484.40	0.00	8.75	0.00	40.23	728.07	17386.77
1+490.00	0.00	7.52	0.00	43.99	728.08	17430.76
1+500.00	0.00	6.46	0.01	67.31	728.08	17498.07



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ECUADOR

CARRERA
INGENIERÍA CIVIL

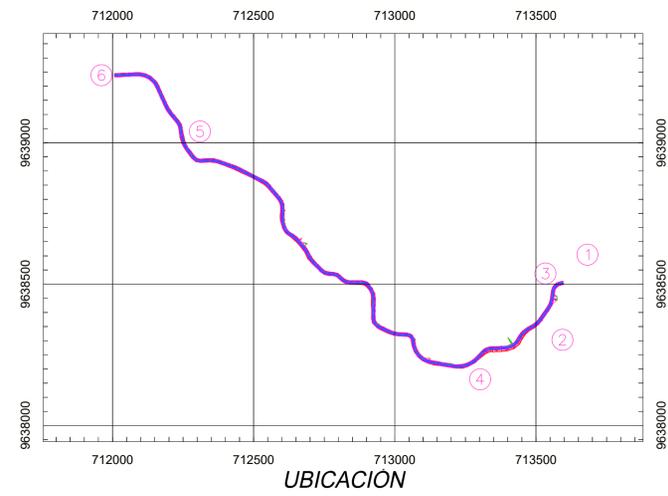
Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISIAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY

TUTOR: ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR: ING. PABLO FLORES	PERIODO: 2024 - 2025
FECHA: 15 de Enero de 2025	ESCALA: 1:500	PLANO: 5 DE 11

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
1+509.25	0.00	7.08	0.00	60.26	728.08	17558.32
1+520.00	0.01	4.93	0.05	64.55	728.13	17622.87
1+540.00	0.02	6.89	0.27	118.19	728.40	17741.06
1+560.00	0.00	18.51	0.19	254.00	728.59	17995.06
1+561.47	0.00	18.70	0.00	27.40	728.59	18022.46
1+570.00	0.00	16.18	0.00	143.94	728.59	18166.40
1+576.49	0.00	16.50	0.00	102.20	728.59	18268.60
1+580.00	0.00	15.88	0.00	54.88	728.59	18323.48
1+590.00	0.00	19.04	0.00	168.19	728.59	18491.68
1+591.51	0.00	17.74	0.00	26.67	728.59	18518.35
1+600.00	0.00	12.93	0.00	130.27	728.59	18648.61
1+620.00	0.17	4.69	1.70	176.22	730.29	18824.83
1+640.00	0.00	6.07	1.70	107.61	731.99	18932.44
1+660.00	0.00	12.96	0.00	190.25	731.99	19122.69
1+680.00	0.00	21.34	0.00	342.95	731.99	19465.64
1+682.39	0.00	22.04	0.00	51.82	731.99	19517.46
1+690.00	0.02	21.35	0.07	163.21	732.05	19680.67
1+695.70	0.00	21.99	0.05	122.16	732.10	19802.83
1+700.00	0.00	21.96	0.00	93.46	732.10	19896.29
1+709.01	0.00	13.35	0.00	157.38	732.10	20053.67

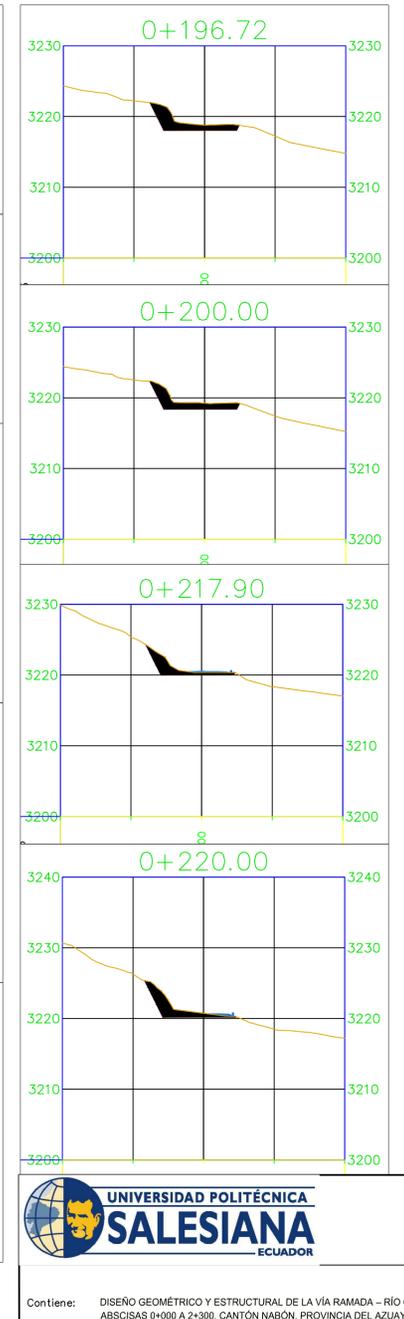
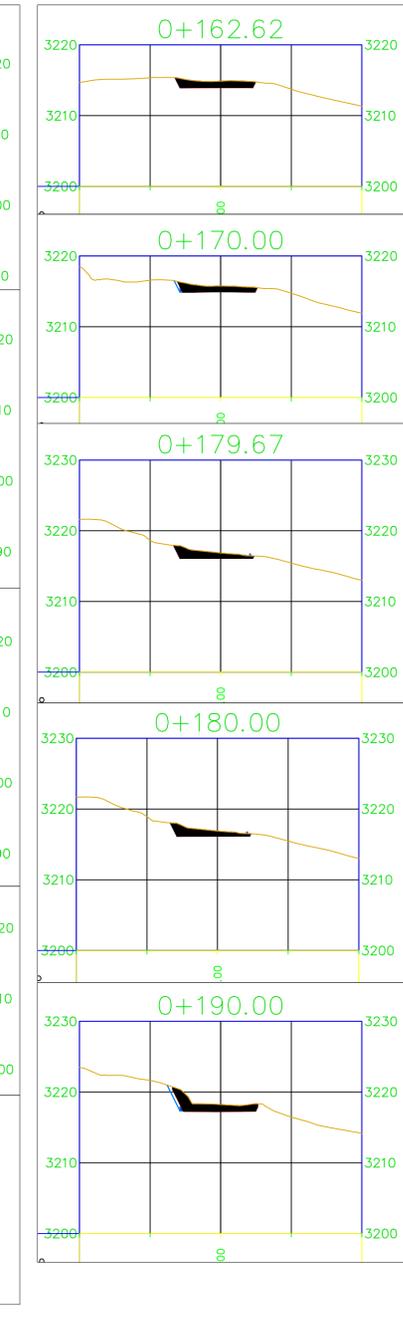
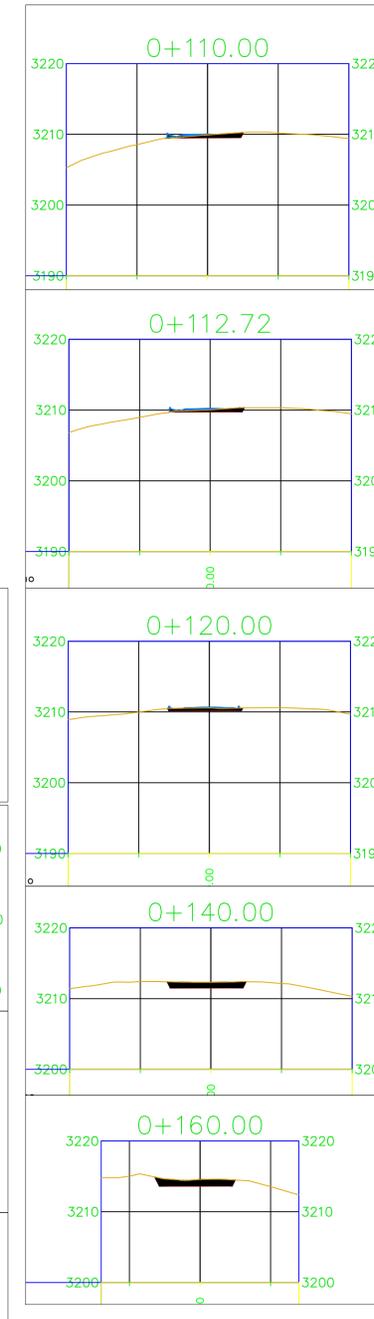
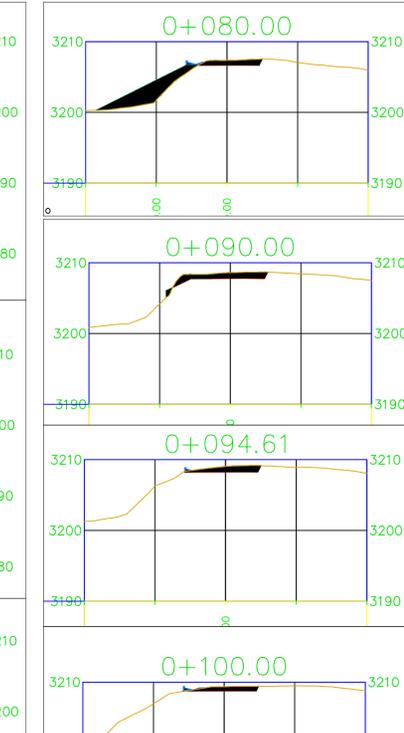
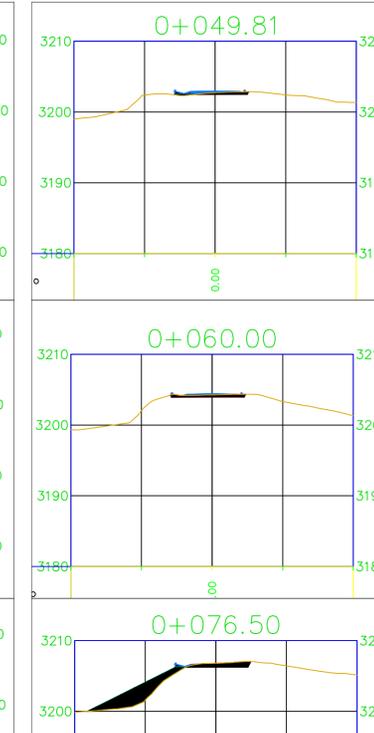
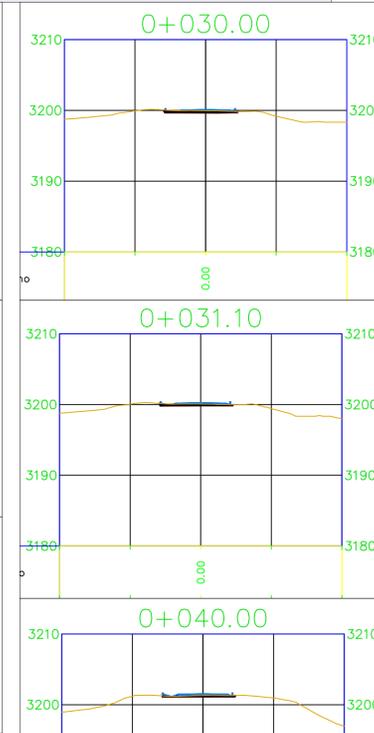
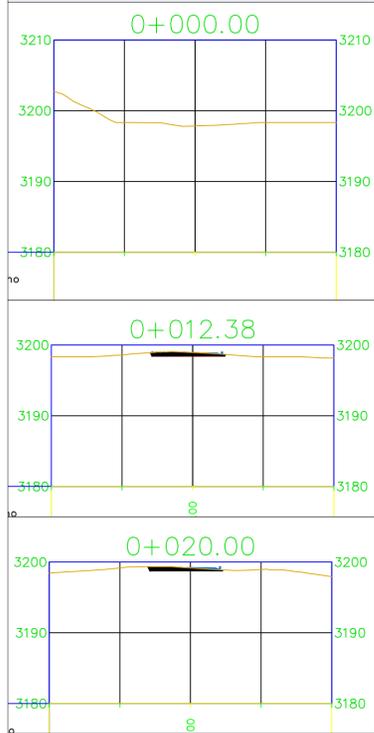
Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
1+720.00	0.00	14.09	0.00	150.74	732.10	20204.42
1+740.00	0.00	7.10	0.00	211.91	732.10	20416.33
1+760.00	0.00	5.40	0.00	125.05	732.10	20541.37
1+763.75	0.00	6.34	0.00	22.03	732.10	20563.40
1+770.00	0.03	7.78	0.07	43.17	732.18	20606.57
1+780.00	0.00	12.82	0.12	100.62	732.29	20707.20
1+780.52	0.00	13.36	0.00	6.77	732.29	20713.97
1+790.00	0.00	11.98	0.00	116.55	732.30	20830.52
1+797.28	0.00	4.52	0.00	57.85	732.30	20888.37
1+800.00	0.00	4.53	0.00	12.28	732.30	20900.66
1+820.00	0.00	8.81	0.00	133.38	732.30	21034.04
1+826.85	0.00	8.85	0.00	60.45	732.30	21094.48
1+830.00	0.00	7.46	0.00	27.56	732.30	21122.04
1+840.00	0.00	5.87	0.00	71.13	732.30	21193.18
1+840.32	0.00	5.60	0.00	1.85	732.30	21195.02
1+850.00	0.08	4.94	0.48	54.22	732.78	21249.25
1+853.80	0.00	7.92	0.19	26.39	732.97	21275.64
1+860.00	0.00	8.73	0.00	51.63	732.97	21327.27
1+880.00	0.00	10.51	0.00	192.43	732.97	21519.70
1+888.49	0.00	8.25	0.00	79.68	732.97	21599.38

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
1+890.00	0.00	7.92	0.00	12.17	732.97	21611.55
1+900.00	0.22	4.45	1.08	63.26	734.05	21674.81
1+910.00	0.01	7.46	1.11	60.69	735.16	21735.49
1+913.35	0.00	10.41	0.01	30.41	735.17	21765.91
1+920.00	0.00	20.44	0.00	103.81	735.17	21869.72
1+930.00	0.00	27.97	0.00	243.50	735.17	22113.22
1+938.21	0.00	24.88	0.00	217.94	735.17	22331.16
1+940.00	0.00	25.45	0.00	44.95	735.17	22376.11
1+960.00	0.00	10.21	0.00	356.67	735.17	22732.79
1+972.80	0.00	8.25	0.00	118.16	735.17	22850.95
1+980.00	0.00	8.46	0.00	59.49	735.17	22910.44
1+984.14	0.00	10.09	0.00	37.86	735.17	22948.30
1+990.00	0.00	11.99	0.00	63.48	735.17	23011.78
1+995.48	0.00	12.63	0.00	66.48	735.17	23078.26
2+000.00	0.00	10.90	0.00	53.16	735.17	23131.41
2+020.00	0.00	7.46	0.00	183.63	735.17	23315.04
2+032.77	0.34	3.72	2.19	71.38	737.36	23386.43
2+040.00	0.22	5.52	2.00	34.11	739.36	23420.54
2+049.71	0.00	5.02	1.05	52.16	740.40	23472.70
2+050.00	0.00	4.90	0.00	1.42	740.40	23474.11

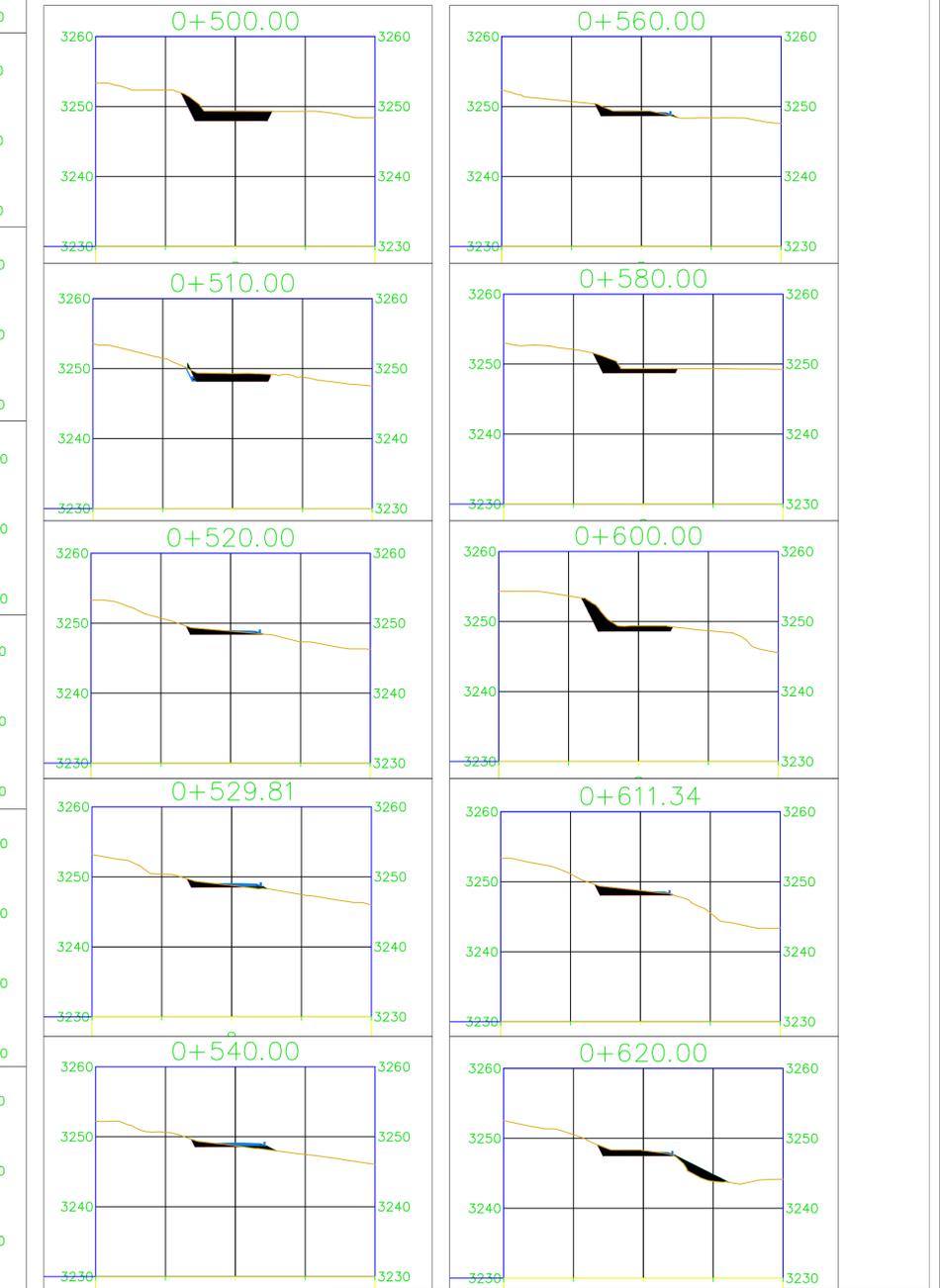
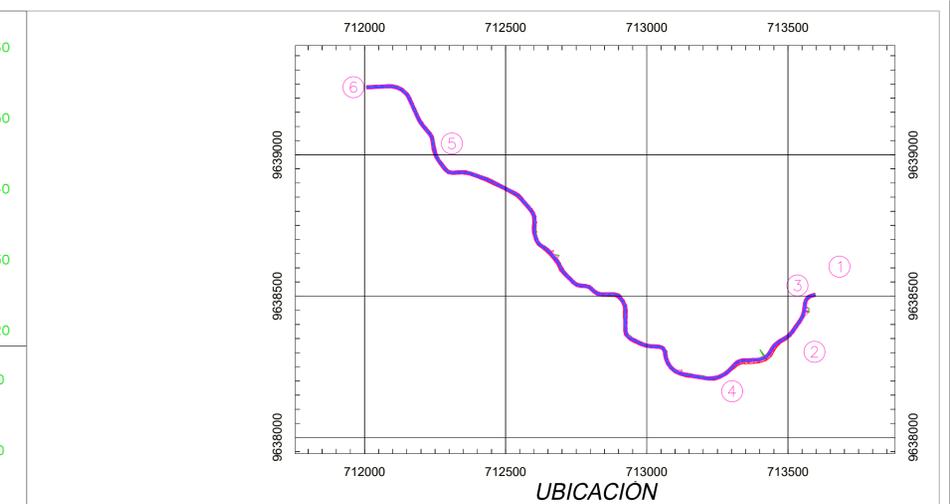
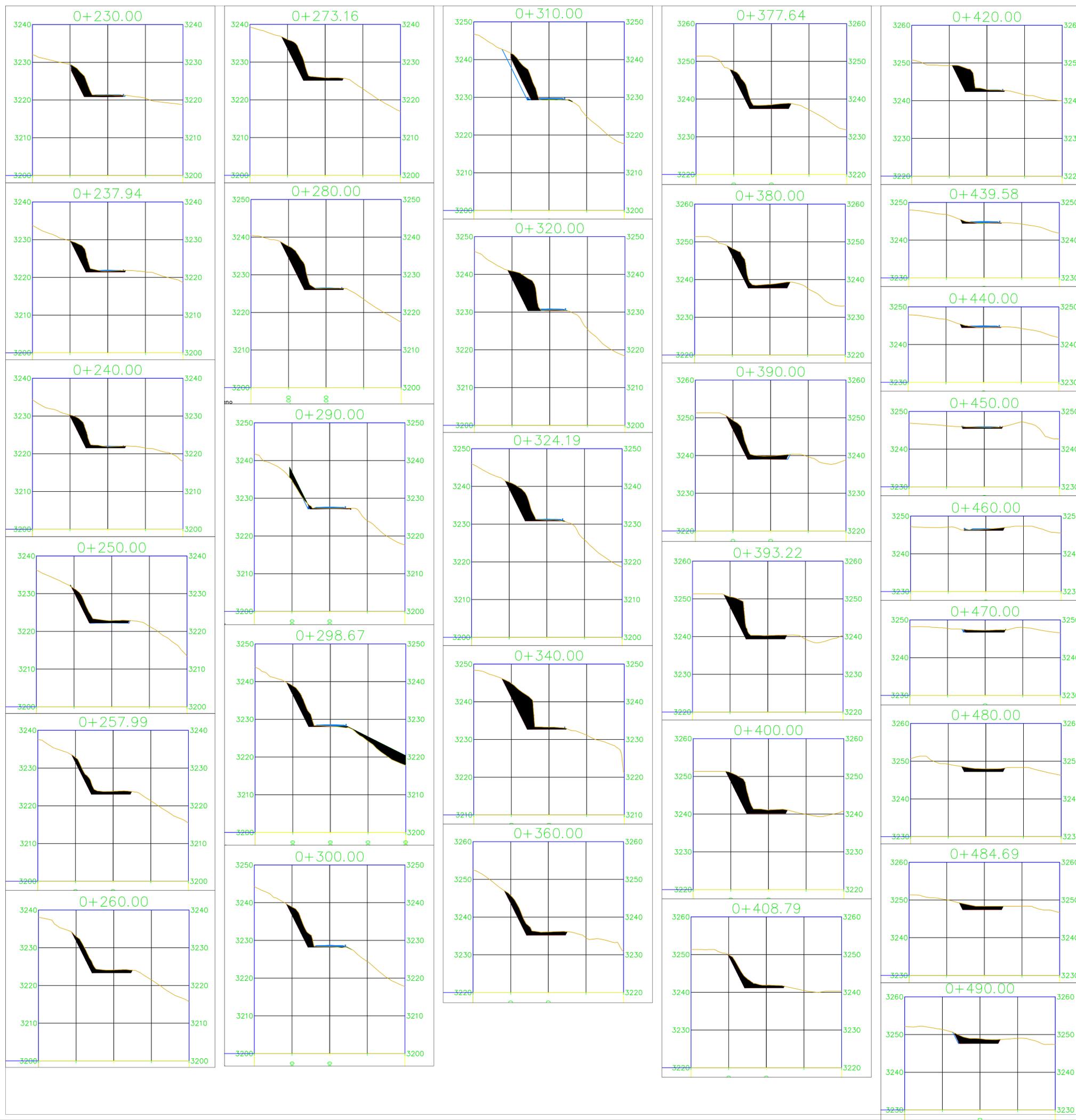


Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
2+060.00	0.00	8.13	0.02	66.04	740.42	23540.15
2+066.66	0.00	6.45	0.00	48.89	740.42	23589.04
2+080.00	0.00	3.10	0.00	63.74	740.42	23652.78
2+100.00	0.44	2.04	4.36	51.47	744.78	23704.25
2+120.00	0.00	2.14	4.36	41.81	749.14	23746.06
2+139.92	0.00	17.73	0.00	197.90	749.14	23943.96
2+140.00	0.00	17.80	0.00	1.41	749.14	23945.37
2+150.00	0.00	14.11	0.00	159.75	749.14	24105.12
2+160.00	0.00	3.64	0.00	89.59	749.14	24194.71
2+170.00	0.00	8.40	0.00	60.57	749.14	24255.28
2+180.00	0.00	8.74	0.00	85.66	749.14	24340.94
2+184.96	0.00	4.34	0.00	32.39	749.14	24373.33
2+190.00	0.00	5.27	0.00	23.95	749.14	24397.28
2+200.00	0.00	7.60	0.00	63.34	749.15	24460.62
2+210.00	0.00	11.13	0.00	92.09	749.15	24552.71
2+220.00	0.00	12.08	0.00	114.11	749.15	24666.81
2+229.99	0.00	8.20	0.00	100.07	749.15	24766.88
2+240.00	0.00	5.96	0.00	70.82	749.15	24837.70
2+260.00	0.55	2.83	5.49	87.88	754.64	24925.58
2+280.00	0.00	6.96	5.49	97.89	760.13	25023.48

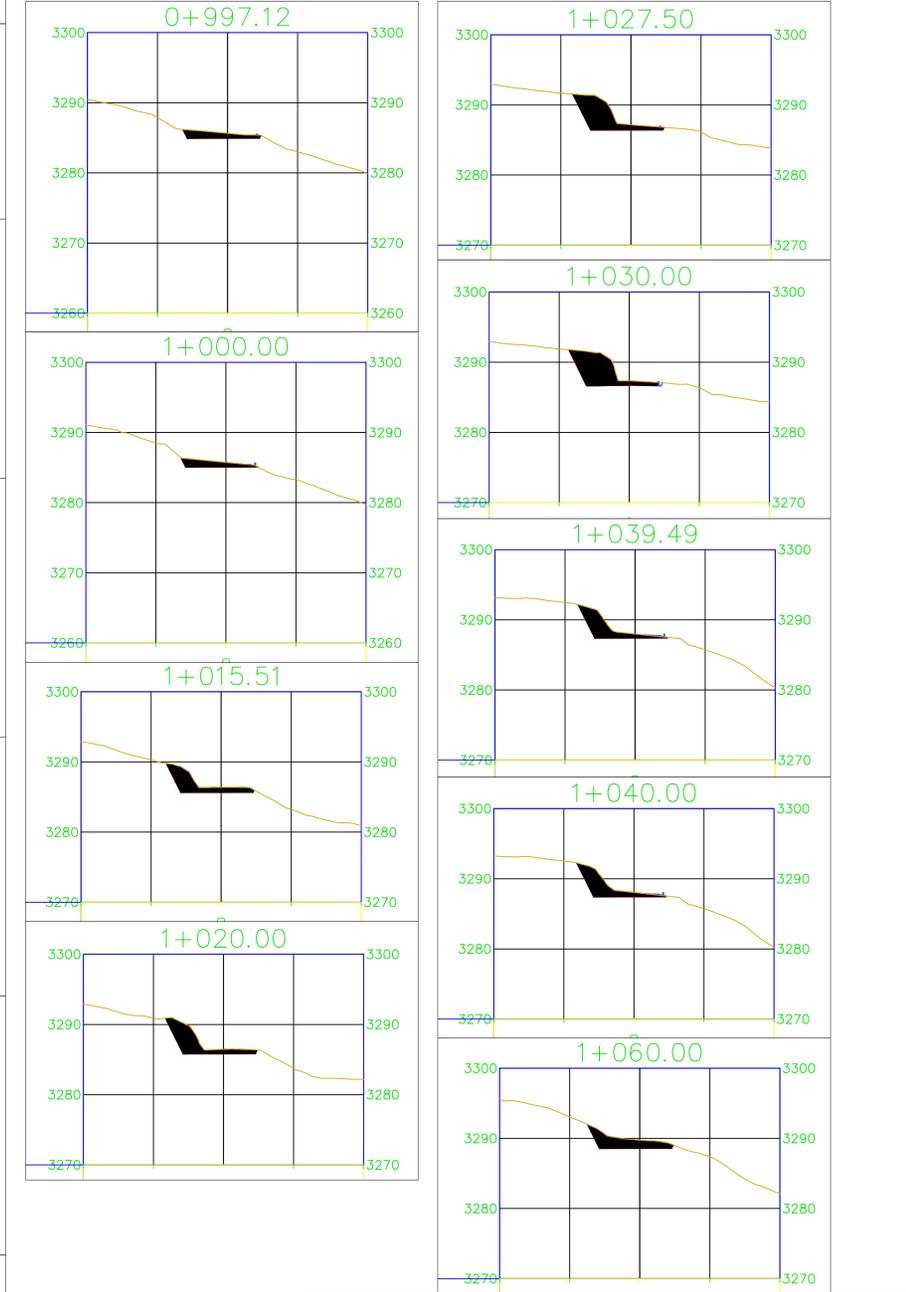
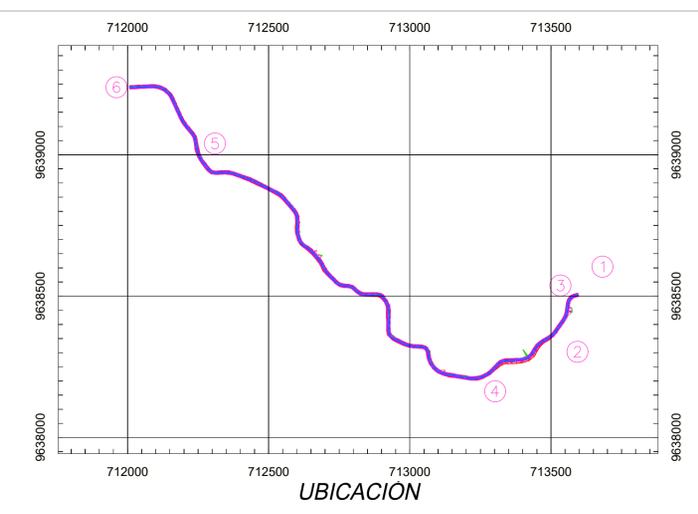
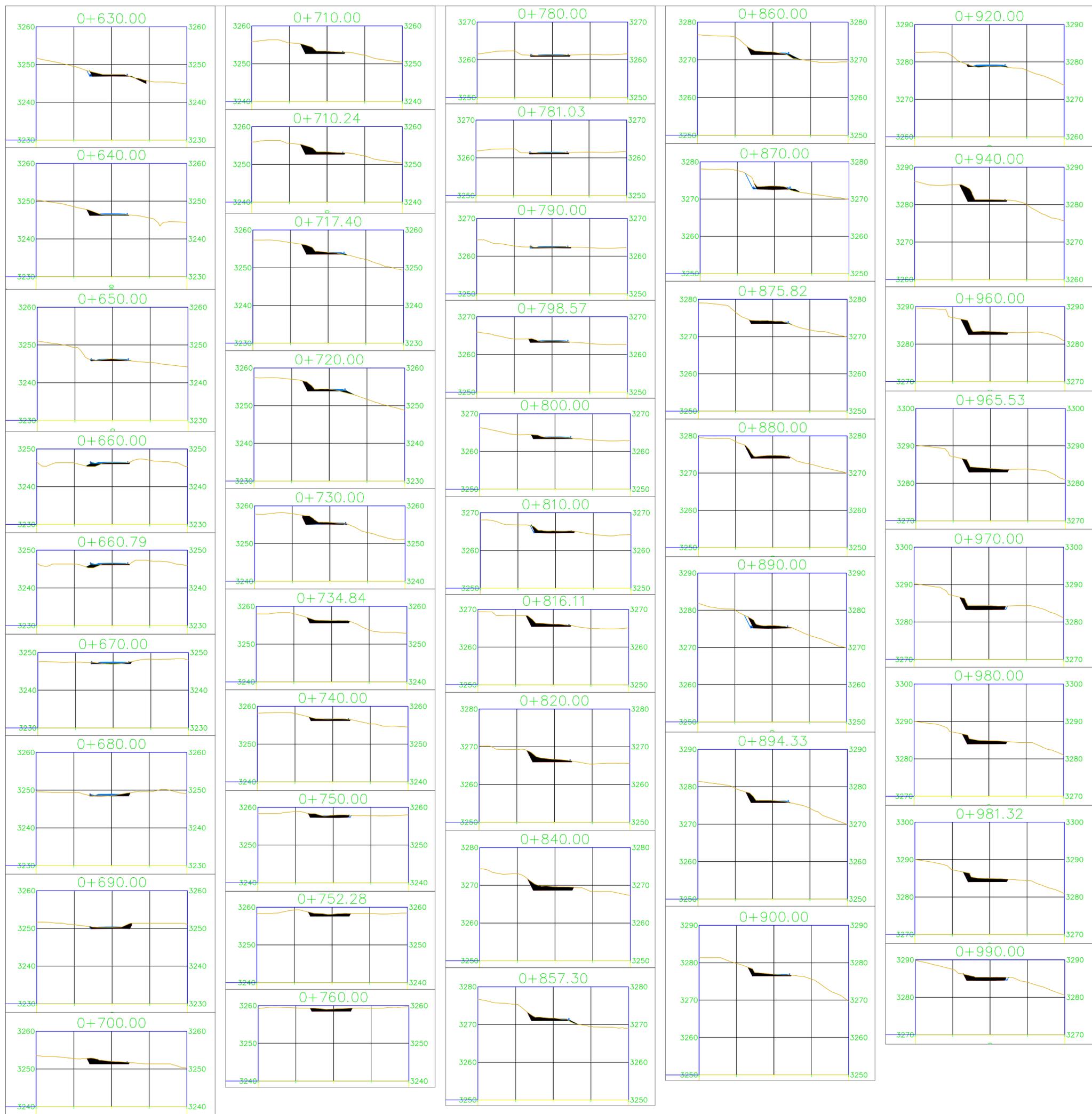
Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
2+300.00	0.00	8.19	0.00	151.45	760.13	25174.93
2+308.85	0.00	8.74	0.00	74.86	760.13	25249.79



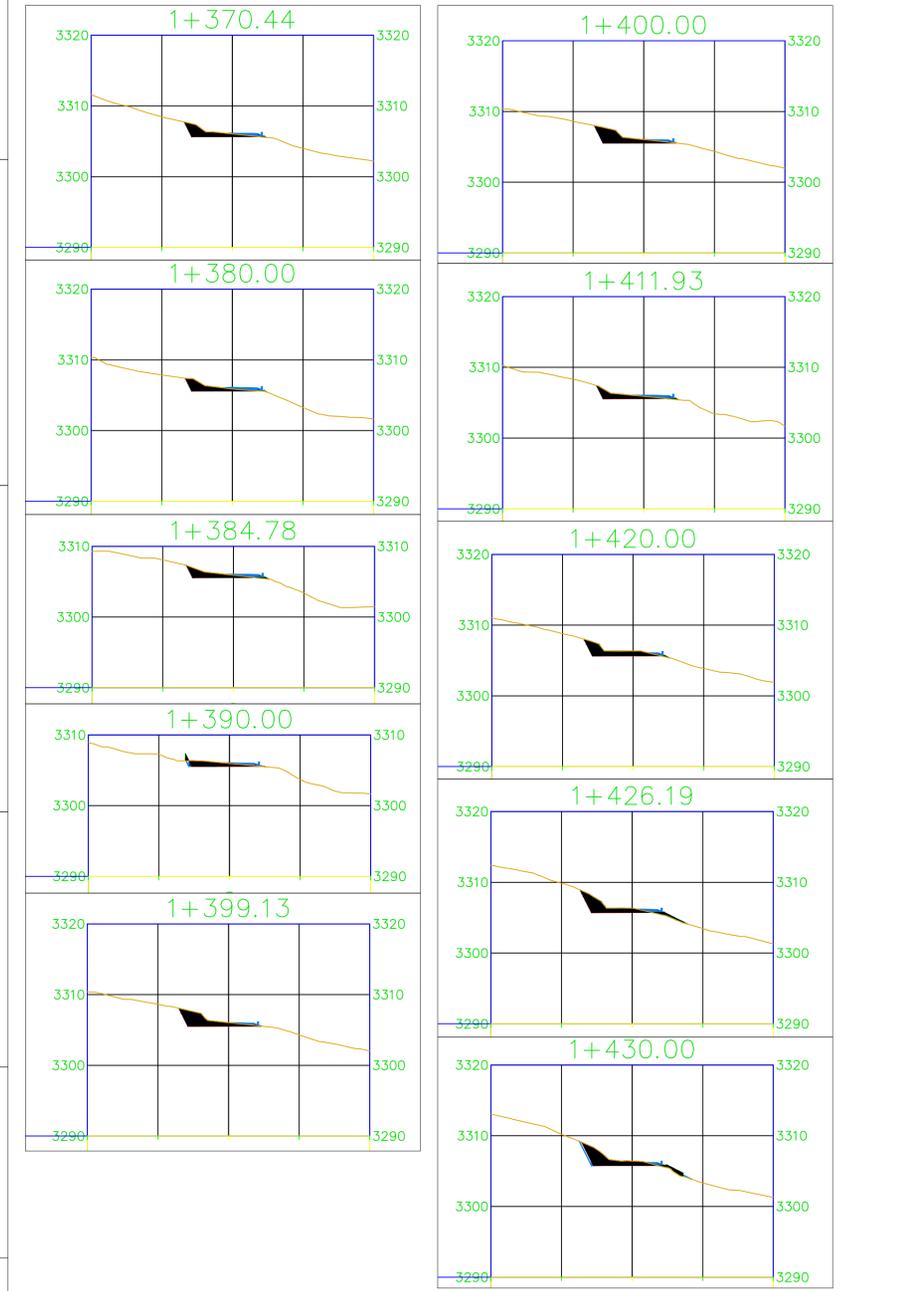
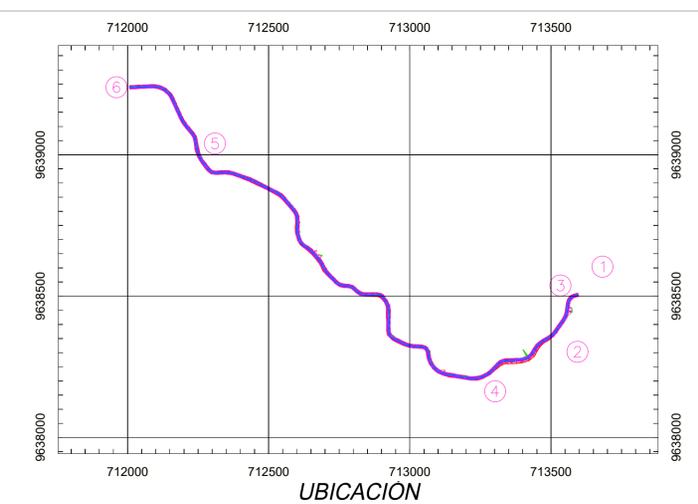
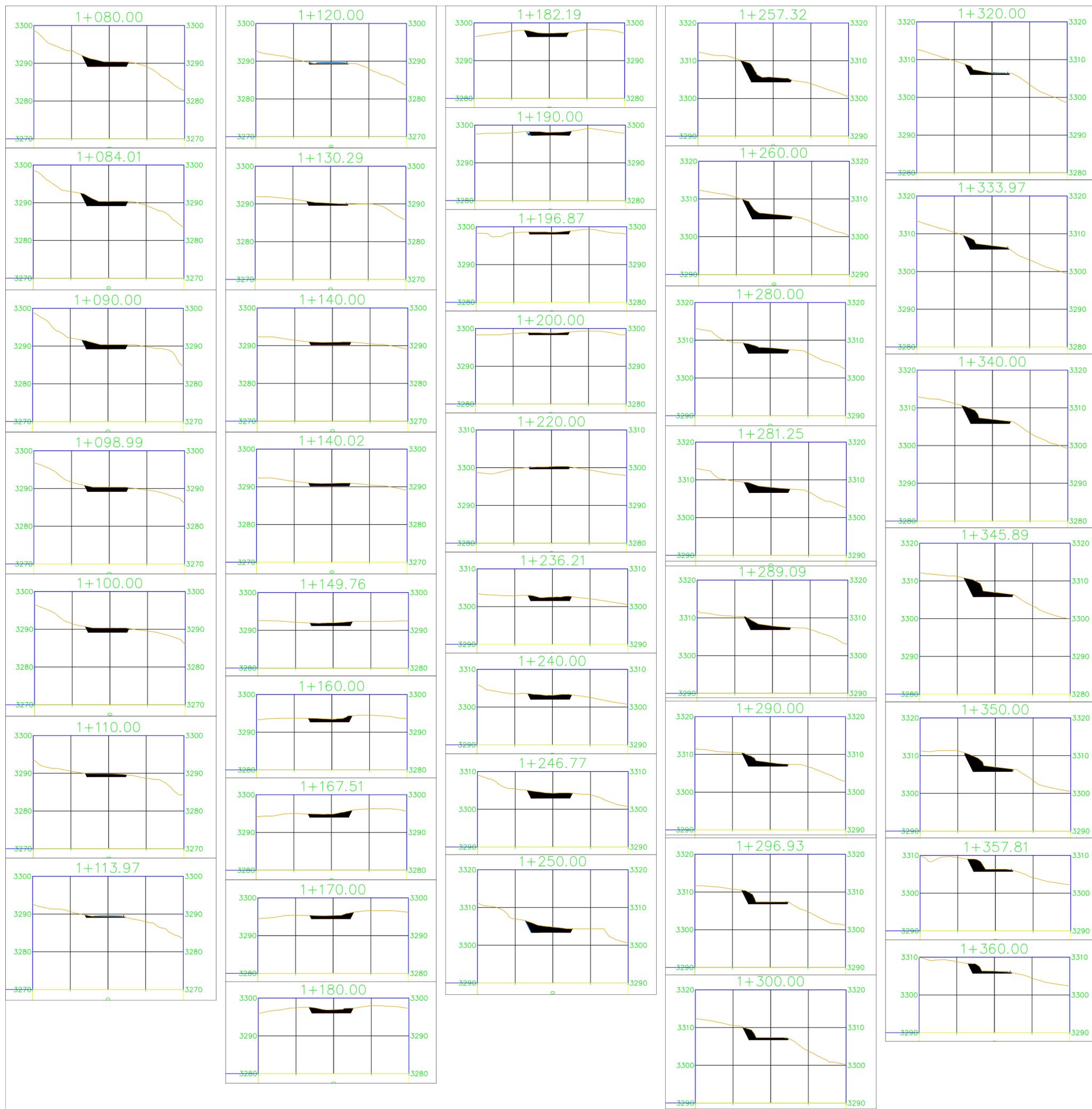
Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY



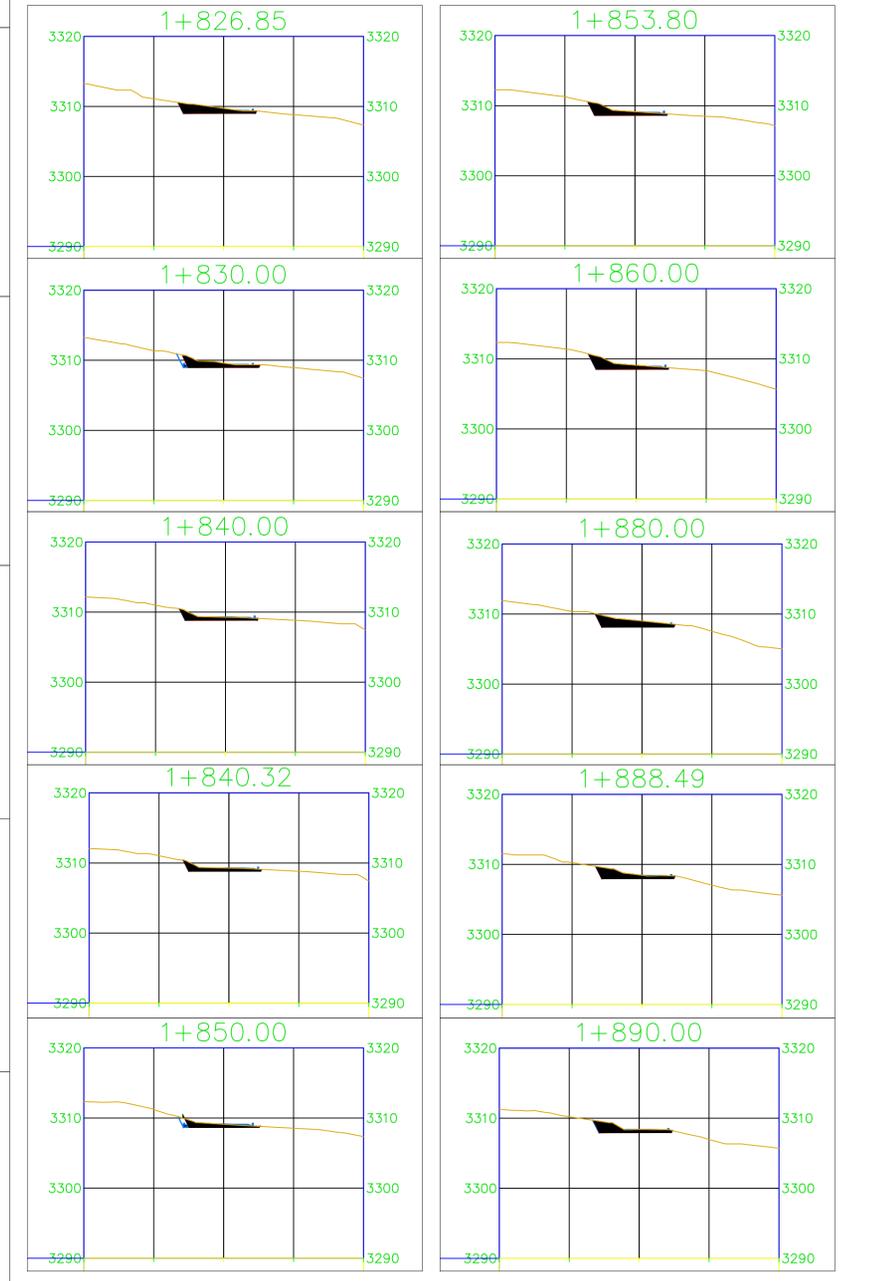
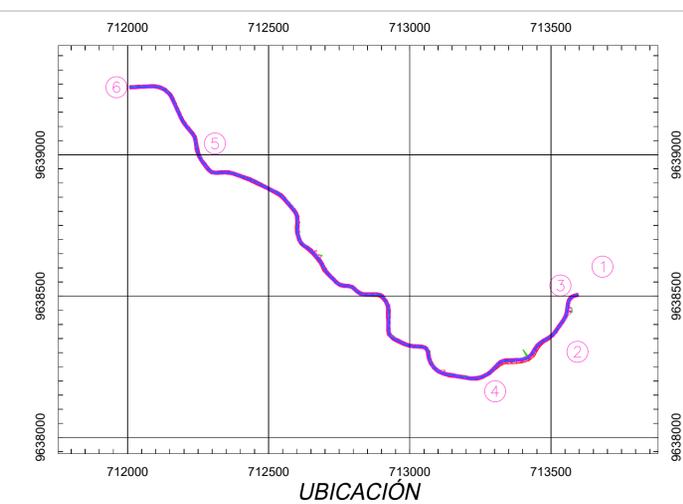
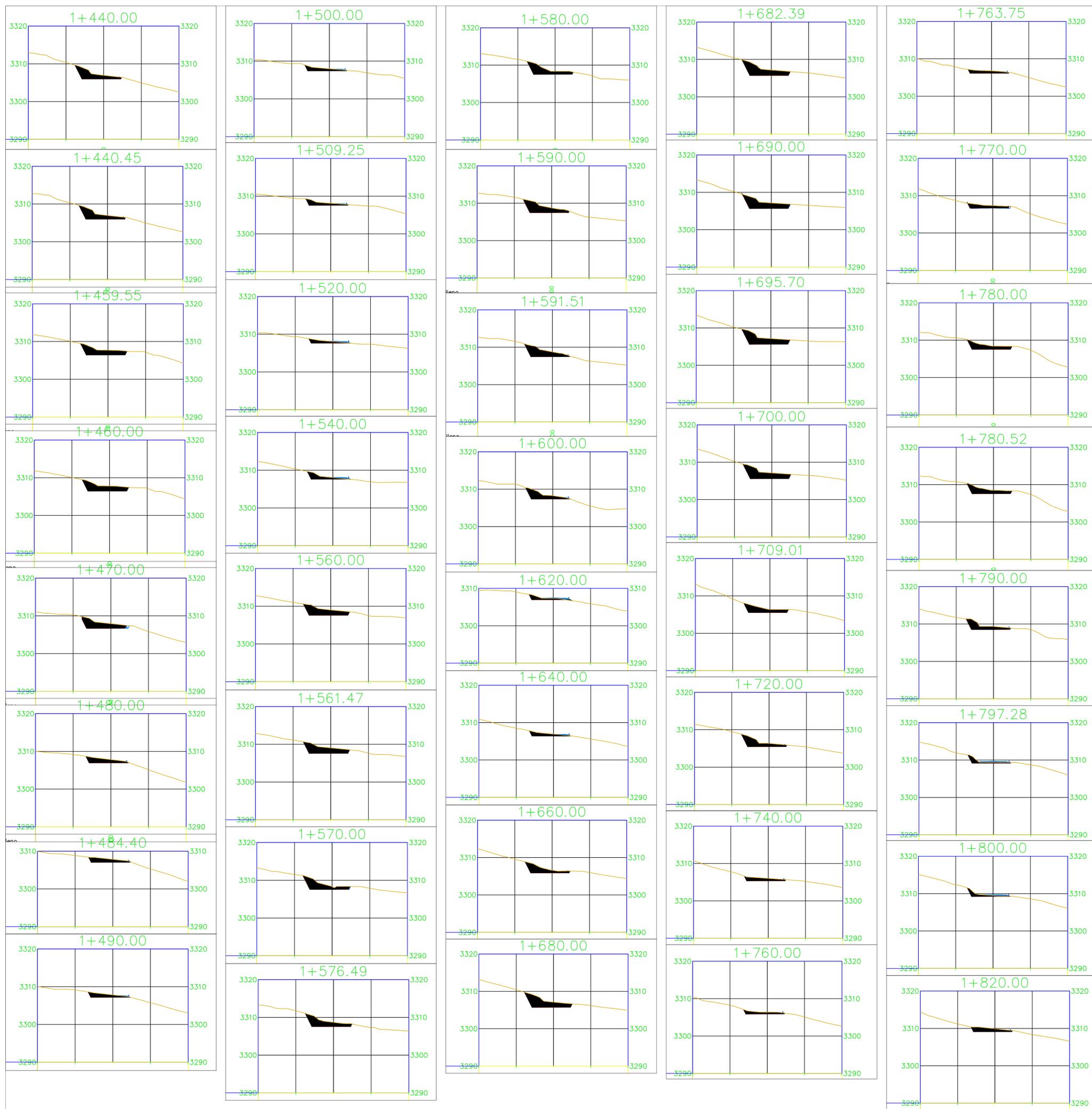
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		CARRERA	
		INGENIERÍA CIVIL	
Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA – RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY			
TUTOR:	ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR:	ING. PABLO FLORES
PERIODO:	2024 - 2025	FECHA:	15 de Enero de 2025
ESCALA:	1:500	PLANO:	7 DE 11
<small>PROFESOR: WASHINGTON AC. VILACOR, WIS. SCL. JOHN 11, HERRERA SUR</small>			



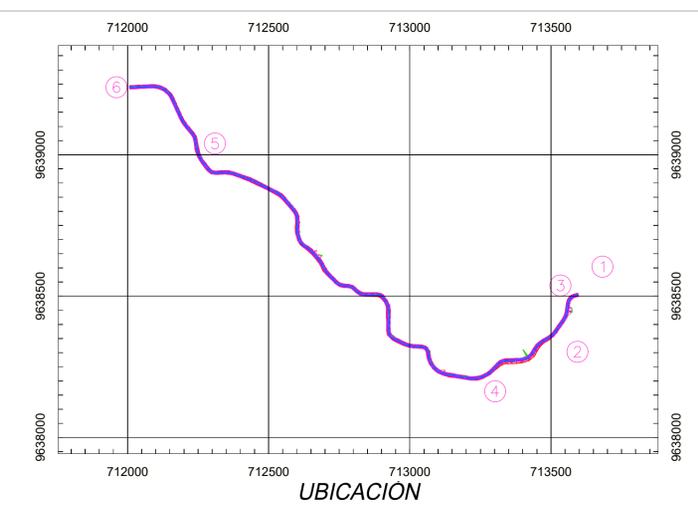
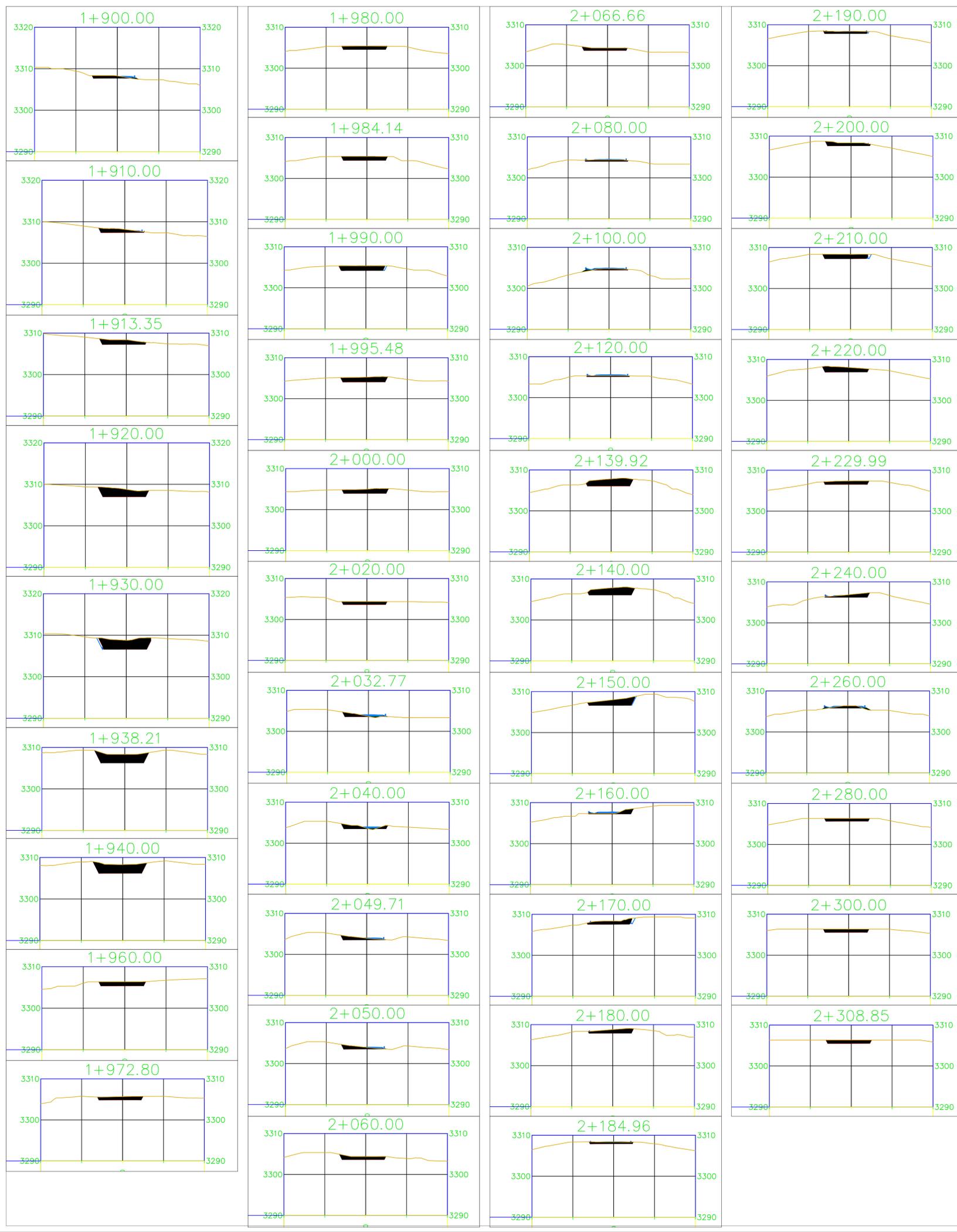
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR			CARRERA INGENIERÍA CIVIL
Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA – RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY			
TUTOR: ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR: ING. PABLO FLORES	PERIODO 2024 - 2025	
FECHA 15 de Enero de 2025	ESCALA 1: 500	PLANO 8 DE 11	
PROYECTOR: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, ZONA 11, HEMISFERIO SUR			



 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		CARRERA	
		INGENIERÍA CIVIL	
Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY			
TUTOR:	ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR:	ING. PABLO FLORES
FECHA:	15 de Enero de 2025	ESCALA:	1: 500
		PERIODO:	2024 - 2025
		PLANO:	9 DE 11



 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		CARRERA	
		INGENIERÍA CIVIL	
Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY			
TUTOR:	ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR:	ING. PABLO FLORES
PERIODO:	2024 - 2025	FECHA:	15 de Enero de 2025
ESCALA:	1:500	PLANO:	10 DE 11
<small>PROFESOR: UNIVERSIDAD SALESIANA, VÍA SAN JUAN 11, HEMISFERIO SUR</small>			



		CARRERA INGENIERÍA CIVIL
Contiene: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA RAMADA - RÍO CURIQUINGUE ENTRE LAS ABCISAS 0+000 A 2+300, CANTÓN NABÓN, PROVINCIA DEL AZUAY		
TUTOR: ING. DANIEL CÁRDENAS	AUTOR: ING. PABLO FLORES	PERIODO 2024 - 2025
FECHA 15 de Enero de 2025	ESCALA 1: 500	PLANO 11 DE 11