



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA LA RAMADA – RÍO
CURIQUINGUE DESDE LA ABSCISA 6+900 HASTA LA ABSCISA 9+200 KM, EN EL
CANTÓN GIRÓN PROVINCIA DEL AZUAY**

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

**AUTORES: CHRISTIAN VINICIO SIGUA PALTIN
FRANKLIN MICHAEL GUALÁN GUALÁN**

TUTOR: ING. DANIEL LEONIDAS CÁRDENAS JARAMILLO, MSC.

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Christian Vinicio Sigua Paltin con documento de identificación N° 0105257596 y Franklin Michael Gualán Gualán con documento de identificación N° 1105208712; manifestamos que:

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

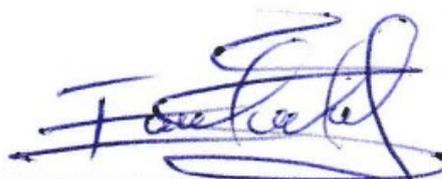
Cuenca, 21 de enero del 2025

Atentamente,



Christian Vinicio Sigua Paltin

0105257596



Franklin Michael Gualán Gualán

1105208712

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

Nosotros, Christian Vinicio Sigua Paltin con documento de identificación N° 0105257596 y Franklin Michael Gualán Gualán con documento de identificación N° 1105208712, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: “Diseño Geométrico y Estructural de la vía La Ramada – Río Curiquingue desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km, en el Cantón Girón Provincia del Azuay”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 21 de enero del 2025

Atentamente,



Christian Vinicio Sigua Paltin
0105257596



Franklin Michael Gualán Gualán
1105208712

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Daniel Leonidas Cárdenas Jaramillo con documento de identificación N° 0104031232, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE LA VÍA LA RAMADA – RÍO CURIQUINGUE DESDE LA ABSCISA 6+900 HASTA LA ABSCISA 9+200 KM, EN EL CANTÓN GIRÓN PROVINCIA DEL AZUAY, realizado por Christian Vinicio Sigua Paltin con documento de identificación N° 0105257596 y por Franklin Michael Gualán Gualán con documento de identificación N° 1105208712, 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, 21 de enero del 2025

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
DANIEL LEONIDAS
CARDENAS JARAMILLO

Ing. Daniel Leonidas Cárdenas Jaramillo, MSC.

0104031232

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de titulación, en primer lugar, a mi querida madre María Paltin, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental para darme fuerzas, inculcarme responsabilidad desde pequeño y motivarme a ser una mejor persona. Te dedico este logro con toda mi responsabilidad y honestidad, como un agradecimiento profundo por todo lo que has hecho por mí. Aunque enfrentes una enfermedad, confío en que la voluntad de Dios permitirá disfrutar de muchos años más juntos, para que sigas siendo parte de mi vida y me inspires a alcanzar las metas que me he propuesto.

Dedico este proyecto a mis hermanos Jonnathan y Geovanny y a su hija, quienes han sido un apoyo invaluable a lo largo de mi trayectoria educativa. Agradezco profundamente sus consejos, que me han guiado hacia la responsabilidad y me han motivado a mantenerme enfocado en mis estudios. Su acompañamiento ha sido fundamental en este camino, y este logro también es reflejo de su apoyo constante, mi hermano Geovanny es un apoyo incondicional, aunque él está lejos, pero siento su apoyo sus regaños y su ayuda.

También con mucho cariño a mi querido abuelito Juan, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida desde mi infancia. Gracias por ser el padre que nunca tuve, por cuidar de mi salud, velar por mis hermanos y brindarme siempre tus sabios consejos. Tus enseñanzas me han inspirado a ser una persona responsable, y este logro es también un reflejo de tu amor y apoyo incondicional.

También quiero dedicar este logro a mis compañeros de universidad: Marco Gutama, Pablo Flores, Franklin Gualán, Francisco Coraizaca, entre otros. Agradezco la amistad que hemos compartido desde el inicio de nuestra carrera, así como el apoyo mutuo y los momentos vividos juntos a lo largo de este camino. Su compañía ha sido una parte importante de esta experiencia.

Dedico también este proyecto a todos los ingenieros con quienes he tenido el honor de trabajar a lo largo de mi vida laboral y en la ejecución de proyectos, tanto dentro como fuera de la ciudad. Su experiencia y colaboración han enriquecido mi crecimiento profesional y personal, dejando una huella significativa en este recorrido.

Finalmente, quiero dedicar este logro a mi mejor amigo, socio y hermano de otra madre, Franklin Dután. La vida dio la oportunidad de conocernos y proyectarnos juntos para formar una sociedad y levantar nuestra pequeña empresa. Este esfuerzo compartido es fruto de nuestra dedicación, y estoy seguro de que, con el tiempo, seguiremos creciendo y alcanzando nuevos objetivos. Gracias por ser parte fundamental de este camino.

Christian Vinicio Sigua Paltin

Dedico esta tesis a las personas más maravillosas de mi vida: mi madre, por su amor incondicional, su tolerancia y su fe en mis capacidades, a mi padre por su sabiduría, sus enseñanzas y el ejemplo de fortaleza que me ha dado. Gracias por creer en mí a lo largo de mi camino, enseñarme el valor del trabajo duro y la perseverancia, además por darme la vida y las herramientas que necesito para afrontar cada desafío con valentía y determinación.

Dedico este logro a Sara Medina y Michele Gualán quienes fueron y son la inspiración para seguir adelante, les dedico de la manera muy especial y sincera, gracias por estar conmigo en los momentos difíciles de mi vida, por tu comprensión y gracias por compartir conmigo tus alegrías y desafíos.

Dedico también este logro a mis hermanos/as por el apoyo que me han brindado a lo largo de mis estudios, su compañía y aliento constante me hicieron más fuerte en los momentos difíciles.

Dedico este éxito a todos ustedes como un reflejo de todo lo que hemos pasado juntos, y cada página de este trabajo de titulación expresa gratitud por ser parte tan importante de este proceso y de mi crecimiento personal y profesional.

Franklin Michael Gualán

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a los ingenieros de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana, quienes guiaron con dedicación en este camino de formación profesional. Su generosidad al compartir sus conocimientos, experiencias laborales y trabajos realizados en obras ejecutadas en el ámbito profesional ha sido invaluable para desarrollo académico y personal. Su compromiso con nuestra enseñanza deja una huella significativa en cada uno de nosotros.

Agradezco sinceramente al Ingeniero Daniel Leonidas Cárdenas Jaramillo, quien desempeñó el valioso rol de tutor de proyecto de titulación. Su disposición para compartir sus conocimientos y brindarnos su guía fue fundamental para el desarrollo exitoso de este trabajo. Su apoyo constante y su paciencia al resolver nuestras dudas a lo largo del proceso marcaron una diferencia significativa en este camino.

*Christian Vinicio Sigua Paltin
Franklin Michael Gualán Gualán*

Tabla de contenido

1. TEMA	21
2. INTRODUCCION	21
3. PROBLEMA DE ESTUDIO	22
3.1. ANTECEDENTES	23
3.2. JUSTIFICACION	24
3.3. UBICACIÓN DEL PROYECTO	25
4. OBJETIVOS	26
4.1 Objetivo General	26
4.2 Objetivos Específicos	26
5. ESTADO DEL ARTE	27
6. CAPITULO II MARCO TEORICO	28
6.1. Carreteras	28
6.2 Clasificación de las carreteras	28
6.2.1. Según su función	28
6.2.2. Según el tipo de terreno:	29
6.2.3. Según el tráfico proyectado	29
6.3. Topografía	30
6.4. Estudio de trafico	31
6.4.1. Trafico Actual	31
6.4.2. Trafico futuro	31
6.4.3. Trafico Promedio Diario Actual (TPDA)	32
6.4.4. Proceso de cálculo de TPDA	32
6.4.5. Trafico proyectado	33
6.4.6. Clasificación de carreteras Acuerdo al tráfico	34
6.5. Estudio de suelos	34
6.5.1. Granulometría	35
6.5.2. Consistencia del suelo – Limite	35
6.5.3. Clasificación del suelo	35
6.5.4. Clasificación Sistema unificado de clasificación de suelo – SUCS	36
6.4.5. Proctor Normal y Modificado	37
6.4.6. CBR	38
6.6. Diseño Geométrico Horizontal	39
6.6.1. Curvas circulares simples	39
6.6.2. Curvas Circulares Compuestas	44
6.6.3. Curvas circulares compuestas de tres radios	45

6.6.4. Velocidad de diseño	46
6.6.5. Relación con la velocidad de circulación	47
6.6.6. Desplazamiento de un vehículo sobre una curva circular	47
6.6.7. Velocidad, curvatura, peralte y fricción lateral	50
6.6.8. Peralte.....	52
6.6.9. Sobre ancho en las curvas.....	53
6.6.10. Distancia de visibilidad	56
6.6.11. Distancia de Visibilidad para rebasamiento de un vehículo	60
6.7. Diseño Geométrico Vertical.....	62
6.7.1. Elementos geométricos que integran el alineamiento vertical	62
6.7.2. Tangentes verticales.....	62
6.7.3. Curvas Verticales	63
6.7.4. Curvas Verticales Convexas.....	63
6.7.5. Curvas Verticales Cóncavas.....	65
6.7.6. Curvas Verticales Simétricas	66
6.7.7. Curvas verticales asimétricas	68
6.7.8. Gradientes.....	69
6.8. Diseño de pavimento flexible	70
6.8.1. Variables de diseño	71
6.8.2. Subrasante	71
6.8.3. Variables de tiempo.....	72
6.8.4. Tránsito.....	72
6.8.5. Confiabilidad (R).....	74
6.8.6. Factores de equivalencia de carga por eje de la AASHTO	74
6.8.7. Error normal combinado SO	75
6.8.8. Nivel de confianza R (%)	76
6.8.9. Niveles de serviciabilidad.....	77
6.8.10. Modulo resiliente de la subrasante M_r	78
6.8.11. Propiedades mecánicas de los materiales.	78
6.8.12. Condiciones ambientales y de drenaje.....	80
6.8.13. Dimensionamiento	81
6.9. ESALs (Eje Carga Equivalentes).	82
6.10. Drenaje vial.....	83
6.10.1. Clasificación de las estructuras de drenaje	83
6.10.2. Drenaje Longitudinales	83
6.10.3. Cunetas	83

6.10.4. Localización, pendiente y velocidad	84
6.10.5. Forma de la Sección	84
6.11. Diseño Hidráulico cunetas	85
6.12. Alcantarillas.....	89
6.12.1. Recolección de información.....	90
6.12.2. Características de diseño	90
6.12.3. Análisis Hidrológico.....	91
6.12.4. Diseño Hidráulico para alcantarilla.....	92
6.12.15. Procedimiento de Diseño.....	95
6.13 Seguridad Vial	97
7. METODOLOGIA	98
7.1. Definición y planificación del proyecto	98
7.2. Recopilación de Datos y estudios Previos	99
7.2.1. Reconocimiento del campo.	99
7.2.2. Levantamiento topográfico.....	99
7.3. Trafico Promedio Diario Anual (TPDA)	101
7.3.1. Volumen horario de máxima demanda “VHMD”	102
7.3.2. Proceso de cálculo Trafico Promedio Diario Anual (TPDA).....	104
7.3.3. Factor de expansión (Fe).....	106
7.3.4. Cálculo del TPDA.....	107
7.3.5. Proyección Vehicular	108
7.4. Determinación del número equivalente ESAL’s.....	109
7.4.1. Clasificación del trafico	109
7.4.2. Determinación del factor equivalente de carga.....	110
7.5. Estudio de suelo	111
7.5.1. Estratigrafía.....	111
7.5.2. Calicata 1.....	112
7.5.3. Calicata 2.....	112
7.6. Diseño Geométrico	115
7.6.1. Velocidad de diseño	115
7.6.2. Velocidad de Circulación.....	115
7.6.3. Diseño Geométrico Horizontal.....	116
7.6.4. Diseño vertical.....	119
7.7. Diseño de Pavimentos flexible	120
7.8. Drenaje Vial.....	123
7.8.1. Estudio Hidrológico	123

7.8.2. Estación Meteorológica	123
7.8.3. Diseño de obra de drenaje.....	125
7.8.4. Coeficiente de escorrentía	129
7.8.5. Caudal de diseño	130
7.8.6. Diseño de cunetas	131
7.9. Alcantarillas	133
7.9.1. Ubicación	133
7.9.2. Pendiente.....	134
7.9.3. Longitud	134
7.9.4. Velocidad en la alcantarilla	134
7.9.5. Diseño de drenaje transversal.....	135
7.9.6. Cuencas aportación para alcantarillado	135
7.10. Seguridad vial y señalización	136
7.10.1. Seguridad vial	136
7.10.2. Señalización vial	137
7.11 Presupuesto	138
8. CONCLUSIONES.....	140
9. RECOMENDACIONES.....	141
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142
11. ANEXOS.....	143

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Población Girón Censo 2022	24
Ilustración 2	Ubicación del tramo de vía a diseñar abscisa 6+900 km a abscisa 9 + 200 km .	25
Ilustración 3	Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado.....	34
Ilustración 4	Consistencia del suelo - Limites	35
Ilustración 5	Prueba Proctor Modificado Norma ASTM 1577.....	38
Ilustración 6	Elementos geométricos de una curva circular simple	40
Ilustración 7	Curvatura por sistema arco-grado	42
Ilustración 8	Curvatura por sistema cuerda-grado	43
Ilustración 9	Concepto de Angulo de deflexión.....	44
Ilustración 10	Curva circular compuesta de dos radios.....	44
Ilustración 11	Elementos de una curva circular compuesta de tres radios	46
Ilustración 12	Efecto de la inclinación transversal de la calzada sobre un vehículo.....	48
Ilustración 13	Caso $W_p = F_p$	49
Ilustración 14	Caso $W_p < F_p$	49
Ilustración 15	Caso 4 $W_p > F_p$	50
Ilustración 16	Transición del peralte	53
Ilustración 17	Esquema para determinar el sobreechanco	54
Ilustración 18	Distancia De Visibilidad Mínima Para Parada De Un Vehículo, Criterio de Diseño: Pavimento mojados y gradiente Horizontal (0%).....	58
Ilustración 19	DISTANCIA DE VISIBILIDAD MINIMA PARA PARADA DE UN VEHICULO, Con (Correcciones por efecto de la gradiente longitudinal) Criterio de Diseño: Pavimento mojados cuesta abajo (-) y cuesta arriba (+)	59
Ilustración 20	Distancia de visibilidad de parada.....	59
Ilustración 22	Grafica de Coeficiente de fricción para.....	60
Ilustración 23	Distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos.....	61
Ilustración 24	Distancia mínima de visibilidad para	61
Ilustración 25	Tangente vertical.....	63
Ilustración 26	Curva verticales convexas mínimas	64
Ilustración 27	Curvas verticales cóncavas mínimas.....	66
Ilustración 28	Valores mínimos de diseño del coeficiente de “K”	66
Ilustración 29	Parábola de eje vertical, perfectamente simétrica.....	67
Ilustración 30	Curva vertical asimétrica cóncava	68

Ilustración 31	Punto mínimo de una curva vertical asimétrica	69
Ilustración 32	Valores de diseño de Gradientes Longitudinal	69
Ilustración 33	Espesor recomendados de sustitución de	72
Ilustración 34	Factores de equivalencia – Cuadro 85.....	73
Ilustración 35	Factores de distribución por carril.....	73
Ilustración 36	Niveles de confiabilidad sugeridos tabla 13.7	74
Ilustración 37	Error normal combinado S_o	76
Ilustración 38	Niveles de confiabilidad R	76
Ilustración 39	Desviación normal estandar Z_r	76
Ilustración 40	Serviciabilidad inicial P_o	77
Ilustración 41	Serviciabilidad final P_t	78
Ilustración 42	Coefficiente estructural a_1 para mezcla de concreto asfáltico	79
Ilustración 43	Coefficiente estructural a_2 para base granular no tratada.....	79
Ilustración 44	Coefficiente estructural a_3 para subbase granular no tratada	80
Ilustración 45	Calidad del drenaje.....	81
Ilustración 46	Valores de m_i recomendados para corregir.....	81
Ilustración 47	Espesores mínimos de capas.....	82
Ilustración 48	Velocidades del agua con que se erosionan diferentes materiales.....	84
Ilustración 49	Secciones típicas de cunetas	85
Ilustración 50	Dimensiones típicas de cunetas triangulares	85
Ilustración 51	Detalle escurrimiento en calzada de la vía	86
Ilustración 52	Corte de sumidero con desarenador	87
Ilustración 53	Rampa de descarga.....	87
Ilustración 54	Reducción de la pendiente de la cuneta mediante caídas	88
Ilustración 55	Disposición más conveniente de la cuneta respecto al pavimento.....	88
Ilustración 56	Cuneta tipo colector continuo	88
Ilustración 57	Valores máximos de velocidades no erosivas en cunetas.....	89
Ilustración 58	Elementos de una alcantarilla	89
Ilustración 59	Velocidades máximas permisibles (m/s) para.....	91
Ilustración 60	Coefficiente de escorrentía “C”.....	94
Ilustración 61	Coefficiente de rugosidad “n”.....	95
Ilustración 62	protección contra la socavación local.....	96
Ilustración 63	Reconocimiento de campo Vía la Ramada - Girón.....	99
Ilustración 64	Levantamiento Topográfico Don Con Lidar	100

Ilustración 65 Vía la Ramada – Girón Para el conteo Vehicular	101
Ilustración 66 Calicata 1	112
Ilustración 67 Calicata 2	113
Ilustración 68 Calicatas tramo 7+475 k m y 8+625 km	113
Ilustración 69 Desarrollo de ensayo de muestra de suelo	114
Ilustración 70 Ensayo CBR.....	114
Ilustración 71: Coeficiente de fricción lateral.....	116
Ilustración 72 Representación de las capas.....	123
Ilustración 73: Mapa de Ubicaciones de estaciones.....	124
Ilustración 74: Datos Mensuales De Precipitación Máxima En 24 Hrs. (mm).....	126
Ilustración 75: Resumen Regresión Potencial	126
Ilustración 76: Ecuación Resultante	126
Ilustración 77. Intensidades máximas (mm/h)	127
Ilustración 78 Áreas de aporte desde Autodesk InfraWorks	129
Ilustración 79. Coeficiente de escorrentía C	130
Ilustración 80. Sección típica cuneta triangular	132
Ilustración 81. Velocidades de agua que erosionan diferentes materiales.....	132
Ilustración 82. Velocidades máximas de alcantarillas.....	135
Ilustración 83. Total, de siniestros, lesionados y fallecidos en sitio en el ecuador Periodo 2011-2020.....	137

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1	<i>Coordenadas del Proyecto</i>	26
Tabla 2	<i>Clasificación de un terreno de acuerdo con una pendiente transversal</i>	29
Tabla 3	<i>Clasificación de Carreteras según MTOP 2003</i>	29
Tabla 4	<i>Sistema de Clasificación AASHTO</i>	36
Tabla 5	<i>Sistema de Clasificación SUCS</i>	37
Tabla 6	<i>Elementos geométricos de una curva circular simple</i>	40
Tabla 7	<i>Elementos geométricos de una curva circular compuesta de dos radios</i>	45
Tabla 8	<i>Radios para deflexiones pequeñas</i>	47
Tabla 9	<i>Radios mínimos de curva en función del peralte "e" y del coeficiente de fricción lateral "f"</i>	51
Tabla 10	<i>Valores limite permisible de "f" según el pavimento existente</i>	52
Tabla 11	<i>Valores de diseño de la distancia de visibilidad mínimas para paradas de Vehículo (m)</i>	57
Tabla 12	<i>Valores de diseño de la distancia de visibilidad mínimas para rebasamiento de un vehículo.</i>	61
Tabla 13	<i>Valores mínimos de diseño del coeficiente "K"</i>	64
Tabla 14	<i>Principales elementos que caracterizan esta parábola</i>	67
Tabla 15	<i>Periodos de análisis</i>	72
Tabla 16	<i>Resumen Conteo Vehicular la Ramada- Girón</i>	102
Tabla 17	<i>Volumen Horario De Máxima Demanda "VHMD"</i>	102
Tabla 18	<i>Volúmenes ambos sentidos</i>	103
Tabla 19	<i>Resumen semanal</i>	103
Tabla 20	<i>Cálculo del factor Horario</i>	104
Tabla 21	<i>Calculo Factor Diario</i>	104
Tabla 22	<i>Factor de ajustes semanal</i>	105
Tabla 23	<i>Consumo de combustibles año 2023</i>	106
Tabla 24	<i>Calculo Factores de mayoración para TPDA 2024</i>	106
Tabla 25	<i>TPDA 2024</i>	107
Tabla 26	<i>Factor de conversión</i>	108
Tabla 27	<i>Intensidad de tráfico transformada a vehículos livianos</i>	108
Tabla 28	<i>Tasa De Crecimiento Vehicular Cada 5 Años</i>	108
Tabla 29	<i>Resumen de tráfico Proyectado para 2044</i>	109
Tabla 30	<i>Clasificación de tráfico</i>	110
Tabla 31	<i>Clasificación del tráfico</i>	110
Tabla 32	<i>Resultados ESALs</i>	110
Tabla 33	<i>Resumen Estratigráfico</i>	111
Tabla 34	<i>Características del suelo calicata 7+475 km</i>	114
Tabla 35	<i>Características del suelo calicata 8+625 km</i>	115
Tabla 36	<i>Velocidad de circulación</i>	116
Tabla 37	<i>Radio mínimo de curvatura horizontal</i>	117
Tabla 38	<i>Valores de diseños de las distancias de visibilidad mínimas para un vehículo (m)</i>	118

Tabla 39 <i>Tabla de valores de diseños recomendados para rebasamiento de un vehículo (m)</i>	118
Tabla 40 <i>Valores mínimos de diseño de coeficiente “K” para determinar la longitud de la curva mínima verticales convexos mínimas</i>	119
Tabla 41 <i>Valores mínimos de diseño de coeficiente “K” para determinar la</i>	120
Tabla 42 <i>Datos evaluación de pavimento flexible método ASSHTO</i>	120
Tabla 43 <i>Resumen Hoja de cálculo Pavimento Flexible parte 1</i>	121
Tabla 44 <i>Resumen Hoja de cálculo Pavimento Flexible parte 2</i>	122
Tabla 45 <i>Resumen Hoja de cálculo y valor de diseño recomendado</i>	122
Tabla 46 <i>Condiciones de diseño según normas de diseño de pavimento flexible a cumplir</i>	122
Tabla 47 <i>Anuarios Meteorológicos</i>	124
Tabla 48 <i>Áreas de aporte</i>	128
Tabla 49 <i>Tabla de resultados de cálculo de caudales</i>	131
Tabla 50 <i>Diseño de cunetas para drenaje longitudinal</i>	132
Tabla 51 <i>Área de aporte</i>	135
Tabla 52 <i>Diámetros de alcantarilla</i>	136
Tabla 53 <i>Presupuesto Referencial</i>	139

ANEXOS

ANEXO 1. Valores de diseño recomendados MTOP	143
ANEXO 2. Velocidades de diseño (Km/h)	144
ANEXO 3. Distancia de Visibilidad mínima para parada de un vehículo Criterio de Diseño.	145
ANEXO 4. Elementos de la distancia de visibilidad para rebasamiento	145
ANEXO 5.	146
ANEXO 6 Tabla 2 A. 106 -03 Nacional de pesos y dimensiones: “Posibles combinaciones”	147
ANEXO 7 Alineamiento de fotos obtenidas por el dron	148
ANEXO 8 Generación de nube de puntos densa	148
ANEXO 9 Obtención de modelo 3d.	148
ANEXO 10 Obtención de ortofoto del levantamiento realizado por el dron.	149
ANEXO 11 Limpieza de vegetación y generación del DME	149
ANEXO 12 Pasamos el DEM a Global Mapper y podemos generar contornos cada metro para diseño	150
ANEXO 13. Señalización vial	150
ANEXO 14 - cantidades de obra	152

Resumen

El presente proyecto aborda una problemática vial relacionada con la conexión de la vía La Ramada-Río Curiquingue, en el cantón Girón. Esta ruta se caracteriza por su mal estado, es una vía de lastre que presentan baches, lodo, polvo y derrumbes en diferentes lugares y épocas del año, lo que limita el acceso adecuado para los habitantes de estas parroquias.

Se realizó a cabo el reconocimiento del sitio y el levantamiento topográfico utilizando un dron, cuyos datos fueron posteriormente procesados para el desarrollo del diseño. Adicionalmente, se realizó un estudio del tráfico vehicular mediante un conteo manual en ambas direcciones, con el fin de proyectar la demanda a 20 años. Con esta información, se procedió a elaborar el diseño geométrico tanto horizontal como vertical, siguiendo las normas de diseño establecidas por el MTOP.

A partir del estudio del suelo se determinó el valor del CBR, el cual es un factor clave en la definición de la estructura del pavimento. Con estos datos, se diseñaron los espesores correspondientes a la subbase, la base y la capa de rodadura.

Además, utilizando la información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se obtuvieron las intensidades máximas de lluvia a través de las curvas IDF, lo que permitió calcular los caudales necesarios para diseñar los sistemas de drenaje longitudinales y transversales. Esto garantiza un diseño adecuado y seguro, minimizando problemas para los usuarios y asegurando la durabilidad de la vía y el pavimento flexible.

Palabras Clave. Diseño geométrico y Estructural, Transporte, Infraestructura vial, TPDA, MTOP 2003 Y ASSHTO 93, Pavimentos, SUCS.

Abstract

This project addresses a road problem related to the connection of the La Ramada-Río Curiquingue Road, in the Girón canton. This route is characterized by its poor condition, it is a gravel road that has potholes, mud, dust and landslides in different places and times of the year, which limits adequate access for the inhabitants of these parishes.

The site recognition and topographic survey were carried out using a drone, whose data were later processed for the development of the design. Additionally, a study of vehicular traffic was carried out by means of a manual count in both directions, in order to project the demand for 20 years. With this information, the geometric design was prepared both horizontally and vertically, following the design standards established by the MTOP.

From the study of the soil, the CBR value was determined, which is a key factor in the definition of the pavement structure. With this data, the thicknesses corresponding to the subbase, the base and the tread layer were designed.

Furthermore, using the information provided by the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI), the maximum rainfall intensities were obtained through the IDF curves, which allowed the calculation of the flows necessary to design the longitudinal and transverse drainage systems. This guarantees an adequate and safe design, minimizing problems for users and ensuring the durability of the road and the flexible pavement.

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

GLOSARIO:

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

Fh: Factor Horario.

Fd: Factor Diario

Fs: Factor Semanal

Fm: Factor Mensual

Intersección: Área de calzadas que se cruzan o convergen.

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

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.

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.

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual

To: Tráfico inicial en un período de tiempo.

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

MTOP: Ministerio de Transporte y obras Públicas.

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

MOP: Ministerio de obras Publicas.

1. TEMA

Diseño Geométrico y Estructural de la vía La Ramada — Río Curiquingue desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km, en el Cantón Girón Provincia del Azuay.

2. INTRODUCCION

El diseño geométrico y estructural de una vía es un proceso fundamental en la planificación y construcción de infraestructuras viales que garantizan la seguridad, eficiencia y durabilidad del transporte. Este proceso involucra la consideración de diversos factores, como las características del terreno, el volumen de tráfico previsto, y las necesidades específicas de los usuarios.

El diseño geométrico se refiere a la configuración horizontal y vertical de la vía, incluyendo elementos como alineaciones, pendientes y radios de curvatura. Estos aspectos son cruciales para asegurar una circulación fluida y segura, minimizando riesgos de accidentes y optimizando la experiencia del usuario.

Por otro lado, el diseño estructural se centra en la capacidad de la vía para soportar las cargas vehiculares y las condiciones ambientales a lo largo del tiempo. Esto incluye la selección de materiales adecuados, la determinación del espesor del pavimento y la evaluación de factores como la resistencia al desgaste y la deformación.

El objetivo de este proyecto es presentar un enfoque integral que considere tanto el diseño geométrico como el estructural, garantizando una vía que no solo cumpla con los estándares técnicos, sino que también responda a las necesidades de las comunidades que la utilizan. Al mejorar la calidad de las vías, se busca fomentar el desarrollo económico y social de la región, facilitando el transporte de bienes y personas de manera más eficiente y segura.

Se define que la vía La Ramada-Río Curiquingue, ubicada en el cantón Girón, es un importante corredor de transporte que conecta diversas parroquias Cantones y comunidades rurales. Sin embargo, su estado actual presenta serias deficiencias que afectan la movilidad y la calidad de vida de los habitantes de la estas parroquias.

A lo largo del año, esta vía se ve gravemente afectada por condiciones climáticas adversas, lo que ha resultado en la formación de baches, acumulación de lodo y polvo, y derrumbes en tramos específicos. Estas problemáticas limitan el acceso de agricultores, ganaderos y madereros, quienes dependen de esta ruta para transportar sus productos y realizar actividades cotidianas.

La falta de un mantenimiento adecuado y el uso de materiales de baja calidad han contribuido a un deterioro progresivo de la vía, haciendo necesario un análisis detallado de su situación actual.

Un diagnóstico preciso permitirá establecer un plan de acción que contemple tanto la rehabilitación de la infraestructura existente como el diseño de mejoras a largo plazo.

Este informe se propone evaluar el estado actual de la vía La Ramada-Río Curiquingue, identificando las principales problemáticas y proponiendo soluciones que promuevan un desarrollo vial sostenible y eficiente, en beneficio de toda la comunidad.

3. PROBLEMA DE ESTUDIO

La vía La Ramada-Río Curiquingue enfrenta diversas problemáticas que afectan tanto su diseño geométrico como estructural, impactando negativamente en la movilidad y seguridad de los usuarios. A continuación, se describen las principales dificultades identificadas en este contexto:

Condiciones Geométricas Inadecuadas: La alineación horizontal y vertical de la vía presenta deficiencias, como curvas cerradas y pendientes pronunciadas, que aumentan el riesgo de accidentes y dificultan el tránsito, especialmente en condiciones climáticas adversas.

Deterioro del Pavimento existente (lastre): La falta de mantenimiento ha llevado a la formación de baches y deformaciones en la superficie de la vía. Esto no solo genera incomodidad en la conducción, sino que también puede dañar los vehículos y limitar el acceso.

Inestabilidad del Terreno: La zona es propensa a derrumbes y deslizamientos, especialmente durante la temporada de lluvias. Esto representa un riesgo constante para la seguridad de los usuarios y afecta la continuidad del acceso.

Falta de Señalización y Seguridad Vial: La carencia de señalización adecuada y de medidas de seguridad vial agrava la situación, ya que los usuarios carecen de información necesaria para transitar de manera segura.

Impacto en el Desarrollo Económico: La inadecuada infraestructura vial limita el acceso a mercados y servicios esenciales, afectando directamente la actividad agrícola, ganadera y maderera de la región.

Ante estas problemáticas, es crucial realizar un estudio exhaustivo del diseño geométrico y estructural de la vía La Ramada-Río Curiquingue. Esto permitirá identificar soluciones efectivas que mejoren la transitabilidad, la seguridad y, en última instancia, la calidad de vida de los habitantes del cantón Girón y poblaciones aledañas.

3.1. ANTECEDENTES

En el país, uno de los problemas más significativos es la insuficiencia de vías en condiciones adecuadas que aseguren la seguridad y faciliten la conexión entre ciudades, cantones y parroquias de manera rápida y eficiente, utilizando diversos medios de transporte. Los diseños viales deben contemplar todos los aspectos técnicos relevantes, incluyendo la seguridad, la señalización y el impacto en la economía y la sostenibilidad del servicio.

Desde la antigüedad, las vías han sido esenciales para el desarrollo de civilizaciones. Las primeras rutas fueron senderos naturales que evolucionaron hacia caminos de tierra y posteriormente a carreteras pavimentadas.

A lo largo del tiempo, se han establecido normativas y códigos técnicos que regulan el diseño de vías. Estos documentos consideran aspectos como la geometría de la carretera, el tráfico esperado y las condiciones ambientales.

La Prefectura del Azuay, debido a diversos factores económicos y a la falta de una adecuada planificación vial, no ha construido nuevas carreteras en la zona que abarca Girón y Nabón. Como resultado, en la actualidad, los habitantes de estas dos poblaciones deben recorrer 66.7 km o 1 hora y 12 minutos para conectarse entre cantones. Esta distancia representa un obstáculo para el desarrollo económico y la movilidad en ambos cantones.

La vía La Ramada-Río Curiquingue se construyó en un periodo en el que la infraestructura vial comenzó a ser prioritaria para el desarrollo regional. Su construcción fue impulsada por la necesidad de mejorar la conectividad entre comunidades rurales y centros urbanos, facilitar el acceso a mercados y promover el transporte de productos agrícolas y ganaderos.

Esta vía atraviesa un terreno montañoso y variado, lo que ha presentado desafíos tanto en su construcción como en su mantenimiento. La región es rica en recursos naturales y agrícolas, lo que justifica la necesidad de una vía eficiente que permita el transporte de estos productos hacia mercados locales y regionales.

Sin embargo, las condiciones climáticas y la topografía montañosa han dificultado el mantenimiento adecuado de la vía, resultando en tramos deteriorados. Durante las temporadas de lluvia, la transitabilidad puede verse afectada, generando problemas de conectividad para las comunidades.

El cantón Girón, situado a 36 km de la ciudad de Cuenca, la capital de Azuay, es un destino turístico conocido por la Chorrera y la Laguna de Zhogra. Con una altitud de 2.162 m.s.n.m. y

una temperatura promedio de 15,5 °C, Girón limita al norte con el cantón Cuenca; al sur con el cantón Nabón; al este con los cantones Sígsig y Nabón; y al oeste con los cantones Santa Isabel y San Fernando. Su extensión es de 346,5 km², lo que representa el 4,3 % del territorio provincial. La cabecera cantonal ocupa el 68,9 % del territorio del cantón, la ciudad en si tiene una población de 4.353 habitantes y la parroquia Girón en su conjunto tiene una población de 8.441 habitantes según datos INEC 2022.(INEC, 2022)

Ilustración 1 Población Girón Censo 2022



Fuente: (INEC, 2022)

3.2. JUSTIFICACION

IMPORTANCIA DE LA VÍA

El objetivo de este proyecto es mejorar la situación vial de las comunidades cercanas a la Vía Río Curiquingue, abordando así la problemática de comunicación entre Río Curiquingue, Nabón, Girón, Pasaje, entre otros. La comunidad requiere la elaboración de este diseño para evaluar la viabilidad del proyecto, lo que permitirá, en el futuro, beneficiar directamente a las familias que residen en la zona.

Al contar con esta vía, se fomentará la economía de la región mediante un transporte más corto y eficiente, lo que reducirá los costos para agricultores y ganaderos, mejorando así su calidad de vida. Esta mejora se reflejará en la comunidad a través de la inversión en sistemas de educación y atención médica, que se establecerán gracias a la conectividad vial, permitiendo movilizar recursos humanos para brindar los servicios necesarios.

Esta vía beneficiará a una población de 8,441 habitantes de las parroquias de Girón. Actualmente, la distancia entre el cantón Nabón y Girón es de 66 km; con esta nueva vía pavimentada, se reduciría la comunicación entre cantones a 35 km, lo que implicaría un ahorro de combustible, pasando de 1.42 galones a 0.70 galones.

El acceso a la comunidad del Río Curiquingue está afectado por la falta de mantenimiento y mejoras viales por parte de los GAD municipales. Esta situación impide una intervención adecuada en la vía, dificultando el acceso y reduciendo las conexiones entre cantones. Es necesario mejorar la infraestructura de la vía, que actualmente es de lastre, mediante la pavimentación flexible, la instalación de señalización, iluminación, alcantarillado y medidas para la gestión de precipitaciones. Si se aplican las normas de diseño apropiadas, se podría lograr una vía de primer orden.

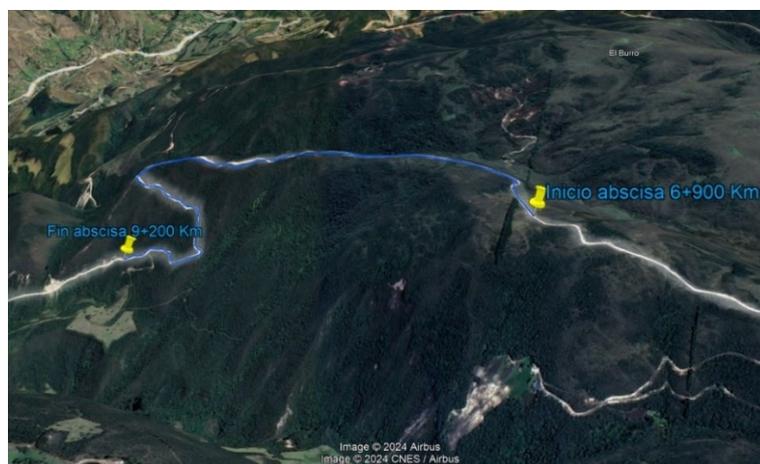
La vía La Ramada-Río Curiquingue es una carretera de lastre existente que resulta útil para varias comunidades de los dos cantones, ya que facilita su conexión. La región es rica en producción agrícola, ganadería y sitios turísticos. Sin embargo, se presentan macro deslizamientos debido a la falta de mantenimiento, lo que está generando problemas para las comunidades.

Además, la falta de pavimento en esta vía provoca problemas ambientales, como la generación de polvo, el desgaste de los vehículos y dificultades en la movilidad de la población que utiliza esta ruta. Asimismo, la ausencia de pavimento afecta el acceso a las comunidades, ya que no hay transporte público ni autobuses que faciliten el traslado de los habitantes a sus trabajos, centros de estudio, centros de salud, así como para actividades relacionadas con la ganadería y la agricultura.

3.3. UBICACIÓN DEL PROYECTO

La zona de estudio se encuentra en el sector La Ramada - Río Curiquingue, dentro del cantón Girón, y abarca el tramo desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 kilómetros. Durante una visita técnica para evaluar la vía, se verificó que el acceso es de lastre y se identificaron diversos problemas en la carretera.

Ilustración 2 *Ubicación del tramo de vía a diseñar abscisa 6+900 km a abscisa 9 + 200 km*



Fuente: Google Earth Pro

Tabla 1

Coordenadas del Proyecto

	Coordenadas Este (m)	Coordenada Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)
Inicio	708224.00 m E	9640825.00 m S	3109
Fin	707107.00 m E	9641307.00 m S	2908

Fuente: Google Earth Pro

El proyecto está ubicado al sur de la provincia de Azuay, en el cantón Girón. Esta vía, que conecta los cantones de Girón y Nabón, Tiene una longitud de 35 km, el tramo a diseñar tiene una longitud 2.3 km comprende desde las abscisas 6+900 hasta 9+200 km y se situará en los sectores de La Ramada-Río Curiquingue y Potrerillos. La vía propuesta brindará una conexión adecuada y segura, tanto en términos de vialidad, diseño como señalización.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Diseño Geométrico y Estructural de la vía La Ramada – Río Curiquingue desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km, en el Cantón Girón Provincia del Azuay

4.2 Objetivos Específicos

1. Ejecutar el conteo de tráfico (TPDA) en la vía La Ramada-Río Curiquingue, desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km.
2. Realizar el levantamiento topográfico, tráfico, suelo, Diseño Geométrico y Estructural y pavimento flexible de la vía La Ramada-Río Curiquingue, desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km.
3. Evaluar las obras existentes a lo largo de la vía incluyendo estabilidad de taludes, trazado vial y obras hidráulicas (alcantarillados) en la vía La Ramada-Río Curiquingue, desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km.
4. Realizar el estudio de la capacidad portante del suelo de la vía La Ramada-Río Curiquingue, desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km.
5. Realizar el Diseño Geométrico de la vía La Ramada-Río Curiquingue, desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km.

6. Realizar el diseño estructural de la vía La Ramada-Río Curiquingue, desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km.

5. ESTADO DEL ARTE

El diseño geométrico y estructural de vías en Ecuador ha evolucionado en respuesta a las características geográficas, climáticas y sociales del país. A continuación, se presenta un resumen del estado del arte en este ámbito:

- **Normativas y Regulaciones:** El diseño de vías en Ecuador se rige por normas establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE), que incluyen lineamientos técnicos para el diseño geométrico y estructural. Estas regulaciones buscan garantizar la seguridad vial, la durabilidad de la infraestructura y la sostenibilidad ambiental. (MTOPE, 2003)
- **Enfoque Geométrico:** El diseño geométrico se ha centrado en la adaptación a las condiciones del terreno, particularmente en regiones montañosas y rurales. Se emplean herramientas modernas, como software de modelado y simulación, para optimizar alineaciones horizontales y verticales, considerando aspectos como radios de curvatura, pendientes y visibilidad.
- **Efectos Climáticos:** Dada la diversidad climática de Ecuador, los diseños actuales consideran la influencia de factores como la lluvia intensa y la erosión. Se están desarrollando estrategias para mitigar los efectos del clima, como drenajes adecuados y la estabilización de taludes.
- **Investigación y Desarrollo:** Las Universidades y centros de investigación en Ecuador están contribuyendo a la mejora de los diseños viales mediante estudios académicos y proyectos de investigación aplicada. Estos trabajos abordan temas como el comportamiento del pavimento, la dinámica del tráfico y la seguridad vial.
- **Enfoque Integral de una vía:** Recientemente, ha habido un movimiento hacia un enfoque integral en la planificación vial, que considera no solo el diseño físico, sino también aspectos sociales, económicos y ambientales. Se busca involucrar a las comunidades en el proceso de planificación para asegurar que las vías respondan a sus necesidades.
- **Proyectos de Infraestructura:** Varios proyectos emblemáticos han sido implementados en Ecuador, destacando la importancia del diseño geométrico y estructural en la

conectividad nacional. Estas obras han servido como referencia para mejorar prácticas y técnicas en futuros desarrollos.

Es importante el diseño geométrico y estructural de vías en Ecuador refleja una creciente sofisticación y atención a las particularidades del entorno, promoviendo la sostenibilidad y la seguridad vial en el país. La continua investigación y la implementación de nuevas tecnologías serán fundamentales para abordar los desafíos que enfrenta la infraestructura vial ecuatoriana.

6. CAPITULO II MARCO TEORICO

6.1. Carreteras

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) de Ecuador, una carretera se define como una infraestructura de transporte diseñada y construida dentro de una franja de terreno denominada derecho de vía, destinada a permitir la circulación segura, continua y eficiente de vehículos. Su diseño debe cumplir con normas técnicas que garanticen niveles adecuados de seguridad, comodidad y funcionalidad, considerando factores como el tipo de vía, el volumen de tránsito y las condiciones geográficas, ambientales y sociales del entorno. El diseño considera factores externos como topografía, geología, tránsito y clima, además de factores internos como velocidades, seguridad y armonía geométrica.(MTO, 2003)

6.2 Clasificación de las carreteras

6.2.1. Según su función

1. **Carreteras primarias o de primer orden:** “Son aquellas vías troncales, transversales y de accesos a las capitales de los Departamentos, que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y de consumo del país y de éste con los demás países. Este tipo de carreteras puede ser de calzadas divididas según las exigencias del proyecto, y deben ser siempre pavimentadas”.(Cárdenas Grisales, 2013)
2. **Carreteras secundarias o de segundo orden:** “Son aquellas vías que unen cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria. Las carreteras consideradas como Secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado”.(Cárdenas Grisales, 2013)
3. **Carreteras terciarias o de tercer orden:** “Son aquellas vías de acceso que unen cabeceras municipales con sus veredas, o que unen veredas entre sí. Las carreteras

4. consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deben cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras Secundarias”.(Cárdenas Grisales, 2013)

6.2.2. Según el tipo de terreno:

Determinada por la topografía predominante en el tramo en estudio. De allí que, a lo largo de una carretera pueden presentarse tramos homogéneos en diferentes tipos de terreno. Éstos se clasifican con base en las pendientes de sus laderas naturales en el entorno y transversalmente a la vía.

Las pendientes longitudinales y transversales del terreno son las inclinaciones naturales del terreno, medidas en el sentido longitudinal y transversal del eje de la vía. A su vez, la línea de máxima pendiente sobre el terreno natural, es la inclinación máxima del terreno natural en cualquier dirección, alrededor del entorno del eje de la vía.(Cárdenas Grisales, 2013)

los terrenos se clasifican en plano (P), ondulado (O), montañoso (M) y escarpado (E).

Tabla 2

Clasificación de un terreno de acuerdo con una pendiente transversal

Tipo de terreno	Pendiente Transversal
Llano	Menos al 3%
Ondulado	3% al 6%
Montañoso	6% al 8%
Escarpado	Mayores al 8%

Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

6.2.3. Según el tráfico proyectado

Para el diseño de carretera en el país, se recomienda la clasificación en función del pronóstico de tráfico para un período de 15 ó 20 años.

Tabla 3

Clasificación de Carreteras según MTOP 2003

Función	Categoría de la vía	TPDA
Corredor Arterial	R.I o R-II (Tipo)	> 8000
Corredor Arterial	I Todos	3000 - 8000

Colectora	II Todos	1000 - 3000
Colectora	III Todos	300 - 1000
Colectora	IV 5.5 E. 6 Y 7	100 - 300
Vecinal	V	< 100

Fuente: (MTO, 2003)

6.3. Topografía

El levantamiento topográfico en diseño de vías es un proceso especializado dentro de la ingeniería civil, cuyo objetivo es recopilar y representar de manera precisa las características del terreno donde se proyectará una vía (carretera, ferrocarril, etc.). Este levantamiento proporciona la información necesaria para diseñar, planificar y construir la vía de manera eficiente y segura, teniendo en cuenta las condiciones del terreno, las posibles interferencias y las necesidades del proyecto.

Las actividades principales en un levantamiento topográfico para diseño de vías incluyen:

- **Determinación de elevaciones y pendientes:** Se miden las elevaciones del terreno para estudiar las pendientes y poder definir la alineación vertical de la vía.
- **Recopilación de información sobre características del terreno:** Se identifican elementos relevantes como accidentes geográficos (colinas, valles, ríos), estructuras existentes (puentes, edificios, caminos), y obstáculos naturales o artificiales que puedan afectar la construcción de la vía.
- **Medición de distancias y ángulos:** Se toman medidas precisas de distancias y ángulos en el terreno, que serán la base para la trazabilidad de la vía.
- **Estudio de la topografía y geomorfología:** Se analiza el tipo de suelo, las condiciones geológicas y la estabilidad del terreno, aspectos esenciales para determinar el tipo de diseño y la obra civil necesaria.

Este levantamiento es esencial para la disección de la traza de la vía, la definición de curvas horizontales y verticales, y el diseño de drenajes y otros elementos de infraestructura necesarios para garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la vía. Se realiza generalmente mediante equipos de medición como estaciones totales, GPS, y a menudo con la ayuda de tecnologías avanzadas como el levantamiento aéreo mediante drones.

6.4. Estudio de tráfico

El diseño de una carretera debe basarse en datos sobre tráfico, para compararlos con la capacidad máxima que la vía puede soportar. El tráfico, por lo tanto, influye directamente en las características del diseño geométrico.

La información de tráfico debe incluir el análisis del tráfico actual (volúmenes y tipos de vehículos) y pronósticos futuros. En proyectos de mejoramiento de carreteras existentes o construcción de nuevas rutas en áreas ya conectadas, es relativamente sencillo cuantificar el tráfico actual y estimar la demanda futura. Sin embargo, en zonas poco desarrolladas o inexploradas, estimar el tráfico es más incierto, algo común en Ecuador, donde existen amplias regiones de este tipo.

Es importante recordar que estos proyectos no son aislados, sino que están vinculados a otros, como la colonización, agricultura, regadío, energía y comercialización. Así, la demanda futura de tráfico dependerá de la acción conjunta de estos proyectos y debe analizarse en ese contexto.

Además, se recomienda estimar no solo la demanda más probable, sino también cifras máximas y mínimas, para evaluar el impacto de posibles escenarios extremos.(MTOPI, 2003).

6.4.1. Tráfico Actual

El análisis del tráfico actual es fundamental en el diseño de vías en Ecuador, ya que permite evaluar la capacidad de la infraestructura para manejar el volumen vehicular. En un país con diversas características geográficas y socioeconómicas, este análisis debe considerar factores locales y culturales que afectan la circulación. El diseño geométrico y estructural de las vías debe adaptarse al tráfico real, garantizando eficiencia y seguridad en áreas urbanas, suburbanas y rurales. Estos datos son clave para determinar la capacidad de la vía, tipo de pavimento, número de carriles, seguridad y las mejoras necesarias a corto y largo plazo.

6.4.2. Tráfico futuro

El pronóstico del volumen y composición del tráfico se basa en el tráfico actual, con proyecciones a 15 o 20 años considerando el crecimiento normal, el generado y el asociado al desarrollo. Estas proyecciones influyen en la clasificación de carreteras, la velocidad de diseño y los parámetros geométricos del proyecto. La predicción de tráfico también ayuda a determinar cuándo una carretera necesita mejorar su superficie o aumentar su capacidad, comparando el flujo máximo soportado con el volumen horario anual más alto (30ava hora). En Ecuador, aunque no se han realizado estudios sobre la 30ava hora, investigaciones indican que el volumen máximo en relación al TPDA varía entre el 5% y 10%.(MTOPI, 2003)

6.4.3. Trafico Promedio Diario Actual (TPDA)

El Volumen de Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se calcula considerando lo siguiente:

- En vías de un solo sentido, se toma el tráfico de ese sentido.
- En vías de dos sentidos, se suman los volúmenes de ambos sentidos, ya que generalmente el número de vehículos al final del día es similar en ambos.
- En autopistas, se calcula el TPDA para cada sentido, considerando el flujo direccional, es decir, el porcentaje de vehículos en cada sentido, lo que influye en las composiciones y volúmenes de tráfico.

Idealmente, el TPDA se obtiene a partir de datos de estaciones de contaje permanente que proporcionen información diaria, semanal y estacional. Si no hay 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 se ajustan según las variaciones estacionales y, si están disponibles, se ajustan con datos de estaciones permanentes o patrones como el consumo de gasolina o las cosechas.(MTOPI, 2003)

6.4.4. Proceso de cálculo de TPDA.

a. Objetivo.

- Se determinará el tráfico promedio diario anual (T.P.D.A.), a partir de observaciones puntuales del tráfico y de los factores de variación.

b. Observaciones del campo.

- Es necesario realizar conteos vehiculares que permitan conocer el nivel de tráfico existente.

c. Tipos de conteo.

- **Manuales:** Son irremplazables por proporcionarnos información sobre la composición del tráfico y los giros en intersecciones de las que mucho depende el diseño geométrico de la vía.
- **Automáticos:** Permiten conocer el volumen total del tráfico. Siempre deben ir acompañados de conteos manuales para establecer la composición del tráfico.
- Con los equipos de conteo automático debe tenerse mucho cuidado con su calibración, ya que cuentan pares de ejes (por cada dos impulsos percibidos registran un vehículo).

d. Periodo de observación

- Para un estudio definitivo, se debe tener por lo menos un conteo manual de 7 días seguidos en una semana que no esté afectada por eventos especiales.

- Adjunto a esta información, es importante tener datos de un conteo automático por lo menos durante un mes para cuantificar el volumen total de tráfico y correlacionar con la composición registrada en la semana.

e. Variaciones de tráfico.

- Como variaciones de tráfico se conoce a los factores que permiten establecer relaciones entre observaciones actuales y puntuales de tráfico de los datos estadísticos de lo ocurrido con anterioridad, llegando así a determinar el TPDA del año en el que se realice el estudio.
- Esta relación se puede establecer considerando el hecho de que la población se mueve por hábitos y al no existir una variación en la estructura social de un país, prácticamente estas variaciones permanecerán constantes en períodos más o menos largos, por lo que el TPDA se puede llegar a calcular a base de muestreos. (MTOPI, 2003)

f. Cálculo de variaciones (factores).

- Para llegar a obtener el TPDA a partir de una muestra, existen cuatro factores de variación que son:
- **FACTOR HORARIO (FH):** permite transformar el volumen de tráfico que se haya registrado en un determinado número de horas a Volumen Diario Promedio.
- **FACTOR DIARIO (FD):** transforma el volumen de tráfico diario promedio en Volumen Semanal Promedio.
- **FACTOR SEMANAL (FS):** transforma el volumen semanal promedio de tráfico en Volumen Mensual Promedio.
- **FACTOR MENSUAL (FM):** transforma el volumen mensual promedio de tráfico en Trafico Promedio Diario Anual (TPDA).

$$TPDA = T_o \times FH \times FD \times FS \times FM$$

Donde:

$$T_o = \text{Trafico observado.}$$

6.4.5. Trafico proyectado

Se basa en el tráfico actual y la tasa de crecimiento anual del tráfico. Una fórmula comúnmente utilizada es:

$$T_p = T_o \times (1 + r)^n$$

Donde:

T_p = Tráfico proyectado (volumen de tráfico esperado en el futuro)

T₀= Tráfico actual observado (volumen de tráfico en el presente)

r = Tasa de crecimiento anual del tráfico (expresada como decimal)

n = Número de años en el futuro para el que se realiza la proyección.

Este modelo asume que el tráfico crece a una tasa constante cada año. En casos más complejos, también pueden considerarse factores adicionales como el crecimiento económico, el desarrollo urbano, o la implementación de nuevas infraestructuras.

6.4.6. Clasificación de carreteras Acuerdo al tráfico.

Para el diseño de carreteras en el país, se recomienda la clasificación en función del pronóstico de tráfico para un período de 15 ó 20 años.

Ilustración 3 Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado

CLASIFICACION DE CARRETERAS EN FUNCION DEL TRAFICO PROYECTADO	
Clase de Carretera	Tráfico Proyectado TPDA *
R-I o R-II	Más de 8.000
I	De 3.000 a 8.000
II	De 1.000 a 3.000
III	De 300 a 1.000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

* El TPDA indicado es el volumen de tráfico promedio diario anual proyectado a 15 o 20 años. Cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7.000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera, cuando se efectúa el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes.

Fuente: (MTO, 2003)

6.5. Estudio de suelos

Para el estudio del suelo se realizaron diferentes ensayos de laboratorio en analizar las características físicas, mecánicas y químicas del terreno donde se va a construir una carretera, calle o cualquier tipo de vía. Este estudio tiene como objetivo principal proporcionar la información necesaria para diseñar una vía que sea segura, duradera y funcional, asegurando que el suelo pueda soportar las cargas del tráfico y resistir las condiciones climáticas sin sufrir fallos estructurales.

6.5.1. Granulometría

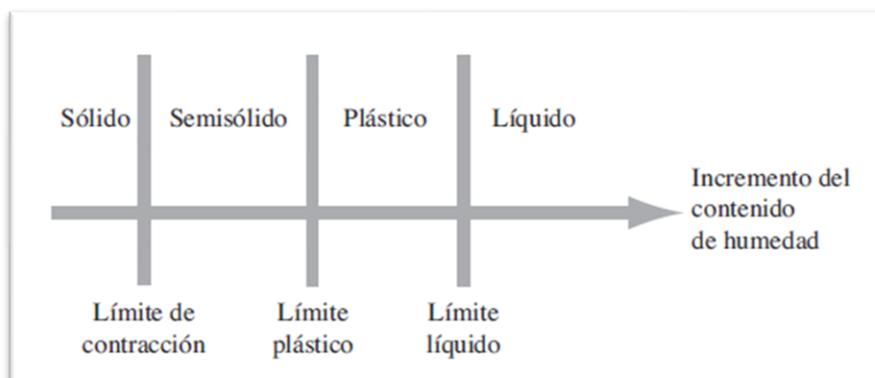
La granulometría es la representación gráfica de la distribución de los tamaños de las partículas que constituye la masa de un suelo. Para ello se hace pasar una muestra ya sea inalterada o alterada por tamices o mallas.

De acuerdo al sistema de clasificación SUCS son suelos finos (limos y arcillas) aquellos que pasan la malla número 200 o 0.075 mm de diámetro, arenas los suelos que pasan el tamiz No.4 o 4.75 mm y retiene el tamiz No. 200 y gravas aquellas partículas que retiene el tamiz No.4

6.5.2. Consistencia del suelo – Limite

Cuando los minerales de arcilla están presentes en el suelo de grano fino, el suelo se puede remover en presencia de algo de humedad sin que se desmorone. Esta naturaleza cohesiva se debe al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. En 1900, un científico sueco llamado Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Por lo tanto, sobre una base arbitraria, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido. (BRAJA M, 2013)

Ilustración 4 *Consistencia del suelo - Límites*



Fuente: (BRAJA M, 2013)

6.5.3. Clasificación del suelo

Los suelos con propiedades similares se agrupan en función de sus características mecánicas y comportamiento en ingeniería. Los sistemas de clasificación permiten expresar de manera concisa las propiedades generales de los suelos, que son muy diversas. Actualmente, los sistemas de clasificación más utilizados son el de la American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, ambos basados en la distribución

granulométrica y la plasticidad. El AASHTO es comúnmente empleado por los departamentos de carreteras, mientras que los ingenieros geotécnicos prefieren el Sistema Unificado. En este capítulo se abordará el procedimiento de clasificación de suelos mediante ambos sistemas.(BRAJA M, 2013)

Este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Ha sido objeto de varias revisiones, con la actual versión propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en 1945 (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145).

De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7.

Tabla 4

Sistema de Clasificación 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: (BRAJA M, 2013)

6.5.4. Clasificación Sistema unificado de clasificación de suelo – SUCS

La forma original de este sistema fue propuesta por Casagrande en 1948 para su uso en los trabajos de construcción del aeródromo realizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En colaboración con el U.S. Bureau of Reclamation, este sistema fue revisado en 1952. En la actualidad, es ampliamente utilizado por los ingenieros (Norma ASTM D-2487). El Sistema Unificado de Clasificación.

Clasifica los suelos en dos grandes categorías:

Tabla 5*Sistema de Clasificación SUCS*

Sistema de Clasificación SUCS	
Material (Suelos)	Símbolos
Suelos de grano grueso en estado natural $\leq 50\%$ pasante por el tamiz # 200	G: Grava o suelos de grava
	S: Arena o suelos arenosos
Suelos de grano fino $50\% \geq$ pasante por el tamiz # 200	M: Limo Inorgánico
	C: Arcilla inorgánica
	O: Limos orgánicos o arcillas
	Pt: turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos.

Fuente: (BRAJA M, 2013)

6.4.5. Proctor Normal y Modificado

La prueba Proctor estándar es un ensayo que permite determinar la relación entre la densidad seca y la humedad de compactación de un material. Los resultados de esta prueba se utilizan para controlar la calidad de la compactación en obras.

La prueba Proctor estándar se realiza compactando el material en tres o cinco capas, dentro de un molde de 10.1 cm o 15.24 cm de diámetro. Para cada capa, se aplican 25 o 56 impactos con un pisón de 2.5 kg o 4.54 kg.

Existe otro tipo de ensayo Proctor, el Proctor modificado, que se realiza de acuerdo con las normas ASTM D 1557 /1577 / AASHTO T 180, método D. La diferencia entre ambos ensayos es la energía utilizada, ya que el Proctor modificado utiliza un pisón más pesado y con una altura de caída mayor.

Ilustración 5 Prueba Proctor Modificado Norma ASTM 1577

Tabla 5.3 Especificaciones de la prueba Proctor modificada (Basadas en Norma ASTM Prueba 1577)

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de la caída del martillo	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes de martillo por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2696 kN-m/m ³	2696 kN-m/m ³	2696 kN-m/m ³
Suelo utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.75 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm.	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm.

Fuente: (BRAJA M, 2013)

6.4.6. CBR

El ensayo CBR se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de firme, explanadas, así como en la clasificación de terrenos.

Las siglas CBR significan Californian Bearing Ratio y proviene de que este ensayo fue desarrollado, antes de la segunda guerra mundial, por el Departamento de Transportes de California.

La prueba CBR de suelos consiste básicamente en compactar un terreno en unos moldes normalizados, sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado.

Se rige por la norma ASTM 1883 o por la norma UNE 103502 entre otras.

La prueba del CBR consiste en determinar la carga que hay que aplicar a un pistón circular de 19,35 cm² para introducirlo en una muestra de suelo a una velocidad de 1,27 mm/min y hasta obtener una penetración de 2,54 mm.

A través de este procedimiento se determina lo que se llama el Índice CBR que es la relación entre la carga determinada y la que se obtiene por el mismo procedimiento para una muestra tipo de roca machacada. Se expresa en porcentaje.

Este método de prueba cubre la determinación de la relación de carga de California (CBR) de muestras compactadas en laboratorio. El método de prueba está destinado principalmente, pero

no se limita a, evaluar la resistencia de materiales que tienen un tamaño máximo de partícula inferior a 3/4 pulg. (19 mm).

Se deben probar materiales que tienen un tamaño máximo de partícula mayor que 3/4 de pulgada (19 mm), este método de prueba permite modificar la gradación del material de modo que todo el material utilizado para la prueba pase el tamiz de 3/4 de pulgada (19 mm) mientras que la fracción total de grava (material que pasa el tamiz de 3 pulgadas (75 mm) y queda retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm)) permanece igual. Si bien tradicionalmente se ha utilizado este método de preparación de muestras para evitar el error inherente a la prueba de materiales que contienen partículas grandes en el aparato de prueba CBR, el material modificado puede tener propiedades de resistencia significativamente diferentes a las del material original. Sin embargo, se ha desarrollado una gran base de datos de experiencia utilizando este método de prueba para materiales para los cuales se ha modificado la gradación, y se utilizan métodos de diseño satisfactorios basados en los resultados de pruebas que utilizan este procedimiento. (T.E. Stanton, 2021)

6.6. Diseño Geométrico Horizontal

De una manera general una carretera se puede concebir como un sistema que logra integrar beneficios, conveniencia, satisfacción y seguridad a sus usuarios; que conserva, aumenta y mejora los recursos naturales de la tierra, el agua y el aire; y que colabora en el logro de los objetivos del desarrollo regional, agrícola, industrial, comercial, residencial, recreacional y de salud pública.

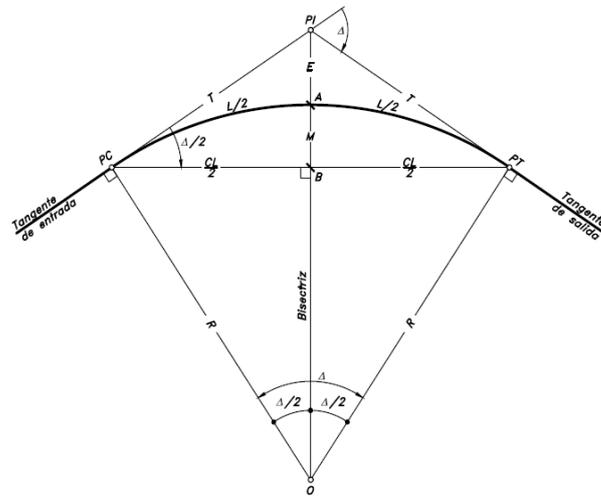
En forma particular, el diseño geométrico de carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la carretera queda geoméricamente definida por el trazado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

El diseño geométrico en planta de una carretera, o alineamiento horizontal, es la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por curvas. (Cárdenas Grisales, 2013)

6.6.1. Curvas circulares simples

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un único radio que conectan dos tangentes consecutivas, representando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Por lo tanto, las curvas en el espacio no siempre son circulares.

Ilustración 6 Elementos geométricos de una curva circular simple



Fuente: Figura 3.1 (Cárdenas Grisales, 2013)

Tabla 6

Elementos geométricos de una curva circular simple

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: (Cárdenas Grisales, 2013)

➤ **Expresiones que relacionan los elementos geométricos:**

T en función de R y Δ :

$$T = \tan \frac{\Delta}{2}$$

R en función de T y Δ :

$$R = \frac{T}{\frac{\Delta}{2}}$$

CL en función de R Y Δ :

$$CL = 2R * \text{sen} \frac{\Delta}{2}$$

E en función de R y Δ :

$$E = R \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right)$$

E en función de T y Δ :

$$E = \left(\frac{T}{\text{sen} \frac{\Delta}{2}} \right) \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$$
$$E = T \frac{\Delta}{4}$$

M en función de R y Δ :

$$M = \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$$

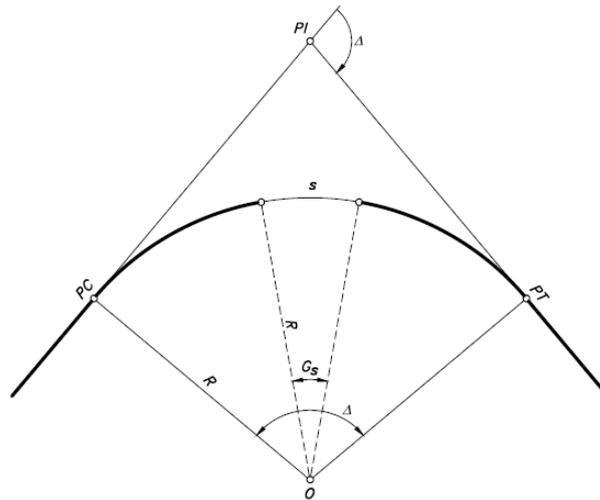
➤ **Expresiones de la curvatura de una curva circular simple:**

La curvatura de un arco circular se fija por su radio R o por su grado G. Se llama grado de curvatura G al valor del ángulo central subtendido por un arco o cuerda de determinada longitud, escogidos como arco unidad s o cuerda unidad c. En el medio, el arco unidad o la cuerda unidad usualmente es de 5, 10 y 20 metros.(Cárdenas Grisales, 2013)

➤ **Sistema ARCO-GRADO**

En este caso el Angulo central G_s es subtendido por un arco unidad s.

Ilustración 7 Curvatura por sistema arco-grado



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

Matemáticamente, la curvatura de una curva es inversamente proporcional al radio: a mayor curvatura, menor radio, y a menor curvatura, mayor radio.

$$\text{Curvatura} = \frac{1}{R}$$

También se conoce que, para una curva circular de radio R, el arco s es igual al producto del radio R por el ángulo central G_s , esto es:

Para G_s expresado en radianes:

$$G_s = \frac{s}{R}$$

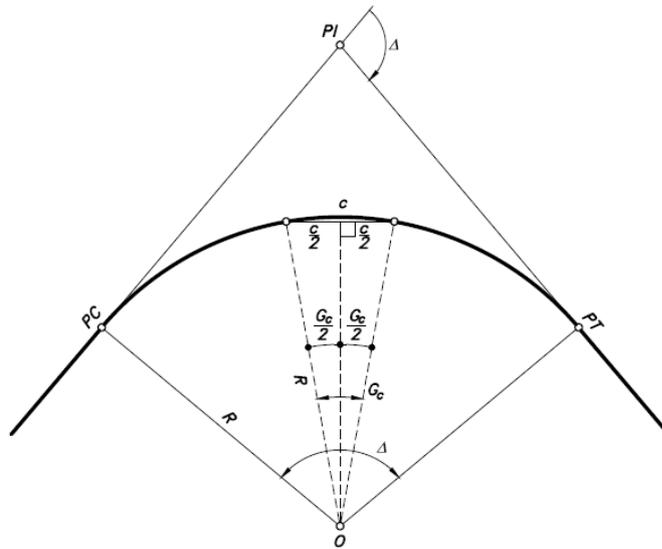
Ahora para el radio R expresado en metros y para un valor del arco s de 1 metro, se tiene:

$$G_{s=1} = \frac{1}{R}$$

➤ Sistema CUERDA -GRADO

En este caso el Angulo central G_c es subtendido por una cuerda unidad c.

Ilustración 8 Curvatura por sistema cuerda-grado



Fuente:(Cárdenas Grisales, 2013)

En donde:

$$G_s = 2 \arcsen \frac{2}{2R}$$

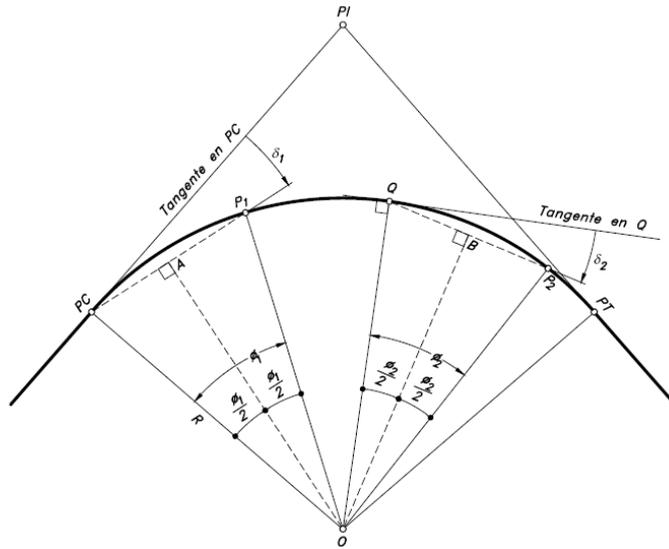
➤ **Deflexión de una cuerda circular simple**

Tradicionalmente, el cálculo y la localización de las curvas circulares simples en el terreno, en especial para el caso de localización directa, se realizan por el método de los ángulos de deflexión.

Se denomina ángulo de deflexión δ de una curva, al ángulo formado entre cualquier línea tangente a la curva y la cuerda dirigida desde el punto de tangencia a cualquier otro punto P sobre la curva, para el ángulo de deflexión δ_1 correspondiente a la tangente en el PC y el punto P1, y el ángulo de deflexión δ_2 correspondiente a la tangente en el punto Q y el punto P2.

$$\delta = \frac{\varphi}{2}$$

Ilustración 9 Concepto de Angulo de deflexión



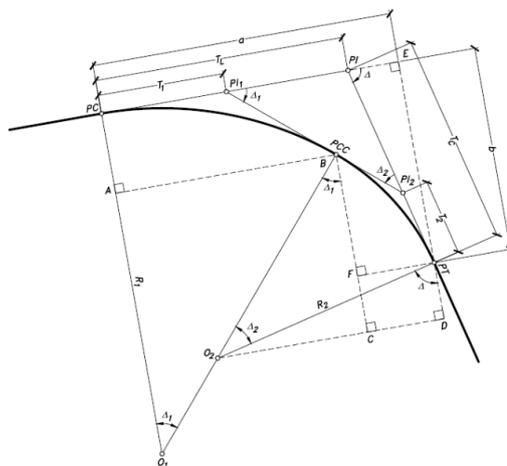
Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

6.6.2. Curvas Circulares Compuestas

Las curvas circulares compuestas consisten en la combinación de dos o más curvas circulares simples. Aunque no son tan frecuentes, su uso es especialmente adecuado en terrenos montañosos, donde se busca ajustar la carretera de la mejor manera posible a la topografía natural, lo que contribuye a reducir la cantidad de movimiento de tierras. Además, son útiles en situaciones donde existen restricciones de espacio en el diseño, como en los accesos a puentes, pasos a desnivel e intersecciones. (Cárdenas Grisales, 2013)

Aparece los diferentes elementos geométricos de una curva circular compuesta de dos radios.

Ilustración 10 Curva circular compuesta de dos radios



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

Tabla 7*Elementos geométricos de una curva circular compuesta de dos radios*

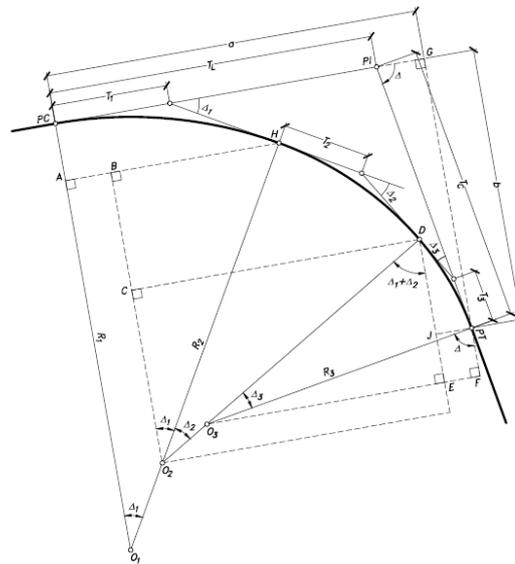
Elementos geométricos de una curva circular compuesta de dos radios	
Simbología	Detalle
PI	Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva
PC	Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.
PT	Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza 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.
Δ_1	Ángulo de deflexión principal de la curva de mayor radio.
Δ_2	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: (Cárdenas Grisales, 2013)

6.6.3. 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, así:

Ilustración 11 Elementos de una curva circular compuesta de tres radios



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

6.6.4. Velocidad de diseño

La velocidad es el elemento básico para el diseño geométrico de carreteras y el parámetro de cálculo de la mayoría de los diversos componentes del proyecto.

La velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que ella origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la carretera, de tal manera que siempre se garantice la seguridad.

La velocidad de diseño o velocidad de proyecto de un tramo de carretera es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad. Por lo tanto, ella representa una referencia mínima. (Cárdenas Grisales, 2013)

La velocidad de diseño es la máxima a la que los vehículos pueden circular de forma segura bajo condiciones óptimas de clima y tránsito. Se selecciona considerando factores como la topografía, la importancia del camino, el volumen de tráfico y el uso del terreno, buscando un equilibrio entre seguridad y eficiencia. Es esencial mantener una velocidad constante en cada tramo de la vía, pero los cambios topográficos pueden requerir ajustes. La diferencia entre tramos contiguos no debe superar los 20 km/h, y se debe implementar señalización progresiva para facilitar los cambios.

La velocidad de diseño debe aplicarse en el tramo más desfavorable y mantenerse durante una distancia mínima de 5 a 10 kilómetros. En general, se recomienda optar por velocidades mayores

a los valores mínimos establecidos, especialmente en caminos planos o con alto volumen de tránsito.(MTOPI, 2003)

Las velocidades se basan en el siguiente **ANEXO 1**.

6.6.5. Relación con la velocidad de circulación

La velocidad de circulación es la velocidad real de un vehículo en un tramo específico de carretera, calculada como la distancia recorrida dividida por el tiempo de circulación. También puede referirse a la velocidad promedio de un grupo de vehículos.

Esta velocidad refleja la calidad del servicio que un camino ofrece a los usuarios. Para el diseño de la vía, es esencial conocer las velocidades esperadas para diferentes volúmenes de tránsito. A medida que el volumen de tráfico aumenta, la velocidad de circulación disminuye debido a la interacción entre vehículos. En casos de alta saturación, la velocidad se ve más afectada por el grado de congestión que por la velocidad de diseño.

Para el diseño, se debe evitar que el tránsito alcance niveles que generen saturación, garantizando una circulación fluida.(MTOPI, 2003)

Revisar **ANEXO 2**.

6.6.6. Desplazamiento de un vehículo sobre una curva circular

Para ángulos de deflexión principal $\Delta \leq 6^\circ$, en el caso de que no puedan evitarse curvas circulares simples, se recomienda utilizar las de los radios mínimos.

Tabla 8

Radios para deflexiones pequeñas

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

Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

Con el propósito de proporcionar seguridad, eficiencia y un diseño balanceado entre los elementos de la vía desde el punto de vista geométrico y físico, es fundamental estudiar la relación existente entre la velocidad y la curvatura.(Cárdenas Grisales, 2013)

Cuando un vehículo circula sobre una curva horizontal, actúa sobre él una fuerza centrífuga F que tiende a desviarlo radialmente hacia afuera de su trayectoria normal. La magnitud de esta fuerza es:

$$F = ma$$

Donde:

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:

Donde:

W = Peso del vehículo

g = Aceleración de la gravedad

V = Velocidad del vehículo

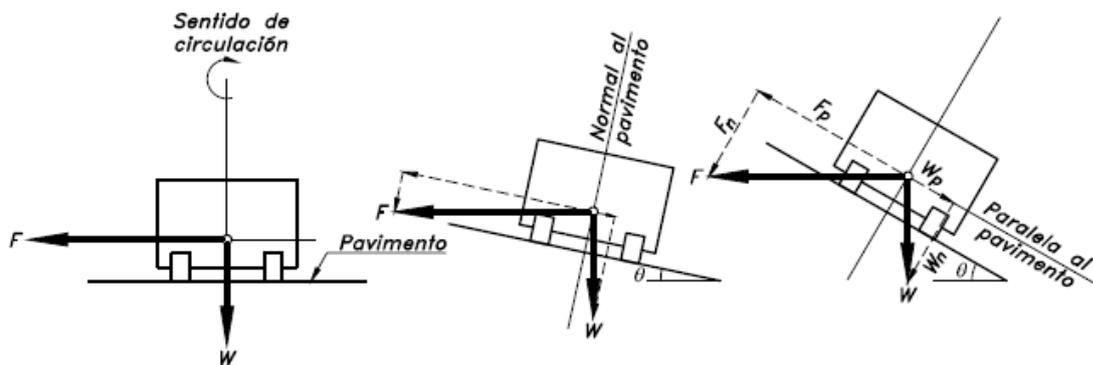
R = Radio de la curva circular horizontal.

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

Los componentes normales y paralelas de las fuerzas W y F se definen como:

De esta manera, dependiendo de la relación entre W_p y F_p , se presentan los siguientes casos:

Ilustración 12 Efecto de la inclinación transversal de la calzada sobre un vehículo



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

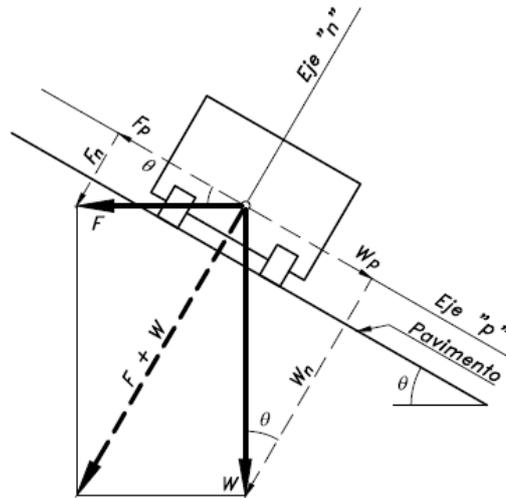
- CASO 1 $W_p = 0$

La calzada es horizontal, esto es, no hay inclinación transversal y F_p alcanza su valor máximo F.

- CASO 2 $W_p = F_p$

En este caso, la fuerza resultante $F+W$ es perpendicular a la superficie del pavimento. Por lo tanto, la fuerza centrífuga F no es sentida en el vehículo. La velocidad a la cual se produce este efecto se le llama velocidad de equilibrio.

Ilustración 13 Caso $W_p = F_p$



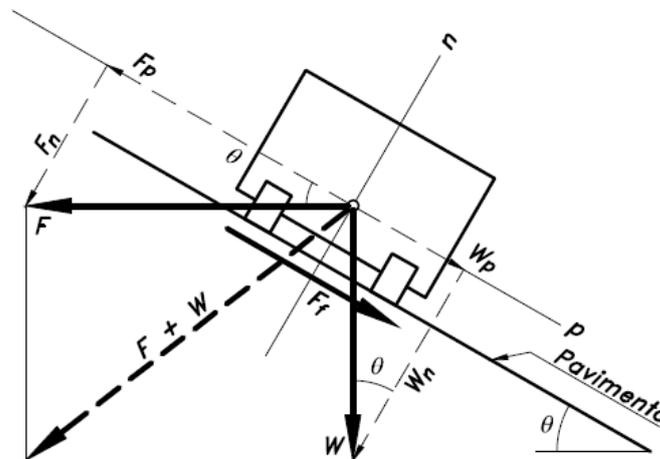
Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

- **CASO 3** $W_p < F_p$

En este caso, la fuerza resultante $F+W$ actúa en el sentido de la fuerza centrífuga F .

Por lo tanto, el vehículo tiende a deslizarse hacia el exterior de la curva, pues se origina un momento en sentido contrario al movimiento de las agujas del reloj. Volcamiento de este caso es típico en vehículos livianos.

Ilustración 14 Caso $W_p < F_p$

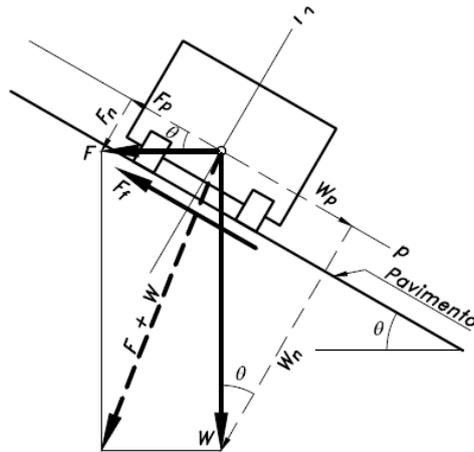


Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

- **CASO 4 $W_p > F_p$**

En este caso, la fuerza resultante $F+W$ actúa en el sentido contrario de la fuerza centrífuga F . Por lo tanto, el vehículo tiende a deslizarse hacia el interior de la curva. Volcamiento de este caso es típico en vehículos pesados.

Ilustración 15 Caso 4 $W_p > F_p$



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

6.6.7. Velocidad, curvatura, peralte y fricción lateral

Existen dos fuerzas que se oponen al deslizamiento lateral de un vehículo, la componente W_p del peso y la fuerza de fricción transversal desarrollada entre las llantas y el pavimento. Igualmente, para ayudar a evitar este deslizamiento, se acostumbra en las curvas darle cierta inclinación transversal a la calzada. Esta inclinación denominada peralte, se simboliza con la letra e .

El radio mínimo de curvatura horizontal garantiza la seguridad a una velocidad de diseño, considerando el peralte máximo (e) y el coeficiente de fricción lateral (f). Usar radios inferiores al mínimo requeriría peraltes que exceden los límites prácticos de operación vehicular. Por ello, el radio mínimo (R) es clave en el diseño del alineamiento

Ecuación para el cálculo de radio mínimo según (MTO, 2003)

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

Donde:

R = Radio mínimo de una curva horizontal, m.

V = Velocidad de diseño, Km/h.

f = Coeficiente de fricción lateral.

e = Peralte de la

Tabla 9

Radio mínimo de curva en función del peralte "e" y del coeficiente de fricción lateral "f"

Velocidad de Diseño Km/h	"f" Máximo m/m	Radio mínimo calculado (m)				Radio mínimo recomendado (m)			
		e= 0.1	e= 0.08	e= 0.06	e= 0.04	e= 0.1	e= 0.08	e= 0.06	e= 0.04
20	0.350	-	7.32	7.68	8.08	-	18	20	20
25	0.315	-	12.46	13.12	13.86	-	20	25	26
30	0.284	-	19.47	20.6	21.87	-	26	30	30
35	0.266	-	27.88	29.59	31.52	-	30	38	36
40	0.221	-	41.86	44.83	48.27	-	42	46	60
45	0.200	-	56.95	61.33	66.44	-	68	80	86
50	0.190	-	72.91	78.74	85.59	-	78	90	90
60	0.165	106.97	115.7	125.98	138.28	110	120	130	140
70	0.150	154.33	167.75	183.73	203.07	160	170	185	206
80	0.140	209.97	229.06	251.97	279.97	210	230	255	280
90	0.134	272.56	298.04	328.76	366.55	275	300	330	370
100	0.130	342.35	374.95	414.42	463.18	360	395	415	465
110	0.124	425.34	467.04	517.8	580.95	430	470	620	585
120	0.120	515.39	566.93	629.92	708.66	520	670	630	710

Fuente:(MTOP, 2003)

En base a investigaciones realizadas, se ha adoptado el criterio de contrarrestar con el peralte aproximadamente el 55% de la fuerza centrífuga; el restante 45% lo absorbe la fricción lateral.

Se recomienda para vías de dos carriles un peralte máximo del 10% para carreteras y caminos con capas de rodadura asfáltica, de concreto o empedrada para velocidades de diseño mayores a 50 Km/h; y del 8% para caminos con capa granular de rodadura (caminos vecinales tipo 4, 5 y 6) y velocidades hasta 50 Km/h.(MTOP, 2003)

Para aplicar los valores máximos de peralte, se deben considerar los siguientes criterios para evitar:

- El rápido deterioro de la superficie en caminos de tierra o subbase debido al flujo de aguas lluvias.

- La distribución asimétrica del peso sobre las ruedas del vehículo, especialmente en los vehículos pesados.
- El deslizamiento de vehículos pesados dentro de la curva al transitar a baja velocidad.

6.6.8. Peralte

En el Ecuador se usa como máximo un 10% de peralte par las curvas este es otro factor que se toma en cuenta para determinar el radio mínimo.

Ecuación para el cálculo del peralte

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

Donde:

E = Peralte de la curva, m/m (metro por metro de ancho de la calzada).

V = Velocidad de diseño, Km/h.

R = Radio de la curva, m.

f = Máximo coeficiente de fricción lateral.

Tabla 10

Valores limite permisible de "f" según el pavimento existente

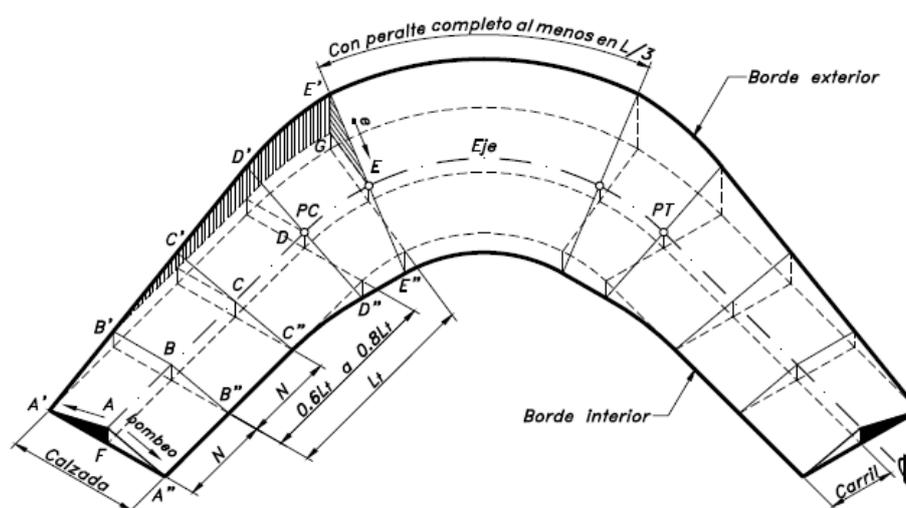
Requerimientos	Valores limites permisibles de "F" según el pavimento existente		
	SECO	HUMEDO	CON HIELO
Estabilidad contra el volcamiento	0.60	0.60	0.60
Estabilidad contra el desplazamiento	0.36	0.24	0.12
Comodidad del viaje para el pasajero	0.15	0.15	0.15
Exportación económica del vehículo	0.16	0.10	0.10

Fuente: (MTO, 2003)

Método de transición del peralte

- Haciendo girar la calzada alrededor de su eje (para terrenos montañosos).
- Haciendo girar la calzada alrededor de su borde interior (para terrenos en llano).
- Haciendo girar la calzada alrededor de su borde exterior.

Ilustración 16 Transición del peralte



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

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.

L_t = Longitud de transición

N = Longitud de aplanamiento

L = Longitud de la curva circular.

e = Peralte necesario de la curva circular.

La longitud de transición L_t se considera desde la sección donde el carril exterior está a nivel o sin bombeo, hasta la sección donde la calzada tiene el peralte completo. La longitud de aplanamiento N es la distancia necesaria para que el carril exterior pierda su bombeo o se aplane. En las curvas circulares sin espiral, la transición del peralte se distribuye entre la tangente y la curva, logrando entre el 60% y 80% del peralte total en el PC y PT, preferiblemente en valores promedio de este rango.

Por razones de comodidad y estética, se recomienda que la longitud de la transición sea tal que la pendiente longitudinal de los bordes en relación con el eje de la vía no exceda un valor m , definido como la máxima diferencia entre las pendientes longitudinales de los bordes y el eje de la calzada.

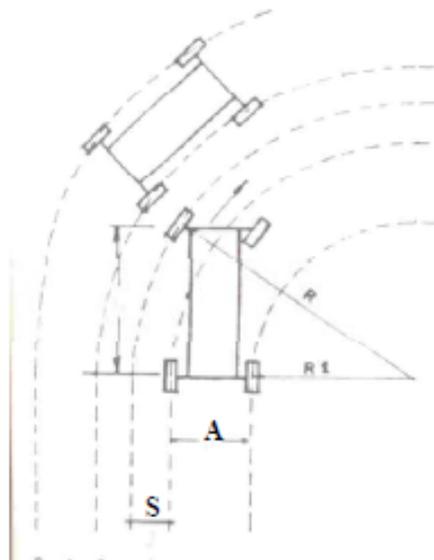
6.6.9. Sobre ancho en las curvas

El sobreancho en las curvas horizontales se introduce para garantizar la seguridad y comodidad del tránsito de vehículos por las siguientes razones:

- Al tomar una curva, los vehículos ocupan un ancho mayor, ya que las ruedas traseras siguen una trayectoria más interior que las delanteras, mientras que el extremo delantero describe una trayectoria exterior.
- Los conductores tienen dificultad para mantener su vehículo centrado en el carril, especialmente en curvas, lo que aumenta con la velocidad y disminuye con radios de curva mayores.

Para calcular el sobreancho, se debe considerar un vehículo representativo del tránsito en la ruta, aunque no se tiene en cuenta la variabilidad en la velocidad y las características de los vehículos. (MTO, 2003)

Ilustración 17 Esquema para determinar el sobreancho de un carril de tránsito en una curva



Fuente: (MTO, 2003)

$$R_1 + A = \sqrt{R^2 - L^2}$$

$$R_1 + A = R - s$$

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

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

Donde:

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

Considerando la influencia de la velocidad de tránsito y para diferentes números de carriles se utiliza la siguiente fórmula empírica.

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

Donde:

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 sugiere que los sobreanchos “S” obtenidos con las fórmulas antes descritas se apliquen tomándose como base la calzada con un ancho de carril de 3,35 m, y para calzadas de diferentes anchos se efectúen las correcciones aplicando la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

Para dimensiones de los vehículos de tipo rígido en el cálculo del sobre ancho se utiliza la tabla de pesos y dimensiones de vehículos de carga pesada motorizados, remolques y semirremolques **ANEXO 5**.

6.6.10. Distancia de visibilidad

La distancia de visibilidad se refiere a la longitud de la vía que un conductor puede ver continuamente adelante. Se analiza en dos aspectos:

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

Distancia de visibilidad para la parada de un vehículo

En curvas horizontales o verticales, la visibilidad es crucial para una circulación segura. La distancia de visibilidad de parada es el mínimo necesario para que un conductor, viajando a la velocidad de diseño, detecte un obstáculo y detenga su vehículo antes de alcanzarlo.

Esta distancia mínima (d) se compone de:

d₁: Distancia recorrida desde que el conductor ve el obstáculo hasta que reacciona.

d₂: Distancia de frenado, necesaria para detener el vehículo tras aplicar los frenos.

La distancia de visibilidad de parada (d) es la suma de:

- **d₁**: Distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción.
- **d₂**: Distancia de frenado.

El tiempo de percepción y reacción varía según el conductor, pero la AASHTO establece un valor estándar de 2,5 segundos para condiciones normales, cubriendo al 90% de los conductores.

La distancia recorrida durante este tiempo se calcula con la fórmula correspondiente.

$$d_1 = \frac{V_c t}{3.6} \rightarrow V_c * \frac{2.5 \text{ seg}}{3.6 \text{ seg}} = 0.6944 * V_c$$

Por lo tanto:

$$d_1 = 0.7 V_c$$

En donde:

d₁= distancia recorrida durante el tiempo de percepción más reacción, expresada en metros.

V_C= velocidad de circulación del vehículo, expresada en Km/h.

t = tiempo de percepción más reacción en seg.

La distancia de drenaje se calcula con la fórmula de "carga dinámica", considerando la fricción entre las llantas y la calzada.

$$d_2 P f = \frac{P V_c^2}{2g}$$

en donde:

d_2 = distancia de frenaje sobre la calzada a nivel, expresada en metros.

f = coeficiente de fricción longitudinal.

V_c = velocidad del vehículo al momento de aplicar los frenos, expresada en metros por segundo.

P = Peso del vehículo.

g = aceleración de la gravedad, en el Ecuador igual a 9,78 metros sobre segundo².

Expresando V_c en kilómetros por hora y para una gradiente longitudinal horizontal, la fórmula se convierte en:

$$d_2 = \frac{V_c^2}{254 f}$$

Tabla 11

Valores de diseño de la distancia de visibilidad mínimas para paradas de Vehículo (m)

VALORES DE DISEÑO DE LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD MINIMAS 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	Mas 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: (MTO, 2003)

En el cuadro anterior

L = Terreno llano

O = Terreno ondulado

M = Terreno Montañoso

Se utilizarán los valores recomendados cuando el TPDA esté cerca del límite superior de su categoría.

Se aplicarán los valores absolutos cuando el TPDA esté cerca del límite inferior de su categoría y/o el terreno sea escarpado.

Efectos de las Gradientes

Las gradientes influyen en la distancia de visibilidad para la parada de un vehículo, en lo que se refiere a la distancia de frenaje. En este caso, la mencionada distancia está expresada por la siguiente fórmula:

$$d = \frac{V_c^2}{254(f \pm G)}$$

En donde:

G = tanto por ciento del gradiente dividido para 100 con el signo correspondiente; esto es, signo positivo para gradientes cuesta arriba y signo negativo para gradientes cuesta abajo.

Ilustración 18 Distancia De Visibilidad Mínima Para Parada De Un Vehículo, Criterio de Diseño: Pavimento 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" Cero Gradiente (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

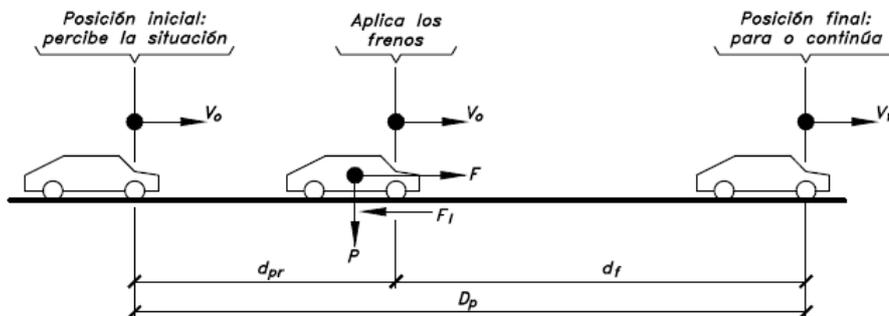
Fuente: (MTOP, 2003)

Ilustración 19 DISTANCIA DE VISIBILIDAD MINIMA PARA PARADA DE UN VEHICULO, Con (Correcciones por efecto de la gradiente longitudinal) Criterio de Diseño: Pavimento mojados cuesta abajo (-) y cuesta arriba (+)

Velocidad de Diseño-Vd (Kph)	Velocidad de Circulación Asumida Vc (Kph)		GRADIENTE "G" %							
		Coefficiente de fricción longitudinal	-12	-9	-6	-3	3	6	9	12
20	20	0,468	13,75	13,70	13,60	13,27	14,34	14,13	14,06	14,02
25	24	0,443	16,47	16,40	16,26	15,78	17,33	17,02	16,91	16,85
30	28	0,423	19,18	19,08	18,89	18,25	20,35	19,93	19,77	19,69
35	33	0,403	22,55	22,42	22,15	21,27	24,18	23,59	23,37	23,26
40	37	0,389	25,23	25,07	24,73	23,63	27,28	26,54	26,27	26,13
45	42	0,375		28,36	27,98	26,52	31,22	30,26	29,91	
50	46	0,365		30,98	30,47	28,78	34,42	33,25	32,83	
60	55	0,345		36,82	35,09	33,71	41,75	40,07	39,47	
70	63	0,332			40,00	37,89	48,44	46,22		
80	71	0,320			40,99	41,90	55,28	52,45		
90	79	0,310			45,81	45,73	62,28	58,76		
100	86	0,302			50,54	48,93	68,54			
110	92	0,296				51,57	74,00			
120	100	0,286				56,14	84,24			

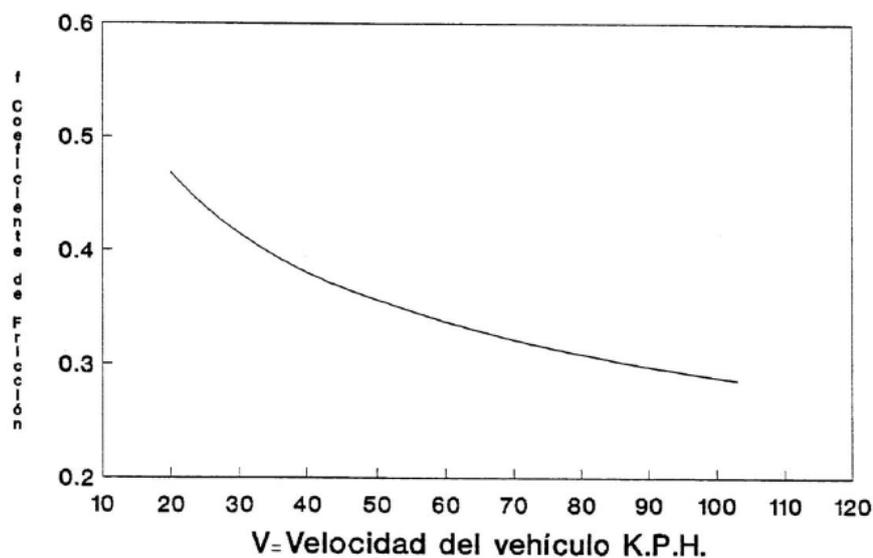
Fuente: (MTOP, 2003)

Ilustración 20 Distancia de visibilidad de parada



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

Ilustración 21 Grafica de Coeficiente de fricción para patinaje longitudinal



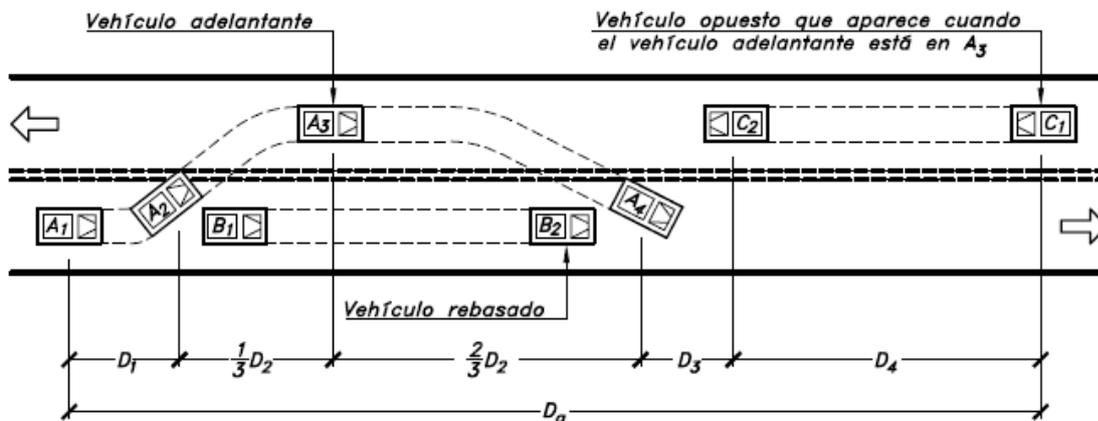
Fuente: (MTO, 2003)

6.6.11. Distancia de Visibilidad para rebasamiento de un vehículo

La distancia de visibilidad para el rebasamiento se calcula según la longitud de carretera necesaria para realizar la maniobra de forma segura, considerando generalmente un solo vehículo rebasando a otro. Aunque pueden ocurrir rebasamientos múltiples, se asume el caso de uno solo. Los valores de diseño suelen ser suficientes para permitir rebasamientos ocasionales de varios vehículos. Para calcular la distancia mínima de rebasamiento en carreteras de dos carriles, se considera lo siguiente:

- 1- El vehículo rebasado circula con velocidad uniforme.
- 2- Cuando llega a la zona de rebasamiento, el conductor del vehículo rebasante requiere de corto tiempo para percibir dicha zona y reaccionar iniciando la maniobra.
- 3- El vehículo rebasante acelera durante la maniobra y su velocidad promedio durante la ocupación del carril izquierdo es de 16 kilómetros por hora, mayor a la del vehículo rebasado.
- 4- Cuando el vehículo rebasante regresa a su propio carril del lado derecho, existe un espacio suficiente entre dicho vehículo y otro que viene en sentido contrario por el otro carril.(MTO, 2003)

Ilustración 22 Distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

Ilustración 23 Distancia mínima de visibilidad para rebasamiento de un vehículo

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

Fuente: (MTO, 2003)

Tabla 12

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

VALORES DE DISEÑO DE LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD MININAS PARA EL REBASAMIENTO DE UN VEHICULO							
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	Mas 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: (MTO, 2003)

6.7. Diseño Geométrico Vertical

El diseño geométrico vertical de una carretera, o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real de la vía sobre una superficie vertical paralela a él. Esta proyección muestra la longitud real del eje, también conocida como rasante o subrasante.

El alineamiento horizontal y vertical deben ser congruentes y balanceados, de modo que los parámetros de uno correspondan con los del otro. Es fundamental que los elementos del diseño vertical mantengan la misma velocidad específica que el sector correspondiente en planta. Lo ideal es obtener rasantes largas con curvas verticales y horizontales ajustadas a las condiciones del tránsito y del terreno, buscando un proyecto económico tanto en construcción como en operación.

6.7.1. Elementos geométricos que integran el alineamiento vertical

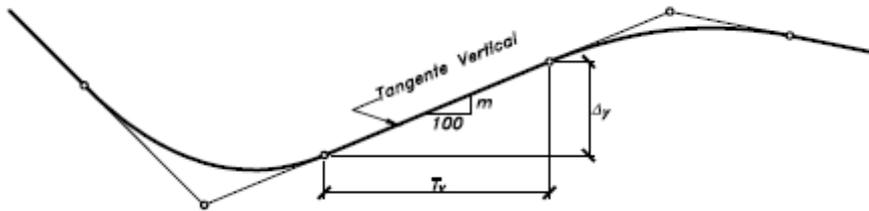
Al igual que el diseño en planta, el eje del alineamiento vertical está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes verticales, enlazados entre sí por curvas verticales.

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

6.7.2. Tangentes verticales

Las tangentes sobre un plano vertical se caracterizan por su longitud y su pendiente, y están limitadas por dos curvas sucesivas, la longitud Tv de una tangente vertical es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente.

Ilustración 24 Tangente vertical



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

La pendiente m de la tangente vertical es la relación entre el desnivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma. Por lo tanto:

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

Para el diseño vial, las pendientes deben mantenerse dentro de un rango adecuado según el tipo de vía, estableciendo valores máximos y mínimos. La pendiente máxima depende del volumen y composición del tránsito futuro, el tipo de terreno y la velocidad de diseño.

La pendiente máxima de una tangente vertical está directamente relacionada con la velocidad de los vehículos, la cual varía según el tipo de carretera. Para carreteras primarias, las pendientes máximas se fijan con velocidades entre 60 y 130 km/h, mientras que para carreteras terciarias se ajustan a velocidades de 20 a 60 km/h, donde se priorizan la minimización de movimientos de tierra y la calidad de la superficie.

6.7.3. Curvas Verticales

Una curva vertical es aquel elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, de tal forma que facilite una operación vehicular segura y confortable, que sea de apariencia agradable y que permita un drenaje adecuado. Se ha comprobado que la curva que mejor se ajusta a estas condiciones es la parábola de eje vertical. (Cárdenas Grisales, 2013)

6.7.4. Curvas Verticales Convexas

La longitud mínima de las curvas verticales se determina en base a los requerimientos de la distancia de visibilidad para parada de un vehículo, considerando una altura del ojo del conductor

de 1,15 metros y una altura del objeto que se divisa sobre la carretera igual a 0,15 metros. Esta longitud se expresa por la siguiente fórmula:

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

Donde:

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

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

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

$$L = KA$$

Ilustración 25 Curva 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: (MTO, 2003)

Tabla 13

Valores mínimos de diseño del coeficiente "K"

VALORES MINIMOS 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	Mas 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: (MTOPI, 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.(MTOPI, 2003)

6.7.5. Curvas Verticales Cóncavas

Por razones de seguridad, las curvas verticales cóncavas deben ser lo suficientemente largas para que la longitud del haz de luz de los faros de un vehículo coincida con la distancia de visibilidad necesaria para su detención. La siguiente fórmula relaciona la longitud de la curva, la diferencia algebraica de gradientes y la distancia de visibilidad de parada.

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

La fórmula anterior se basa en una altura de 60 centímetros para los faros del vehículo y un grado de divergencia hacia arriba de los rayos de luz con respecto al eje longitudinal del vehículo.(MTOPI, 2003)

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

$$L = KA$$

Ilustración 26 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, 2003)

Ilustración 27 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
1	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, 2003)

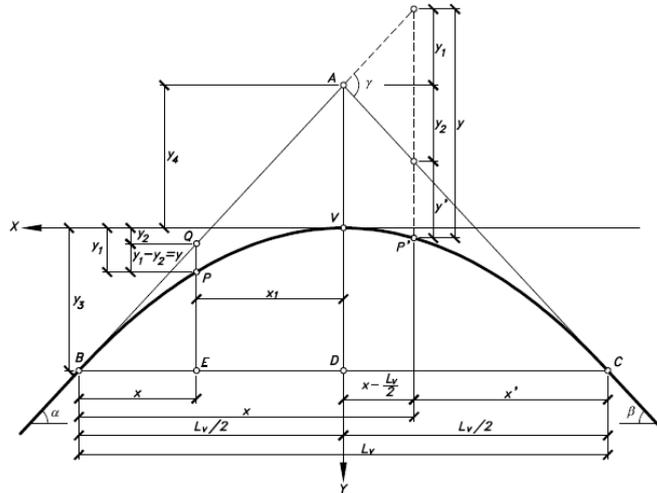
6.7.6. Curvas Verticales Simétricas

La parábola utilizada para enlazar dos tangentes verticales consecutivas debe cumplir las siguientes propiedades:

- La variación de su pendiente a lo largo de su longitud es constante.
- El punto de intersección de las tangentes se proyecta en la mitad de la línea que une las proyecciones horizontales de los puntos de tangencia.
- Las cotas de la curva varían 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.

Ilustración 28 Parábola de eje vertical, perfectamente simétrica



Fuente: (MTO, 2003)

Tabla 14

Principales elementos que caracterizan esta parábola

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 el mismo 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.

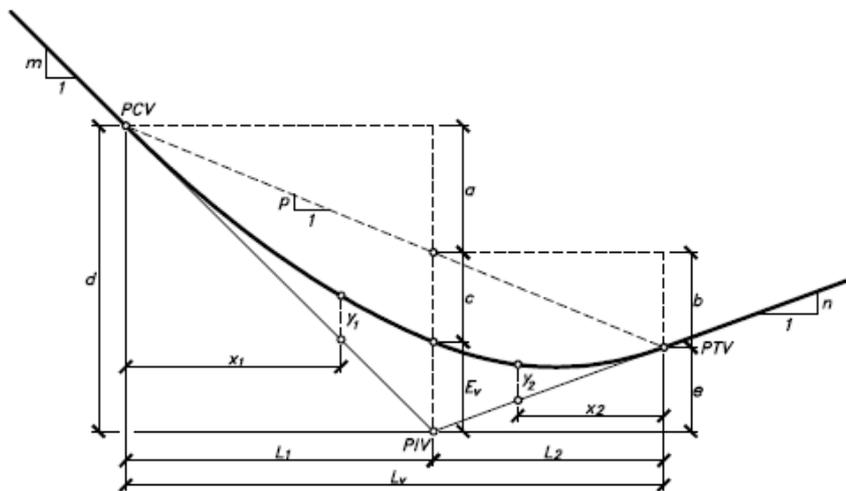
β	Ángulo de pendiente de la tangente de salida.
γ	Ángulo entre las dos tangentes. Ángulo de deflexión vertical.
$m = \tan \alpha$	Pendiente de la tangente de entrada.
$n = \tan \beta$	Pendiente de la tangente de salida.
$i = \tan \gamma$	Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y de salida.

Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

6.7.7. Curvas verticales asimétricas

Una curva vertical es asimétrica cuando las proyecciones horizontales de sus tangentes son de distinta longitud. Esta situación se presenta cuando la longitud de la curva en una de sus ramas está limitada por algún motivo.

Ilustración 29 Curva vertical asimétrica cóncava



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

Las correcciones de pendiente para cada rama se calculan como:

$$y_1 = E_v \left(\frac{x_1}{L_1} \right)^2$$

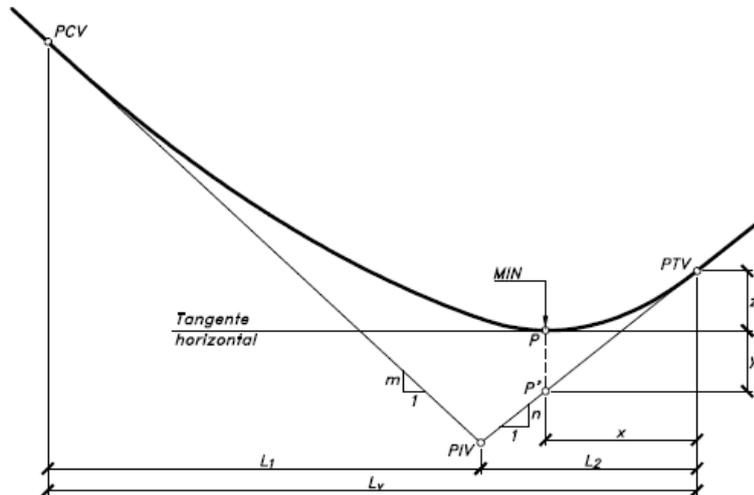
$$y_2 = E_v \left(\frac{x_2}{L_2} \right)^2$$

La cuales la extrema E_v se calcula:

$$a + c + E_v = d$$

Como se vio anteriormente es importante ubicar en curvas verticales su punto máximo o su punto mínimo. El punto P representa el punto mínimo de una curva vertical cóncava asimétrica.

Ilustración 30 Punto mínimo de una curva vertical asimétrica



Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

6.7.8. Gradientes

La elección de las gradientes debe basarse directamente en la topografía del terreno, procurando que estas sean lo más bajas posible. Esto permite mantener velocidades de circulación razonables y facilita la operación de los vehículos. Según las velocidades de diseño, que varían en función del volumen de tráfico y las características del terreno, el Cuadro VII-1 presenta de forma general las gradientes medias máximas recomendadas.

Ilustración 31 Valores de diseño de Gradientes Longitudinal

**VALORES DE DISEÑO DE LAS GRADIENTES LONGITUDINALES
MAXIMAS
(Porcentaje)**

Clase de Carretera				TPDA	Valor Recomendable			Valor Absoluto		
					L	O	M	L	O	M
R—Io	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: (MTO, 2003)

6.8. Diseño de pavimento flexible

El primer antecedente del diseño de pavimentos según el método AASHTO proviene del AASHTO Road Test, realizado entre 1958 y 1960 en Ottawa, Illinois. De estos ensayos se extrajeron datos aplicables al 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 dicho test. En 1972, apareció la "AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures". En 1986, tras nuevas observaciones, se publicó la "AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures", con importantes modificaciones respecto a la de 1972, como la inclusión de la confiabilidad, módulos resilientes de materiales y el efecto de subrasantes expansivas o sometidas a congelación. En 1993, se lanzó una versión revisada, sin cambios significativos en el diseño de pavimentos flexibles.(AASHTO, 1993)

La fórmula original deducida del AASHTO Road Test era.

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

Siendo:

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

β = función del diseño y de las cargas que influyen en la forma de la curva p (serviciabilidad) vs. W.

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

Donde:

SN = número estructural

L1 = carga por eje simple o eje tandem

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

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.

$$\log \rho = 5.93 + 9.36 \log(SN + 1) - 4.79 \log(L_1 + L_2) + 4.33 \log L_2$$

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

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

Donde:

SN = número estructural (pulg)

W₁₈ = 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

S₀ = desvío estándar de todas las variables

ΔPSI = pérdida de serviciabilidad

M_R = módulo resiliente de la subrasante (en psi)

$$SN = a1.D1 + a2.m2.D2 + a3.m3.D3$$

Donde:

a_i = Coeficiente estructural de la capa i.

D_i = Espesor de la capa i en pulgadas

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa i.

6.8.1. Variables de diseño

Las variables de diseño de pavimentos se dividen en dos categorías: directas e indirectas. Las directas son aquellas que afectan de manera "directa" el espesor de las capas del pavimento, como el tránsito, la subrasante, el clima, las propiedades mecánicas de los materiales y los factores de seguridad. Por otro lado, las indirectas no influyen en el espesor, pero sí en la selección del tipo de estructura a dimensionar, como los costos, la disponibilidad de materiales en la zona, la topografía, la estética, entre otros. A continuación, se hará énfasis en las variables directas de subrasante y tránsito. Las demás variables serán detalladas en los subcapítulos de diseño.

6.8.2. Subrasante

Diseño de pavimentos, se recomienda que las capas de las estructuras viales se apoyen sobre subrasantes o plataformas con un CBR mínimo del 5%, para garantizar su adecuada capacidad

de soporte durante la construcción. En plataformas con CBR bajos, la compactación de capas granulares o asfálticas se dificulta, lo que puede generar fallos estructurales a corto plazo. Si un estudio de suelos reporta un CBR inferior al 5%, se sugiere sustituir parte de la subrasante con capas de material de conformación, rajón u otros materiales similares, siempre cumpliendo con el estudio geotécnico y las especificaciones técnicas.

Ilustración 32 Espesor recomendados de sustitución de subrasante para alcanzar CBR de plataforma mínimo de 5%

CBR de subrasante (%)	Espesor de sustitución (cm)
<1	Mínimo 60
1	55
2	35
3	25
4	15

Fuente: (Cárdenas Grisales, 2013)

6.8.3. Variables de tiempo

Existen dos variables clave: la vida útil y el período de análisis. La vida útil es el tiempo entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que alcanza un grado mínimo de serviciabilidad. El período de análisis es el tiempo total cubierto por cada estrategia de diseño, que puede coincidir con la vida útil o incluir varios períodos, si se prevén reconstrucciones o refuerzos a lo largo del tiempo.

Tabla 15

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:(MTOPI, 2003)

6.8.4. Tránsito

Se usa el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips o ESALs. La conversión de una carga dada por eje a ESAL se hace a través de los LEF (factores equivalentes de carga).

Se calcula el valor del tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8.2 toneladas, que circularán por la vía en los próximos n años por el carril de diseño. Para estimar el tránsito equivalente se pueden utilizar diversas metodologías.

El método AASHTO especifica factores de equivalencia para convertir ejes de diferentes tipos de vehículos comerciales a ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

los cuales se ajustan a las condiciones del país en cuanto al tipo de vehículos y sus cargas que transitan por la red vial.

Ilustración 33 Factores de equivalencia – Cuadro 85

Tipo de vehiculo		Factor 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 toma la recomendación de la AASHTO.

Ilustración 34 Factores de distribución por carril

Cuadro 86. 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, p. II-9)

Fuente: (AASHTO, 1993)

6.8.5. Confiabilidad (R)

Se refiere al grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones.

Para una construcción por etapas (vida útil < período de análisis) se deben componer las confiabilidades de cada etapa para tener la confiabilidad en todo el período de diseño.

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

Ilustración 35 Niveles de confiabilidad sugeridos tabla 13.7

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)

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

El método de diseño AASHTO, los ejes con diferentes magnitudes y repeticiones se convierten en un número equivalente de repeticiones de carga de un eje estándar de 18,000 libras (80 kN), aplicado por un eje simple con ruedas dobles. El término ESAL se refiere al número de repeticiones equivalentes de carga de este eje estándar que causan el mismo daño al pavimento que cada repetición del eje en estudio.

La guía AASHTO desarrolló los factores de equivalencia de carga por eje EALF (Equivalent Axle Load Factors), para relacionar el daño causado por diferentes magnitudes de carga y configuraciones de ejes con la carga del eje estándar.

$$\frac{W_x}{W_{18}}$$

Donde:

W_x: Número de aplicaciones de carga del eje de 18,000 libras en un tiempo t.

W₁₈: Número de aplicaciones de carga de un eje x en un tiempo t.

Basados en datos obtenidos de la prueba vial AASHO, las siguientes ecuaciones de regresión para definir los factores de equivalencia de carga para pavimentos flexibles.

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

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

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

Donde:

W_x: Inverso de los factores de equivalencia de aplicación de ejes.

W₁₈: Número de ejes simples de 18,000 lb (80 kN).

L_x: Carga del eje evaluado.

L₁₈: (carga del eje estándar en libras/1,000).

L₂: código para la configuración del eje. (1 = eje simple, 2 = eje tandem, 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.

6.8.7. Error normal combinado S₀

El error normal combinado tiene en cuenta el error o desviación del diseño y las siguientes variaciones: de las propiedades de los materiales, de las propiedades de la subrasante, en la estimación del tránsito, de las condiciones climáticas y en la calidad de la construcción. Los valores de S₀ se obtienen del siguiente cuadro.

Ilustración 36 Error normal combinado So

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

Fuente: (AASHTO, 1993, p. I-62)

Fuente: (AASHTO, 1993)

6.8.8. Nivel de confianza R (%)

El nivel de confianza **R** con este se consigue el valor de la desviación normal estandar **Z_r**, con que se desea diseñar el pavimento.

Ilustración 37 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, p. II-9)

Fuente: (AASHTO, 1993)

Ilustración 38 Desviación normal estandar Z_r

Confiabilidad, %	Desviación normal estándar, Z_r
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: (AASHTO, 1993, p. I-62)

Fuente: (AASHTO, 1993)

6.8.9. Niveles de serviciabilidad

La serviciabilidad en el contexto de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) se refiere al grado en que un pavimento cumple con los requisitos de funcionalidad, confort y seguridad durante su vida útil. Es un concepto utilizado para medir el desempeño de un pavimento desde el punto de vista del usuario, particularmente en cuanto a la calidad de la superficie y su capacidad para soportar el tráfico sin deteriorarse excesivamente.

AASHTO utiliza el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI, por sus siglas en inglés) para cuantificar la calidad del pavimento. Este índice va de 0 (condición completamente deteriorada) a 5 (condición excelente). El PSI se calcula a partir de la observación de diversos defectos en la superficie y su impacto en la experiencia de conducción.

Niveles de Serviciabilidad:

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

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

El índice de prestación del servicio PSI tiene en cuenta la serviciabilidad del pavimento. Se parte de un valor inicial para pavimentos flexibles de $P_o = 4.2$ y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento $P_t = 2.2$, es decir que la pérdida del índice de serviciabilidad es de $PSI = 4.2 - 2.2 = 2.0$. Los

Valores de serviciabilidad inicial y finales recomendados por la AASHTO:

Ilustración 39 Serviciabilidad inicial P_o

Tipo pavimento	Serviciabilidad inicial, P_o
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Fuente: (AASHTO, 1993, p. II-10)

Fuente: (AASHTO, 1993)

Ilustración 40 Serviciabilidad final P_t

Tipo de vía	Serviciabilidad final, P_t
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, p. II-10)

Fuente: (AASHTO, 1993)

6.8.10. Módulo resiliente de la subrasante M_r .

El módulo resiliente de la subrasante se puede obtener por medio del retro cálculo utilizando las deflexiones obtenidas con el deflectómetro de impacto, ensayos de módulos resilientes o con ayuda de las correlaciones presentadas en la Ecuación.

$$M_r [N/m^2] = 10^7 CBR$$

$$M_r [Kg/cm^2] = 100 CBR$$

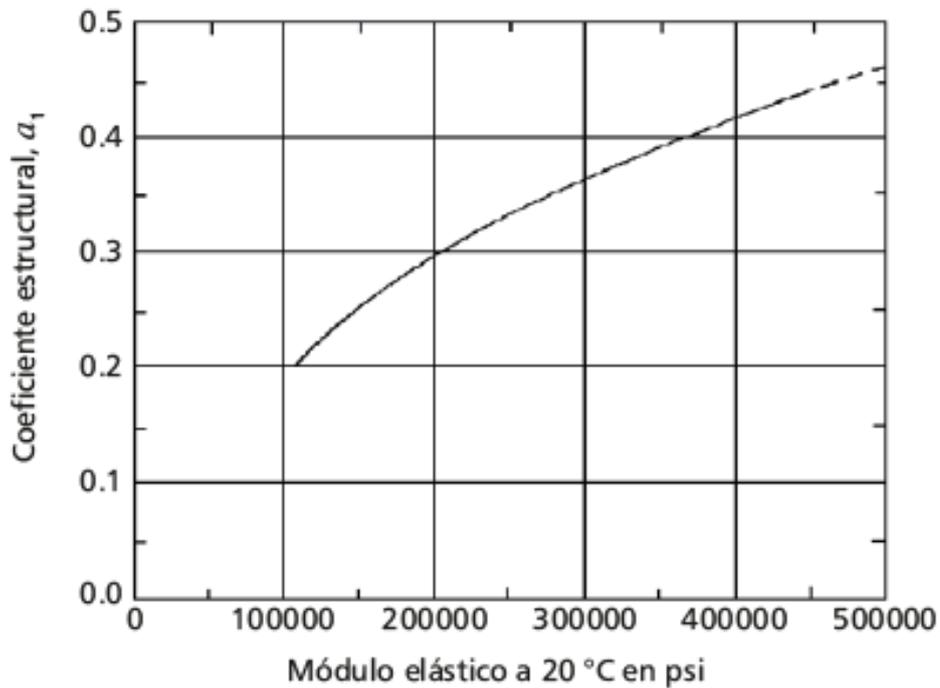
$$M_r [lb/pulg^2] = 1500 CBR$$

$$M_r [Mpa] = 10 CBR$$

6.8.11. Propiedades mecánicas de los materiales.

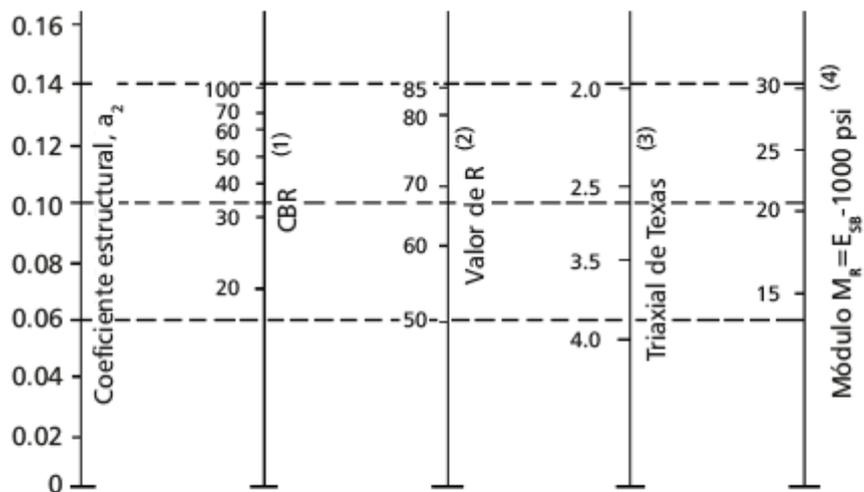
El parámetro mecánico con el cual se caracterizan los materiales es el módulo resiliente en psi. Sin embargo, para el diseño y dimensionamiento del espesor de las capas del pavimento, estos parámetros son traducidos a coeficientes estructurales de capas a_1 , los cuales se determinan, solo para el caso de estructuras de pavimento flexible. Estos coeficientes miden la capacidad relativa de una unidad de espesor de una determinada capa para funcionar como componente estructural del pavimento. Cuando el subíndice $i=1$, el coeficiente estructural corresponde a la capa de concreto asfáltico; $i=2$ para la capa granular no tratada de base si es estructura flexible o para una base estabilizada con cementante hidráulico si es una estructura semirrígida; e $i=3$ para la capa granular no tratada de subbase. (AASHTO, 1993)

Ilustración 41 Coeficiente estructural a_1 para mezcla de concreto asfáltico



Fuente: (AASHTO, 1993)

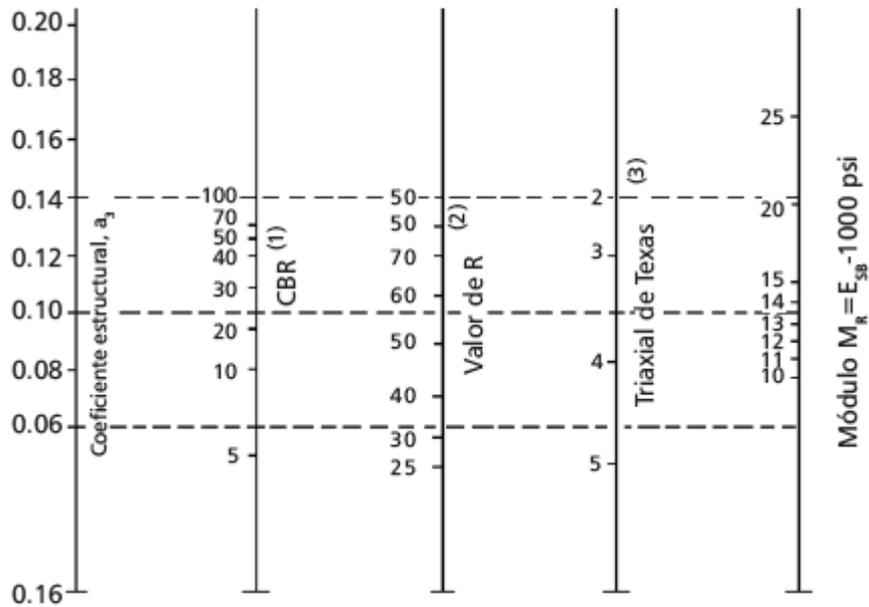
Ilustración 42 Coeficiente estructural a_2 para base granular no tratada



- (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: (AASHTO, 1993)

Ilustración 43 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:(AASHTO, 1993)

Algunos valores remendados de coeficientes estructurales a_2 para bases estabilizadas con cementantes hidráulicos son 0.14, 0.15, 0.16, 0.17, y 0.18 para materiales que desarrollan una resistencia a la compresión simple ($f'c$), medida a los siete días, de 300, 400, 450, 500 y 550 psi (2.1, 2.8, 3.2, 3.5, y 3.9 Mpa) respectivamente.

Para estos valores de a_2 , la magnitud aproximada del módulo elástico es de 5.7×10^5 , 6.0×10^5 , 6.2×10^5 , 6.5×10^5 y 6.8×10^5 psi respectivamente.

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

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

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

E_1 , E_2 , E_3 son los módulos resilientes en psi de la mezcla de concreto asfáltico que conforma la capa asfáltica, la base granular y la subbase granular no tratada, respectivamente.

6.8.12. Condiciones ambientales y de drenaje

Condiciones ambientales y 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 porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Este porcentaje 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, y $i=3$ a la subbase granular no tratada. El coeficiente de drenaje m para la capa asfáltica se considera igual a 1.0. Para una estructura semirrígida, el m para la base estabilizada con cementante hidráulico se toma como 1.0 o superior, asumiendo que la capa estabilizada es impermeable.

Ilustración 44 Calidad del drenaje

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

Fuente: AASHTO, 1993

Ilustración 45 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 grados 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	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy malo	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: AASHTO, 1993

6.8.13. Dimensionamiento

Los espesores de cada una de las capas (h_i , en pulgadas) que componen las estructuras del pavimento flexible, El subíndice $i=1$ correspondiente a la capa de concreto asfáltico, $i=2$ a la capa granular no tratada de base si es estructura flexible o para una base estabilizada con cementante hidráulico sin es una estructura semirrígida, e $i=3$ a la capa granular no tratada de subbase.

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \times m_2}$$

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 \times m_3}$$

Los SN_i son números estructurales de capa. Para obtener los SN_1 , SN_2 y SN_3 se introducen en la ecuación, el Mr de la base, subbase y subrasante respectivamente.

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

Para el caso de estructuras de pavimentos flexibles, al obtener los h_i se deben tener en cuenta los espesores mínimos que debe presentar cada capa que componen el pavimento.

Ilustración 46 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: (Rondón et al., 2015)

6.9. ESALs (Eje Carga Equivalentes).

Los ejes equivalentes, conocidos como ESAL (Equivalent Single Axial Load), representan la cantidad estimada de repeticiones de un eje de carga estándar equivalente de 18 kips (8.16 toneladas o 8. Toneladas) durante un período determinado. Esta carga equivalente se utiliza en los cálculos porque el tránsito está compuesto por vehículos con diferentes pesos y configuraciones de ejes, lo que hace necesario unificar su impacto en una medida común para el análisis y diseño de pavimentos.

Formula:

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

Donde:

TPDA: Trafico 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 crecimiento del tráfico.

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

6.10. Drenaje vial

6.10.1. Clasificación de las estructuras de drenaje

Los sistemas de drenajes son importantes para el funcionamiento y operación en las carreteras se detalla cuatro funciones principales:

1. Desalojar rápidamente el agua de lluvia que cae sobre la calzada;
2. Controlar el nivel freático;
3. Interceptar al agua que superficial o subterráneamente escurre hacia la carretera.
4. Conducir de forma controlada el agua que cruza la vía.

Las primeras tres funciones corresponden a drenajes longitudinales, como cunetas, bordillos y subdrenes, mientras que la última es atendida por drenajes transversales, como alcantarillas y puentes.(MTOPI, 2003)

6.10.2. Drenaje Longitudinales

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

6.10.3. Cunetas

Los canales se construyen en las zonas de corte, a uno o ambos lados de la carretera, para interceptar el agua de lluvia que escurre desde la corona de la vía, el talud del corte y áreas adyacentes. Su propósito es conducir el agua hacia un drenaje natural o una obra transversal, con el fin de alejarla rápidamente de la zona ocupada por la carretera.

6.10.4. Localización, pendiente y velocidad

La cuneta se ubicará entre el espaldón de la carretera y el pie del talud del corte, con una pendiente similar al perfil longitudinal de la vía, que no será inferior al 0.50%. La pendiente máxima dependerá de la velocidad del agua, la cual determinará la necesidad de revestimiento, se establece una velocidad de agua a partir de la cual ocurre erosión en diferentes materiales. Sin embargo, es común limitar la velocidad en las cunetas a 3,00 m/s en zampeado y 4,00 m/s en hormigón.

Ilustración 47 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	3.50
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

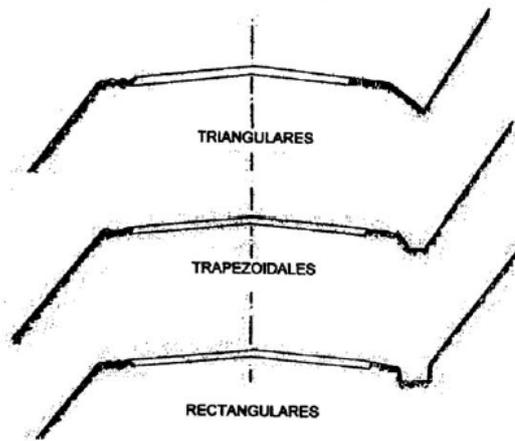
Fuente: (MTOP, 2003)

6.10.5. Forma de la Sección

Las cunetas pueden tener secciones transversales triangulares, rectangulares o trapezoidales. Las cunetas triangulares son las más utilizadas por su facilidad de construcción y mantenimiento, aunque también se pueden emplear secciones rectangulares o trapezoidales según las necesidades hidráulicas.

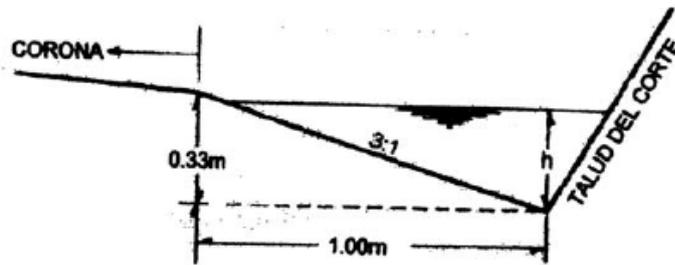
La sección rectangular se ha desechado principalmente por razones de seguridad vial, ya que genera sensación de peligro. La sección trapezoidal también se usa menos, a menos que el talud del corte sea muy suave. En las cunetas triangulares, el talud hacia la carretera debe ser al menos 3:1, preferiblemente 4:1, y el lado del corte sigue la inclinación del talud, con una lámina de agua no superior a 30 cm.

Ilustración 48 Secciones típicas de cunetas



Fuente: (MTO, 2003)

Ilustración 49 Dimensiones típicas de cunetas triangulares



Fuente: (MTO, 2003)

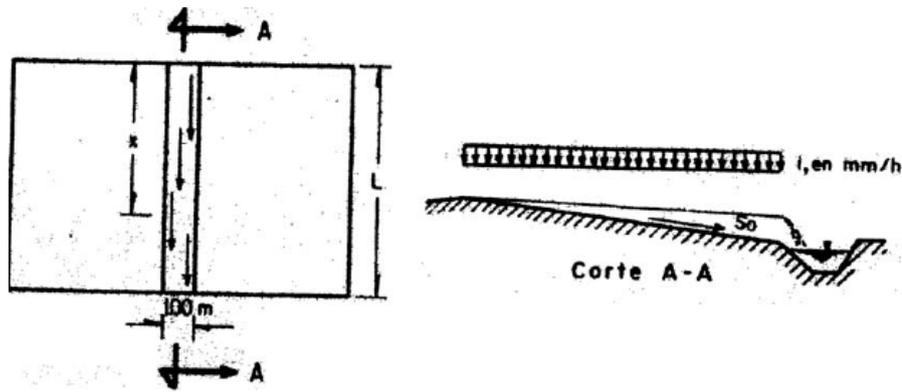
6.11. Diseño Hidráulico cunetas

El área hidráulica de una cuneta se calculará considerando el caudal máximo de diseño, la sección transversal, la longitud, la pendiente y la velocidad.

a) Caudal de diseño y período de retorno

El caudal máximo de escurrimiento de la corona de la vía y del talud del corte, por ancho unitario, se calculará para un período de retorno de 100 años, considerando una lluvia de 20 a 30 minutos de duración. Henderson desarrolló un método basado en las ecuaciones fundamentales de la hidráulica para determinar la relación entre precipitación y escurrimiento en superficies planas con pendiente transversal. Este método asume que la intensidad de la precipitación es constante y uniformemente distribuida, y proporciona ecuaciones simples para estimar el tiempo (t_e) en que se alcanza el caudal máximo por unidad de ancho y su valor al final de la superficie plana. (MTO, 2003)

Ilustración 50 Detalle escurrimiento en calzada de la vía



Fuente: (MTO, 2003)

Ecuación:

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

$$a = \left(\frac{S_0^{1/2}}{n} \right)$$

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

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

$$q_{max} = a * (V_0 * t_e)^{5/3} \text{ para } t_e < t < d$$

Donde:

d = Duración de la lluvia, en s.

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

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

n = Coeficiente de rugosidad (fórmula de Manning).

q = Caudal unitario n el tiempo “t”, en m³/s/m.

q_{max} = Caudal unitario máximo durante el intervalo(d-te), en m³/s/m.

S₀ = Pendiente media de la superficie.

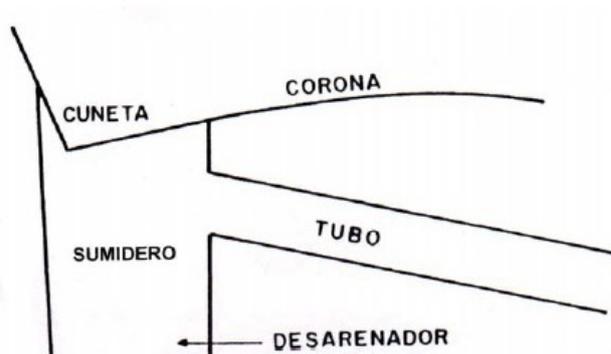
t = Tiempo, en s.

t_e = Tiempo de equilibrio para que se presente el q_{max}, en s.

b) Longitud permisible y descarga

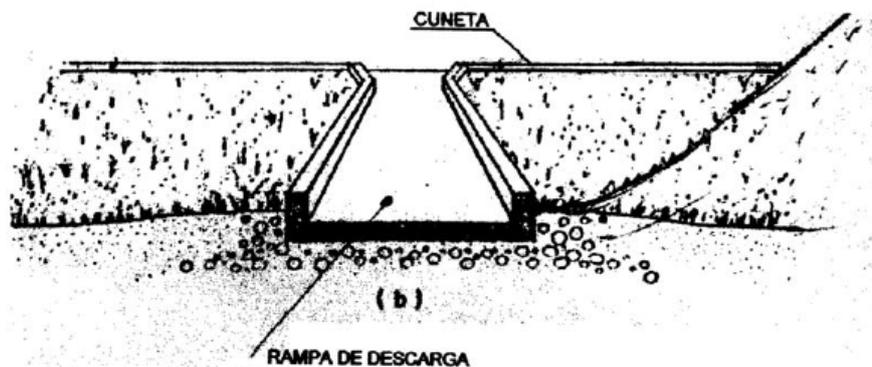
Se debe determinar la longitud máxima permisible de la cuneta para asegurar su eficiencia y evitar que: (a) el agua rebase la sección y (b) se generen depósitos (azolves) en tramos con cambios de pendiente. Si la longitud total de la cuneta excede la máxima permisible, será necesario diseñar alcantarillas que canalicen el agua a un drenaje natural. La distancia entre estas obras de descarga debe ser igual a la longitud máxima permisible. Si es necesario, la transición entre la cuneta y la obra de descarga puede incluir un sumidero con un desarenador para controlar el azolve en la alcantarilla, permitiendo la sedimentación de los arrastres. Además, cuando la cuneta pase de un tramo en corte a uno en relleno, deberá extenderse hasta su descarga en un cauce natural o una obra transversal, protegiendo el talud con una rampa de descarga para prevenir la erosión. (MTO, 2003)

Ilustración 51 Corte de sumidero con desarenador



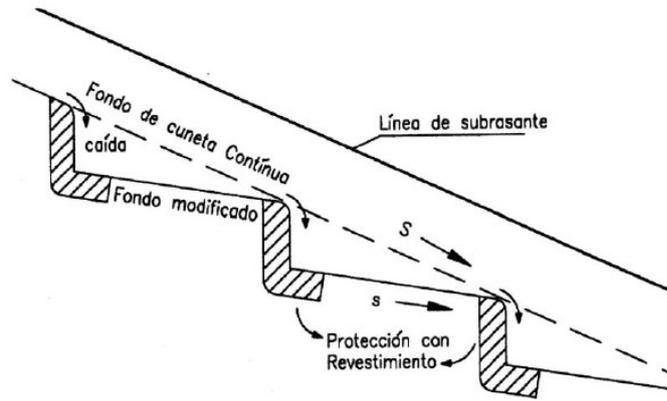
Fuente: (MTO, 2003)

Ilustración 52 Rampa de descarga



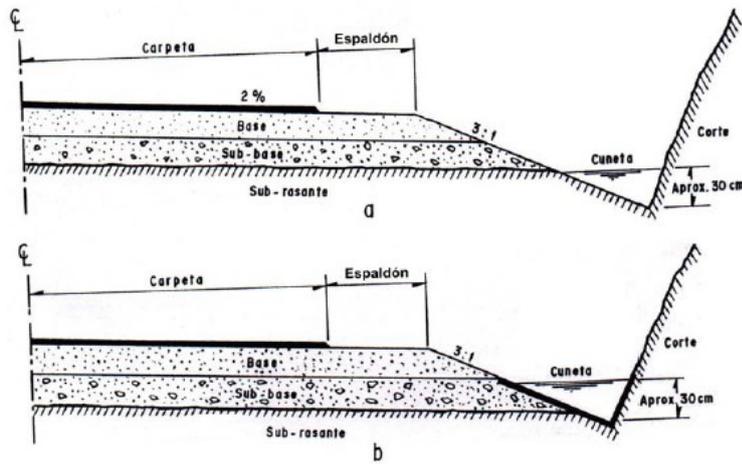
Fuente: (MTO, 2003)

Ilustración 53 Reducción de la pendiente de la cuneta mediante caídas



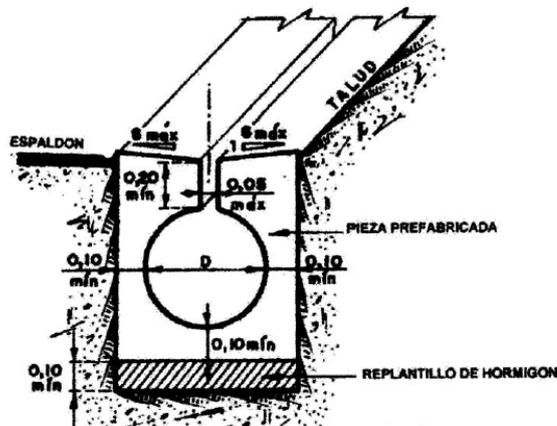
Fuente: (MTO, 2003)

Ilustración 54 Disposición más conveniente de la cuneta respecto al pavimento



Fuente: (MTO, 2003)

Ilustración 55 Cuneta tipo colector continuo



Fuente: (MTO, 2003)

Ilustración 56 Valores máximos de velocidades no erosivas en cunetas

MATERIAL	VELOCIDAD (m/seg)
Arenas finas y limos	0,40-0,60
Arcilla arenosa	0,50-0,75
Arcilla	0,75-1,00
Arcilla firme	1,00-1,50
Grava limosa	1,00-1,50
Grava fina	1,50-2,00
Pizarras suaves	1,50-2,00
Grava gruesa	2,00-3,50
Zampeados	3,00-4,50
Rocas sanas y hormigón	4,50-7,50

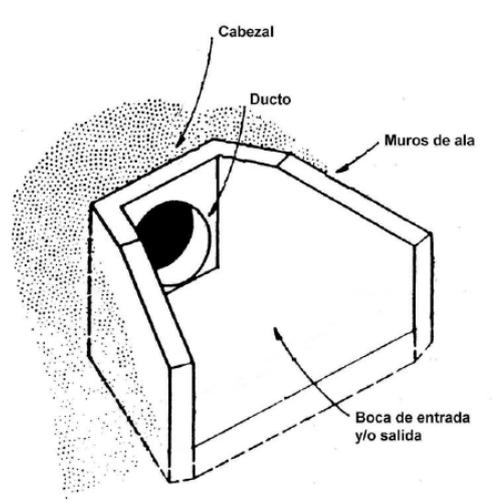
Fuente: (MTO, 2003)

6.12. Alcantarillas

El diseño de alcantarillas debe basarse en las características de la cuenca hidráulica y de la carretera que servirá. Dado que los sistemas de drenaje afectan los costos de conservación y mantenimiento, las alcantarillas deben ser proyectadas para funcionar de acuerdo con las limitaciones de los sistemas de conservación y métodos de mantenimiento.

Los componentes de una alcantarilla incluyen el ducto, los cabezales, los muros de ala en la entrada y salida, y dispositivos para mejorar el escurrimiento y prevenir la erosión regresiva debajo de la estructura. Según la forma del ducto, las alcantarillas pueden ser circulares, rectangulares, de arco, bóvedas o de ductos múltiples.

Ilustración 57 Elementos de una alcantarilla



Fuente: (MTO, 2003)

6.12.1. Recolección de información

Es conveniente reunir la mayor cantidad de información, concerniente a la zona de influencia del sitio de cruce; las fuentes de información pueden ser reconocimientos aéreos y/o terrestres, entrevistas, instituciones de recursos hidráulicos, diarios y estudios realizados con anterioridad.(MTO, 2003)

- a- Datos topográficos.
- b- Cuencas de drenaje.
- c- Características del cauce.
- d- Información de los niveles de agua.
- e- Estructuras existentes.

6.12.2. Características de diseño

El diseño del sistema de drenaje transversal menor de una carretera se basa en dos pasos fundamentales: el análisis hidrológico de la zona a drenar y el diseño hidráulico de las estructuras.

El análisis hidrológico permite predecir los valores máximos de las intensidades de precipitación o picos de escurrimiento, según el caso, para períodos de retorno específicos, de acuerdo con la importancia del sistema.

El diseño hidráulico determina las dimensiones necesarias de las estructuras para evacuar los caudales de lluvia, asegurando la eficiencia en el desalojo de las aguas.

- a- Localización.
- b- Longitud de la alcantarilla.
- c- Velocidad de la corriente.
- d- Carga admisible a la entrada.
- e- Selección del tipo.

Ilustración 58 Velocidades máximas permisibles (m/s) para canales estables de alineamiento recto y tirante de 0.90 m

MATERIAL	AGUA LIMPIA	AGUA CON LINEAS 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 firme 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: (MTOPI, 2003)

6.12.3. Análisis Hidrológico

En el análisis hidrológico de las áreas de drenaje, intervienen principalmente los dos componentes del ciclo: precipitación y escurrimiento. A partir de los registros de mediciones, se puede establecer la relación entre ambos, considerando mediciones directas, estimaciones de condiciones no medibles y la predicción de eventos dentro de un periodo determinado. Estas condiciones guiarán el diseño de la estructura.

Métodos para evaluar los caudales de diseño:

- a. **Empíricos:** Se utilizan para estimar el caudal de diseño cuando no se conocen las características de la precipitación en la cuenca. Los métodos más comunes son Creager y Lowry.
- b. **Semi-empíricos:** Estos métodos consideran la intensidad de la lluvia en la relación funcional del caudal de diseño. Se basan en el ciclo hidrológico y varían en el nivel de detalle al considerar los factores involucrados. Los métodos más usados son el Racional y el de Ven Te Chow.
- c. **Estadísticos:** Son útiles cuando se dispone de un buen registro de caudales. Se basan en la suposición de que los caudales máximos anuales son una muestra

aleatoria de una población de caudales máximos, diferenciándose por la función de distribución de probabilidades que asumen.

- d. **Modelos matemáticos:** Existen modelos útiles que requieren datos extensos y completos, difíciles de obtener. A pesar de sus limitaciones, se recomienda su uso, prestando atención a la calidad de los datos ingresados y la interpretación de los resultados.(MTOPI, 2003)

6.12.4. Diseño Hidráulico para alcantarilla

El análisis hidráulico de una estructura de drenaje se basa en los principios fundamentales de la hidráulica, como las ecuaciones de continuidad, energía y cantidad de movimiento. Estos principios son aplicables tanto en conducciones forzadas como a superficie libre, aunque en este último caso, se deben considerar las variaciones del tirante de la sección según las características geométricas e hidráulicas de la conducción.

Las alcantarillas que operan a sección llena o parcialmente llena, sin presión, se clasifican como canales, mientras que las que funcionan a presión se analizan como conductos cerrados. Por lo tanto, es crucial determinar si la alcantarilla operará a presión para estimar sus dimensiones.

a- **Escurrimiento en alcantarillas**

El flujo en una alcantarilla se manifiesta por formas típicas de escurrimiento: 1) con control de entrada y 2) con control de salida.

b- **Parámetros de diseño**

El cálculo dimensional de una alcantarilla se realizará considerando el caudal máximo de diseño, la pendiente establecida y la verificación de la velocidad máxima y/o el remanso en la entrada.

La determinación de los parámetros hidrológicos de diseño, para aplicar los métodos recomendados, se puede realizar siguiendo estas pautas:

Área de drenaje: Se puede obtener a partir de cartas topográficas del IGM (escala 1:25.000) o de fotografías aéreas, considerando la superficie proyectada horizontalmente limitada por el parteaguas. El área se calculará por el método correspondiente y se expresará en hectáreas o kilómetros cuadrados.

Intensidades: Se determinarán las intensidades de precipitación, relacionándolas con su frecuencia y duración. En caso de no contar con suficiente información, el INAMHI publica análisis estadísticos periódicos de intensidades que permiten calcular la relación intensidad-frecuencia-duración utilizando las ecuaciones pluviométricas, para cada una de las "zonas de intensidades" en que está dividido el país (Anexo 4-A).

Período de retorno: Según el tipo de carretera, se asignan los siguientes períodos de retorno: (1) para carreteras arteriales, no menor a 200 años; (2) para carreteras colectoras, no menor a 150 años; (3) para carreteras vecinales, no menor a 100 años.

Tiempo de concentración: Dado que la información disponible es limitada, se recomienda considerar el tiempo de concentración igual al tiempo de duración de la lluvia, ya que es durante este período cuando la cuenca aporta la mayor cantidad de agua al cauce. Existen varias fórmulas empíricas para calcular el tiempo de concentración, siendo la más utilizada la fórmula de Rowe.(MTO, 2003)

$$tc = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

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.

Precipitación máxima en 24 horas: La precipitación máxima en 24 horas se obtendrá a partir de los registros de las estaciones pluviométricas más cercanas al área del proyecto. Si no se dispone de estos datos, se podrá utilizar el mapa de isolíneas del INAMHI, en correlación con la zonificación de las ecuaciones.

Coefficiente de escorrentía: Este coeficiente establece la relación entre la cantidad total de lluvia que se precipita y la que escurre superficialmente. Su valor dependerá de varios factores, como la permeabilidad del suelo, la morfología de la cuenca, la pendiente longitudinal y la cobertura vegetal.

Ilustración 59 Coeficiente de escorrentía "C"

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPECIABLE
			50%	20%	5%	
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: (MTO, 2003)

c- Caudal de Diseño

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

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

Ecuación:

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

Donde:

Q = El caudal máximo probable, en m³/seg.

c = El coeficiente de escorrentía.

I = La intensidad de la precipitación, en mm/h, para una duración igual al tiempo de concentración.

A = El área de la cuenca, en Ha.

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

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

Donde:

Q = El caudal máximo probable, en m³/seg.

n = El coeficiente de rugosidad.

R = El radio hidráulico, en m.

S = La pendiente de la planicie, en m/m

Ilustración 60 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: (MTO, 2003)

6.12.15. Procedimiento de Diseño

El diseño de alcantarillas puede realizarse mediante procesos analíticos o utilizando los nomogramas preparados por el U.S. Bureau of Public Roads. Estos nomogramas simplifican los cálculos y permiten determinar las condiciones de funcionamiento hidráulico de la alcantarilla. Además, el proceso de diseño puede agilizarse aún más mediante el uso de programas

informáticos, que facilitan la evaluación de alternativas y condiciones de operación establecidas. (MTOP, 2003)

Independientemente del método de diseño empleado, es fundamental considerar las siguientes variables:

- **Q:** Caudal de diseño (m^3/s).
- **B:** Ancho de la sección transversal para alcantarillas rectangulares (m).
- **D:** Diámetro o altura de la alcantarilla, según su tipo (m).
- **S_o:** 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).

Ilustración 61 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, 2003)

Mínimo diámetro en cm. de las piedras de protección de enrocado, en función del peso específico y la velocidad del flujo, para un tirante de flujo igual a 1 metro.

Periodo de retorno de diseño

Los caudales de diseño y sus niveles de agua correspondientes deben definirse en función de un período de retorno específico, determinado según el tipo de carretera:

- a) **Caminos vecinales:** Período de retorno entre 50 y 100 años.
- b) **Carreteras colectoras (secundarias) con tráfico constante:** Período de retorno entre 100 y 250 años.
- c) **Carreteras de la red vial principal con tráfico intenso:** Período de retorno entre 200 y 1,000 años.
- d) **Vados,** dependiendo de su importancia: Período de retorno entre 25 y 100 años.

6.13 Seguridad Vial

la seguridad vial debe ser una prioridad. Las principales normativas y criterios que se deben seguir para garantizar la seguridad de los usuarios de la vía.

1- Según Normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOB)

Las especificaciones técnicas del MTOB definen los parámetros para el diseño de carreteras y caminos en Ecuador, abordando aspectos como el diseño geométrico, señalización, seguridad, y drenaje.

2- Diseño geométrico se toma en cuenta

Radio de curvatura: Las curvas deben tener un radio adecuado para permitir un paso seguro de los vehículos, considerando la velocidad de diseño y el tipo de vehículos.

Pendientes: Las pendientes deben ser adecuadas para evitar riesgos de deslizamientos o pérdida de control, especialmente en áreas de montaña.

Ancho de la calzada: El ancho de la vía debe ser suficiente para el tipo de tráfico esperado, permitiendo un paso seguro de vehículos, incluidos los de transporte pesado.

Banquetas y veredas: Deben ser diseñadas para la seguridad de peatones y ciclistas, especialmente en áreas urbanas o pobladas.

3- Señalización y visibilidad:

Señales verticales y horizontales: La señalización debe ser clara, visible y adecuada a las condiciones de la carretera. Esto incluye señales de advertencia, reglamentarias y de guía.

Visibilidad: El diseño debe garantizar visibilidad en puntos críticos como intersecciones, curvas, cruces peatonales y zonas de alto riesgo.

4- Elementos de seguridad:

Barrera de seguridad: Instalar defensas metálicas o barreras de seguridad en tramos peligrosos, como en áreas de gran pendiente, cerca de deslizamientos, o en cercanía de puentes y alcantarillas.

Muros de contención: En zonas de alto riesgo de deslizamientos, el diseño debe incorporar muros para contener el material de la montaña.

- 5- **Estudio de tráfico:** Se debe realizar un análisis del tipo y volumen de tráfico, que permita ajustar el diseño a las condiciones reales del tránsito (vehículos ligeros, pesados, transporte público).
- 6- **Seguridad en puentes y alcantarillas:** Estos elementos deben ser diseñados según las normativas de resistencia, estabilidad y seguridad, con un adecuado sistema de drenaje que evite inundaciones o fallas estructurales.
- 7- **Drenaje adecuado:** Un sistema de drenaje eficiente es crucial para evitar la acumulación de agua en la vía, lo que puede causar deslizamientos, inundaciones y pérdida de adherencia en la calzada.
- 8- **Riesgos naturales:** El diseño debe tener en cuenta factores geográficos y climáticos, como deslizamientos de tierra, inundaciones y otras condiciones de riesgo naturales típicas de la zona.
- 9- **Accesibilidad:** Incluir accesos adecuados para personas con discapacidad, como rampas y señalización accesible, para garantizar la seguridad de todos los usuarios de la vía.
- 10- **Mantenimiento y conservación:** El diseño debe contemplar los costos y la facilidad de mantenimiento de la vía para asegurar su funcionalidad a largo plazo.

7. METODOLOGIA

7.1. Definición y planificación del proyecto

- 1) **Objetivo del proyecto:** Conectar Cantones, mejorar la movilidad, reducir tiempos de desplazamiento y fomentar el desarrollo económico y social, garantizando seguridad vial y sostenibilidad ambiental.
- 2) **Normativas de regulaciones:** Para en diseño de vías en se rige por el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) y normas como el Manual de Carreteras y el Código Orgánico del Ambiente, que establecen lineamientos técnicos, sociales y ambientales. Estas regulaciones consideran aspectos como clasificación vial, diseño geométrico, seguridad vial, impacto ambiental y procesos de aprobación.

- 3) **Alcance:** Infraestructura, movilidad, seguridad vial, sostenibilidad, estándares técnicos, conectividad, desarrollo.

7.2. Recopilación de Datos y estudios Previos

7.2.1. Reconocimiento del campo.

Se procedió a realizar un reconocimiento de la vía esto implicó la evaluación preliminar del terreno y las condiciones existentes para delimitar la viabilidad del diseño, se evaluó el trayecto de la vía para tener en conocimiento todos los aspectos más importantes para el diseño de la vía, se observó las condiciones del terreno, ambiental, sectores inestables y problemas en algunos tramos del recorrido a tomar en cuenta en el diseño de la vía.

Ilustración 62 Reconocimiento de campo Vía la Ramada - Girón



Fuente: Elaboración Propia

7.2.2. Levantamiento topográfico

Para el levantamiento topográfico se utilizó dron Matrice 350 RTK es equipado con tecnología de posicionamiento RTK (Real-Time Kinematic) para realizar levantamientos topográficos de alta precisión. Este dron permitió capturar datos geospaciales y de altitud con una precisión milimétrica, lo que lo hace ideal para proyectos de construcción, mapeo, inspección y estudios de terrenos y levantamiento topográfico. El sistema RTK mejora la exactitud de las mediciones al corregir las señales GPS en tiempo real, lo que resulta en datos más precisos y confiables.

La franja de levantamiento con el dron de la vía desde el eje central de la vía a cada lado se tomó en cuenta 14 m

Para la utilización del equipo en sitio se tomó en cuenta:

- 1- **Preparación del equipo:** Asegúrate de que el dron y el receptor RTK estén listos.
- 2- **Planificación de vuelo:** Define el área de trabajo, establece altitud y cobertura y longitud de vuelo.
- 3- **Despegue y vuelo:** El dron captura imágenes o nubes de puntos, usando RTK para mejorar la precisión GPS en tiempo real.
- 4- **Posprocesamiento:** Descarga los datos, procesa las imágenes o nubes de puntos con software, generando modelos 3D u ortofotos (Agisoft).
- 5- **Generación de entregables:** Crea planos topográficos y otros productos del levantamiento.

El levantamiento topográfico del tramo de la vía se realizó en un período de 5 días, teniendo en cuenta los tramos de vuelo, las condiciones climáticas y la duración de las baterías del dron durante cada sesión de trabajo.

Ilustración 63 Levantamiento Topográfico Don Con Lidar



Fuente: Elaboración Propia

7.2.2.1. Transferencia de datos y procesamiento de datos

Culminando el levantamiento topográfico con Dron con Lidar se procedió a transferir los datos a nuestra computadora para procesar información.

Usamos un software compatible como Agisoft Metashape profesional, para procesar los datos. Estos programas generar modelos 3d, ortofotos o nubes de puntos.

Se exporta los datos procesados en un formato compatible con Civil 3D como LAZ para nube de puntos Lidar.

Revisar la escala y precisión de los datos importados, ajustar las coordenadas para asegurar que todo este georreferenciado correctamente.

7.2.2.2. Software para diseño

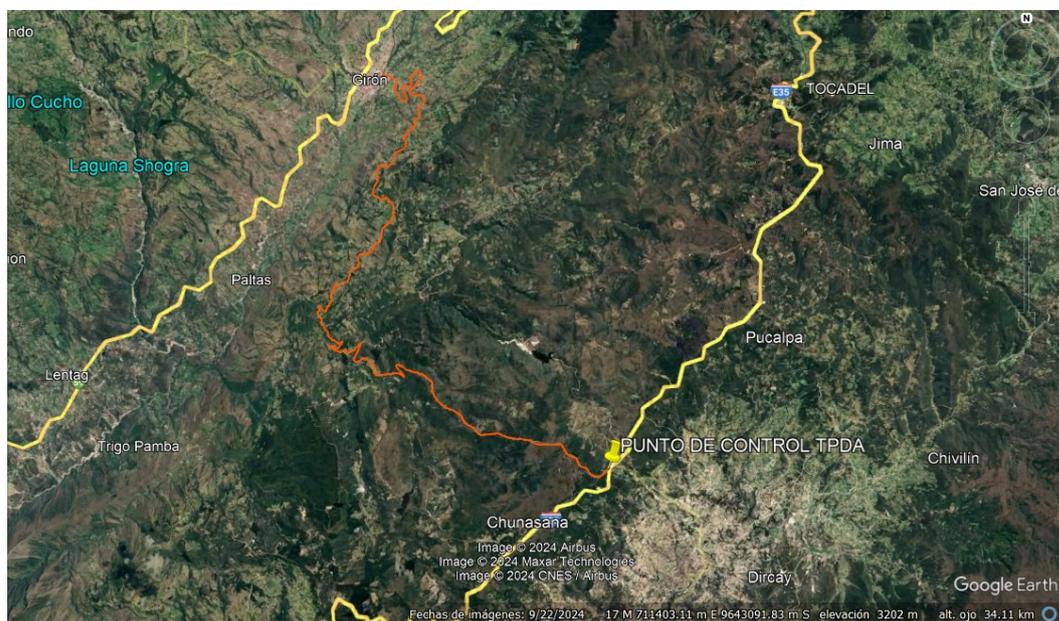
Para el proyecto de diseño geométrico usamos Agisoft Metashape professional, Global Mapper pro Y Civil 3D para crear el diseño de la vía, Alineación horizontal, Alineación vertical, Cortes transversales. ANEXO 7 Alineamiento de fotos obtenidas por el dron.

7.3. Trafico Promedio Diario Anual (TPDA)

Para representar el promedio vehicular que transita por la carretera, se realizó un conteo presencial del tráfico diario en un punto específico de la vía durante un período representativo. Los datos fueron recopilados durante 7 días consecutivos, con un período de observación de 12 horas cada día, para obtener una muestra representativa del tráfico diario. El conteo vehicular se llevó a cabo en el tramo La Ramada Girón.

El conteo se realizó por 7 días en horarios de 7am a 19 pm, desde el 25 de diciembre al 31 de diciembre del año 2023 proyectando el TPDA para el año 2024.

Ilustración 64 Vía la Ramada – Girón Para el conteo Vehicular



Fuente: Elaboración Propia- via la Ramada

Una vez realizada el conteo Vehicular se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 16*Resumen Conteo Vehicular la Ramada- Girón*

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: Propia diseño***7.3.1. Volumen horario de máxima demanda "VHMD".****Tabla 17***Volumen Horario De Máxima Demanda "VHMD"*

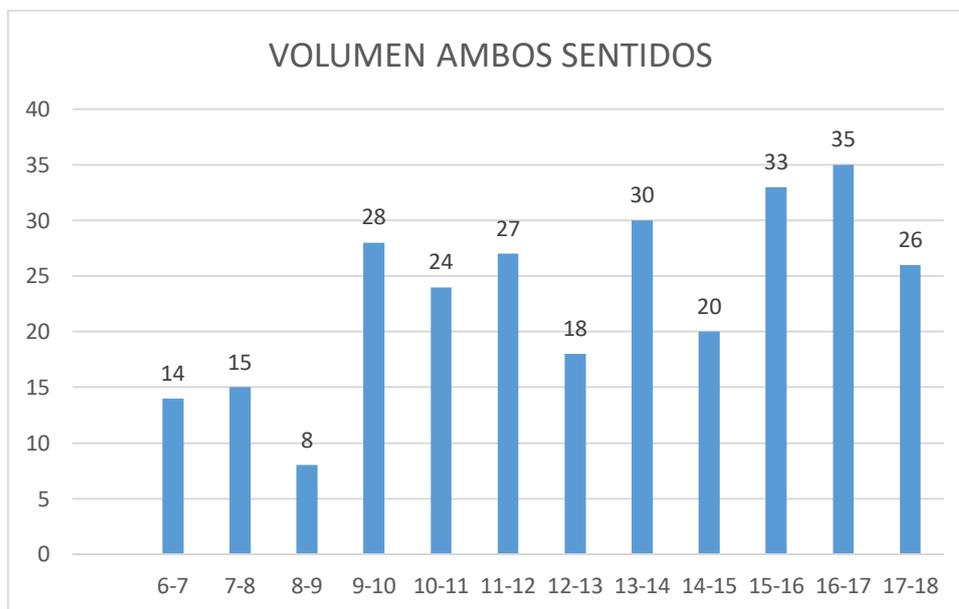
VOLUMEN HORARIO DE MAXIMA DEMANDA "VHMD"			
Resumen para hora pico			
HORA	SENTIDO		AMBOS SENTIDOS
	NORTE-SUR	SUR-NORTE	
6-7	7	7	14
7-8	8	7	15
8-9	8	0	8
9-10	14	14	28
10-11	24	0	24
11-12	14	13	27
12-13	11	7	18
13-14	13	17	30
14-15	7	13	20
15-16	7	26	33
16-17	15	20	35
17-18	12	14	26

	VHMD =	35 Veh/hora
Hora pico	HORA =	16-17

Fuente: Propia diseño

Tabla 18

Volúmenes ambos sentidos



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al análisis de conteo vehicular en ambos sentidos el $VHMD = 35 \text{ veh/h}$ y hora pico es de 16 – 17 h.

Tabla 19

Resumen semanal

Resumen Semanal	
Tipo de vehículo	Volumen
AUTOS	266
BUS	0
BUSETA	0
C-2D	10
C-2DB	0
C-3A	0
C-4C	0
V2DE	0
MOTOS	2

Fuente: Elaboración Propia

7.3.2. Proceso de cálculo Trafico Promedio Diario Anual (TPDA)

Para el Cálculo de TPDA se necesita FH, FD, FS, FM.

7.3.2.1. Factor Horario (Fh)

Dado que el conteo realizado por los aforadores no abarca las 24 horas del día, es necesario realizar un ajuste utilizando el Factor Horario (Fh). Este se calcula multiplicando el Tráfico Promedio Diario (To) por un factor de corrección que representa las 24 horas del día. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 20

Cálculo del 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: Elaboración propia

Se obtuvo un Factor Horario: $Fh = 1.03$

7.3.2.2. Factor Diarios (Fd)

Para determinar el Factor Diario (Fd), se deben seguir las recomendaciones de la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, que sugiere realizar un conteo durante 7 días consecutivos, asegurándose de que no sean afectados por eventos especiales. El Factor Diario (Fd) se calcula dividiendo 7 entre el número de días contabilizados.

$$Fd = \frac{7}{\# \text{ de días contados}}$$

Tabla 21

Calculo Factor Diario

Factor diario		
Dia	Nº vehículos	Fd
LUNES	25	1.00
MARTES	37	1.00
MIERCOLES	36	1.00
JUEVES	45	1.00
VIERNES	49	1.00
SABADO	54	1.00
DOMINGO	32	1.00

TOTAL =	278	
TPDS =	39.71	1.00

Fuente: Elaboración Propia

7.3.2.3. Factor Semanal (Fs)

En función del volumen de tránsito existente en el proyecto, se determina el valor del Factor de Ajuste Semanal (Fs). Este se calcula analizando el número de días y semanas dentro de un mes.

Tabla 22

Factor de ajustes semanal

Factor de ajuste semanal			
MES	Nº DIAS	Nº SEMANAS	FACTOR SEMANAL
Enero	31	4.429	1.107
Febrero	28	4.000	1.000
Marzo	31	4.429	1.107
Abril	30	4.286	1.071
Mayo	31	4.429	1.107
Junio	30	4.286	1.071
Julio	31	4.429	1.107
Agosto	31	4.429	1.107
Septiembre	30	4.286	1.071
Octubre	31	4.429	1.107
Noviembre	30	4.286	1.071
Diciembre	31	4.429	1.107
Total	365		
Fs =	1.107		

Fuente: Elaboración Propia

Una vez recopilados todos los datos, se procede a calcular el Factor Semanal (Fs) dividiendo 4 entre el número de semanas analizadas. En este caso, se obtuvo $Fs = 1.107$

7.3.2.4. Factor Mensual (Fm)

Para determinar el Factor Mensual, es fundamental consultar la tabla de consumo de combustibles de la provincia donde se desarrolla el proyecto. En este caso, se utilizó el consumo de combustible de la provincia de Azuay correspondiente al año 2023, basado en los datos proporcionados por PETROECUADOR E.P., con un enfoque específico en el mes de diciembre.

Tabla 23

Consumo de combustibles año 2023

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	0.91173034

Fuente: Elaboración Propia

Factor mensual de este mes de diciembre resulto el **$Fm = 0.91173034$**

7.3.3. Factor de expansión (Fe).

Tabla 24

Calculo Factores de mayoración para TPDA 2024

Tabla: Calculo Factores de mayoración para TPDA 2024							
Factores de corrección	LUNE S	MARTE S	MIERCOLE S	JUEVE S	VIERNE S	SABAD O	DOMING O
Fh	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Fd	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fs	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
Fm	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Fe	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11

Fuente: Elaboración Propia

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

Donde:

Fe: Factor de expansión

Fh: Factor horario

Fd: Factor diario

Fs: Factor semanal

Fm: Factor mensual

Dando como Factor de Expansión **Fe = 1.11**

7.3.4. Cálculo del TPDA.

Tabla 25

TPDA 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
							TPDA₂₀₂₄	46	

Fuente: Elaboración Propia

El TPDA proyectado para el año 2024 es **46 Carros Diarios**.

Se recomienda asumir el tráfico inducido ya que se refiere al aumento del volumen de vehículos en una carretera o red vial como resultado de mejoras en la infraestructura, como la ampliación de carreteras, la reducción de tiempos de viaje o la mejora en la conectividad. Este fenómeno ocurre porque las mejoras hacen que más personas elijan utilizar la carretera, generando un flujo mayor al inicialmente esperado, considerando las normas viales en el Ecuador.

7.3.5. Proyección Vehicular

Tabla 26

Factor de conversión

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

Fuente: (MTO, 2003)

Factores que ayudan a minimizar el tipo en los cálculos clasificándolos según sus pesos.

Tabla 27

Intensidad de tráfico transformada a vehículos livianos

CLASES	Nº CLASES	FACTOR DE TRANSFORMACION	Trafico actual
Livianos	298	1	298
BUS	0	2	0
BUSETA	0	2.5	0
C-2D, C-2DB, C-3A, C-4C, V2DE	13	3.5	46
MOTOS	3	0.5	2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28

Tasa De Crecimiento Vehicular Cada 5 Años

TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR CADA 5 años			
PERIODO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
2024-2029	2,46%	2,25%	2,25%
2029-2034	2,37%	2,25%	2,25%
2034-2039	2,32%	2,25%	2,25%
2039-2044	2,29%	2,25%	2,25%

Fuente: Elaboración Propia

$$Tf = Ta(1 + i)^n$$

Tabla 29

Resumen de tráfico Proyectado para 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: Elaboración Propia

Se proyecta un $TPDA = 974$ vehiculos para el año 2044, por lo que se concluye que el tramo de la Vía la Ramada - Rio Curiquingue es una carretera de categoría de clase III está en rango de TPDA de 300-1000. **Ilustración 3** Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado.

7.4. Determinación del número equivalente ESAL's

7.4.1. Clasificación del trafico

Es el proceso de categorizar los vehículos que transitan por una vía, según sus características físicas (como peso, tamaño, ejes) y su impacto sobre el pavimento. Se utiliza para entender el tipo y cantidad de carga que soportará una carretera. Las categorías comunes incluyen:

- **Vehículos livianos:** Autos y motocicletas.
- **Vehículos medianos:** Camionetas y furgonetas.
- **Vehículos pesados:** Camiones, autobuses y vehículos articulados.

Esta clasificación ayuda a estimar la carga total en el diseño estructural de las carreteras.

Tabla 30*Clasificación de tráfico*

Clasificación del tráfico								
	TPDA	MOTOS	Livianos	Buses, busetas, buses medianos y grandes	camiones 2 ejes	camiones 3 ejes	camiones grandes, trailers 4,5 y 6 ejes	TOTAL
No.	AÑO	A1	A2	B	C1	C2	C3	
1	2024	0	300	0	46	0	0	346

*Fuente: Elaboración Propia***Tabla 31***Clasificación del tráfico*

A2			
TIPO	%	TPDA	ri
VEH	100	300	3.19%
B			
3A	0	0	0%
2DB	0	0	0%
S1	0	0	0 %
B1	0	0	0%
C1			
2D	100	46	1.11%
2DA	0	0	0%
V2DB	0	0	0%
T2	0	0	0%
S2	0	0	0%
R2	0	0	0%
B2	0	0	0%

Fuente: Elaboración Propia

7.4.2. Determinación del factor equivalente de carga

El factor de ejes equivalentes se calcula siguiendo el método AASHTO 93, tomando como referencia el peso bruto vehicular especificado en la norma NEVI 12 Tabla 2A 106-03 Nacional de pesos Y Dimensiones.

ANEXO 5.

Tabla 32*Resultados ESALs*

TIPO	FRECUENCIA	FACTOR CAMION	TASA DE CRECIMIENTO	FACTOR DE CRECIMIENTO	N. ESALs p/diseño	N. ESALs CORREGIDO p/diseño
AUTOS	190	0.001	0.0319	27.827	1,296	1,461
2D	47	0.097	0.0111	22.377	18,233	20,544
				TOTAL	22,529	22,004

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado el número los ejes equivalentes, se proyecta para 20 años se obtuvo un valor de $W_{18} = 22,004$ Para 2 carriles.

7.5. Estudio de suelo

Las calicatas de suelo de la vía objeto de estudio fueron realizadas el 24 de octubre de 2024 en dos puntos específicos, ubicados en las abscisas 7+475 km y 8+625 km. La excavación se llevó a cabo con profundidades que oscilaron entre 1.50 y 2.00 metros. Los materiales obtenidos se utilizaron para determinar la clasificación del suelo, su humedad óptima (mediante el ensayo Proctor modificado) y su capacidad portante, evaluada mediante el ensayo CBR (California Bearing Ratio).

7.5.1. Estratigrafía

En las calicatas se identificaron dos estratos diferenciados: el superior, utilizado como material de mejoramiento, con un espesor variable de aproximadamente 40 cm, que deberá ser retirado según el diseño.

Con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, detallados más adelante, se clasifica el suelo según la siguiente tabla.

Tabla 33

Resumen Estratigráfico

Resumen Estratigráfico			
Pozo No.	Espesor (m)	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
1	De 0.4 a 2	MH o OH	A-7-5
2	De 0.4 a 2	MH o OH	A-7-5

Fuente: Elaboracion Propia

7.5.2. Calicata 1

Se observa un primer estrato con un espesor de 40 cm, dispuesto como material de mejoramiento y que actualmente funciona como capa de rodadura en la vía. El siguiente estrato, identificado desde una profundidad de 40 cm hasta 2 m, corresponde a un suelo cuyas características se detallan en la siguiente tabla.

Se ubica en las Zona 17 M, coordenadas Este 707955.00 m E, Coordenada Norte 9641256.00 m S.

Ilustración 65 Calicata 1

Profundidad (m)	Calicata No 1	Clasificación	Descripción
-0.4		SUCS =MH o OH	limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
-2		AASHTO = A-7-5 LL= 69.031 LP = 52.973 IP = 16.058	Inorgánicos, Limos arenosos Estrato de color café claro

Fuente. Elaboracion Propia

7.5.3. Calicata 2

Se observa un segundo estrato con un espesor de 40 cm, dispuesto como material de mejoramiento y que actualmente funciona como capa de rodadura en la vía. El siguiente estrato, identificado desde una profundidad de 40 cm hasta 2 m, corresponde a un suelo cuyas características se detallan en la siguiente tabla.

Se ubica en las Zona 17 M, coordenadas Este 707243.51 m E, Coordenada Norte 9641412.75 m S.

Ilustración 66 Calicata 2

Profundidad (m)	Calicata No 2	Clasificación	Descripción
<p>-0.4</p>  <p>-2</p>		<p>SUCS =MH o OH</p> <p>AASHTO = A-7-5</p> <p>LL= 51.275</p> <p>LP = 40.244</p> <p>IP = 11.031</p>	<p>limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas</p> <p>Inorgánicos, Limos arenosos</p> <p>Estrato de color rojo</p>

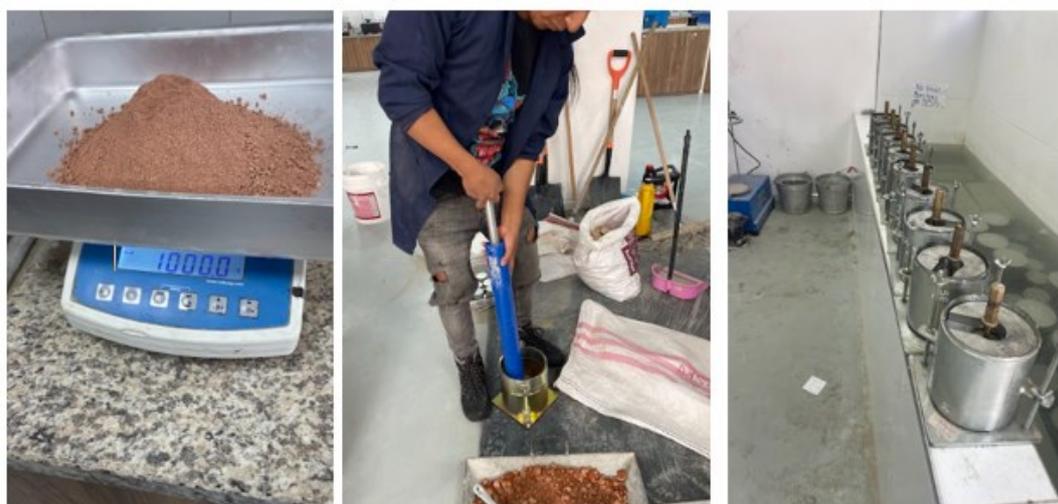
Fuente: Elaboracion Propia

Ilustración 67 Calicatas tramo 7+475 k m y 8+625 km



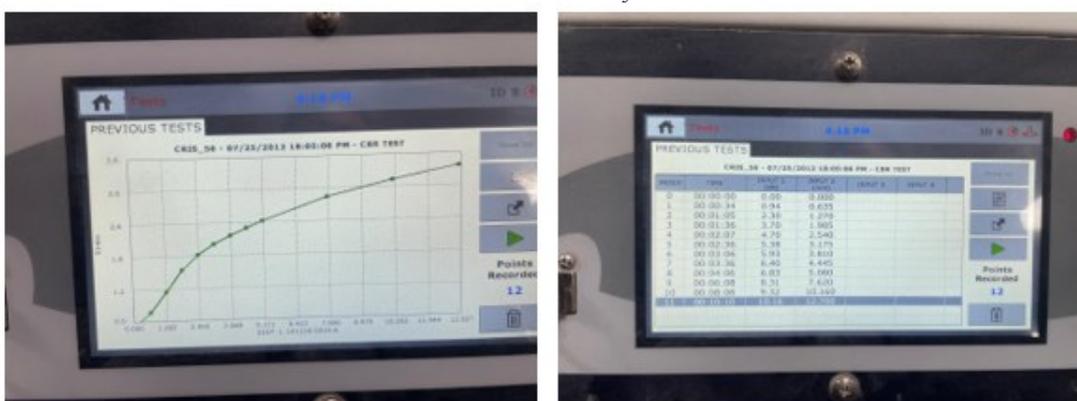
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 68 Desarrollo de ensayo de muestra de suelo



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 69 Ensayo CBR



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34

Características del suelo calicata 7+475 km

CARACTERISTICAS DEL SUELO CALICATA 7+475 KM		
LL	69,03	%
LP	52,97	%
IP	16,06	%
Tipo de suelo	Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas	(MH u OH)
Proctor Modificado	Humedad optima-OCH (%) =	16,5
Densidad	D. Optima (gr/cm3)	1,46
CBR 95 %	10.037	%
CBR 100 %	11.354	%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35*Características del suelo calicata 8+625 km*

CARACTERISTICAS DEL SUELO CALICATA 8+625 KM		
LL	51,28	%
LP	40,24	%
IP	11,03	%
Tipo de suelo	Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas	(MH u OH)
Proctor Modificado	Humedad optima-OCH (%) =	18,8
Densidad	D. Optima (gr/cm ³)	1,41
CBR 95 %	17.778	%
CBR 100 %	25.225	%

Fuente: Elaboración Propia

Consideramos el CBR más desfavorable para el diseño para evitar el cambio estructural por tramos **CBR = 10.037 %**.

Se sugiere, a pesar de que la vía supera los 2 km de longitud en el tramo de análisis, realizar una calicata cada 500 metros en futuras instancias para obtener una caracterización más precisa del suelo de subrasante. Además, para evitar sobredimensionar, se recomienda aplicar el criterio de percentiles del Instituto del Asfalto para seleccionar el CBR de diseño, basándose en el número de ESAL's calculados para la vía.

7.6. Diseño Geométrico

7.6.1. Velocidad de diseño

Para la velocidad en la vía La Ramada – Río Curiquingue – Girón, según la norma MTOP da como clasificación a nuestra carretera de categoría III, el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) proyectado es de 974 vehículos para el año 2044. Dado que se encuentra en un terreno montañoso y conforme a los datos presentados en los **ANEXOS** se ha establecido una velocidad de diseño de 40 km/h.

7.6.2. Velocidad de Circulación

Según el Manual de Carreteras del MTOP de Ecuador, la velocidad de circulación es la velocidad promedio a la que los vehículos transitan en condiciones normales, influenciada por la categoría de la vía, el relieve, el diseño geométrico y las condiciones climáticas, la velocidad de diseño en este caso es de **40 km/h** y el volumen de tránsito intermedio de acuerdo a la tabla anexada se obtiene una **velocidad de circulación de 35 km/h**.

Tabla 36

Velocidad de circulación

VELOCIDAD DE DISEÑO EN KM/h	VELOCIDAD DE CIRCULACION EN KM/h		
	VOLUMEN DE TRANSITO BAJO	VOLUMEN DE TRANSITO INTERMEDIO	VOLUMEN DE TRANSITO ALTO
25	24	23	22
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	44	42
60	55	51	48
70	63	59	53
80	71	66	57
90	79	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

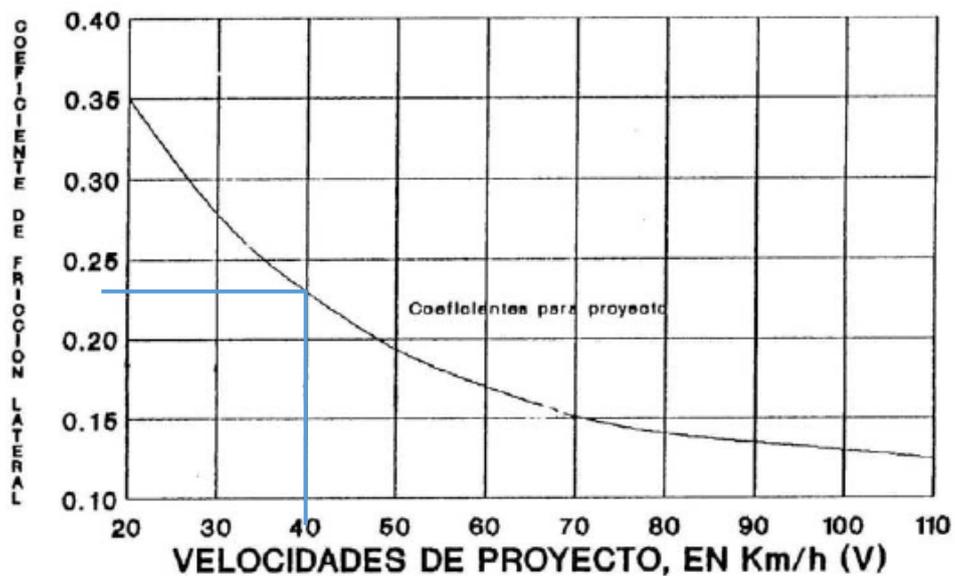
Fuente: (MTOPI, 2003)

7.6.3. Diseño Geométrico Horizontal

7.6.3.1. Coeficiente de fricción lateral

El coeficiente de fricción lateral se determina a partir de la ilustración adjunta. Para una velocidad de diseño de 40 km/h, el valor obtenido del coeficiente es de 0.237 m/m

Ilustración 70: Coeficiente de fricción lateral



Fuente: (MTOPI, 2003)

7.6.3.2. Peralte de la curva

La vía en cuestión pertenece a la categoría III, por lo que se determina un peralte de curva en cumplimiento con la norma MTOP 2003. Según esta norma, el peralte máximo para vías de clase III es del **10%**. Tras evaluar aspectos como la velocidad de diseño, los radios de curva y las características de los vehículos, se establece un **peralte del 8%** para esta el diseño.

7.6.3.3. Radio Mínimo de curva

El cálculo del radio mínimo, basado en la ecuación, resulta en **38.53 m**. Sin embargo, debido a que la vía se encuentra en un terreno montañoso, se opta por el radio mínimo establecido por la norma MTOP, que es de **42 m**. Además, al tratarse de una vía existente, es fundamental considerar este aspecto durante el trazado.

Tabla 37

Radio mínimo de curvatura horizontal

RADIO MINIMO DE CURVATURA HORIZONTAL ®			
DETALLE	VALORES	UNIDAD	FORMULA
Velocidad de diseño	40,00	Km/h	
Peralte de curva (e)	0,08	m/m	
Coefficiente de fricción lateral (f)	0,237		
Radio Mínimo horizontal	39,74	m	$R = \frac{V^2}{127 * (e + f)}$
Radio Asumido	42,00	m	

Fuente: Elaboración Propia

7.6.3.4. Sobreancho

De acuerdo con la norma MTOP, por motivos económicos, se establece un valor mínimo de diseño para el sobreancho de 30 cm en vías con velocidades de hasta 50 km/h y de 50 cm para velocidades superiores. En este caso, considerando que la topografía es montañoso y presenta pendientes pronunciadas, lo que dificulta la implementación de un sobreancho mayor, además de las restricciones económicas, se ha adoptado un **sobreancho de 50 cm.**(MTOP, 2003)

De esta manera, los carriles de la vía en estudio es **3 metros**, alcanzan un ancho total de **3,50 metros** al incluir el sobreancho.

La vía de diseño sería de 7 metros incluido las bermas.

7.6.3.5. Distancia de Visibilidad de parada y rebasamiento

Según la tabla de “Valores de diseño recomendados para carreteras de dos carriles y caminos vecinales de construcción” establecida por la MTOP, la distancia de visibilidad necesaria para parada es de 40 metros, mientras que la distancia de visibilidad requerida para rebasamiento es de 270 metros, según nuestra clase de diseño III.

Tabla 38

Valores de diseños de las distancias de visibilidad mínimas para un vehículo (m)

VALORES DE DISEÑO DE LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD MINIMAS PARA PARADA DE UN VEHICULO (m)							
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	Mas 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: (MTOP, 2003)

Tabla 39

Tabla de valores de diseños recomendados para rebasamiento de un vehículo (m)

VALORES DE DISEÑO DE LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD MININAS PARA EL REBASAMIENTO DE UN VEHICULO (m)							
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	Mas 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: (MTOP, 2003)

7.6.4. Diseño vertical

7.6.4.1. Curvas verticales Convexas

Tabla 40

Valores mínimos de diseño de coeficiente "K" para determinar la longitud de la curva mínima verticales convexas mínimas

CURVAS VERTICALES CONVEXAS MINIMAS			
Velocidad de diseño	Distancia de Visibilidad para parada "S"	Coeficiente $K=S^2/426$	
		Calculado	Redondeado
Kph	m		
20	20	0,939	1
25	25	1,467	2
30	30	2,113	2
35	35	2,876	3
40	40	3,756	4
45	50	5,869	6
50	55	7,101	7
60	70	11,502	12
70	90	19,014	19
80	110	28,404	28
90	135	42,782	43
100	160	60,094	60
110	180	76,056	80
120	220	113,615	115

Fuente: (MTO, 2003)

Mediante la tabla de valores de diseño de coeficiente de K y mediante la velocidad de diseño no da un coeficiente de K que es de 7 para curvas verticales convexas mínimas.

$$L_{min} = 0.60V$$

$$L_{min} = 0.60 * 40$$

$$L_{min} = 24 m$$

La longitud mínima da un valor de **$L_{min} = 24 m$** .

7.6.4.2. Curvas verticales cóncavas

Tabla 41

Valores mínimos de diseño de coeficiente "K" para determinar la

CURVAS VERTICALES CONCAVAS MINIMAS			
Velocidad de diseño	Distancia de Visibilidad para parada "S"	Coeficiente $K=S^2/122+3.5 S$	
		Calculado	Redondeado
Kph	m		
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: (MTO, 2003)

Mediante la tabla de valores de diseño de coeficiente de K y mediante la velocidad de diseño no da un coeficiente de K que es de 6 para curvas verticales cóncavas mínimas.

7.7. Diseño de Pavimentos flexible

Con el diseño de pavimentos flexibles según la AASHTO determinar los espesores adecuados de las diferentes capas que conforman el pavimento, como la base, la subbase y la capa de rodadura. Este método tiene en cuenta factores como las cargas vehiculares previstas, las características del tráfico, las condiciones del clima, la capacidad del suelo y las propiedades de los materiales, con el objetivo de asegurar una estructura duradera, eficiente y económica a lo largo de su vida útil, se adjunta la siguiente tabla con los datos evaluados en la hoja de cálculo.

Tabla 42

Datos evaluación de pavimento flexible método ASSHTO

Datos evaluación de pavimento flexible método ASSHTO según hoja de calculo	
Periodo de diseño (años)	20

N. ESALs	22,004.00
CBR (%) se proyecta a 20 años	10.641
Mr. (Mpa)	106.41
VALOR SUBRASANTE IMPUESTA (PSI)	13952.751
Calidad del drenaje	Buena
Términos para remoción del agua	1 día
% del tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación (mi)	1.225
DATOS DE INGRESO A PROGRAMA AASHTO 93	
Modulo E (psi)	475000
Pavimento Flexible (ai - Coeficiente estructural)	0.45
CBR BASE (80 %)	0.134
CBR SUB-BASE (30 %)	0.107
Confiabilidad 90 % zr:	-1.282
Desviación estandar	0.45
Perdida de serviciabilidad inicial	4.2
Perdida de serviciabilidad final	2.5
Serviciabilidad	1.7
Módulo de subrasante	13952.75

Fuente: Elaboracion Propia

Tabla 43

Resumen Hoja de cálculo Pavimento Flexible parte 1

CAPAS	mi	ai		MODULOS (psi)	SN		SN POR CAPA	
SUPERFICIE	1.225	1	0.45	475000	1	1.02	1	1.021
BASE	1.225	2	0.134	28550	2	1.39	2	0.367
SUB-BASE	1.225	3	0.107	14690	3	1.42	3	0.031
SUBRASANTE				13952.75				1.42

Fuente: Elaboracion Propia

Tabla 44

Resumen Hoja de cálculo Pavimento Flexible parte 2

ESPESOR (PULG)		ESPESOR * (PULG)		SN*		ESPESOR FINAL (PULG)		CM
1	2.26	1	3.00	1	1.36	1	3.000	8
2	0.19	2	0.39	2	0.06	2	3.937	10
3	-0.02	3	-0.39	3	-0.05	3	-0.394	-1
					1.37		6.54	17

Fuente: Elaboracion Propia

En la siguiente tabla justificamos ajustando a los espesores mínimos se las normas de diseño

Tabla 45

Resumen Hoja de cálculo y valor de diseño recomendado

CAPAS	DATOS HOJA DE CALCULO			DATOS FINALES RECOMENDADO NORMA	
		ESPESOR FINAL (PULG)	CM	ESPESOR FINAL (PULG)	CM
SUPERFICIE	1	3.000	8	3.00	7.62
BASE	2	3.937	10	5.91	15
SUB-BASE	3	-0.394	-1	5.91	15
SUBRASANTE		6.543	17	14.81	37.62

Fuente: Elaboracion Propia

Tabla 46

Condiciones de diseño según normas de diseño de pavimento flexible a cumplir

CON SUB-BASE	
$D_1' \geq \frac{SN_1}{a_1}$	CUMPLE
$SN_1' = a_1 D_1 > SN_1$	CUMPLE
$D_2' = \frac{SN_2 - SN_1'}{a_2 m_2}$	CUMPLE
$SN_1' + SN_2' \geq SN_2$	CUMPLE
$D_1' \geq \frac{SN_2 - (SN_1' + SN_2')}{a_2 m_2}$	CUMPLE

Fuente: Elaboracion Propia

Nuestro diseño cumple ya que el SN resultante indica la capacidad estructural necesaria para resistir las cargas proyectadas y se utiliza como base para dimensionar las capas del pavimento sea subbase, base, y carpeta asfáltica.

Diseño de pavimento resultante:

Ilustración 71 Representación de las capas

<i>Carpeta Asfáltica</i>	3	plg
<i>Base</i>	15	cm
<i>Subbase</i>	15	cm
<i>Subrasante o terreno natural</i>		

Fuente: Elaboracion Propia

7.8. Drenaje Vial

Para el drenaje vial se diseñado para captar, conducir y evacuar las aguas superficiales y subterráneas, garantizando la protección y funcionalidad de las carreteras frente a problemas de inundación y erosión y seguridad en la vía, en el diseño se analizó los drenajes longitudinales y transversales mediante el diseño geométrico y normas establecidas para el Ecuador.

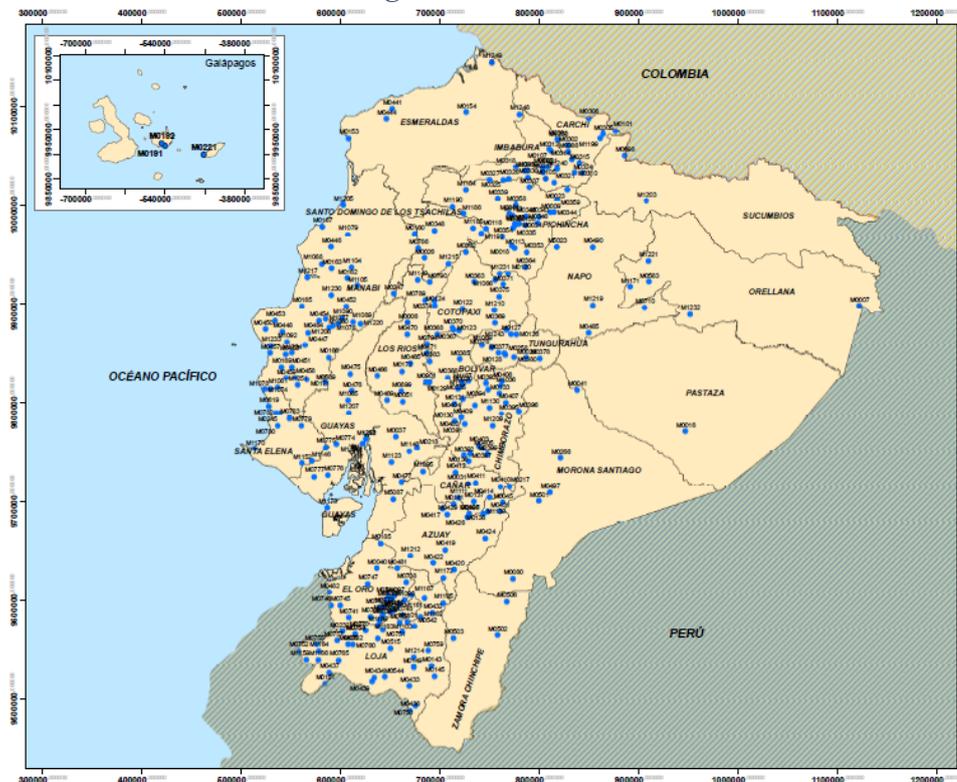
7.8.1. Estudio Hidrológico

Se analizo con datos de los anuarios meteorológicos proporcionados en la plataforma del INAMHI no permitió determinar la precipitación, escorrentía generada. Estos datos son fundamentales para calcular los caudales y diseñar los sistemas de drenaje necesarios. Para ello, se identificó el área de influencia, delimitando las cuencas que contribuyen con el flujo de escorrentía.

7.8.2. Estación Meteorológica

La estación meteorológica del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador) es una instalación dedicada a la observación, registro y análisis de datos meteorológicos y climatológicos. Estas estaciones son parte de una red nacional que permite monitorear las condiciones atmosféricas en diferentes regiones del país.

Ilustración 72: Mapa de Ubicaciones de estaciones meteorológicas anuarios 1995-2013



Fuente: (INAMHI, 2015)

Para el proyecto de diseño vial, se utilizó los valores históricos de precipitaciones del INAMHI correspondientes a la estación:

Nombre de la estación: Girón

Estación: M0419

Ubicación en las siguientes coordenadas

Latitud: 3°9'14"S

Longitud: 79°8'58"W

Altitud: 2130 m.s.n.m.

Se eligió esta estación por ser la más cercana al área del proyecto y contar con información adecuada para el requerimiento, específicamente para el cálculo de la intensidad de precipitación.

Tabla 47

Anuarios Meteorológicos

Años	Nº	INSTIT. PROPIET
1995	35-1995	INAMHI

1996	36-1996	INAMHI
1997	37-1997	INAMHI
1998	38-1998	INAMHI
1999	39-1999	INAMHI
2000	40-2000	INAMHI
2001	41-2001	INAMHI
2002	42-2002	INAMHI
2003	43-2003	INAMHI
2004	44-2004	INAMHI
2005	45-2005	INAMHI
2006	46-2006	INAMHI
2007	47-2007	INAMHI
2008	48-2008	INAMHI
2009	49-2009	INAMHI
2010	50-2010	INAMHI
2011	51-2011	INAMHI
2012	52-2012	INAMHI
2013	53-2013	INAMHI

Fuente: Propia (INAMHI, 2013)

7.8.3. Diseño de obra de drenaje

7.8.3.1. Periodo de retorno (TR)

El periodo de retorno de esta vía es el intervalo de tiempo durante el cual se espera que un determinado evento climático o hidrológico (como una precipitación, inundación o deslizamiento) se repita o tenga una probabilidad de ocurrir. En el contexto de la ingeniería vial, este concepto se utiliza para diseñar y dimensionar infraestructuras de manera que puedan resistir eventos extremos dentro de un intervalo de tiempo determinado.

Según MTOP El periodo de retorno y el caudal de diseño máximo de escurrimiento de la corona de la vía y del talud del corte, por ancho unitario, se determinará para un periodo de retorno de 100 años y considerando una lluvia de 20 a 30 minutos de duración.(MTOP, 2003)

Para el diseño dependerá del tipo de estructura a construir. En el caso de este proyecto, se ha determinado un periodo de retorno de **100 años** y considerando la lluvia de **30 minutos**.

7.8.3.2. Tiempo de concentración

Para el tiempo de recorrido de una gota de agua a través de la escorrentía superficial, desde el punto más distante de la cuenca hidrográfica de aportación hasta el punto de salida, se estima utilizando un tiempo mínimo requerido de 30 minutos para este proyecto.

7.8.3.3. Intensidad máxima de precipitación

El diseño de la obra de drenaje comienza con la obtención de la intensidad máxima de precipitación. Para ello, primero se identificó los anuarios meteorológicos disponibles por el INAMHI más cercana al proyecto. Luego, mediante la ecuación de las intensidades, que está basada en el tiempo de concentración y el periodo de retorno, se determinará la intensidad de precipitación. Estas ecuaciones definidas para el cálculo en mm/h.

Ilustración 73: Datos Mensuales De Precipitación Máxima En 24 Hrs. (mm)

DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1995	95.80	38.70	84.30	48.40	69.20	1.40	10.10	-	11.90	22.70	83.10	95.80	95.80
1996	179.20	172.00	203.10	101.10	46.30	14.50	0.60	0.80	6.90	89.20	29.30	0.10	203.10
1997	100.60	114.70	135.00	88.70	18.30	48.20	4.10	-	36.00	61.80	173.70	140.30	173.70
1998	67.60	49.80	193.40	166.90	18.50	1.00	1.70	10.40	0.60	51.40	20.40	28.50	193.40
1999	134.80	151.30	273.10	147.60	87.40	106.80	7.00	2.00	25.70	2.00	0.90	176.50	273.10
2000	37.09	123.40	332.00	121.40	44.40	1.80	-	1.70	88.00	0.80	2.30	61.80	332.00
2001	-	108.20	224.70	98.70	84.80	0.80	1.30	-	9.10	-	89.10	50.00	224.70
2002	51.00	48.50	131.50	125.60	33.30	-	-	-	-	-	60.80	90.60	131.50
2003	48.20	-	-	128.10	39.20	102.70	5.40	-	9.30	-	-	79.90	128.10
2004	70.10	78.60	94.70	139.20	71.90	-	15.00	-	143.00	49.60	26.50	51.90	143.00
2005	25.30	144.10	258.40	40.60	32.60	8.70	-	-	15.60	31.60	12.50	70.50	258.40
2006	97.90	184.00	185.20	211.60	14.90	20.50	3.00	8.20	9.70	31.50	60.90	110.10	211.60
2007	86.20	32.30	144.40	-	74.10	21.20	8.50	3.30	3.30	51.50	83.30	100.80	144.40
2008	142.70	145.90	281.90	63.90	44.50	38.80	10.30	14.60	17.20	48.80	168.50	108.10	281.90
2009	195.10	178.30	187.80	161.80	49.00	21.40	-	3.80	-	-	-	100.00	195.10
2010	138.30	109.80	313.90	56.90	52.60	88.60	86.60	5.40	-	-	176.00	193.70	313.90
2011	313.30	120.50	117.70	210.80	2.50	78.50	30.00	44.40	-	39.40	73.80	117.80	313.30
2012	364.90	372.80	189.90	222.30	32.90	26.50	7.20	9.10	9.30	108.30	93.70	84.70	372.80
2013	146.80	127.60	80.80	11.90	-	61.30	26.00	-	-	60.90	4.70	76.00	146.80
MAX	364.90	372.80	332.00	222.30	87.40	106.80	86.60	44.40	143.00	108.30	176.00	193.70	372.80

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 74: Resumen Regresión Potencial

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	874.2330	-0.6164	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	42	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	

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 75: Ecuación Resultante

CURVAS IDF	
K	812.7695
m	0.205540
n	0.61639

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 76. Intensidades máximas (mm/h)

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: Elaboración Propia

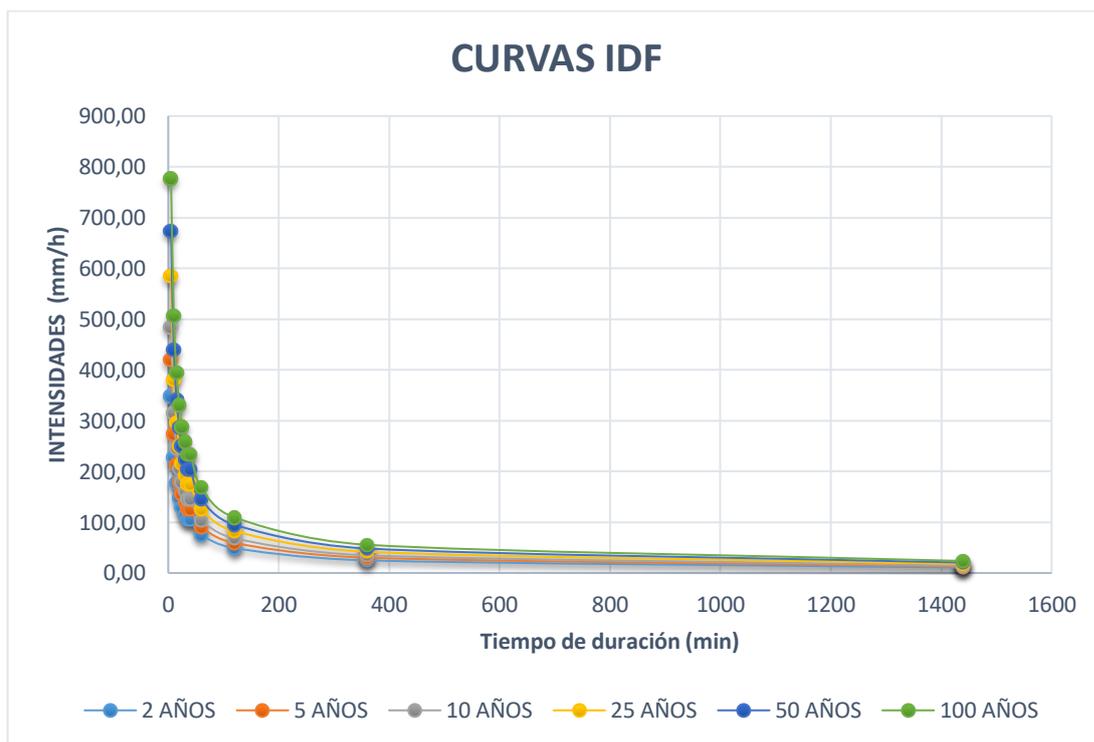


Gráfico 1: Curva IDF, Fuente: Elaboración Propia

Mediante la gráfica de las curvas IDF que se muestra la relación entre la intensidad, duración y frecuencia de una lluvia.

Con los valores proporcionados para el tiempo de concentración y el periodo de retorno, se obtiene una intensidad máxima de precipitación de $i = 257.38 \text{ mm/h}$. Este valor será utilizado para calcular los caudales en el diseño de la obra de drenaje.

7.8.3.4. Área de aporte

Para calcular las áreas de aporte en Autodesk InfraWorks:

Preparar el modelo: Importa el diseño geométrico y la superficie del tramo de vía al modelo en InfraWorks.

Acceder al análisis hidrológico: Ve al menú Análisis y selecciona la opción Áreas de Aporte.

Seleccionar la superficie de terreno: Define el área de estudio asegurándote de que el modelo incluye datos de elevación (DEM).

Ubicar puntos de drenaje: Coloca los puntos de salida donde desees calcular las áreas de aporte.

Generar áreas de aporte: InfraWorks calculará automáticamente las cuencas de drenaje en función de la topografía del terreno.

Revisar y exportar resultados: Visualiza las áreas de aporte generadas en el mapa y, si es necesario, exporta los resultados para análisis adicional en otros programas.

Esta metodología garantiza un análisis eficiente y preciso del drenaje en proyectos de infraestructura vial.

Nuestro tramo de vía comienza en la abscisa 6+900 km y finaliza en la abscisa 9+200 km. Para el cálculo de las áreas de aporte correspondientes a un tramo de 2.300 m, la longitud de diseño abarca un área total de aporte de 0.071 km². Adjunto la tabla con las áreas de aporte calculadas para mayor detalle.

Tabla 48

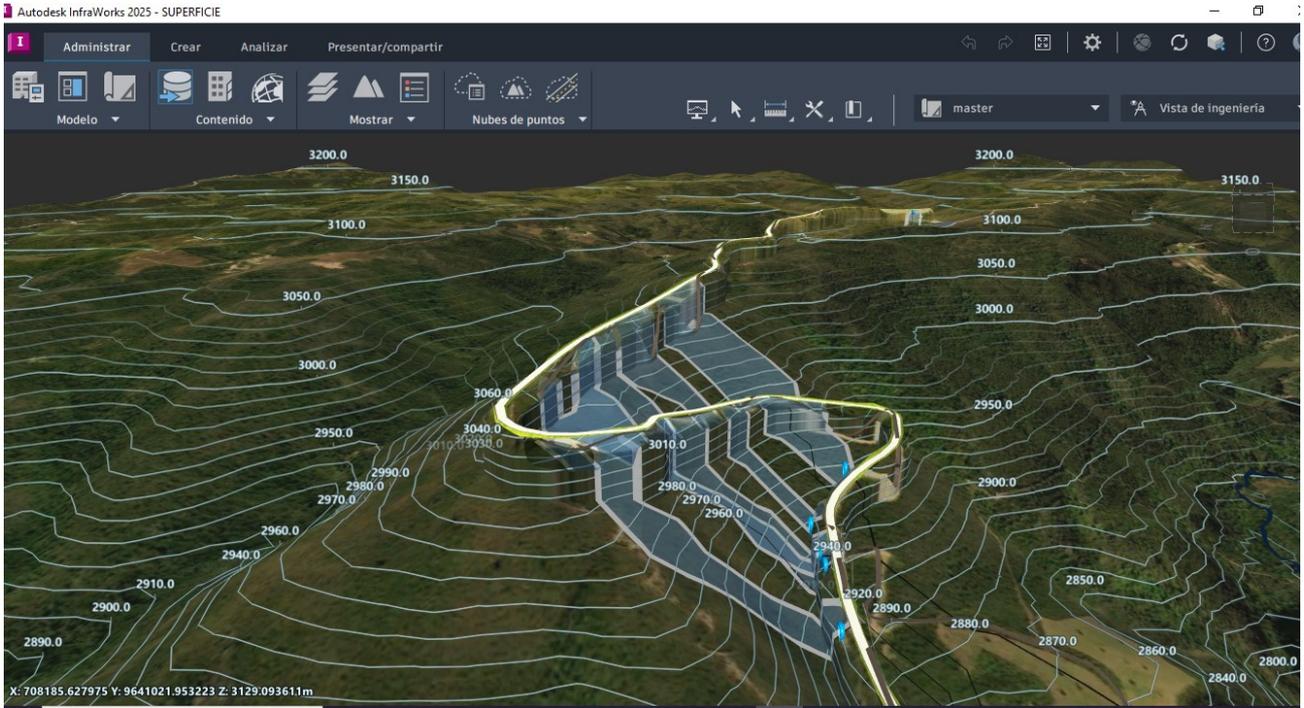
Áreas de aporte

Áreas de aporte					
Ítem	Abscisas	A. aporte	U	A. aporte	U
1	0+050.000	11,000.00	m2	0.011	km 2
2	1+450.000	9,399.99	m2	0.009	km 2
3	1+550.000	17,800.00	m2	0.018	km 2
4	1+650.000	11,000.00	m2	0.011	km 2
5	1+740.000	22,200.00	m2	0.022	km 2

Área de cuenca T.	71,399.99	m ²	0.071	km ²
-------------------	-----------	----------------	-------	-----------------

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 77 Áreas de aporte desde Autodesk InfraWorks



Fuente: Elaboración Propia

7.8.4. Coeficiente de escorrentía

Establece la relación que existe entre la cantidad total de lluvia que se precipita y la que escurre superficialmente, utilizamos la tabla establecida por MTOP, coeficiente de escorrentía “C”.

Ilustración 78. 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: (MTO, 2003)

Se ha asumido un valor de coeficiente de escorrentía de **0.50** para el proyecto, debido a que la zona presenta una pendiente del 20% y está cubierta por pastos vegetales.

7.8.5. Caudal de diseño

Para calcular el caudal de diseño de nuestras cunetas se necesita el flujo máximo de agua que una cuneta puede manejar de manera segura, calculado considerando factores como la intensidad de lluvia, área de drenaje, pendiente y coeficiente de escorrentía, garantizando así un adecuado manejo del agua pluvial.

Para el cálculo de caudal usamos el Método Racional es ampliamente utilizado para estimar el caudal máximo asociado a una lluvia de diseño específica. Es una herramienta común en el diseño de sistemas de drenaje tanto urbanos como rurales.

Usamos el diseño geométrico en Civil 3D y nuestra superficie de levantamiento topográfico del tramo para definir el área de aporte de nuestra cuenca y poder definir el caudal de diseño.

Ecuación usada:

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q:	Caudal máximo [m ³ /s]
C:	Coefficiente de escorrentía.
I:	Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (<u>Curvas de I-D-F</u>) [mm/h]
A:	Área de la cuenca. [Km ²]

Tabla 49

Tabla de resultados de cálculo de caudales

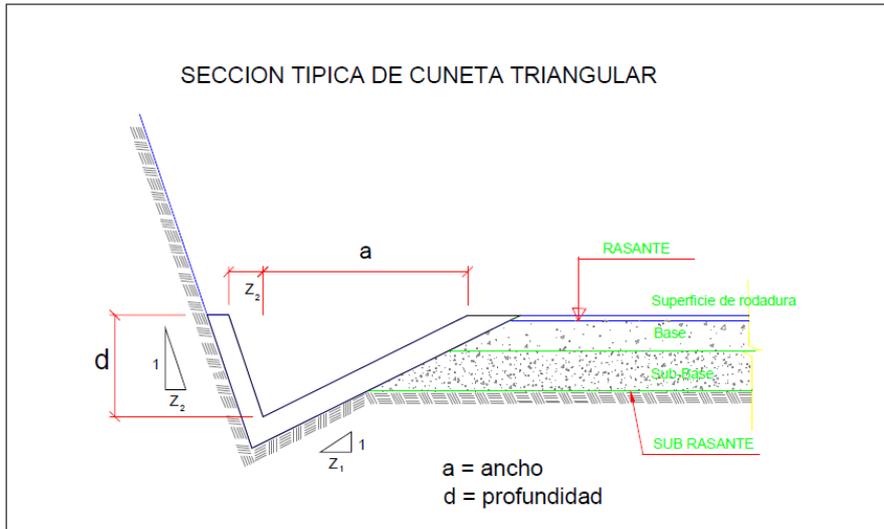
Caudal de diseño				
Tramo 1	Abscisa	UBICACIÓN	Caudal	U
	0+000.000	IZQUIERDA	0.393	m3/s
	0+060.000	DERECHA	0.393	m3/s
Tramo 2	0+060.000	IZQUIERDA	0.336	m3/s
	0+600.000	DERECHA	0.336	m3/s
Tramo 3	1+360.000	IZQUIERDA	0.636	m3/s
	1+360.000	DERECHA	0.636	m3/s
Tramo 4	1+840.000	IZQUIERDA	1.295	m3/s
	1+840.000	DERECHA	1.295	m3/s
Tramo 5	2+300.000	IZQUIERDA	0.864	m3/s
	2+300.000	DERECHA	0.864	m3/s

Fuente: Elaboracion Propia

7.8.6. Diseño de cunetas

Para el diseño de una cuneta se eligió la forma triangular dimensiona su sección para canalizar aguas pluviales eficientemente. Es común por su simplicidad y capacidad para pequeños caudales. Considera caudal, pendiente, taludes y capacidad hidráulica para evitar erosión y desbordes, es la forma más utilizada para diseño de vías.

Ilustración 79. Sección típica cuneta triangular



Fuente: (MTC, 2008)

Velocidad de flujo

El revestimiento de la cuneta influye directamente en la velocidad del flujo. Existen diversos tipos de revestimientos; para este diseño vial se eligió el hormigón, el cual permite velocidades máximas de flujo entre 4.5 y 7.5 m/s.

Ilustración 80. Velocidades de agua que 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	3.50
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: (MTO, 2003)

Tabla 50

Diseño de cunetas para drenaje longitudinal

Diseño de cunetas para drenaje longitudinal															
Tramo	Abscisa	UBICACIÓN	S	Za	Zb	n	h (m)	a (m)	L (m)	i (mm/h)	Caudal de diseño			V (m/s)	Vmax 7.5 (m/s)
											Qc	Qd	Qc>Qd		
Tramo 1	0+000.000	IZQUIERDA	0.1	2	4	0.015	0.20	0.80	60	257.38	0.524	0.393	OK	4.3693	OK
	0+060.000	DERECHA	0.1	2	4	0.015	0.20	0.80	60	257.38	0.524	0.393	OK	4.3693	OK
Tramo 2	0+060.000	IZQUIERDA	0.2	2	4	0.015	0.20	0.80	540	257.38	0.741	0.336	OK	6.1791	OK

	0+600.000	DERECHA	0.2	2	4	0.015	0.20	0.80	540	257.38	0.741	0.336	OK	6.1791	OK
Tramo 3	1+360.000	IZQUIERDA	0.2	2	4	0.015	0.20	0.80	760	257.38	0.741	0.636	OK	6.1791	OK
	1+360.000	DERECHA	0.2	2	4	0.015	0.20	0.80	760	257.38	0.741	0.636	OK	6.1791	OK
Tramo 4	1+840.000	IZQUIERDA	0.1	4	2	0.015	0.30	0.60	480	257.38	1.546	1.295	OK	5.7254	OK
	1+840.000	DERECHA	0.1	4	2	0.015	0.30	0.60	480	257.38	1.546	1.295	OK	5.7254	OK
Tramo 5	2+300.000	IZQUIERDA	0.1	4	2	0.015	0.3	0.60	460	257.38	1.546	0.864	OK	5.7254	OK
	2+300.000	DERECHA	0.1	4	2	0.015	0.3	0.60	460	257.38	1.546	0.864	OK	5.7254	OK

Fuente: Elaboración Propia

7.9. Alcantarillas

Para el diseño de alcantarillas tiene como propósito principal garantizar un drenaje eficiente de aguas pluviales y subterráneas, minimizando el impacto en la infraestructura vial y su entorno. Para lograrlo, se consideró la topografía del terreno, analizando pendientes, cotas y características específicas del área. Asimismo, se realizó un análisis hidrológico para determinar el caudal de diseño y el coeficiente de escorrentía. Estos elementos aseguran un diseño eficiente y sostenible, contribuyendo a la durabilidad y seguridad de la vía.

7.9.1. Ubicación

Para la colocación de la alcantarilla se analizó los siguientes criterios de diseño:

1- Cruces de agua natural

- Identificar ríos, quebradas, arroyos o canales naturales que intercepten la vía.
- Ubicar la alcantarilla en el punto más bajo del cruce para aprovechar la dirección natural del flujo.

2- Pendientes del terreno

- Instalar alcantarillas en áreas donde la topografía favorezca la concentración de escorrentía, como depresiones o puntos bajos del terreno.

3- Drenaje longitudinal

- Colocar alcantarillas para permitir el cruce del agua acumulada en cunetas longitudinales, evitando que esta se estanque o desborde.

4- Prevención de erosión

- Asegurar que la ubicación permita una salida controlada del flujo, minimizando el riesgo de erosión en los taludes o en la infraestructura circundante.

5- Distancia entre alcantarillas

- Considerar la distancia máxima recomendada entre alcantarillas, de acuerdo con el caudal estimado, la pendiente y las especificaciones normativas, como las del MTOP.

6- Accesibilidad y mantenimiento

- Ubicar las alcantarillas en puntos accesibles para facilitar inspecciones, limpieza y reparaciones periódicas.

7- Interferencias y restricciones

- Evitar áreas con servicios subterráneos, estructuras existentes o terrenos inestables que puedan comprometer la funcionalidad de la alcantarilla.

7.9.2. Pendiente

La pendiente es un factor crucial, ya que debe evitarse que sea demasiado pronunciada para prevenir velocidades excesivas en el flujo, así como que sea demasiado suave, lo que podría provocar la acumulación de sedimentos. Por esta razón, el MTOP establece una pendiente máxima recomendada del 5%.

7.9.3. Longitud

Es fundamental considerar los requerimientos de diseño al determinar la longitud de la alcantarilla, ya que esta dependerá del ancho de la plataforma vial, la pendiente y la estructura de protección, con el fin de prevenir que los sedimentos obstruyan las entradas y salidas.

7.9.4. Velocidad en la alcantarilla

Para el diseño se tomó en cuenta la velocidad máxima permitida para evitar la erosión en las tuberías está determinada por el material utilizado y por las características y cantidad de partículas sólidas presentes en el flujo de agua. Para su evaluación, se toma en cuenta el caudal máximo extraordinario, considerando el nivel del agua en la sección del tubo, ya sea totalmente lleno o parcialmente lleno.

Velocidades máximas de alcantarillas

Ilustración 81. Velocidades máximas de alcantarillas

TABLA N° 5-3-15-1	
Material de la Tubería	Velocidad máxima (m/seg)
Tubería de Hormigón simple hasta 60 cm. de diámetro	4,5
Tubería de Hormigón armado de 60 cm. de diámetro o mayores.	6,0
Hormigón armado en obra para grandes conducciones 210/240 kg/cm ²	6,0 – 6,5
Hormigón armado en obra 280/350 kg/cm ² . Grandes conducciones	7,0 – 7,5
PEAD, PVC, PRFV	7,5
Acero *	9,0 o mayor
Hierro dúctil o fundido *	9,0 o mayor

* A ser utilizado en rápidas y/o tramos cortos

Fuente: (EMAAP-Q, 2009)

7.9.5. Diseño de drenaje transversal

Para el diseño hidráulico eficaz de la alcantarilla se basa en controlar su comportamiento mediante factores como la pendiente, el diámetro y la rugosidad, lo que garantiza su vida útil y un adecuado drenaje de las cuencas. En el proyecto, se selecciona el diseño de alcantarillas circulares de PVC, dado que su instalación es factible y su manejo es sencillo y garantiza seguridad en la vía de bajo tránsito. Este material debe cumplir con las normas de calidad establecidas para asegurar su longevidad.

7.9.6. Cuencas aportación para alcantarillado

Para el diseño hidráulico de la alcantarilla, se utilizaron las áreas de aporte de las cuencas generadas en el tramo, las cuales fueron determinadas a partir del diseño geométrico y las características de las cuencas en su aporte de escorrentía.

En la siguiente tabla se detalla las áreas de aporte y la forma en caso de ser alcantarillado o dissipador, en este caso en tramo de diseño proponemos 3 alcantarillados y 2 dissipadores de energía.

Tabla 51

Área de aporte

Áreas de aporte						
Ítem	Abscisas	A. aporte	U	A. aporte	U	forma
1	0+050.000	11,000.00	m ²	0.011	km ²	Alcantarillado

2	1+450.000	9,399.99	m2	0.009	km 2	Alcantarillado
3	1+550.000	17,800.00	m2	0.018	km 2	Disipador
4	1+650.000	11,000.00	m2	0.011	km 2	Disipador
5	1+740.000	22,200.00	m2	0.022	km 2	Alcantarillado
Área de cuenca T.		71,399.99	m2	0.071	km 2	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 52

Diámetros de alcantarilla

Diseño de cunetas para drenaje longitudinal, Diámetro de alcantarilla																		
Tramo 1	Abscisa	UBICACIÓN	S	Za	Zb	n	h (m)	a (m)	L (m)	i (mm/h)	Caudal de diseño			v (m/s)	Vmax 7.5 (m/s)	Diámetro de tubería		
											Qc m3/s	Qd m3/s	Qc>Qd			D diseño mm	D. Comercial mm	
	0+000.000	IZQUIERDA	0.1	2	4	0.015	0.20	0.80	60	257.38	0.524	0.393	OK	4.3693	OK			
	0+060.000	DERECHA	0.1	2	4	0.015	0.20	0.80	60	257.38	0.524	0.393	OK	4.3693	OK	391	640.00	
Tramo 2	0+060.000	IZQUIERDA	0.2	2	4	0.015	0.20	0.80	540	257.38	0.741	0.336	OK	6.1791	OK			
	0+600.000	DERECHA	0.2	2	4	0.015	0.20	0.80	540	257.38	0.741	0.336	OK	6.1791	OK	391	640.00	
Tramo 3	1+360.000	IZQUIERDA	0.2	2	4	0.015	0.20	0.80	760	257.38	0.741	0.636	OK	6.1791	OK			
	1+360.000	DERECHA	0.2	2	4	0.015	0.20	0.80	760	257.38	0.741	0.636	OK	6.1791	OK	391	640.00	
Tramo 4	1+840.000	IZQUIERDA	0.1	4	2	0.015	0.30	0.60	480	257.38	1.546	1.295	OK	5.7254	OK			
	1+840.000	DERECHA	0.1	4	2	0.015	0.30	0.60	480	257.38	1.546	1.295	OK	5.7254	OK	586	640.00	
Tramo 5	2+300.000	IZQUIERDA	0.1	4	2	0.015	0.3	0.60	460	257.38	1.546	0.864	OK	5.7254	OK			
	2+300.000	DERECHA	0.1	4	2	0.015	0.3	0.60	460	257.38	1.546	0.864	OK	5.7254	OK	586	640.00	

Fuente: Elaboración Propia

Se propone para alcantarillado tubería de PVC según diámetros comerciales existentes en el mercado de la construcción.

Se propone Colocar disipadores de energía según abscisas detallados en la tabla 48, para evitar erosión de la montaña y provocar derrumbes.

7.10. Seguridad vial y señalización

7.10.1. Seguridad vial

Para la seguridad vial está regulada por diversas normativas y leyes que buscan prevenir accidentes de tránsito y garantizar la protección de los usuarios de la vía, la ley tránsito y

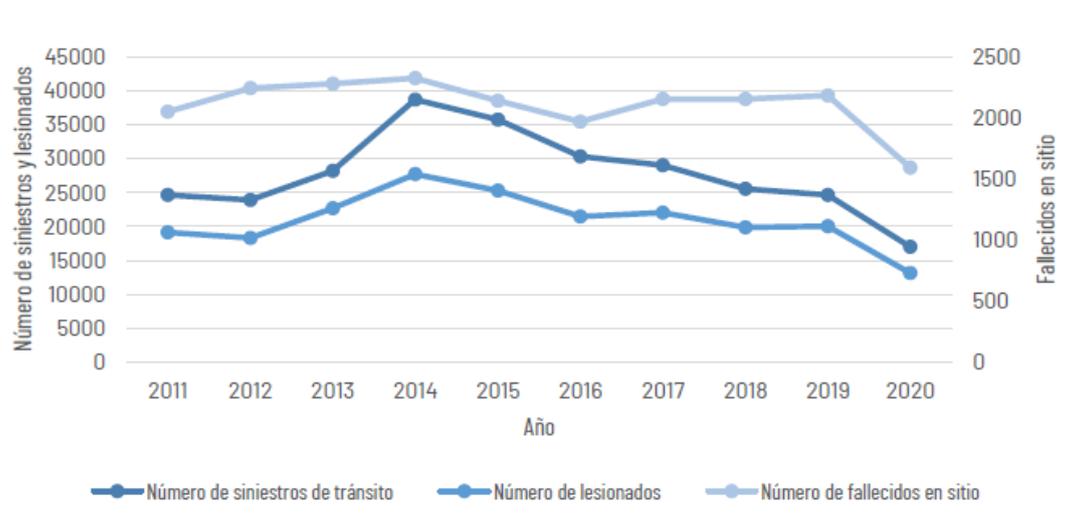
transporte terrestre es la ley que establece los derechos y obligaciones de los conductores, peatones y pasajeros.

La ANT y CTE son las entidades que supervisan las normas de tránsito y los agentes de tránsito se ocupan de controlar en las áreas urbanas.

Para garantizar la vía u su seguridad se toma los siguientes aspectos importantes:

- 1- Respetar límite de velocidad
- 2- Uso obligatorio de cinturón de seguridad
- 3- No consumir alcohol y drogas
- 4- Uso de casco a los motociclistas
- 5- El uso correcto de transitabilidad de los peatones y ciclistas
- 6- Infracciones a no cumplir
- 7- Fomentar educación y prevención.
- 8- Gestiones de seguridad vial de las infraestructuras

Ilustración 82. Total, de siniestros, lesionados y fallecidos en sitio en el Ecuador Periodo 2011-2020



Fuente: ANT. (2020)

En el gráfico adjunto se proyecta desde el año 2011 al 2020 los siniestros por falta seguridad vial en el territorio ecuatoriano.

7.10.2. Señalización vial

Con el propósito de asegurar la seguridad y una adecuada señalización vial, se toma como referencia la norma INEN, la cual define los requisitos que deben cumplir los dispositivos de control de tránsito y los principios para su uso adecuado. Esta regulación busca fomentar

la seguridad y optimizar la eficiencia en las vías, garantizando un tránsito ordenado para todos los usuarios a nivel nacional.

Los dispositivos de control de tránsito informan a los conductores sobre las regulaciones vigentes y brindan señales de advertencia y orientación necesarias para asegurar un flujo vehicular seguro, ordenado y eficiente.

Para el diseño, empleamos la señalética de información vial establecida por la norma INEN, cuyo objetivo es orientar y guiar a los usuarios de la vía. Estas señales proporcionan la información necesaria para que los conductores puedan llegar a sus destinos de manera segura, sencilla y directa.

Las indicaciones de las distancias serían las siguientes:

- a- Distancias de hasta 500 m: incrementos de 50 m: es útil para mejorar la visibilidad y orientación de los conductores
- b- Distancias entre 500 m y 1 km: incrementos de 100 m: suelen utilizarse para proporcionar advertencias o información anticipada en trayectos más largos.
- c- Distancias de 1 km o más: se redondean al kilómetro más cercano: se redondean al kilómetro más cercano para simplificar la información y facilitar su comprensión.

Se adjunta **ANEXO 13. Señalización vial**

7.11 Presupuesto

Presupuesto para el Diseño Geométrico y Estructural de la vía La Ramada – Río Curiquingue desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km, en el Cantón Girón Provincia del Azuay.

Para la elaboración del presupuesto se emplearon las tablas y valores generados en civil 3D incluyendo los volúmenes y cortes y relleno correspondiente, estos datos serán ingresados a nuestra hoja de cálculo para facilitar la cuantificación de las obras y posteriormente calcular el presupuesto del proyecto.

Los presupuestos se analizan a través de estudios de precios unitarios, considerando la ubicación del proyecto. En este caso, se examinaron proyectos de pavimentación realizados por la Prefectura del Azuay, ETAPA EP, Asfaltar E.P., y presupuestos de obras previamente ejecutadas disponibles en el portal de compras públicas. Esto permitió desarrollar el estudio presupuestario correspondiente al proyecto **ANEXO 14** - cantidades de obra.

Tabla 53

Presupuesto Referencial

Presupuesto para el Diseño Geométrico y Estructural de la vía La Ramada – Río Curiquingue desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km, en el Cantón Girón Provincia del Azuay.						
PRESUPUESTO						
Ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1		OBRAS PRELIMINARES				167,879.48
1.1	500004	Replanteo y nivelación de vías	ml	2,300.00	3.50	8,050.00
1.2	500010	Excavación a máquina con retroexcavadora	m3	13,936.21	1.96	27,314.98
1.3	500014	Excavación manual material sin clasificar	m3	69.68	12.53	873.10
1.4	500001	Cargado de material con cargadora	m3	18,207.66	1.37	24,944.50
1.5	500002	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m3	18,207.66	2.22	40,421.01
1.6	500003	Sobre acarreo de materiales para desalojo, lugar determinado por el Fiscalizador, Distancia > 6 Km distancia de escombrera 20 km	m3-km	254,907.27	0.26	66,275.89
2		ESTRUTURA VIAL				549,411.80
2.1	500005	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m2	16,100.00	1.31	21,091.00
2.2	500006	Pedraplén, conformación y compactación con equipo pesado	m3	161.00	25.01	4,026.61
2.3	500007	Mejoramiento, conformación y compactación con equipo pesado, incluye transporte	m3	5,177.99	23.45	121,423.89
2.4	500040	Sub base conformación y compactación con equipo pesado, incluye transporte	m3	2,415.00	29.69	71,701.35
2.5	500041	Base Granular conformación y compactación con equipo pesado, incluye transporte	m3	2,415.00	35.93	86,770.95
2.6	500011	Imprimación asfáltica con barrido mecánico	m2	16,100.00	1.22	19,642.00
2.7	500039	Carpeta asfáltica (e=3") Ho Asf. mezclado en planta, incluye transporte	m2	16,100.00	13.96	224,756.00
3		DRENAJES VIAL				47,518.92
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	Sobre acarreo 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 metálico para cunetas	ml	2,300.00	4.62	10,626.00
3.11	512005	Encofrado de madera recto (2 usos)	m2	156.00	10.21	1,592.76

3.12	DN640	Tubería circular PVC D=640mm para alcantarillas (inc. material fino para encamado e: 10cm, material para apostillado y relleno inicial)	ml	40.00	410.00	16,400.00
4		SEÑALIZACION				16,746.00
4.1	500018	Señalización vertical	u	5.00	148.76	743.80
4.2	500019	Pintura para señalización de tráfico, manual, franja de hasta 15cm	ml	6,900.00	1.60	11,040.00
5		MITIGACION DE IMPACTOS AMBIENTALES				2,481.10
	550A30	Alquiler de baterías sanitarias móvil, incluye instalación, desinstalación 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						784,037.30
IVA					15%	117,605.59
TOTAL						901,642.89
Son: Novecientos un mil seiscientos cuarenta y dos con ochenta y nueve centavos.						

Fuente: Elaboracion Propia

8. CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo el diseño geométrico y estructural del tramo vial comprendido entre las abscisas 6+900 y 9+200 km, correspondiente a la vía La Ramada – Río Curiquingue, ubicada en el cantón Girón, provincia del Azuay. El proyecto se desarrolló siguiendo las especificaciones técnicas del **Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO, 2003)** para el diseño geométrico, mientras que para el diseño del pavimento flexible se aplicaron los lineamientos de la norma **AASHTO, 1993**. El diseño se realizó considerando una velocidad de diseño de 40 km/h y una velocidad de operación de 35 km/h. Además, se estableció un peralte máximo del 8%, acorde a las características de la zona montañosa.
- Con base en el conteo vehicular realizado, se estableció un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 974 vehículos, proyectado para un periodo de 20 años. De acuerdo con esta proyección, la vía se clasifica como de tercera categoría. Por ello, se definió un ancho de pavimento de 6 metros y su ancho de espaldón de 0,50 m dando un ancho de pavimento de 7 m. En cuanto al diseño de las curvas horizontales, se consideró un radio mínimo de 42 metros; no obstante, siguiendo las recomendaciones de la norma **MTO**, que permite

radios mínimos de 15 metros en terrenos montañosos, se realizaron ajustes en el diseño para adaptarlo a las características del terreno y optimizar los costos del proyecto.

- A través de los ensayos realizados en laboratorio, se obtuvo la clasificación del suelo en dos puntos específicos del tramo de estudio. En la abscisa 7+475 km, el material corresponde a limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas (clasificación MH u OH), con una humedad óptima de 16.5%, una densidad óptima de 1.46 g/cm³ y un CBR de 10.037%. En la abscisa 8+625 km, se identificó un material similar, también clasificado como limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas, con una humedad óptima de 18.8%, una densidad óptima de 1.41 g/cm³ y un CBR de 17.778%, los ensayos fueron realizados en los laboratorios de universidad en confiabilidad de que los equipos estén en buen uso y tener resultados factibles para el diseño.
- Para el diseño del pavimento flexible, se consideró el valor de CBR más desfavorable (10.037%) con el fin de evitar cambios estructurales entre tramos y garantizar una mayor uniformidad en la estructura del pavimento.
- Con los datos obtenidos del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), los ESAL's (Ejes Equivalentes de Carga) y el CBR del suelo, se procedió a realizar el diseño de la estructura del pavimento flexible. Como resultado, se determinaron los espesores de las capas de la siguiente manera: subbase de 15 cm, base de 15 cm y capa asfáltica de 8 cm.
- Se llevó a cabo el diseño de sistemas de drenaje horizontales y verticales, adaptados a las características hidrológicas y al caudal de la zona. El objetivo principal fue garantizar una adecuada gestión de las aguas lluvias, evitando posibles daños en la estructura vial del diseño ubicado en La ramada Girón.
- Se elaboró el presupuesto referencial del proyecto, considerando que el material necesario para la construcción de la vía se encuentra a 2 km de distancia de una mina, y que el desalojo de cortes de material desfavorable se realizará a una escombrera ubicada a 20 km del sitio del proyecto. El presupuesto asciende a \$903,757.63 USD, sin incluir IVA, y corresponde al diseño geométrico y estructural del tramo vial comprendido entre las abscisas 6+900 y 9+200 km de la vía La Ramada – Río Curiquingue, ubicada en el cantón Girón, provincia del Azuay.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda socializar con los moradores del sector de la vía a diseñarse, para relacionar los benéficos con el fin a futuros en tener buena accesibilidad a sus domicilios, haciendas.

Se recomienda mantenimientos periódicos en la vía para evitar, tapones en alcantarillado, cunetas, en no ocasionar falla estructural.

Se recomienda colocar disipadores de energía en tramos especificados dentro de este proyecto para evitar erosión.

Se recomienda para el cálculo del CBR más exacto realizar hacer calicatas en una distancia recomendada de 500 metros para una carretera de bajo tráfico.

También se debe considerar

Puntos críticos: Además de los intervalos regulares, se deben hacer muestreos en zonas críticas, como áreas de cortes, terraplenes, cruces de ríos o zonas inundables.

Se recomienda hacer prácticas de laboratorio en lugares garantizados y aprobados para obtener resultados favorables y óptimos para el diseño.

Se recomienda para el análisis de presupuesto referencial tomar en cuenta ubicación del proyecto, distancia de compra del material, escombrera, y accesibilidad para garantizar el proyecto.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. (1993). *DISEÑO DE PAVIMENTOS ASSHTO 93*.

Agisoft Metashape. (n.d.). *Agisoft Metashape: Professional Edition*. Retrieved January 9, 2025, from <https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>

BRAJA M, D. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición*.

Cárdenas Grisales, J. (2013). *DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS*.

EMAAP-Q. (2009). *Norma de diseño de alcantarillado para la EMAAP-Q*. 1–176.

Global Mapper - Blue Marble Geographics. (n.d.). Retrieved January 9, 2025, from <https://www.bluemarblegeo.com/global-mapper/>

INAMHI. (2013). *Anuarios Meteorológicos – INAMHI*. <https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-meteorologicos/>

INAMHI, I. W. G. I. F. G. I. M. A. B. J. C. (2015). *DETERMINACION DE ECUACIONES PARA CALCULO DE INTENSIDADES MAXIMAS DE PRECIPITACION*.

INEC. (2022). *Población y Demografía*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

INEN. (2011). *SEÑALIZACION VIAL. PARTE 1 SEÑALIZACION VERTICAL*.

MTC. (2008). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE ÍNDICE*.

MTOP. (2003). *NORMAS DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS-2003*.

Rondón, H. A., Frey, Q., Reyes, A., Hugo, L., Rondón, A., & Lizcano, A. R. (2015). *Pavimentos Materiales, construcción y diseño*.

T.E. Stanton, O. J. P. (2021). *Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. <https://doi.org/10.1520/D1883-21>

11. ANEXOS

ANEXO 1. 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			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⁾												
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	275	160	275	210	75	275	210	110	210	110	42	210	110	75	110	30	20	110	75	42	75	30	20 ⁽⁹⁾												
Distancia de visibilidad para parada (m)	180	160	110	160	110	70	160	135	90	135	110	55	135	110	70	110	70	40	110	70	55	70	35	25	70	55	40	55	35	25												
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	830	690	565	690	565	415	690	640	490	640	565	345	640	565	415	565	415	270	480	290	210	290	150	110	290	210	150	210	150	110												
Peralte	MAXIMO = 10%																		10% (Para V > 50 K.P.H.)						8% (Para V < 50 K.P.H.)																	
Coefficiente "K" para: ⁽²⁾																																										
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2												
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3												
Gradiente longitudinal ⁽³⁾ máxima (%)	3	4	6	3	5	7	3	4	7	4	6	8	4	6	7	6	7	9	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14												
Gradiente longitudinal ⁽⁴⁾ mínima (%)	0,5%																																									
Ancho de pavimento (m)	7,3						7,3						7,0						6,70						6,00						6,00						4,00 ⁽¹⁰⁾					
Clase de pavimento	Carpetas Asfáltica y Hormigón												Carpetas Asfáltica						Carpetas 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						2,0						2,0						2,5 (C.V. Tipo 6 y 7)						4,0																	
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 ⁽⁶⁾ - 4,0						2,0 - 4,0						2,0 - 4,0						4,0 (C.V. Tipo 5 y 5E)						---																	
Curva de transición	USENSE ESPIRALES CUANDO SEA NECESARIO																																									
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 O = TERRENO ONDULADO M = TERRENO MONTAÑOSO																																										

- 1) El TPDA indicado es el volumen promedio anual de tráfico diario proyectado a 15 – 20 años, cuando se proyecta un TPDA en exceso de 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, úsese dos aceras completas de 1,20 m de ancho.
- 8) Para tramos largos con este ancho, debe ensancharse la calzada a intervalos para proveer refugios de encuentro vehicular.
- 9) Para los caminos Clase IV y V, se podrá utilizar $V_0 = 20$ 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 respectivas o cuando se puede implementar sin incurrir en costos de construcción. Se puede variar algo de las Normas Absolutas para una determinada clase, cuando se considere necesario el mejorar una carretera existente siguiendo generalmente el trazado actual.

2-R

Fuente: (MTOP, 2003)

ANEXO 2. Velocidades de diseño (Km/h)

CATEGORÍA DE LA VÍA	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		
		Recomendado	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	Todos	3000-8000	110	100	100	90	100	80	90	80	80	60	80	60
II	Todos	1000-8000	100	90	90	85	90	80	86	80	70	50	70	50
III	Todos	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60	40
IV	po 5, 5E 6 y	100-300	80	60	80	60	60	35	60	35	50	25	50	25
V	4 y 4E	<100	60	50	60	50	50	35	50	35	40	25	40	25

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, 2003)

ANEXO 3. 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" 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: (MTO, 2003)

ANEXO 4. Elementos de la distancia de visibilidad para rebasamiento

CUADRO VI - 4

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: (MTO, 2003)

ANEXO 5

Tabla 2 A. 106 -02 Nacional de pesos y dimensiones: "Tipo de vehículos motorizados remolques y semirremolques"

CUADRO DEMOSTRATIVOS DE TIPO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES								
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			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	3,00	4,30		
S2			20	13,00	3,00	4,30		
S1			11	13,00	3,00	4,30		
R2			22	10,00	3,00	4,30		
R3			31	10,00	3,00	4,30		
B1			11	10,00	3,00	4,30		
B2			20	10,00	3,00	4,30		
B3			24	10,00	3,00	4,30		

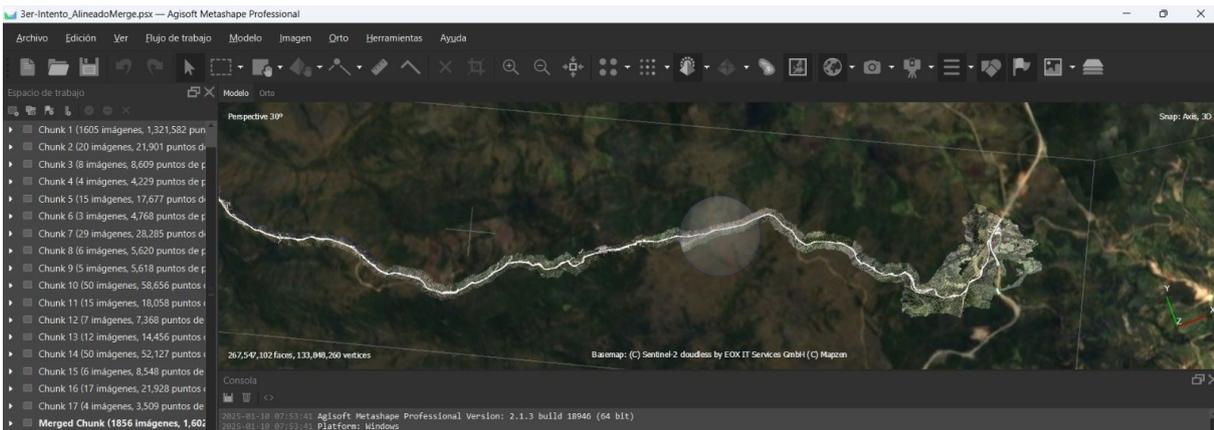
Fuente: (MTO, 2003)

ANEXO 6 Tabla 2 A. 106 -03 Nacional de pesos y dimensiones: "Posibles combinaciones"

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			40	20,50	2,60	4,30
2R3			48	20,50	2,60	4,30
3R2			48	20,50	2,60	4,30
3R3			48	20,50	2,60	4,30
2B1			29	20,50	2,60	4,30
2B2			38	20,50	2,60	4,30
2B3			42	20,50	2,60	4,30
3B1			38	20,50	2,60	4,30
3B2			47	20,50	2,60	4,30
3B3			48	>20,50	3,00	4,30

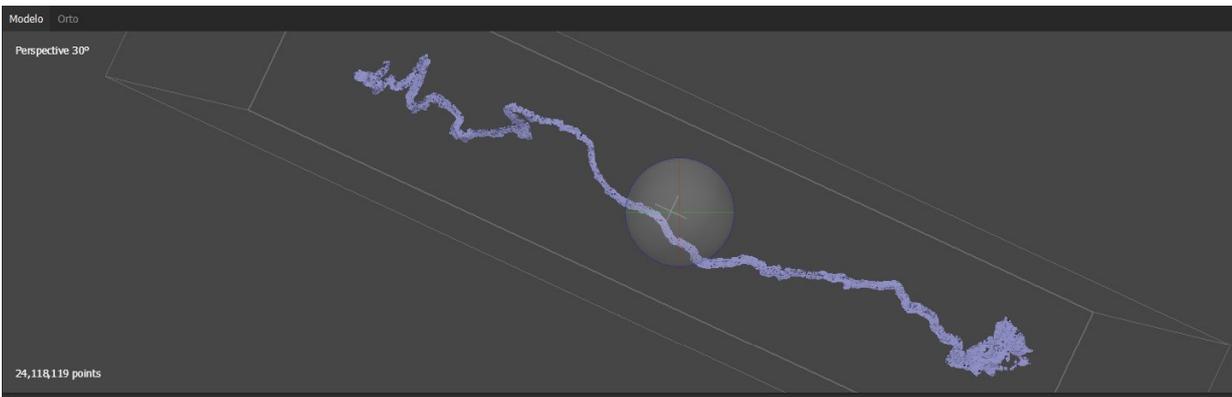
Fuente: (MTO, 2003)

ANEXO 7 Alineamiento de fotos obtenidas por el dron



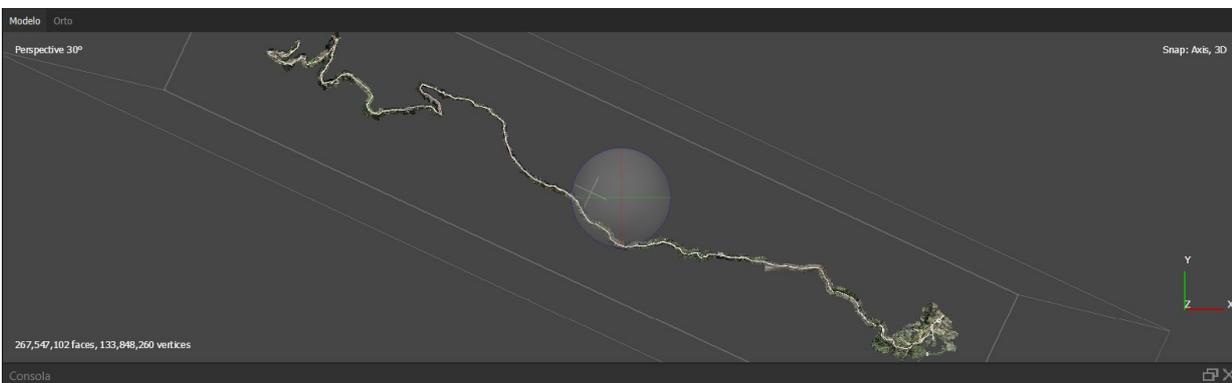
Fuente: propia. (Agisoft Metashape, n.d.)

ANEXO 8 Generación de nube de puntos densa



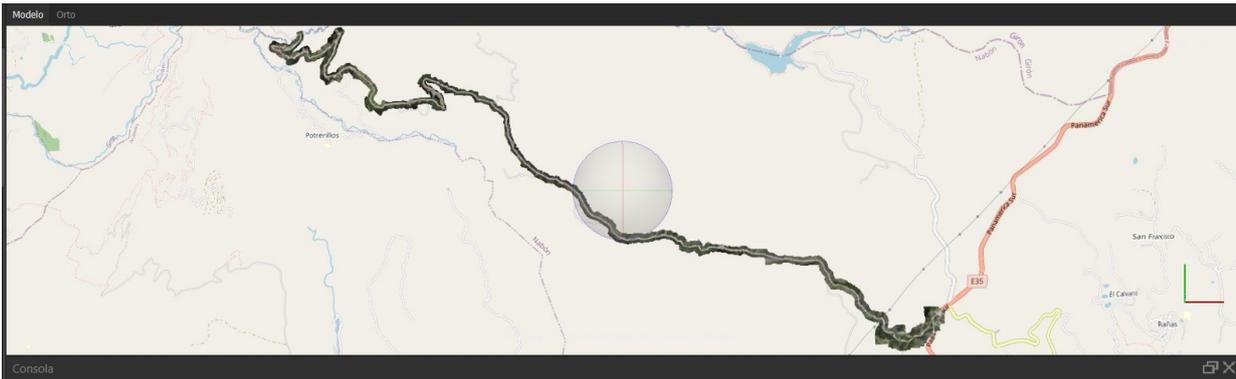
Fuente: Propia, (Agisoft Metashape, n.d.)

ANEXO 9 Obtención de modelo 3d



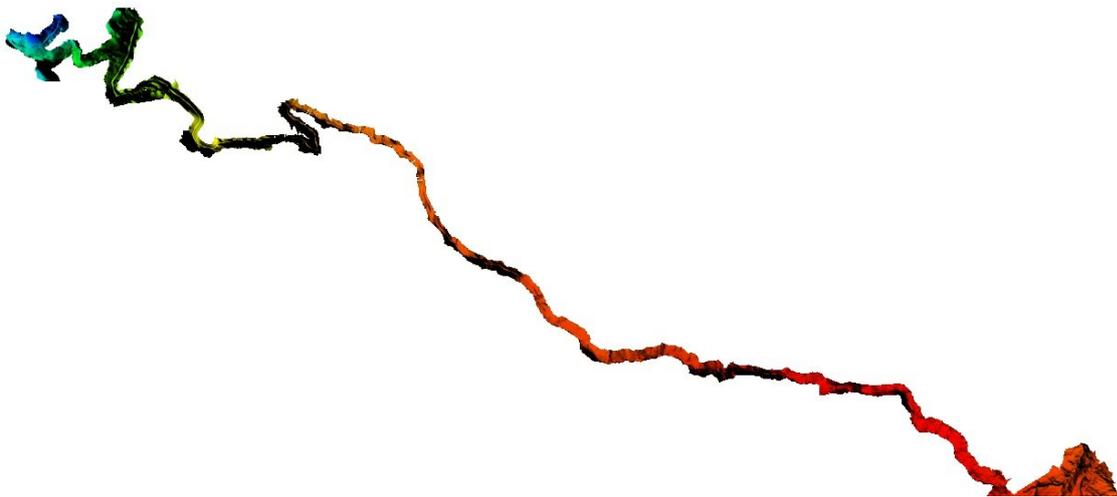
Fuente: Propia, (Agisoft Metashape, n.d.)

ANEXO 10 Obtención de ortofoto del levantamiento realizado por el dron



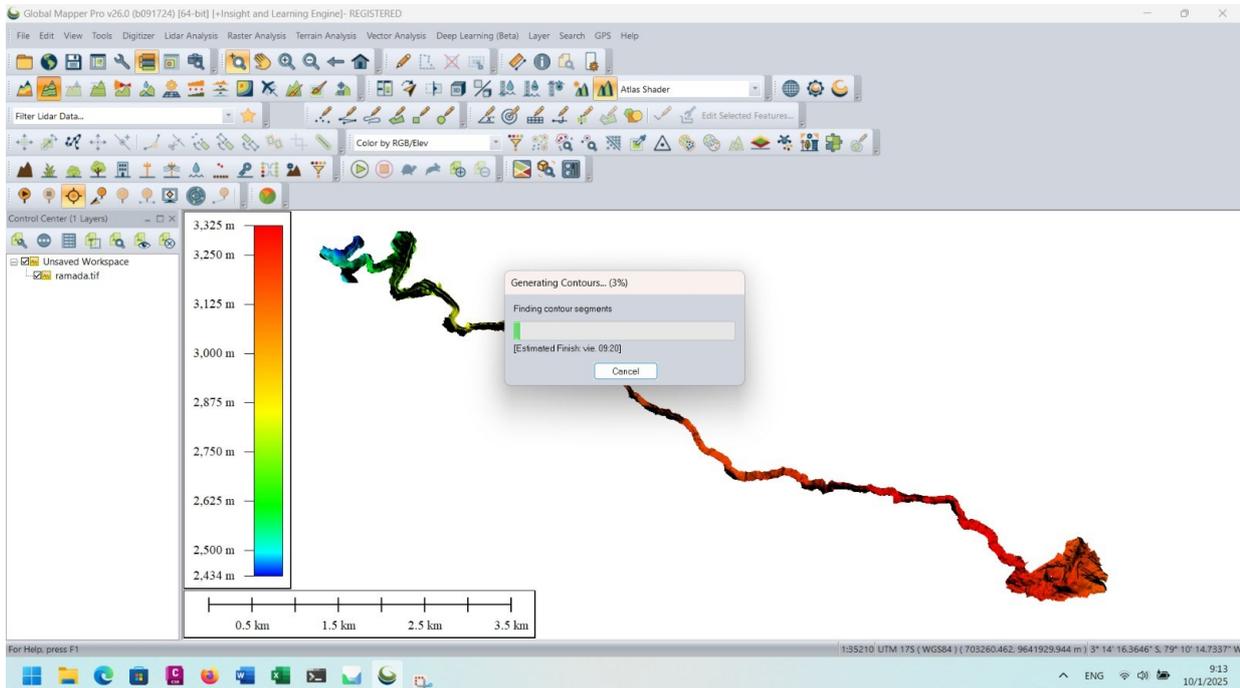
Fuente: Propia, (Agisoft Metashape, n.d.)

ANEXO 11 Limpieza de vegetación y generación del DME



Fuente: Propia, (Agisoft Metashape, n.d.)

ANEXO 12 Pasamos el DEM a Global Mapper y podemos generar contornos cada metro para diseño



Fuente: Propia, (Global Mapper - Blue Marble Geographics, n.d.)

ANEXO 13. Señalización vial

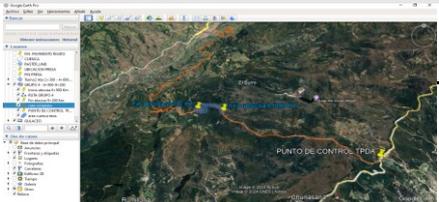
Señalización			
Detalle	Grafico	Detalle	Grafico
Detenerse antes de la línea de pare y ceder el paso a todo tránsito		Comienza Doble vía	
Límite máximo de velocidad		Aproximación a una curva cerrada a la izquierda	

Aproximación a una curva cerrada a la derecha		Mas adelante curva abierta hacia la izquierda	
Mas adelante curva abierta hacia la derecha		Mas adelante curva en "U" a la izquierda	
Mas adelante curva en "U" a la derecha		Mas adelante reductor de velocidad	
Mas adelante curva y contra curva abierta a la izquierda		Mas adelante curva y contra curva abierta a la derecha	
Mas adelante vía sinuosa a la izquierda		Mas adelante vía sinuosa a la derecha	
Mas adelante cruce de ganado		Mas adelante calzada resbaladiza	

No estacionar		Cambio de rasante a la izquierda	 D6-2I
Cambio de rasante a la derecha	 D6-2D	Prohibido adelantar o rebasar	

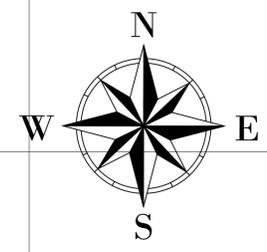
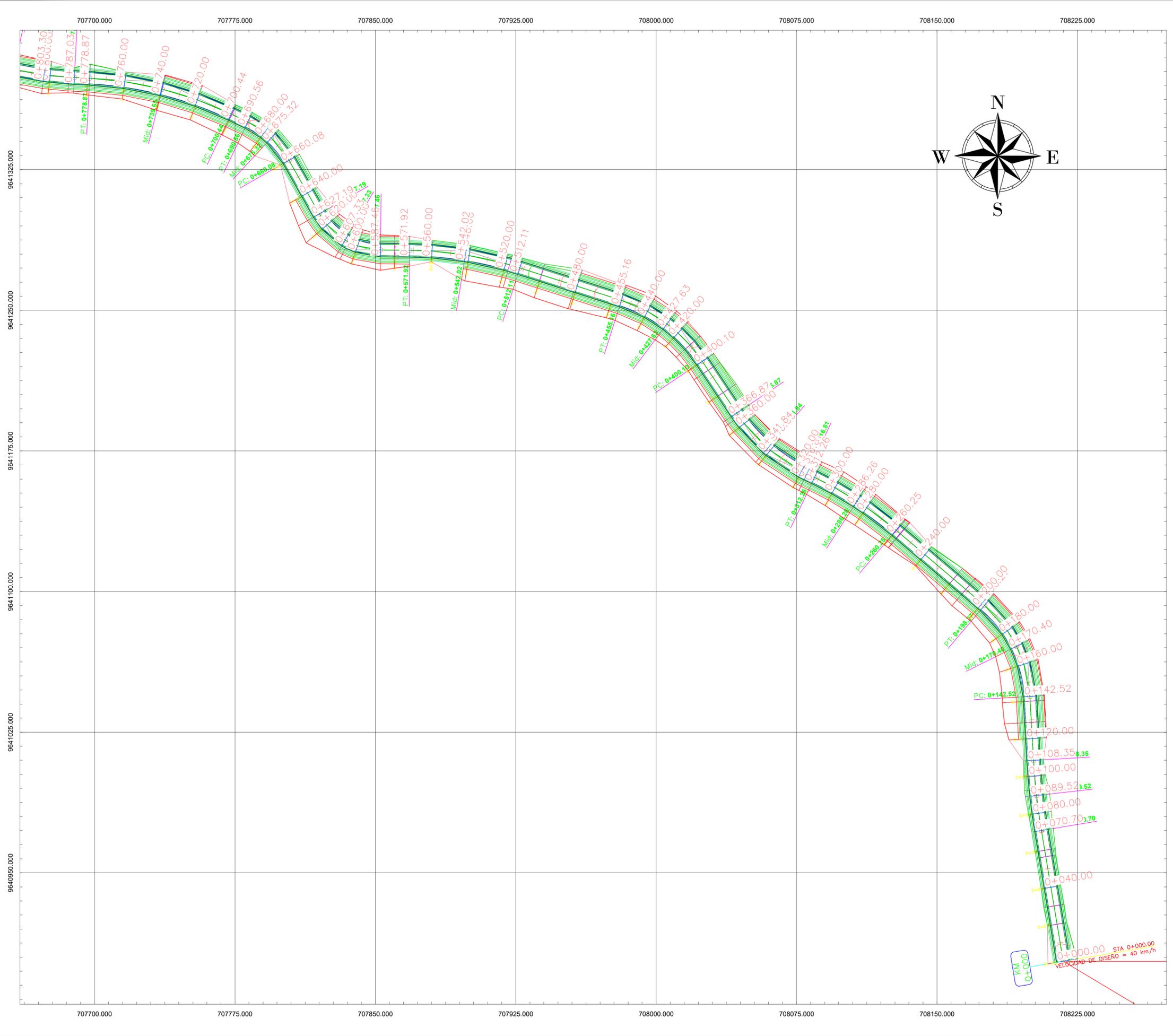
Fuente: (INEN, 2011)

ANEXO 14 - cantidades de obra

CANTIDADES DE OBRA PARA PAVIMENTO FLEXIBLE EN OBRA							
Diseño Geométrico y Estructural de la vía La Ramada – Río Curiquingue desde la abscisa 6+900 hasta la abscisa 9+200 km, en el Cantón Girón Provincia del Azuay.							
Hoja de calculo							
Imagen	Detalle	Espesor 2 o 3 pulg		Abscisas por tramo		Unidad	
	Modificar celda con el color	2 pulg	3 pulg	Inicio	6900	km	
	Longitud	0	2300	fin	9200	km	
	Ancho + Berma	7		m			
	Área	0	16100	m2			
	Carpeta Asfáltica	0	8	cm	3	in	
	Base	0	15	cm	6	in	
Datos capas	Sub- base	0	15	cm	6	in	
<i>Carpeta Asfáltica</i>	8	cm	Mejoramiento	0	0	cm	in
<i>Base</i>	15	cm	espesor	0	0.38	m	in
<i>Subbase</i>	15	cm	esponjamiento del material	30%		%	
<i>Subrasante o terreno natural</i>			Escombrera	20		km	
			Volumen total de Corte	6014.01	cm3	Datos Civil 3D	
			Volumen total de Relleno	3983.07	cm3	Datos Civil 3D	
				5%			
Replanteo	2,300.00	m	2415				

Excavación maquina	13,936.21	m3	14633.02			
Excavación manual	69.68	m3	73.16512			
Cargado de material	18,207.66	m3	19118.05			
Transportar	18,207.66	m3	19118.05			
Sobre acarreo	254,907.27	m3-km	267652.6			
Subrasante	16,100.00	m2	16905			
Pedraplén	161.00	m3	169.05			
Mejoramiento	5,177.99	m3	5436.891			
Sub base	2,415.00	m3	2535.75			
Base Clase II	2,415.00	m3	2535.75			
Imprimación	16,100.00	m2	16905			
Carpeta 2	0.00	m2	0			
Carpeta 3	16,100.00	m2	16905			
Señalización						
Señalización vertical	5	u				
Pintura	6,900.00	m				
Mitigación						
Letrero	2	u				
Señalización con cinta	200	m				
parantes de H	20	u				
Cobertura con plástico	50	m2				
Difusión	1	global				

Fuente: Elaboracion Propia



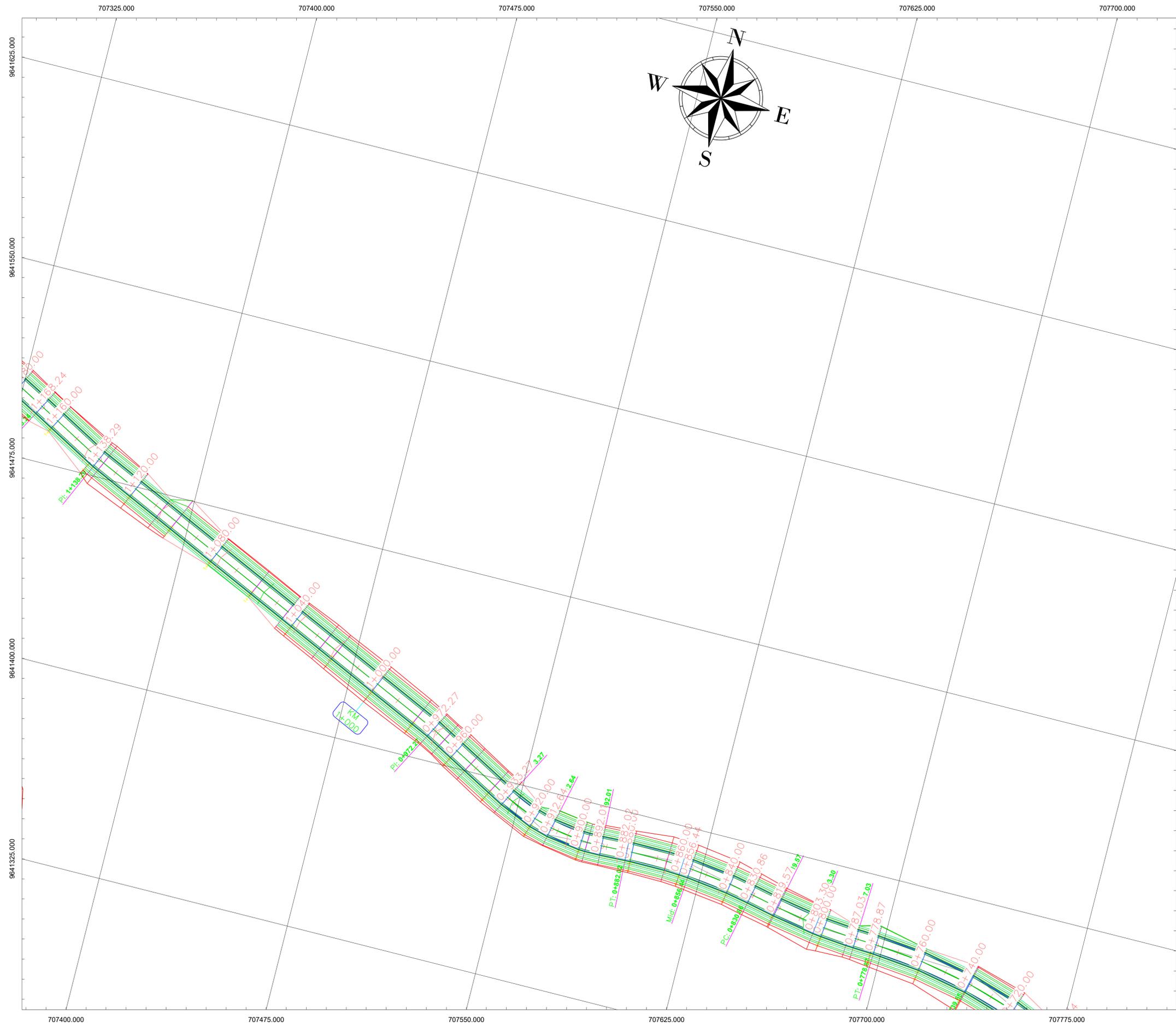
PERFI



UNIV

PROYECTO: "DISEÑO DE LA CARRETERA DE CURIQUINGA"
 CONTIENE:
 DISEÑO:
 Est. Firm
 Cédula No:
 1105208712
 APROBADO:
 Ing.
 Nombre del archi
 Vía WWW.PREVIC.COM

KM
 0+000
 STA. 0+000.00
 VELOCIDAD DE DISEÑO = 40 km/h

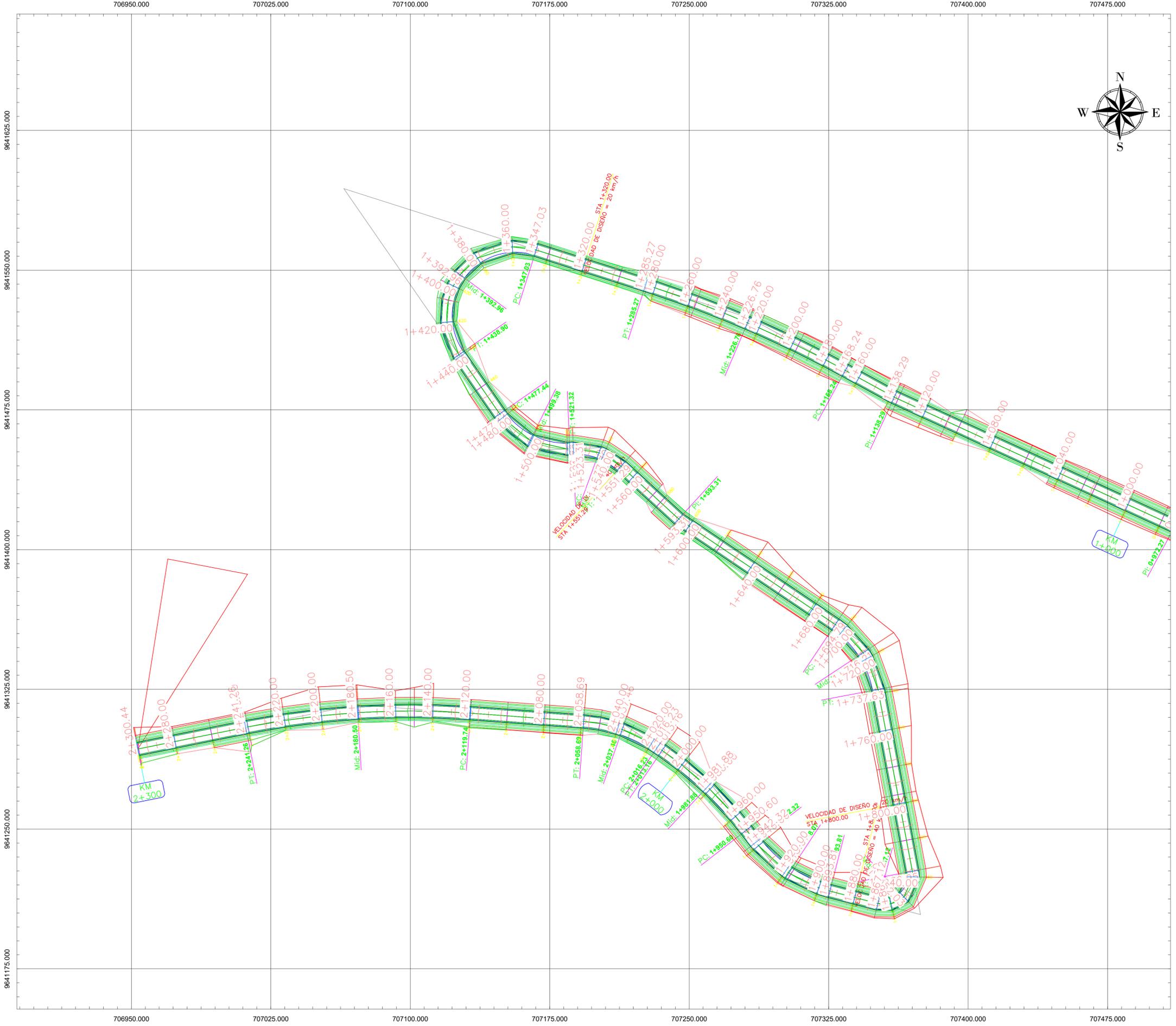


PERFI



UNIV

PROYECTO: "DISEÑO DE LA CARRETERA DE CURIQUINGA"
 CONTIENE:
 DISEÑO:
 Est. Firm
 Cálculo No:
 1105208712
 APROBADO:
 Ing.
 Nombre del archi
 Vía: W:\PROYECTOS\2015\

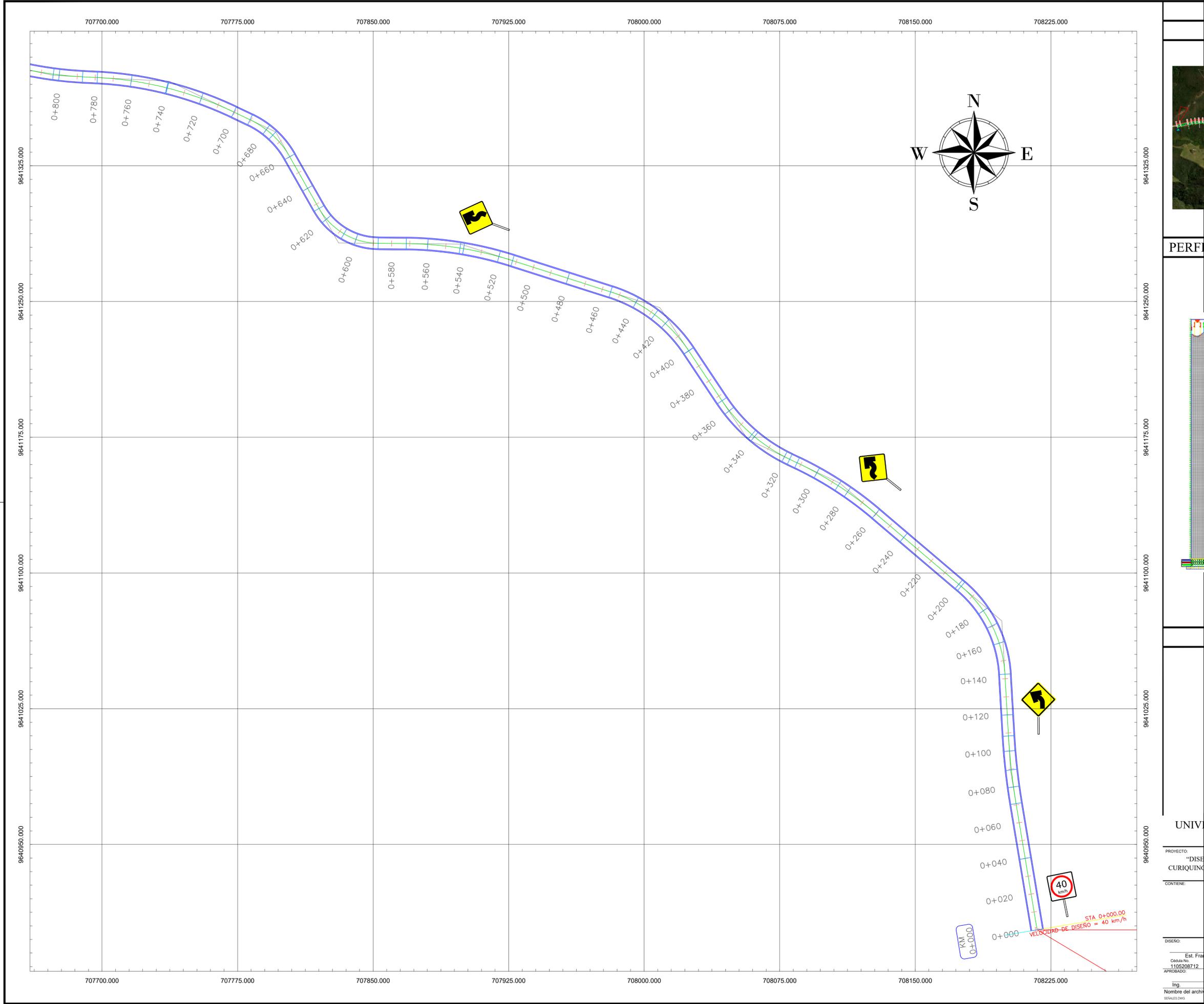


PERFI



UNIV

PROYECTO: "DISEÑO DE CARRETERA CURRIQUING"
 CONTIENE:
 DISEÑO:
 Est. Firm
 Cálculo No:
 1105208712
 APROBADO:
 Ing.
 Nombre del archi
 Vía: W:\074\DESIGN\0205



PERFI



UNIV

PROYECTO: "DISEÑO DE CARRETERA EN LA ZONA DE CURIQUINGA"

CONTIENE:

DISEÑO:

Est. Fm
Copia No:
1105208712

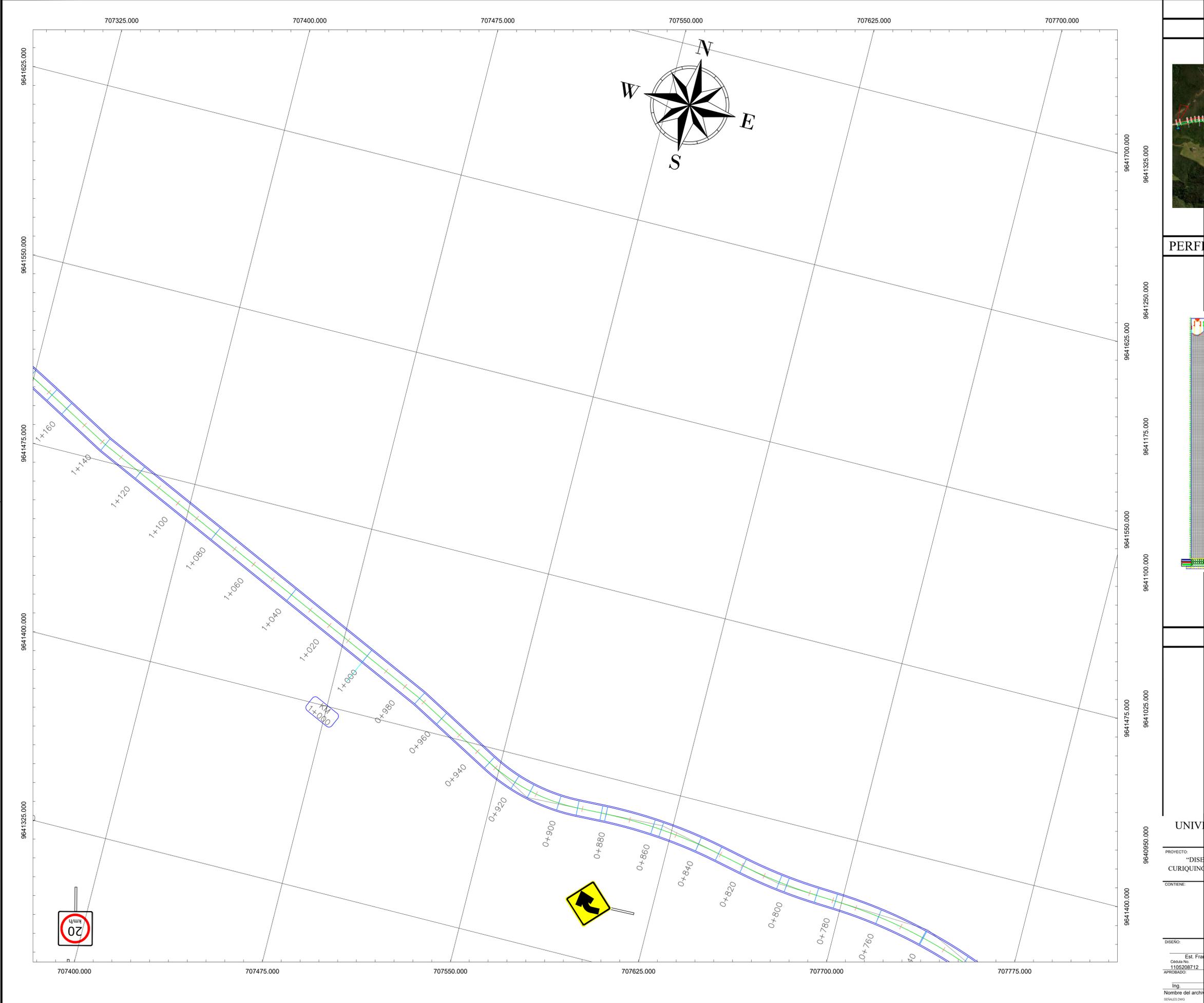
APROBADO:

Ing.

Nombre del archivo

000000.DWG

STA. 0+000.00
VELOCIDAD DE DISEÑO = 40 km/h



PERFI



UNIV

PROYECTO: "DISEÑO DE LA CARRETERA DE CURIQUINGO"

CONTIENE:

DISEÑO:

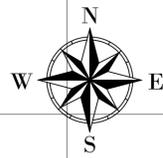
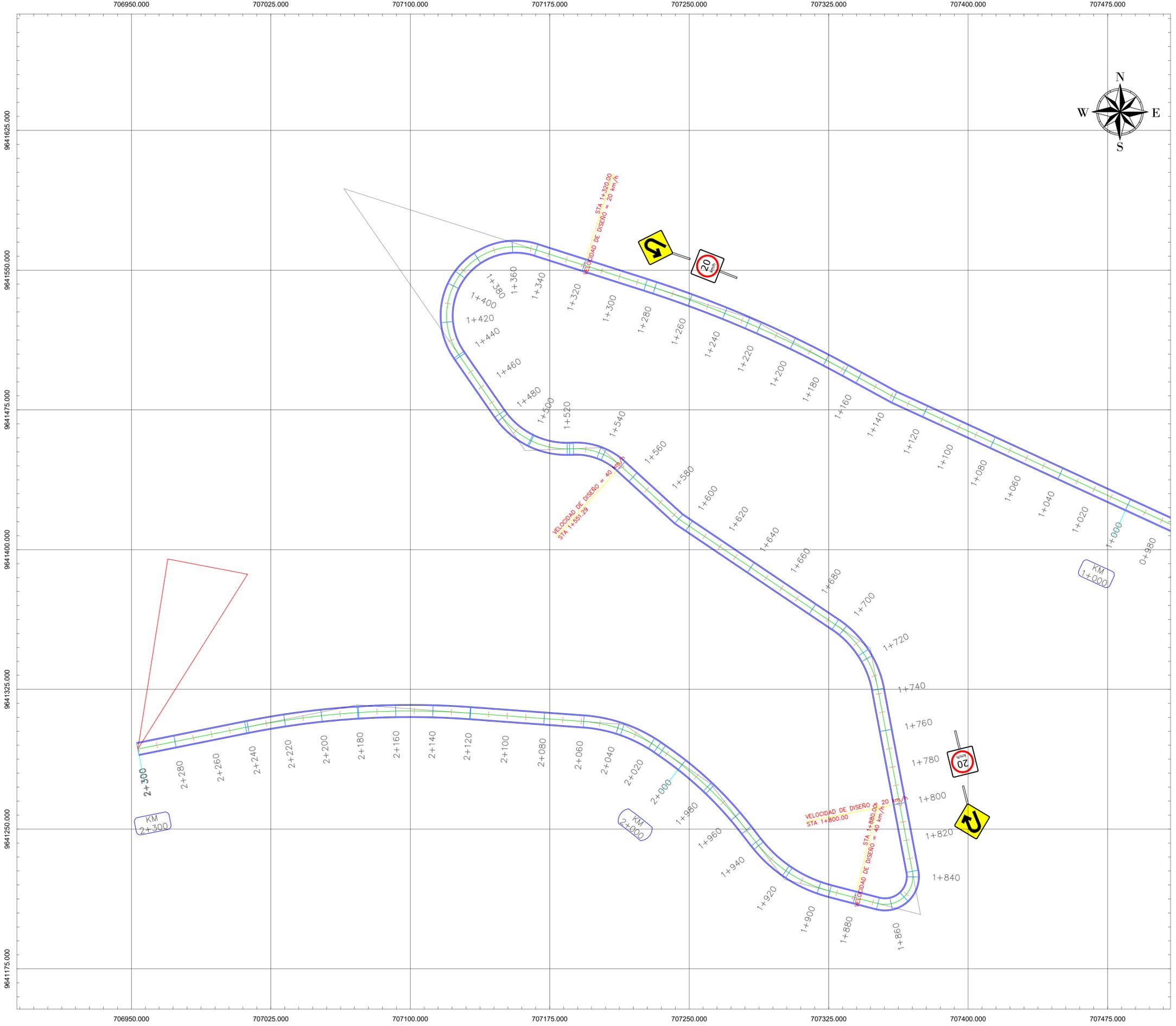
Est. Fm
Copia No:
1105208712

APROBADO:

Ing.

Nombre del archivo

000000.DWG



PERFI



UNIV

PROYECTO: "DISEÑO DE CARRETERA RURAL DE CURIQUINGA"
 CONTENIDO:
 DISEÑO:
 Est. Firm
 Cálculo No:
 1105208712
 APROBADO:
 Ing.
 Nombre del archivo:
 000000.DWG

0+070.70



0+120.00



0+198.27



0+286.26



0+340.00



0+400.10



0+480.00



0+080.00



0+142.52



0+200.00



0+300.00



0+341.84



0+420.00



0+512.11



0+089.52



0+160.00



0+240.00



0+312.26



0+360.00



0+427.63



0+520.00



2+119.74



2+180.50



2+280.00



2+120.00



2+200.00



2+300.44



2+140.00



2+220.00



Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+000.00	0.00	2.39	0.00	0.00	0.00	0.00
0+040.00	0.96	0.00	19.15	47.72	19.15	47.72
0+070.70	3.95	0.00	75.39	0.00	94.54	47.72
0+080.00	2.89	0.00	31.76	0.00	126.29	47.72
0+089.52	0.00	0.34	13.75	1.61	140.04	49.33
0+100.00	1.41	0.00	7.40	1.77	147.44	51.10
0+108.35	1.46	0.00	11.99	0.00	159.43	51.10
0+120.00	0.00	0.90	8.52	5.25	167.96	56.35
0+142.52	0.00	2.81	0.00	41.75	167.96	98.10
0+160.00	0.00	3.44	0.00	54.45	167.96	152.55
0+170.40	0.00	6.55	0.00	51.83	167.96	204.38
0+180.00	0.00	5.11	0.00	55.94	167.96	260.32
0+198.27	0.00	6.87	0.00	109.24	167.96	369.56
0+200.00	0.00	6.64	0.00	11.68	167.96	381.23
0+240.00	0.77	0.05	15.36	133.86	183.31	515.09
0+260.25	0.00	2.56	7.77	26.44	191.09	541.54
0+280.00	0.00	5.14	0.00	76.09	191.09	617.63
0+286.26	0.00	6.75	0.00	37.21	191.09	654.84
0+300.00	0.00	4.15	0.00	74.92	191.09	729.75
0+312.26	0.00	3.15	0.00	44.74	191.09	774.50

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+316.81	0.00	2.88	0.00	13.70	191.09	788.19
0+320.00	0.00	2.34	0.00	8.32	191.09	796.51
0+340.00	0.00	3.68	0.00	60.33	191.09	856.84
0+341.84	0.00	3.79	0.00	6.90	191.09	863.74
0+360.00	0.00	2.34	0.00	55.86	191.09	919.61
0+366.87	0.00	1.21	0.00	12.22	191.09	931.82
0+400.00	0.00	3.21	0.00	73.18	191.09	1005.00
0+400.10	0.00	3.22	0.00	0.32	191.09	1005.32
0+420.00	0.00	4.68	0.00	78.35	191.09	1083.67
0+427.63	0.00	6.71	0.00	43.45	191.09	1127.12
0+440.00	0.00	7.18	0.00	86.00	191.09	1213.12
0+455.16	0.00	4.90	0.00	91.67	191.09	1304.80
0+480.00	0.00	3.73	0.00	107.17	191.09	1411.97
0+512.11	0.00	2.36	0.00	97.72	191.09	1509.69
0+520.00	0.00	1.79	0.00	16.33	191.09	1526.02
0+540.00	1.39	0.00	13.87	17.89	204.96	1543.92
0+542.02	1.76	0.00	3.18	0.00	208.14	1543.92
0+560.00	2.66	0.00	39.77	0.00	247.91	1543.92
0+571.92	0.00	1.82	15.83	10.82	263.74	1554.74
0+587.46	0.00	7.53	0.00	72.73	263.74	1627.47

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut
0+600.00	0.00	8.24	0.00	99.49	263.74	1726.97
0+607.33	0.00	6.66	0.00	54.78	263.74	1781.75
0+620.00	0.00	1.81	0.00	53.65	263.74	1835.40
0+627.19	0.00	1.97	0.00	13.66	263.74	1849.05
0+640.00	3.17	0.00	20.32	12.64	284.06	1861.69
0+660.08	3.46	0.00	66.64	0.00	350.69	1861.69
0+675.32	1.64	0.00	39.33	0.00	390.02	1861.69
0+680.00	1.24	0.01	6.86	0.03	396.88	1861.72
0+690.56	0.70	0.20	10.49	1.05	407.36	1862.78
0+700.44	0.09	0.87	3.91	5.25	411.27	1868.03
0+720.00	0.00	8.44	0.89	90.93	412.16	1958.96
0+739.65	0.00	9.41	0.00	175.23	412.16	2134.19
0+740.00	0.00	9.29	0.00	3.25	412.16	2137.45
0+760.00	1.69	0.00	16.84	92.80	429.01	2230.24
0+778.87	0.00	3.58	15.89	33.67	444.90	2263.91
0+787.03	0.38	0.15	1.55	15.23	446.45	2279.14
0+800.00	0.00	1.54	2.45	11.06	448.90	2290.19
0+803.30	0.00	1.02	0.00	4.23	448.90	2294.43
0+819.57	0.00	4.71	0.00	46.68	448.90	2341.10
0+830.86	0.00	6.94	0.00	65.76	448.90	2406.86

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+840.00	0.00	6.30	0.00	60.55	448.90	2467.41
0+856.44	0.00	6.26	0.00	103.27	448.90	2570.67
0+860.00	0.00	5.43	0.00	20.82	448.90	2591.49
0+880.00	0.00	5.20	0.00	106.35	448.90	2697.84
0+882.02	0.00	5.10	0.00	10.41	448.90	2708.25
0+892.01	0.00	3.66	0.00	43.77	448.90	2752.02
0+900.00	0.00	2.21	0.00	23.56	448.90	2775.59
0+912.64	0.12	0.02	0.77	14.23	449.68	2789.82
0+920.00	0.73	0.00	3.12	0.08	452.79	2789.90
0+933.27	0.00	3.18	4.81	21.13	457.60	2811.03
0+960.00	0.00	5.28	0.00	113.15	457.60	2924.18
0+972.27	0.00	2.59	0.00	48.30	457.60	2972.47
1+000.00	0.00	5.15	0.00	107.32	457.60	3079.80
1+040.00	0.00	3.05	0.00	163.97	457.60	3243.77
1+080.00	0.33	0.11	6.64	63.23	464.24	3307.00
1+120.00	0.00	3.98	6.64	81.85	470.88	3388.85
1+138.29	0.00	6.19	0.00	92.99	470.88	3481.84
1+160.00	0.00	2.34	0.00	92.50	470.88	3574.35
1+168.24	0.00	1.31	0.00	15.05	470.88	3589.40
1+180.00	0.00	3.31	0.00	27.20	470.88	3616.60

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
1+200.00	0.00	3.60	0.00	69.15	470.88	3685.75
1+220.00	0.00	2.26	0.00	58.60	470.88	3744.35
1+226.76	0.00	4.23	0.00	21.93	470.88	3766.28
1+240.00	0.00	7.04	0.00	74.68	470.88	3840.96
1+260.00	0.00	5.03	0.00	120.73	470.88	3961.69
1+280.00	1.88	0.00	18.87	50.30	489.75	4011.98
1+285.27	3.69	0.00	14.68	0.00	504.44	4011.98
1+320.00	1.60	0.00	91.91	0.00	596.35	4011.98
1+347.03	2.04	0.00	49.18	0.00	645.53	4011.98
1+360.00	3.61	0.00	36.14	0.00	681.67	4011.98
1+380.00	4.66	0.00	82.21	0.00	763.88	4011.98
1+392.96	3.95	0.00	55.74	0.00	819.62	4011.98
1+400.00	3.73	0.00	27.06	0.00	846.68	4011.98
1+420.00	2.03	0.00	57.84	0.00	904.52	4011.98
1+438.90	0.37	0.08	22.77	0.66	927.29	4012.65
1+440.00	0.42	0.03	0.43	0.06	927.72	4012.70
1+477.44	0.00	12.59	7.78	236.11	935.49	4248.81
1+480.00	0.00	12.52	0.00	32.18	935.49	4280.99
1+499.38	0.00	7.73	0.00	196.37	935.49	4477.36
1+500.00	0.00	7.78	0.00	4.81	935.49	4482.18

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut
1+520.00	0.00	3.17	0.00	109.45	935.49	4591.62
1+521.32	0.00	2.77	0.00	3.89	935.49	4595.52
1+523.31	0.00	2.17	0.00	4.91	935.49	4600.43
1+537.30	0.47	0.01	3.23	15.47	938.72	4615.90
1+540.00	0.72	0.00	1.60	0.02	940.31	4615.91
1+551.29	0.60	0.07	7.41	0.40	947.73	4616.31
1+560.00	0.61	0.00	5.27	0.30	953.00	4616.61
1+593.31	0.82	0.00	23.84	0.04	976.83	4616.64
1+600.00	0.31	0.02	3.79	0.07	980.63	4616.72
1+640.00	0.00	4.60	6.15	92.52	986.77	4709.24
1+680.00	0.00	3.77	0.00	167.54	986.77	4876.78
1+694.79	0.00	3.36	0.00	52.77	986.77	4929.55
1+700.00	0.00	3.59	0.00	18.23	986.77	4947.78
1+716.21	0.00	3.78	0.00	60.11	986.77	5007.89
1+720.00	0.00	4.11	0.00	15.05	986.77	5022.94
1+737.63	0.00	6.51	0.00	94.07	986.77	5117.01
1+760.00	0.00	7.23	0.00	153.61	986.77	5270.62
1+800.00	0.00	7.53	0.00	295.17	986.77	5565.79
1+836.95	0.00	6.37	0.00	256.81	986.77	5822.61
1+840.00	0.00	6.21	0.00	19.46	986.77	5842.06

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
1+852.03	0.00	3.89	0.00	61.41	986.77	5903.47
1+860.00	0.00	4.29	0.00	32.95	986.77	5936.42
1+867.12	0.00	5.43	0.00	34.73	986.77	5971.15
1+880.00	0.00	5.73	0.00	71.90	986.77	6043.05
1+893.81	0.00	4.34	0.00	69.60	986.77	6112.65
1+900.00	0.00	3.85	0.00	25.31	986.77	6137.95
1+918.07	0.00	3.16	0.00	63.41	986.77	6201.37
1+920.00	0.00	3.58	0.00	6.52	986.77	6207.89
1+940.00	0.00	4.89	0.00	84.67	986.77	6292.56
1+942.32	0.00	4.90	0.00	11.38	986.77	6303.94
1+950.60	0.00	4.47	0.00	38.79	986.77	6342.73
1+960.00	0.00	2.98	0.00	34.98	986.77	6377.72
1+980.00	2.07	0.00	20.62	29.78	1007.39	6407.49
1+981.88	2.12	0.00	3.94	0.00	1011.33	6407.49
2+000.00	0.41	0.11	22.75	0.98	1034.07	6408.48
2+013.16	0.07	0.59	3.12	4.62	1037.19	6413.09
2+016.23	0.13	0.62	0.31	1.85	1037.51	6414.94
2+020.00	0.05	0.59	0.33	2.31	1037.84	6417.25
2+037.46	0.00	0.26	0.39	7.49	1038.23	6424.74

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
2+058.69	0.01	0.57	0.15	7.46	1038.39	6432.83
2+080.00	0.04	0.40	0.51	10.36	1038.89	6443.19
2+119.74	0.00	1.56	0.72	38.93	1039.61	6482.12
2+120.00	0.00	1.57	0.00	0.40	1039.61	6482.52
2+140.00	0.00	2.63	0.00	42.05	1039.61	6524.56
2+160.00	0.94	0.07	9.39	27.12	1049.01	6551.68