



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN**

Escuela de Ingeniería Civil.

Licenciatura en Ingeniería Civil.

Proyecto final de graduación

**PROPUESTA DE MEJORA Y DE REHABILITACIÓN DE
LOS SISTEMAS DE CANALIZACIÓN DE AGUAS
PLUVIALES Y DE LA SUPERFICIE DE RUEDO DEL
CAMINO: CRUCE LA PALMA BREÑÓN – SABANILLAS.**

Autor: Esteban Augusto Mora Núñez

Tutor: Ing. Marco Sánchez

Fecha: Heredia mayo, 2020



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: ***PROPUESTA DE MEJORA Y DE REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CANALIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y DE LA SUPERFICIE DE RUEDO DEL CAMINO: CRUCE LA PALMA - BREÑÓN - SABANILLAS.*** por el (la) estudiante: Esteban Augusto Mora Nuñez , fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de **Ingeniería Civil** de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en **Ingeniería Civil**:

Marcos Sánchez Pérez

Tutor

José María Ulate Zárate

Lectora

Giovanni Arguedas Morales

Representante



COMITÉ ASESOR

Ing. Marcos Sánchez Pérez

Tutor

Ing. José María Ulate Zárate

Lector

Ing. Giovanni Arguedas Morales

Representante

**CARTA DE APROVACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL TRABAJO
FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (PROYECTO DE GRADUACIÓN)**

Sres.

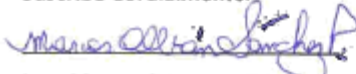
Miembros del Comité de Trabajos de Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación) bajo el título **PROPUESTA DE MEJORA Y DE REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CANALIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y DE LA SUPERFICIE DE RUEDO DEL CAMINO: CRUCE LA PALMA BREÑÓN – SABANILLAS** por parte del estudiante: Esteban Augusto Mora Núñez como requisito para el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenidos exigidos por la Universidad, y por lo tanto recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe Cordialmente.



Ing. Marco Sánchez Pérez

**CARTA DE APROVACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (PROYECTO DE
GRADUACIÓN)**

Heredia, 11 de mayo del 2020

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos de Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación) bajo el título **PROPUESTA DE MEJORA Y DE REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CANALIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y DE LA SUPERFICIE DE RUEDO DEL CAMINO: CRUCE LA PALMA BREÑÓN – SABANILLAS** por parte del estudiante: Esteban Augusto Mora Núñez como requisito para el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenidos exigidos por la Universidad, y por lo tanto recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe Cordialmente.

Ing. José María Ulate Zárate

JOSE
MARIA
ULATE
ZARATE
(FIRMA)

Firmado
digitalmente por
JOSE MARIA
ULATE ZARATE
(FIRMA)
Fecha: 2020.05.13
09:26:05 -06'00'

Carta de filóloga

05 de mayo del 2020.

Señores

Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Información de la Comunicación
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad N° 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento que lleva por título **PROPUESTA DE MEJORA Y DE REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CANALIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y DE LA SUPERFICIE DE RUEDO DEL CAMINO: CRUCE LA PALMA BREÑÓN – SABANILLAS**, del estudiante **Esteban Augusto Mora Núñez**, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones solicitadas, quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente,

Firmado por EDITH RAISSA PIZARRO ALFARO (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-04-0178-0133. Fecha declarada: 05/05/2020 03:18 PM
Esta representación visual no es una fuente de confianza, valide siempre la firma.

Licda. Edith Raissa Pizarro Alfaro
Código del Colegio 35554

“Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de mayo de 2016, revisada el 24 de abril de 2020

Yo:

Mora Núñez, Esteban

De la Carrera/ Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil

Autor(es) del trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE MEJORA Y DE REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CANALIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y D
E LA SUPERFICIE DE RUEDO DEL CAMINO: CRUCE LA PALMA BREÑÓN – SABANILLAS.**

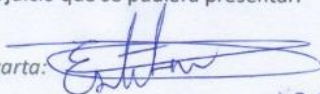
Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día jueves, 14 del mes mayo del año 2020 a las 6:30 pm. Asimismo, doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

Según orden de mención al inicio de ésta carta:



1-16200725.



UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA

Resumen

En el presente trabajo se pretende contribuir una modificación al trazado de la calle Cruce la Palma Breñón - Sabanillas, la cual está ubicada en Acosta San José, para que los conductores que transitan por esta zona puedan desplazarse a los distritos de Sabanillas y Cangrejal con mayor confortabilidad y seguridad.

Para el diseño propuesto, las curvas de nivel, (levantamiento topográfico) serán brindadas por la Municipalidad de Acosta, en la cual colaboré a determinar los puntos, para el nuevo trazado de calle, y con ello, elaborar una propuesta de diseño geométrico por medio de un diseño horizontal y vertical, para que los conductores transiten por esta zona lo hagan de una manera segura y adecuada. También, se diseñará las estructuras de alcantarillado pluvial necesarias para el desfogue, en donde desde un estudio hidrológico que se realizará para determinar las cuencas hidrográficas para crear una red o medio canalizador de aguas, el cual sea capaz de abastecer la demanda en la zona en que se desarrolla el proyecto. Seguidamente se diseñó la estructura del pavimento a partir del TPD, y el estudio de suelos brindado por la Municipalidad de Acosta.

Considerando para todo el diseño las normas internacionales cuentos como el Manual Centroamericano de diseño geométrico en carreteras, la norma ASSTHO 93 y el CR 2010, Manual de diseño de pavimentos.

Una vez finalizada la propuesta se entregarán los planos detallados para queden una disposición de la Municipalidad de Acosta y así poder tomarlos en cuenta para el desarrollo del proyecto.

Summary

This paper aims to contribute a modification to the layout of Cruse La Palma Breñón - Sabanillas, Acosta San José, so that drivers who travel through this area can travel to the districts of Sabanillas and Cangrejal with greater comfort and safety. For the proposed design, the contour lines, (topographic survey) will be provided by the Municipality of Acosta, in which I will collaborate to determine the points, for the new street layout, and with that, to prepare a geometric design proposal through of a horizontal and vertical design, so that the drivers transit through this area do it in a safe and adequate way. Also, the pluvial sewage structures necessary for the vent will be designed, where from a hydrological study that will be carried out to determine the hydrographic basins to create a network or half channel of water, which is able to supply the demand in the area in That the project is developed. Then the pavement structure was designed from the TPD, and the soil study provided by the Municipality of Acosta. Considering for all the design the international norms stories like the Central American Manual of geometric design in roads), the norm ASSTHO 93 and the CR 2010, Manual of design of pavements. Once the proposal has been completed, the detailed plans will be delivered to make a provision of the Municipality of Acosta so that they can be taken into account for the development of the project.

Agradecimiento

Primeramente, deseo dar gracias a Dios por permitirme poder lograr la meta de ser Ingeniero Civil, ya que existieron algunas pruebas, pero él me permitió fortalecerme de ellas y avanzar siempre hacia adelante para poder terminar este proyecto tan importante.

Agradezco con todo mi corazón a cada uno de los miembros de mi familia que de alguna u otra forma me brindaron apoyo incondicional para poder siempre seguir adelante en esta carrera. A mis papás que sin ellos esto no lo hubiese logrado, y especialmente a mi mamá, que muchas veces trasnochó al quedarse conmigo acompañándome a estudiar o terminar un trabajo, le agradezco a ella por darme las fuerzas para poder siempre salir adelante y dar más de mí mismo. A mi papá por siempre estar presente y querer apoyarme en esta meta. También agradezco el apoyo de mi novia brindado en estos últimos años, donde siempre recibí su apoyo y estuvo presente en cada momento difícil de esta carrera.

Seguidamente agradezco a todos mis compañeros, que, con su apoyo, amistad, dedicación y conocimiento, las cuales compartimos en muchas ocasiones, pudimos salir adelante y lograr cada una de las etapas de esta hermosa carrera.

Agradezco a mi tutor el Ing. Marco Sánchez Pérez que hizo lo posible por guiarme en la realización de este proyecto, también por buscar la forma de atender las dudas que surgieron durante la realización de este proyecto durante la etapa de la pandemia COVID-19.

A todos los profesores de la Universidad Latina de Costa Rica que con su conocimiento y experiencia desataron la pasión de querer convertirme en Ingeniero Civil para ser cada día más disciplinado y adquirir más conocimiento.

¡Muchas gracias a todos!

Dedicatoria.

Quiero dedicar este proyecto **principalmente a mi madre y mi padre**, que siempre estuvieron presentes desde el principio hasta en este camino para poder convertirme en Ingeniero Civil, y que nunca dejaron de creer en mí, al igual que mis padrinos, tíos y abuelos, les dedico este proyecto a ellos por nunca dejar de creer en mí y darme sus muestras de apoyo.

Quiero dedicar todo este esfuerzo de mi parte a mi hija, y a mi novia que estuvieron presentes los últimos 3 años y siempre me apoyaron incondicionalmente.

Tabla de contenidos

Resumen	i
Summary.....	ii
Agradecimiento	iii
Dedicatoria.....	iv
Tabla de contenidos	v
Índice de tablas	ix
Índice de ilustraciones	xi
1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General:	3
1.3.2 Objetivo Específicos:	3
1.4 Justificación	3
1.5 Alcances y limitaciones	4
1.5.1 Alcances	4
1.5.2 Limitaciones	6
1.6 Impacto	6
1.7 Ubicación del proyecto.	7
2. Marco Teórico	7
2.1 Carreteras	7
2.1.1 Clasificación de las carreteras	7
2.1.1.1 Función y clasificación administrativa	8
2.1.1.2 Tipo de terreno y transitabilidad.....	9
2.1.1.3 Clasificación según características	11
2.1.1.4 Clasificación por velocidad de diseño y tipo de terreno.....	12
2.2 Estructura de Pavimento	13
2.3 Tipos de Pavimentos.....	14
2.3.1 Estructura de Pavimento Flexible	14
2.3.1.1 Elementos que componen el pavimento flexible.....	16
2.3.2 Estructura de Pavimento Rígido.....	17
2.3.3 Estructura de Pavimento Semi – Rígido	19

2.4 Criterio de falla de un pavimento	20
2.5 Tipos de fallas en los pavimentos flexibles	22
2.5.1 Ahuellamiento	22
2.5.2 Hundimiento.....	23
2.5.3 Corrugación.....	24
2.5.4 Corrimiento	26
2.5.5 Hinchamiento	27
2.5.6 Fisura Longitudinal	28
2.5.7 Fisura Transversal	29
2.5.8 Fisura tipo piel de lagarto.....	31
2.5.9 Exudación del asfalto	32
2.6 Diseño	33
2.6.1 Clasificación Vehicular y vehículos de diseño	33
2.6.2 Factor camión.....	35
2.6.3 Tránsito promedio diario (TPD).....	36
2.6.4 Período de diseño	37
2.6.5 Factor de distribución por carril.....	37
2.6.6 Nivel de confianza.....	38
2.6.7 Diseño geométrico.....	39
2.6.7.1 Diseño geométrico horizontal.....	39
2.6.7.2 Diseño geométrico Vertical	45
2.6.7.3 Diseño geométrico transversal.....	56
2.6.8 Drenajes.....	60
2.6.8.1 Drenaje longitudinal o drenaje superficial	63
2.6.8.2 Drenaje Transversal.....	72
2.6.9 Análisis Hidrológico	75
2.6.9.1 Método racional.....	75
2.6.10 Modulo de Resilencia para Pavimentos flexibles	83
2.6.11 Señales viales en carreteras	86
2.6.11.1 Señales verticales.....	87
2.6.11.2 Señales horizontales o demarcación del pavimento	89
2.6.11.3 Señales luminosas.....	91

3. Marco Metodológico	91
3.1 Enfoque y método de investigación.....	92
3.1.1 Enfoque Cuantitativo.....	92
3.2 Población y Muestra	92
3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	92
3.3.1 Levantamiento topográfico	93
3.3.2 Análisis hidrológico	95
3.3.3 Criterios de diseño.....	95
3.3.4 Normativa AASHTO 1993.....	99
3.3.5 Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de datos.....	99
3.3.6 Ejes equivalentes	102
3.3.7 Diseño de espesores de la capa asfáltica	103
4 Análisis de Resultados.....	107
4.1 Análisis del diseño Geométrico Vertical y Horizontal	107
4.1.1 Velocidad de diseño	107
4.1.2 Radio mínimo.....	107
4.1.3 Alineamiento Vertical y Horizontal	107
4.1.4 Pendiente máxima y mínima para curvas verticales	108
4.1.5 Curvas Horizontales	108
4.1.6 Curvas Verticales	110
4.1.7 Dimensiones del carril.....	111
4.2 Análisis del diseño de pavimentos	112
4.2.1 Estudio de suelos.....	112
4.2.2 Módulo de resiliencia de la subrazante	116
4.2.3 Ejes equivalentes	116
4.2.4 Espesores de la estructura de pavimento.....	119
4.2.5 Criterio de falla en el pavimento	119
4.2.5.1 Criterio de falla por fatiga	120
4.2.5.2 Criterio de falla por deformación	121
4.3 Análisis hidrológico	121
4.3.1 Áreas Tributarias (Cuenca hidrográfica).....	122
4.3.2 Periodo de retorno	126

4.3.3 Tiempo de concentración	126
4.3.4 Intensidad de lluvia.	127
4.3.5 Coeficiente de escorrentía ponderado	130
4.3.6 Calculo de caudales	133
4.4 Análisis hidráulico	137
4.4.1 Análisis y diseño hidráulico de cunetas (longitudinal)	137
4.4.2 Análisis y diseño hidráulico del alcantarillado pluvial (transversal)	146
4.5 Señalización Vial	159
4.5.1 Señalización Vertical.....	159
4.5.2 Señalización Horizontal	161
4.6 Presupuesto preliminar de costos.....	163
5. Conclusiones.....	167
6. Recomendaciones	168
Bibliografía.....	170
Anexos	171

Índice de tablas

Tabla 1. Velocidad de diseño, ancho de vía y tipo de terreno.....	13
Tabla 2. Clasificación de vehículos.....	35
Tabla 3. Trayectorias Mínimas de giro de los vehículos.....	35
Tabla 4. Factores camión para Costa Rica.	36
Tabla 5. Anchos mínimos para carreteras de bajo tránsito.....	37
Tabla 6. Periodo de diseño (años)	37
Tabla 7. Factores de distribución por carril.....	38
Tabla 8. Niveles de confianza.....	38
Tabla 9. Radios mínimos de diseño para peraltes máximos de 4% y 6%.	44
Tabla 10. radios mínimos de diseño para peralte máximo de 8% y 10 %.....	45
Tabla 11. Control de diseño para curva vertical en cresta y distancia de visibilidad de adelantamiento.....	52
Tabla 12. Control de diseño para curva vertical en cresta y distancia de visibilidad de parada.	53
Tabla 13. Factores para el control de diseño de una vertical en columpio.....	55
Tabla 14. Pendiente máxima para carreteras tipo colectoras urbanas.	56
Tabla 15. Pendientes máximas para carretas tipo rurales.	56
Tabla 16. Tiempos adecuados para capas granulares.....	63
Tabla 17. Coeficientes de Rugosidad de Manning (n)	71
Tabla 18. Velocidades máximas admisibles en conductos revestidos	74
Tabla 19. Coeficientes de escorrentía por tipo de área desarrollada o no desarrollada.....	79
Tabla 20. Coeficientes de escorrentía por tipo de área desarrollada o no desarrollada.....	80
Tabla 21. Período de retorno según drenaje, tipo de carreteras y velocidad de diseño.....	83
Tabla 22. Módulo de Resilencias de subrasante para pavimentos flexibles	85
Tabla 23. Sistema de clasificación funcional	96
Tabla 24. Clasificación de las carreteras	96
Tabla 25. Anchos mínimos de aceras y espaldones.....	97
Tabla 26. Factores físicos de formación de deslizamiento.....	97
Tabla 27. Clasificación de terrenos en función de pendientes y topografía	98
Tabla 28. Espesores mínimos de pavimentos flexibles.	103
Tabla 29. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles	106
Tabla 30. Datos y elementos de Curvas Horizontales.....	109
Tabla 31. Datos y elementos de Curvas Verticales	111
Tabla 32. Longitudes de tramos definidos.....	113
Tabla 33. Valores para el cálculo de los números estructurales SN1, SN2 y SN3	118
Tabla 34. Valores SN1, SN2 y SN3	119
Tabla 35. Propuesta de dimensiones del pavimento.....	119
Tabla 36. Información de Subcuencas.....	126
Tabla 37. Tiempos de concentración para cada subcuenca.....	127
Tabla 38. Intensidades de precipitación máxima (mm/h) por duración y periodo de retorno.	128
Tabla 39. Intensidades de lluvia.	129

Tabla 40. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuena #1.	130
Tabla 41. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuena #2.	131
Tabla 42. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuena #3.	131
Tabla 43. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuena #4.	131
Tabla 44. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuena #5.	132
Tabla 45. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuena #6.	132
Tabla 46. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuena #7.	132
Tabla 47. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuena #8.	133
Tabla 48. Calculo del caudal de diseño.	133
Tabla 49. Información y ubicación de áreas tributarias de cunetas.....	136
Tabla 50. Caudales de diseño para cunetas.	136
Tabla 51. Capacidad Hidráulica de las cuentas en función de las pendientes según sus estacionamientos.....	138
Tabla 52. Calculo de velocidad y tirante máximo a partir de los caudales obtenidos del lado izquierdo de la carretera.	139
Tabla 53. Calculo de velocidad y tirante máximo a partir de los caudales obtenidos del lado derecho de la carretera.....	144
Tabla 54. Capacidad Hidráulica de alcantarillado pluvial a tubo lleno.....	148
Tabla 55. Determinacion del Área mojada, Velocidad, Radio hidráulico, Fuerza tractiva y Tirante máximo	149
Tabla 56. Ubicación de los pasos transversales y Tipo de cabezal a construir.	152
Tabla 57. Analisis Hidráulico de alcantarillado del paso transversal 0+097	154
Tabla 58. Analisis Hidráulico de alcantarillado del paso transversal 0+256	157
Tabla 59. Señalamiento vertical.	160
Tabla 60. Señales Horizontales	163
Tabla 61. Actividades y cantidades de la carretera Breñón.....	164
Tabla 62. Presupuesto de la obra.	165
Tabla 63. Costo de materiales, mano de obra; equipo y acarreo.	166

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Localización del proyecto.....	7
Ilustración 2. Tipos de terreno en carreteras.....	11
Ilustración 3. Esquema de comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.	14
Ilustración 4. Estructura de pavimento flexible, mecanismo de disipación tensiones.	16
Ilustración 5. Estructura de pavimento rígido, mecanismo de distribución esfuerzos.	19
Ilustración 6. Estructura de pavimento Semi - rígido.....	20
Ilustración 7. Curva de deterioro de un pavimento	21
Ilustración 8. Curva de relación y condición de pavimento.	22
Ilustración 9. Deformación por ahilamiento.....	23
Ilustración 10. Deformación por hundimiento	24
Ilustración 11. Deformación por corrugación.....	25
Ilustración 12. Deformación por corrimiento.....	27
Ilustración 13. Deformación por Hinchamiento.....	28
Ilustración 14. Deformación por fisura longitudinal.	29
Ilustración 15. Deformación por fisura transversal	30
Ilustración 16. Deformación por fisura tipo piel de lagarto	32
Ilustración 17. Deformación por exudación del asfalto.....	33
Ilustración 18. Elementos geométricos que componen una curva circular simple.....	41
Ilustración 19. Elementos geométricos que componen una curva circular compuesta.	43
Ilustración 20. Tangente vertical	47
Ilustración 21. Parábola de curva vertical	49
Ilustración 22. Curva vertical asimétrica.....	50
Ilustración 23. Curvas verticales convexas y curvas cóncavas	51
Ilustración 24. Sección típica transversal de una carretera.....	57
Ilustración 25. Secciones transversales según tipo del terreno y topografía	60
Ilustración 26. Flujo de escorrentía a la cuneta.	64
Ilustración 27. Cuneta de Sección trasversal tipo Trapezoidal.....	65
Ilustración 28. Cuneta de Sección trasversal tipo Trapecial.....	67
Ilustración 29. Cuneta de Sección trasversal tipo rectangular.....	68
Ilustración 30. Cuneta de Sección trasversal tipo asimétrica	69
Ilustración 31. Cuneta de Sección trasversal tipo asimétrica	69
Ilustración 32. Alternativas de construcción de alcantarillado.....	73
Ilustración 33. Señales de reglamentación	88
Ilustración 34. Señales de prevención.	88
Ilustración 35. Señales de información.....	89
Ilustración 36. Fotografía #1	94
Ilustración 37. Fotografía #2	94
Ilustración 38. Técnicas de ejecución de obra contra prevención de deslizamientos.....	98
Ilustración 39. Fotografía #3	101
Ilustración 40. Fotografía #4	101
Ilustración 41. Espesores mínimos en función del número estructural SN.....	103
Ilustración 42. Grafico Nomograma para determinar número estructural.....	104

Ilustración 43. Grafico Coeficiente estructural a1 para la superficie de capa asfáltica.....	104
Ilustración 44. Grafico Coeficiente estructural a2 para la superficie de capa base.....	105
Ilustración 45. Grafico Coeficiente estructural a3 para la superficie de capa de subbase...	105
Ilustración 46. Ubicación de ensayos DCP	112
Ilustración 47. Tramos del camino.....	113
Ilustración 48. Modelo de capas para el tramo 1.....	114
Ilustración 49. Modelo de capas para el tramo 2.....	115
Ilustración 50. Modelos de capa para el tramo 3.....	115
Ilustración 51. Modelo de capas para el tramo 4.....	116
Ilustración 52. Deformaciones en el pavimento.....	120
Ilustración 53. Trazo de cuenca hidrológica principal.....	122
Ilustración 54. Trazo de Subcuenas hidrológica.....	123
Ilustración 55. Elevaciones y relieve de la zona.....	124
Ilustración 56. Relieve de la zona y delimitación de subcuenas.....	125
Ilustración 57. Curvas IDF, estación 88-35 Frailes.....	129
Ilustración 58. Áreas tributarias de cunetas.....	135
Ilustración 59. Sección transversal propuesta para la cuneta.....	137
Ilustración 60. Tirante máximo 0+000 - 0+097 lado izquierdo.....	140
Ilustración 61. Tirante máximo 0+097 - 0+256 lado izquierdo.....	140
Ilustración 62. Tirante máximo 0+256 - 0+400 lado izquierdo.....	141
Ilustración 63. Tirante máximo 0+400 - 0+625 lado izquierdo.....	141
Ilustración 64. Tirante máximo 0+625 - 0+715 lado izquierdo.....	142
Ilustración 65. Tirante máximo 0+715 - 0+760 lado izquierdo.....	142
Ilustración 66. Tirante máximo 0+760 - 0+925 lado izquierdo.....	143
Ilustración 67. Tirante máximo 0+925 - 1+100 lado izquierdo.....	143
Ilustración 68. Tirante máximo 0+000 - 0+097 lado derecho.....	144
Ilustración 69. Tirante máximo 0+097 - 0+256 lado derecho.....	145
Ilustración 70. Tirante máximo 1+100- 1+151 lado derecho.....	145
Ilustración 71. Tirante máximo 1+151- 1+350 lado derecho.....	146
Ilustración 72. Tirante máximo Subcuenca #4.....	150
Ilustración 73. Tirante máximo Subcuenca #5.....	150
Ilustración 74. Tirante máximo Subcuenca #6.....	151
Ilustración 75. Tirante máximo Subcuenca #7.....	151
Ilustración 76. Tirante máximo Subcuenca #8.....	152
Ilustración 77. Ubicación de las alcantarillas estudiadas.....	153
Ilustración 78. Comportamiento Hidráulico del P. transversal 0+097 con $Q = 0.100 \text{ m}^3/\text{s}$	155
Ilustración 79. Comportamiento Hidráulico del P. transversal 0+097 con $Q = 0.400 \text{ m}^3/\text{s}$	156
Ilustración 80. Comportamiento Hidráulico del P. transversal 0+097 con $Q = 0.900 \text{ m}^3/\text{s}$	156
Ilustración 81. Comportamiento Hidráulico del P. transversal 0+097 con $Q = 0.100 \text{ m}^3/\text{s}$	157
Ilustración 82. Comportamiento Hidráulico del P. transversal 0+097 con $Q = 0.600 \text{ m}^3/\text{s}$	158
Ilustración 83. Comportamiento Hidráulico del P. transversal 0+097 con $Q = 0.900 \text{ m}^3/\text{s}$	158
Ilustración 84. Carretera rural sin espaldón y con espaldón.....	159
Ilustración 85. Carretera rural con ensamble dirección de información.....	160

Ilustración 86. Capta luces en carreteras con velocidades menores a 60 km/h.....	162
Ilustración 87.1.1 SECCIONES TIPICAS TFG.....	172
Ilustración 88. 2.1 PLANTA TFG.....	173
Ilustración 89.2.2 PLANTA TFG.....	174
Ilustración 90.2.3 PLANTA TFG.....	175
Ilustración 91.2.4 PLANTA TFG.....	176
Ilustración 92.2.5 PLANTA TFG.....	177
Ilustración 93.3.1 PERFIL TFG	178
Ilustración 94.3.2 PERFIL TFG	179
Ilustración 95.3.3 PERFIL TFG	180
Ilustración 96.3.4 PERFIL TFG	181
Ilustración 97.3.5 PERFIL TFG	182
Ilustración 98.3.6 PERFIL TFG	183
Ilustración 99.3.7 PERFIL TFG	184
Ilustración 100.3.8 PERFIL TFG	185
Ilustración 101.3.9 PERFIL TFG	186
Ilustración 102.4.1 PASOS TRANSVERSALES TFG.....	187
Ilustración 103. 4.2 DETALLES HIDRAULICOS TFG	188
Ilustración 104. 5.1 PLANTA SEÑALIZACION TFG	189
Ilustración 105.5.2 PLANTA SEÑALIZACION TFG	190
Ilustración 106.5.3 PLANTA SEÑALIZACION TFG	191
Ilustración 107.5.4 PLANTA SEÑALIZACION TFG	192
Ilustración 108.5.5 PLANTA SEÑALIZACION TFG	193

1. Introducción

1.1 Antecedentes

En la República de Costa Rica, Acosta es el cantón número 12 de la provincia de San José, el cual se encuentra ubicado a 30 km al sur de la ciudad de San José. Presenta una extensión de 342.24 km², lo que lo hace el cuarto cantón de mayor extensión superficial de la provincia de San José. Está dividido en 5 distritos. Se encuentra limitado al norte por los cantones de Escazú, Alajuelita y Mora; al oeste por Mora y Puriscal; al este por Aserrí y al sur por Parrita. (Municipalidad de Acosta, 2018)

El cantón de Acosta fue fundado el 27 de octubre de 1910, su cabecera es San Ignacio de Acosta y para el año 2012 contaba con alrededor de 20.200 habitantes. Es el cantón topográficamente más quebrado del país, donde predomina un paisaje francamente montañoso. Es considerado un cantón eminentemente agrícola, pues la actividad agropecuaria sigue siendo la que genera mayores ingresos y la que da mayor cantidad de trabajo a un alto porcentaje de sus pobladores. (Municipalidad de Acosta, 2018)

La principal actividad agrícola y la mayor fuente de ingresos, es el cultivo del café. Otras actividades económicas importantes son la ganadería de engorde, la apicultura y el cultivo de hortalizas, flor de itabo, frijoles y cítricos. (Municipalidad de Acosta, 2018)

Hoy en día, existe un índice de desarrollo habitacional entre los distritos de Sabanillas y Cangrejal la cual, la carretera Breñón es la principal vía cantonal existente de comunicación entre ambos distritos, lo cual hace que la mejora de la carretera sea una de las formas posibles para mejorar la vida de los habitantes y provocar un impacto positivo en dichos distritos. En la actualidad el estado del camino está bastante deteriorado ya que está conformado en su totalidad por una capa de lastre, además de ello al no existir medios canalizadores de aguas,

provoca que está, tome camino por donde quiera y genere erosión y baches en la carretera, generando así incomodidad para los usuarios que transitan en ella, además de ello, el poco mantenimiento por la Municipalidad Acosta provoca que libre tránsito vehicular genere desgastes en la vía y acorte su tiempo de vida útil.

1.2 Planteamiento del problema

El camino “Breñón”, Cod.1-12-079 es una ruta de suma importancia, para el Distrito de San Ignacio de Acosta, debido a que el mismo conecta comunidades importantes de dicho distrito, como lo son Cangrejal y Sabanillas la cuales habitan alrededor de 6000 personas, estos datos son validados de acuerdo con el índice y censo de población que tiene actualmente la Municipalidad de Acosta.

En la actualidad existe gran cantidad de viviendas que presentan un factor de crecimiento acelerado, por lo que día con día es mayor la cantidad de vehículos que circulan por este lugar. Además, en la zona en cuestión, existe gran cantidad de productores agropecuarios, siendo esta una de las principales fuentes de ingreso de los habitantes del lugar, por lo que constantemente requieren del camino para la extracción de sus productos (principalmente cítricos), y en menor escala la ganadería, por lo que el mejoramiento del camino causaría un impacto positivo en la parte, comercial y económica de los habitantes del lugar.

El camino en la actualidad cuenta en un 100% de su superficie de ruedo con material granular expuesto (lastre), el cual, de acuerdo con el mantenimiento que le ha dado la Municipalidad de Acosta y a la capacidad instalada del municipio, no ha sido un mantenimiento regular. En la actualidad, al estar este material expuesto, la granulometría del mismo hace que el circular con automóviles sea de alto riesgo para la vida útil de los vehículos, así como los tiempos de recorrido que se vuelven mayores con respecto a la distancia total.

El proyecto consta del mejoramiento de un tramo total de camino de 1.420 metros entre las estaciones 2+800 y 4+220 que permitirá garantizar una mejor condición del camino específicamente en dicha longitud, la cual abarca en gran medida el centro de la comunidad, además de esto las pendientes existentes son considerables que abonado al tipo de material con el que está compuesta la superficie de ruedo y la acción del agua de las lluvias provoca que su regularidad se vea interrumpida, afectando así el libre tránsito vehicular.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Desarrollar una propuesta de mejora y de rehabilitación de los sistemas de canalización de aguas y de la superficie de ruedo del camino Breñón

1.3.2 Objetivo Específicos:

- Realizar una propuesta del diseño geométrico y señalización vertical y horizontal de la carretera Breñón – Sabanillas.
- Elaborar una propuesta de diseño alcantarillado pluvial que servirá como medio canalizador de aguas para la carretera.
- Diseñar la estructura de pavimentos flexible usando la norma AASHTO 93.
- Calcular un presupuesto detallado, así como las cantidades necesarias para realizar el diseño del pavimento y elementos hidráulicos en caso de lo que requieran.

1.4 Justificación

Acosta es un cantón dedicado principalmente a las actividades agropecuarias y en menor escala la ganadería. El 75% de los pobladores de Acosta son familias de escasos recursos económicos, que se dedica a actividades agrícolas, sin embargo, otro porcentaje de la población trabaja en San José en labores de oficina, servicios y técnicos; por tal condición es

de vital importancia mantener la red vial cantonal en buen estado y transitable en toda época del año; ya que esto depende el desarrollo social y económico del cantón.

Breñón al ser una comunidad esencialmente campesina presenta una problemática propia de una zona rural y de camino en lastre, principalmente utilizada para el transporte de cultivos especialmente cítricos. El Índice de Desarrollo Social (IDS) de este cantón es de 37,8 de un máximo de 100, lo cual lo sitúa en un nivel bajo ocupando el puesto 58 entre los 82 cantones del país.

Es importante mencionar que este cantón presenta condiciones topográficas y climatológicas bastante difíciles, que afectan significativamente los caminos, sin embargo las actividades productivas siguen siendo las que generan mayores ingresos y mayor cantidad de mano de obra a los más de 20 209 habitantes; por tal condición, es fundamental contar con vías de comunicación que permitan el traslado oportuno y seguro de los productos y mercancías con el fin de promover el desarrollo económico y social de Breñón y el cantón de Sabanillas en general, el cual requieren la inyección económica estatal para subir en las posiciones relativas respecto al resto de los distritos del país, garantizando la igualdad de oportunidades que busquen generar capacidades y proteger a los segmentos de la población que por condiciones de salud, sociales, culturales o económicas, se encuentren en desventaja para acceder a los bienes necesarios para tener una vida digna.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

El proyecto consta con el diseño de los medios de canalización de aguas pluviales en el cual se utilizó el “Manual de Hidrología Urbana” y el “Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica (SIECA 2016)” así

como la “Norma y diseño de construcción de sistemas de agua y saneamiento pluvial”. Para el diseño de pavimentos se utilizó el “Manual y la norma AASHTO 1993” para el diseño geométrico se utilizó el “Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras (SIECA 2011)”. Así mismo el diseño geométrico cuenta con señalamiento tanto horizontal como vertical con base en el “Manual de señales viales 2014”.

Por parte de la entidad que se verá beneficiada por este proyecto (Municipalidad de San Ignacio de Acosta) facilitará el estudio de suelos donde se indica la capacidad soportante del suelo, así como el CBR, esto para poder realizar el diseño del pavimento flexible, y también así mismo, las curvas de nivel para poder realizar el diseño geométrico con la ayuda del software Civil 3D.

Con respecto a la capacidad soportante del suelo, esta es utilizada para el desarrollo y diseño de los elementos hidráulicos presentes en el tramo de la carretera correspondida (Breñón).

Como parte del aporte de mi persona en el desarrollo de este proyecto acompañé a la topógrafa por realizar el levantamiento topográfico para poder obtener las curvas de nivel, lo cual es un plus para mí en el desarrollo y levantamiento del proyecto, lo cual brinda identificar de una manera más objetiva la topografía del terreno, así como su entorno y elementos presentes que los rodean.

Para poder tener detalles más específicos del tramo contemplado para realización de la mejora del camino, se realizó un levantamiento de la lista de necesidades del camino, en la cual se definen cada cuanto se va a realizar los estacionamientos para tomar las medidas del derecho de vía, subcorona y superficie de ruedo (corona), esto para poder tener conocimiento de las dimensiones ya existentes de la carretera comprendida y poder estimar un promedio del ancho de la superficie de ruedo, además de esto, se anotarán los elementos hidráulicos ya

existentes (si es que existen) y en caso de que no haya existencia de estos elementos y se llegue a la conclusión de que sean necesarios se indicaría en el estacionamiento, qué tipo de elemento convendría construir en ese estacionamiento.

1.5.2 Limitaciones

Las entidades Municipales en zonas rurales en algunos casos tienen muy bajo presupuesto, para poder tener profesionales a tiempo completo, como lo es este caso la topógrafa de la Municipalidad de Acosta, la cual se encuentra trabajando medio tiempo, lo cual hace que el recurso humano y disposición del personal para realizar el levamiento topográfico sea lento.

Generalmente en las zonas cantonales rurales el tránsito no es tan fluido como una zona cantonal urbana, por lo cual realizar un conteo vehicular y llegar a un TPD promedio aceptable, es complejo, ya que este valor es esencial para poder calcular los ejes equivalentes (ESALS) los cuales se utilizan para diseñar los espesores del asfalto, por cual se estaría valorando en utilizar un ESALS mínimo el cual está mencionado en la Normas ASSHTO 1993 el cual se utiliza para vías o carreteras de bajo tránsito vehicular, ya que básicamente no se tiene con exactitud la cantidad de vehículos que pasan por esa zona.

Para este proyecto no se contempla la estabilización de taludes, ni la propuesta de construcción de muros de contención, en caso de que se requiera, ya que la información que se tiene no es objetivo o complemento necesario para proponer o diseñar estos elementos mencionados anteriormente.

1.6 Impacto

Se espera que la propuesta de mejora del camino Breñón presente un impacto positivo económico y social tanto a los usuarios que transitan en ella, así como a las comunidades vecinas que utilizan esta carretera como vía de comunicación, ya que al existir una mejora

de camino es razonable comprender que el incremento vehicular en zona aumentará, provocando un impacto social y económico en las comunidades cercanas a esta carretera.

1.7 Ubicación del proyecto.

Ilustración 1. Localización del proyecto



Fuente: Google earth 2019

2. Marco Teórico

2.1 Carreteras

En el manual de Diseño Geométrico de Carreteras, (2013) se menciona el concepto de lo que es una carretera:

Una carretera es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad. (Cardenas Grisales, 2013, pág. 1)

2.1.1 Clasificación de las carreteras

La clasificación de las carreteras es de suma importancia, ya que a la hora realizar una propuesta de diseño, se debe tener en cuenta las condiciones en la que se está trabajando con

el objetivo de realizar un diseño eficaz y que sea de acuerdo con las características de la carretera para poder ofrecer comodidad, confortabilidad y seguridad al usuario que transita a través de ella.

Las carreteras se pueden clasificar según su función, necesidad operacional e intereses de la nación en sus diferentes niveles en términos de servicio que brinda, estas se clasifican de la siguiente manera, según, (Cardenas Grisales, 2013)

2.1.1.1 Función y clasificación administrativa

La clasificación funcional es el proceso por el cual las carreteras y calles son agrupadas en clases, o sistemas, de acuerdo con las características de servicio al tráfico que se intente proveer. Esta sección introduce los conceptos básicos requeridos para comprender la clasificación funcional de obras y sistemas viales. (SIECA, 2011, pág. 23)

Según la Ley 5060: Ley General de Caminos Públicos, emitida en la (Asamblea Legislativa de Costa Rica, 1972) en el artículo 1 y capítulo 1 se clasifican los caminos públicos de la siguiente manera:

Red vial nacional: La administración de las vías nacionales de Costa Rica corresponden al Ministerio de Obras Públicas y Transporte, el cual se encarga de velar por el buen estado y funcionamiento de las vías nacionales, las cuales se clasifican de la siguiente manera.

- Carreteras primarias: Red de rutas troncales, caracterizados por volúmenes de tránsito relativamente altos, carreteras de larga distancia. Según, (Cardenas Grisales, 2013) este tipo de carreteras deben ser siempre pavimentadas.
- Carreteras secundarias: Rutas que conectan cabeceras cantonales importantes, así como centros de población, producción y turismo, que generan una cantidad

considerable de viajes. Como lo establece el autor, (Cardenas Grisales, 2013) estas carreteras pueden funcionar como pavimentadas o en afirmado.

- Carreteras Terciarias: Son rutas que sirven de colectoras del tránsito para las carreteras primarias y secundarias y que constituyen las vías principales dentro de una región o distritos importantes. Según (Cardenas Grisales, 2013) en caso de pavimentar estas carreteras, estas deben cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para carreteras Secundarias.

Red Vial Cantonal: Para las vías cantonales los encargados de la administración son los entes municipales y gubernamentales, de las cuales está constituida por los caminos no incluidos por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte dentro de la Red vial nacional las cuales se mencionan a continuación:

- Caminos vecinales: son caminos de dominio público que suministran acceso directo propiedades y a otras actividades económicamente rurales, estas vías unen caseríos y poblados con la Red vial nacional, la cual se caracteriza por tener bajos volúmenes de tránsito y altas proporciones de viajes locales de corta distancia.
- Calles locales: Vías de dominio público incluidas dentro del cuadrante de un área urbana, no clasificadas como travesías urbanas de la Red vial nacional.
- Caminos no clasificados: Caminos públicos tales como herradura, sendas, veredas, que proporcionan acceso a muy pocos usuarios, quienes estos sufragaran los costos de mantenimiento y mejoramiento.

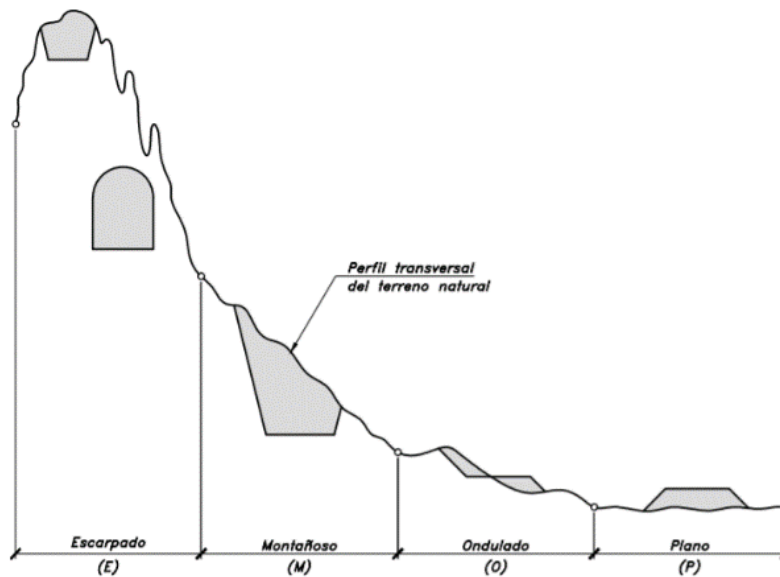
2.1.1.2 Tipo de terreno y transitabilidad

Según (Cardenas Grisales, 2013) la topografía es un factor fundamental predominante, ya que a lo largo de una carretera puede presentarse tramos homogéneos y diferentes tipos de

terreno, los cuales se clasifican con base en las pendientes de sus laderas naturales en el entorno transversal de la vía, las cuales se mencionan a continuación:

- Carreteras en terreno plano: Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos. (Cardenas Grisales, 2013)
- Carreteras en terreno ondulado: Es la que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de los vehículos livianos sin ocasionar que aquellos operen a velocidades sostenidas en pendiente por intervalos de tiempo prolongado. (Cardenas Grisales, 2013)
- Carreteras en terreno montañoso: Es la que obliga a los vehículos pesados a circular a velocidades sostenidas en pendiente a lo largo de distancias considerables o durante intervalos frecuentes. Generalmente requieren grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presentan dificultades en el trazado y en la explanación, (Cardenas Grisales, 2013)
- Carreteras en terreno escarpado: Obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en pendiente que aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes. (Cardenas Grisales, 2013)

Ilustración 2. Tipos de terreno en carreteras.



Fuente: Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales (2013)

La Transitabilidad: es la que corresponde a las etapas de construcción de las carreteras y se divide en:

- Carretera de terracerías o tierra: Cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en época seca.
- Revestida: Cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo momento.
- Pavimentada: Cuando sobre la subrasante se ha construido un pavimento flexible o rígido.

2.1.1.3 Clasificación según características

- **Autopistas:** Son vías separadas, cada una con dos o más carriles y con control total de accesos. Las entradas y salidas de las autopistas se realizan únicamente a través de intersecciones a desnivel. (Cardenas Grisales, 2013)

- **Carreteras multicarriles:** Son carreteras divididas o no, con dos o más carriles por sentido y con control parcial de accesos. Las entradas y salidas se realizan a través de intersecciones a desnivel y a nivel. (Cardenas Grisales, 2013)
- **Carreteras de dos carriles:** Constan de una sola calzada de dos carriles, uno por cada sentido de circulación. (Cardenas Grisales, 2013)

2.1.1.4 Clasificación por velocidad de diseño y tipo de terreno

La velocidad de diseño es la que se encarga de determinar las características geométricas en función del tipo de terreno para así proveer la seguridad, movilidad y eficiencia a los usuarios que transitan en ella, así mismo es importante utilizar valores arriba de los mínimos donde el mismo diseño así lo permita y este se pueda realizar de manera más sencilla y eficiente.

En la Tabla 1 se indica la velocidad de diseño en función del tipo de carretera, tipo del terreno y ancho de vía. Como lo afirma el autor (INVIAS, 2008) “En carreteras de una sola calzada el ancho mínimo de ésta debe ser de seis metros (6 m) con el propósito de permitir el cruce de dos vehículos de diseño que viajen en sentido contrario. ” (pág. 151)

Los componentes tales como: radios mínimos de giro, pendientes máximas, peralte, distancia de visibilidad y anchos máximos son factores que están presentes en el diseño o elaboración de un tramo de una carretera, lo cual es de suma importancia recalcar que la topografía del terreno es un factor que influye considerablemente en la velocidad de diseño de carretera.

Cuando se selecciona una velocidad de diseño es adecuado tener en cuenta la consideración de los siguientes factores tal y como lo afirma el autor (SIECA, 2011, pág. 56) los cuales, se describen a continuación:

- Distribuciones de velocidades.

- Tendencias de las velocidades.
- Tipo de área rural.
- Tipo de área urbana.
- Condiciones de terreno.
- Volúmenes de tránsito.
- Consistencias en el diseño de carreteras similares o complementarias.
- Condiciones ambientales y naturales.

Tabla 1. Velocidad de diseño, ancho de vía y tipo de terreno.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de carreteras. (INVIAS, 2008)

2.2 Estructura de Pavimento

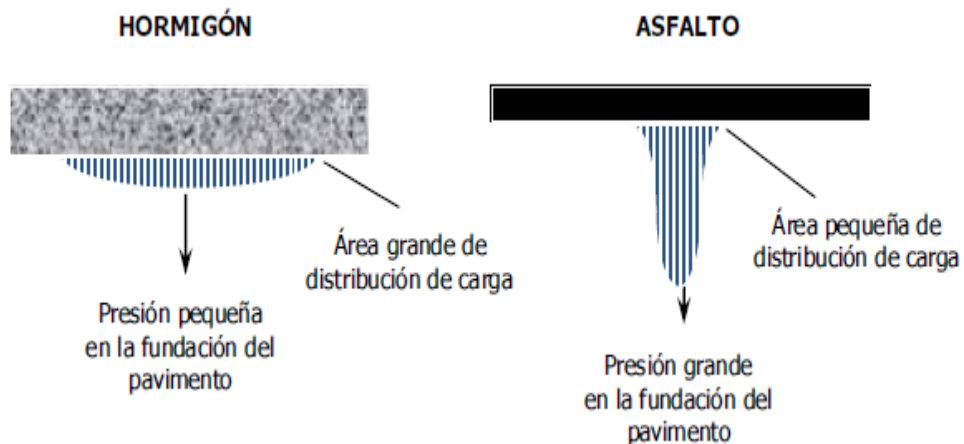
Según el (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2016) “el pavimento se define como la parte superior de la carretera, aeropuerto o área de parqueo, que incluye todas las capas que descansan sobre el suelo original y consiste de todos los elementos estructurales o capas, incluyendo los espaldones” (pág. 3) el cual debe de cumplir con las siguientes funciones para asegurar su vida útil y brindar un buen servicio:

- Poseer una base de apoyo (fundación) de manera que las cargas de tránsito sean transmitidas a la subrasante y que, al mismo tiempo, esta pueda disiparlas de manera que no supere la resistencia mecánica de los materiales que conforman la estructura.
- Brindar un medio drenante cuya función sea evacuar el agua de la superficie de ruedo.
- Proporcionar una superficie de ruedo estable, seguro y confortable para los usuarios que transitan a través de ella.

2.3 Tipos de Pavimentos

Los pavimentos pueden dividirse en rígidos y en flexibles, de los cuales las cargas que transmiten a la fundación son muy diferentes según la norma (AASHTO, 1993) como se muestra en la ilustración 2.

Ilustración 3. Esquema de comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.



Fuente: Guía para el diseño de pavimentos (AASHTO, 1993).

2.3.1 Estructura de Pavimento Flexible

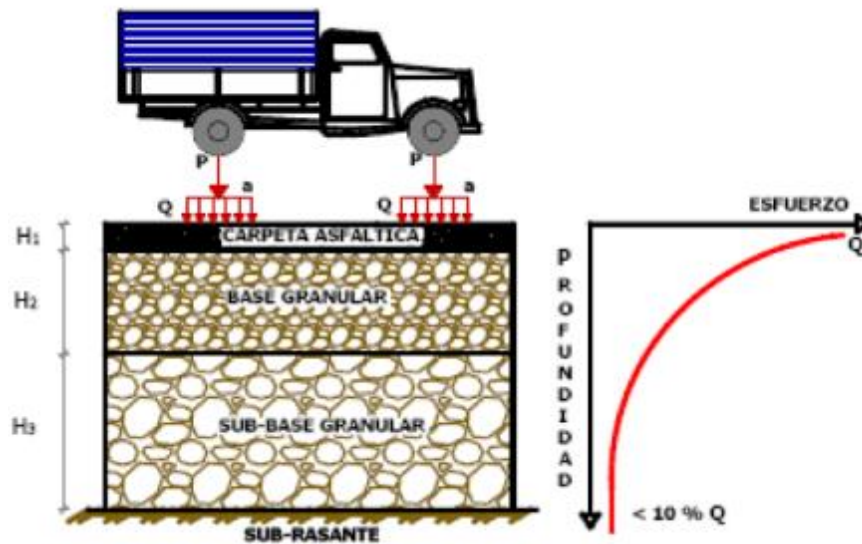
Los pavimentos flexibles se pueden definir de la siguiente manera como se presenta a continuación:

Los pavimentos de concreto asfáltico (AC) (mezcla de asfalto y material granular) están constituido por una carpeta de mezcla asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. Debido a la alta flexibilidad de la carpeta asfáltica (capacidad de gran deformación sin rotura bajo la acción de una carga), el peso del vehículo que transita sobre la superficie es prácticamente una carga concentrada, cuyo efecto se disminuye a través del espesor de las capas subyacentes, hasta llegar distribuido y atenuado a la subrazante, según el MOPT (Ministerio de Obras Publicas y Transportes, 2016, pág. 3)

Este tipo de pavimento presenta las siguientes particularidades las cuales se presentan a continuación:

- Las capas granulares en el pavimento flexible, se colocan para disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.
- Se considera que los esfuerzos se han disipado, cuando el esfuerzo en un punto cualquiera es menor que el 10% de la presión de contacto.

Ilustración 4. Estructura de pavimento flexible, mecanismo de disipación tensiones.



Fuente: Material didáctico: Curso de Diseño de Pavimentos, 2019

2.3.1.1 Elementos que componen el pavimento flexible

Según la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, (2002, pág. 2) mediante el Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, especifica los componentes los cuales componen la estructura del pavimento flexible, los cuales se mencionan a continuación:

Subrazante: capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende a una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al número de repeticiones de carga generada por los ejes equivalentes proporcionado por la cantidad de vehículos que pasa por determinado sector.

Se indica que el espesor del pavimento depende en gran medida de la calidad de la subrazante, ya que con ella se inicia la elaboración del diseño del pavimento.

Subbase: capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad la carga aplicada a la superficie de rueda. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Esta capa de material se debe colocar entre la subrazante ya capa de base, la cual sirve como material de transición.

Base: Esta es la capa de pavimento que tiene como función primordial distribuir y transmitir a la subbase las cargas ocasionadas por el tránsito y a través de esta a la subrazante que es la capa sobre la cual se coloca la de rodadura.

Generalmente está hecha con piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento.

Superficie de rueda: capa asfáltica que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores, así como evitar la desintegración de las subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

2.3.2 Estructura de Pavimento Rígido

Los pavimentos de carácter rígido se pueden especificar de la siguiente manera como se presenta a continuación:

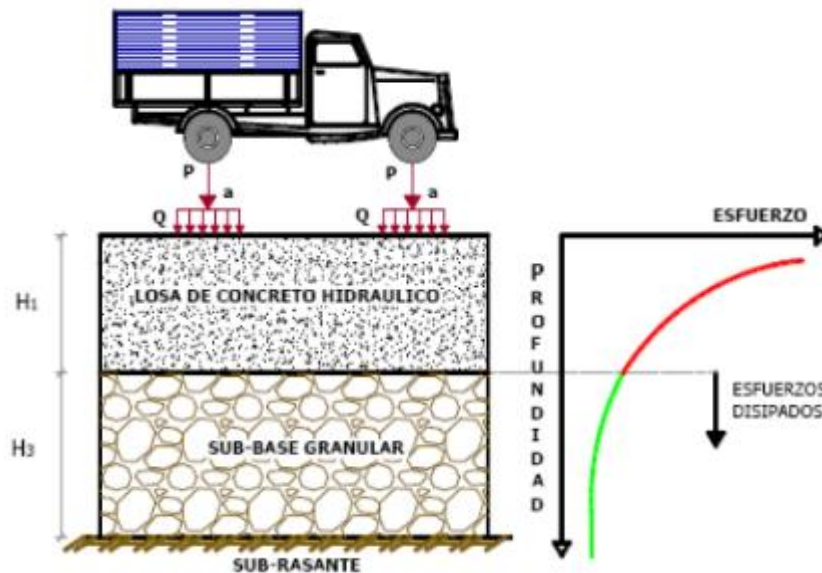
Según el MAV (Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016) los pavimentos de concreto hidráulico (mezcla de cemento, agua, y material granular) están constituidos por una losa

de concreto hidráulico, apoyado sobre la subrazante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrazante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (pág. 3)

Por lo general la transmisión de esfuerzos al terreno de soporte, se produce mediante un mecanismo de distribución de tensiones, lo cual genera el comportamiento de la estructura de pavimento rígido tal y como se describe a continuación:

- La losa, es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento.
- La base granular (base estabilizada), debe dar a la losa un apoyo óptimo a lo largo del tiempo de servicio de la estructura, controlando su deformabilidad.
- La deformación de base granular (base estabilizada) de apoyo, produce salida de agua y de su material fino, produciendo la des compactación del apoyo y su erosión.

Ilustración 5. Estructura de pavimento rígido, mecanismo de distribución esfuerzos.

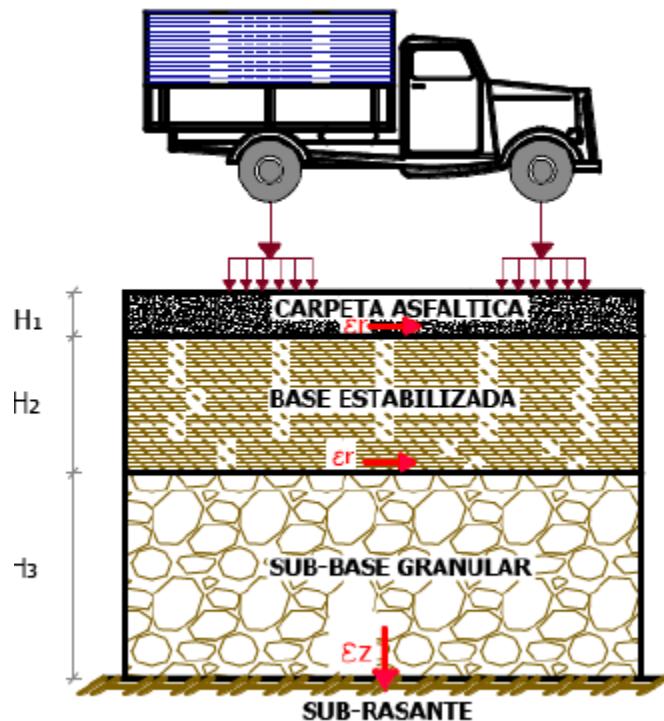


Fuente: Material didáctico: Curso de Diseño de Pavimentos, 2019

2.3.3 Estructura de Pavimento Semi – Rígido

Son los que conservan la estructura esencial de un pavimento flexible, de las cuales presentan una o más capas rigidizadas artificialmente con elementos tales como cal, cemento, asfalto, de los cuales estos aditivos tienen la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales o bases que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción de obra. La transmisión de esfuerzos al suelo de soporte se hace por disipación y distribución; por lo que se asume que este tipo de estructura de pavimento se comporta de una manera mixta.

Ilustración 6. Estructura de pavimento Semi - rígido



Fuente: Material didáctico: Curso de Diseño de Pavimentos, 2019

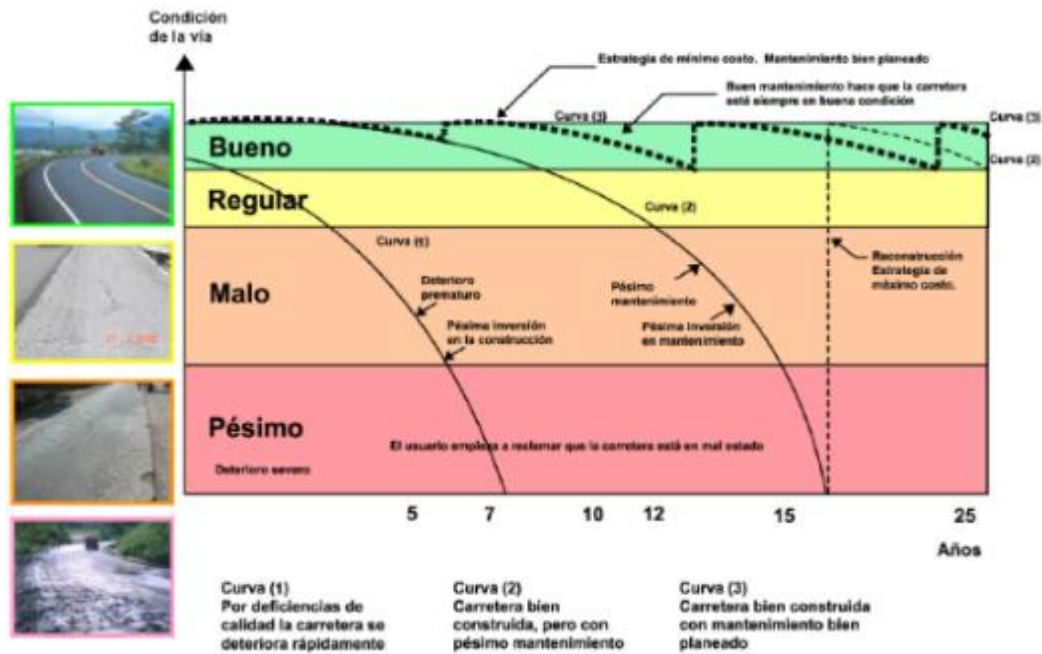
Para la propuesta de diseño de pavimento, se realiza el diseño de un pavimento flexible.

2.4 Criterio de falla de un pavimento

La falla en un pavimento se considera cuando este llega a alcanzar una condición que no es aceptable y que está relacionada con la opinión que tienen los profesionales respecto a la calidad del tipo del pavimento, la cual tienen que cumplir con las condiciones que mencionaron en el inciso 2.2.

En la ilustración 6 puede verificar que el criterio de falla no solo está asociado al exceso de cargas repetidas, si no primordialmente al mantenimiento continuo que se le debe realizar a las carreteras para asegurar su periodo de vida establecido en el diseño.

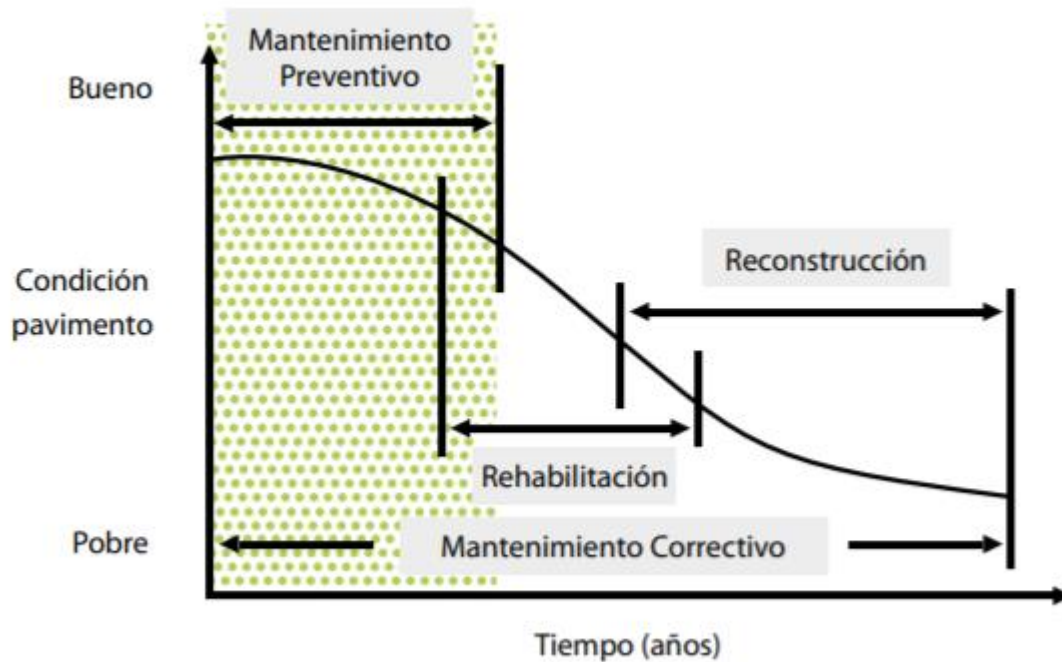
Ilustración 7. Curva de deterioro de un pavimento



Fuente: Material didáctico: Curso de Diseño de Pavimentos, 2019

Las curvas de deterioro permiten tener una mejor idea de las condiciones que se presentan en momentos circunstanciales en los pavimentos, para poder predecir las condiciones en las que estará en el futuro, con este aporte, se puede definir el tipo de intervención que se le deba aplicar a cada tipo de carretera.

Ilustración 8. Curva de relación y condición de pavimento.



Fuente: Revista de infraestructura Vial (Lanamme UCR, 2016, pág. 31)

2.5 Tipos de fallas en los pavimentos flexibles

Los pavimentos rígidos y flexibles, no fallan colapsan repentinamente, sino que lo hacen, en forma gradual y progresiva, la falla en un pavimento es la que demuestra un desempeño insatisfactorio en la función principal del pavimento, a continuación se menciona y se describe los diferentes tipos de fallas y causas en los pavimentos según el (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 17)

2.5.1 Ahuellamiento

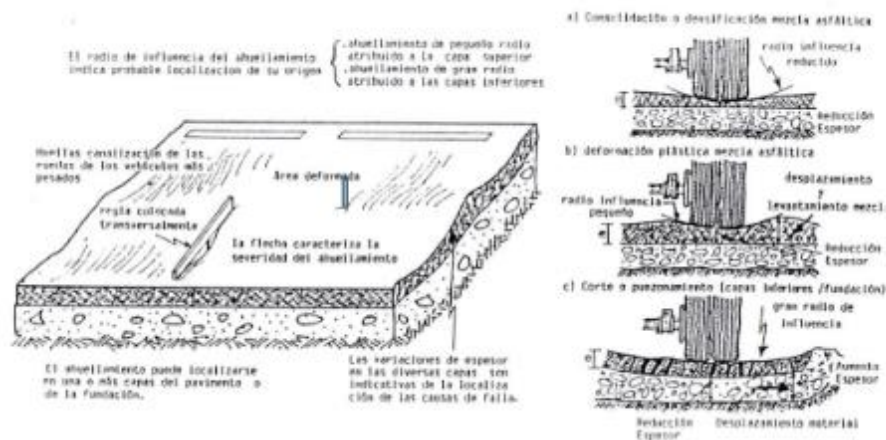
Se entiende por Ahuellamiento cuando la longitud afectada es mayor de 6m. Las repeticiones de las cargas conducen a una acumulación de las deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o su fundación. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores y suelen ser acompañadas de

un deslizamiento y levantamiento lateral de la superficie del pavimento; cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en las capas inferiores o en la fundación.

Causas:

- Insuficiente estabilidad de las capas del pavimento o de la subrasante (falla por corte, compresión o desplazamiento lateral material) ya sea por ingreso de agua o deficiente calidad.
- Espesores de pavimento insuficientes (infra diseño estructural) para las repeticiones de carga soportadas.
- Exagerado incremento en las cargas del tránsito.

Ilustración 9. Deformación por ahilamiento.



Fuente: (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 19)

2.5.2 Hundimiento

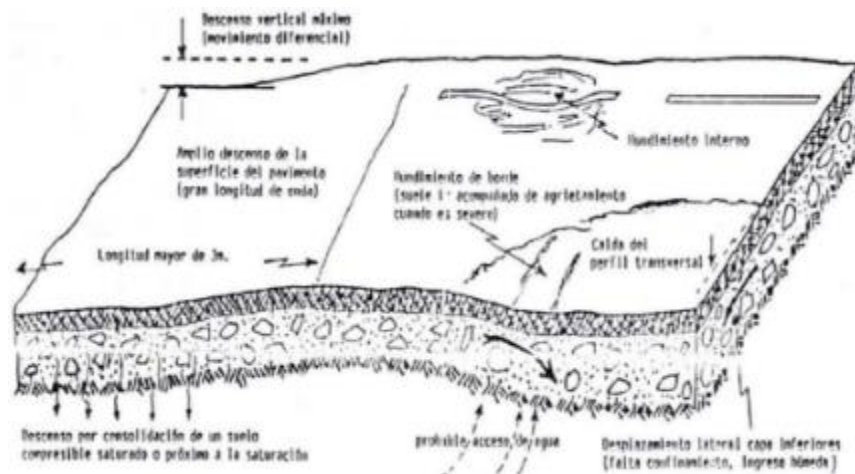
Es el descenso de la superficie original del pavimento en un área localizada del mismo. Pueden ocurrir en los bordes o internamente en la calzada. En muchos casos las depresiones son difíciles de detectar, sino es durante luego de una lluvia, por la acumulación de agua o

vestigios de humedad. En otros da lugar a distorsiones apreciables, de gran longitud de onda o, por el contrario, abrupto y localizado.

Causas:

- Asentamiento o consolidación de estratos comprensibles de la fundación (de gran longitud de onda).
- Deficientes prácticas de construcción (deficiente nivelación o heterogeneidades constructivas de bases y sub-bases).
- Pérdida de estabilidad por incremento de humedad en capas de pavimento o fundación.
- Falta de confinamiento lateral de los paseos (hundimiento de borde).

Ilustración 10. Deformación por hundimiento



Fuente: (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 23)

2.5.3 Corrugación

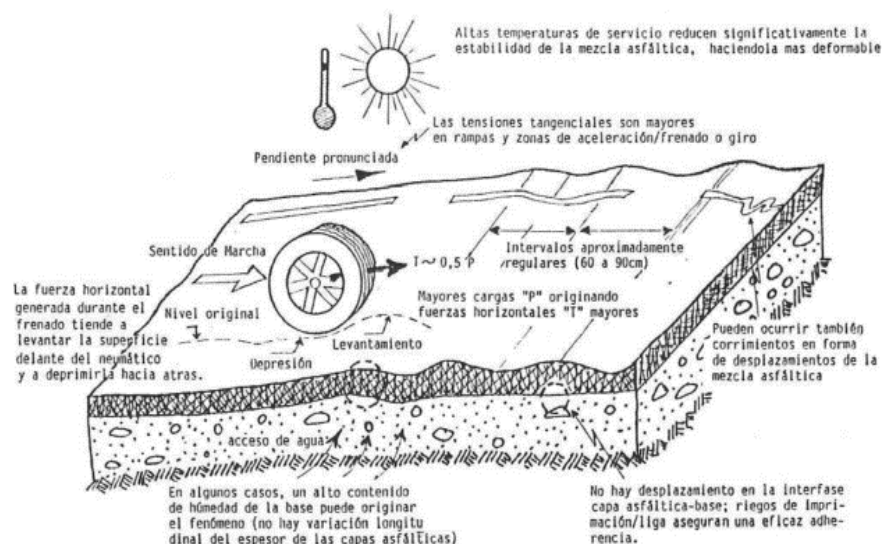
Se describe como el movimiento plástico caracterizado por la ondulación de la superficie del pavimento, formando crestas y valles que se suceden próximas unas de otras

perpendicularmente a la dirección del tráfico. La separación entre crestas es menor de 3m, encontrándose por lo general en un rango de 0.60 a 0.90m.

Causas:

- Capas superficiales (carpeta asfáltica o base del pavimento) muy deformables (baja estabilidad) pero bien adheridas a la capa de apoyo subyacente, principalmente en zonas de aceleración, frenado o rampas fuertes, donde las fuerzas horizontales provocados por los vehículos sobre el pavimento, generan mayores esfuerzos tangenciales.
- Altas temperaturas de servicio (reducen estabilidad de las mezclas).
- Defectos constructivos: Contaminación de las mezclas asfálticas, sobredosificación del ligante, falta de aireación de mezclas con asfaltos líquidos.
- Excesos de humedad en subrasante o capas granulares (asentamientos diferenciales).

Ilustración 11. Deformación por corrugación.



Fuente: (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 26)

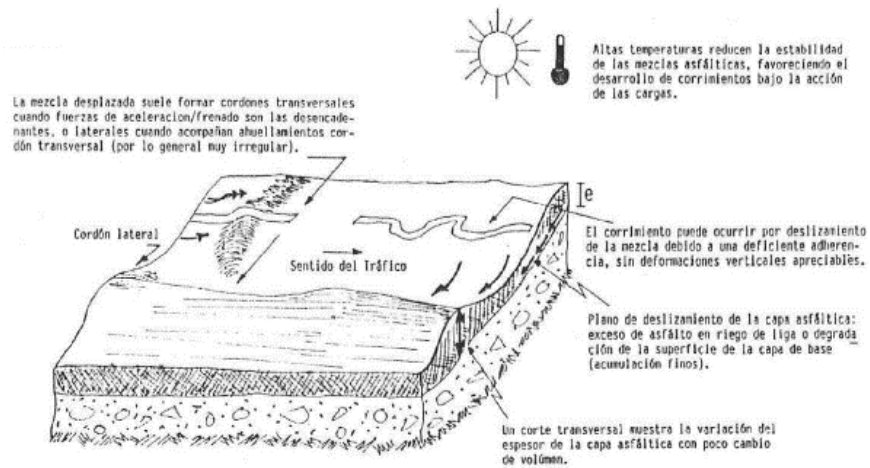
2.5.4 Corrimiento

Es el movimiento plástico caracterizado por el desplazamiento o deslizamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañado por el levantamiento del material, formando “cordones” principalmente laterales. Típicamente pueden identificarse a través de la señalización horizontal observándose una serpenteante demarcación de carriles.

Causas:

- Capa asfáltica muy superficial muy deformable (baja estabilidad) con frecuencia mal adherida a la base subyacente.
- Deficiencias durante la elaboración de la mezcla: exceso de asfalto.
- Altas temperaturas de servicio.
- Deficiente adherencia entre capa superior e inferior, asociada a defectos constructivos tales como exceso de asfalto en riesgo de imprimación, curado liga, o bien la degradación de la porción superior de las bases cementadas.
- Falta de contención lateral o, por el contrario, empujes por la dilatación en losas de hormigón contiguas o subyacentes.
- Desplazamiento lateral de bases granulares (movimiento lateral y ascendente).

Ilustración 12. Deformación por corrimiento.



Fuente: (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 29)

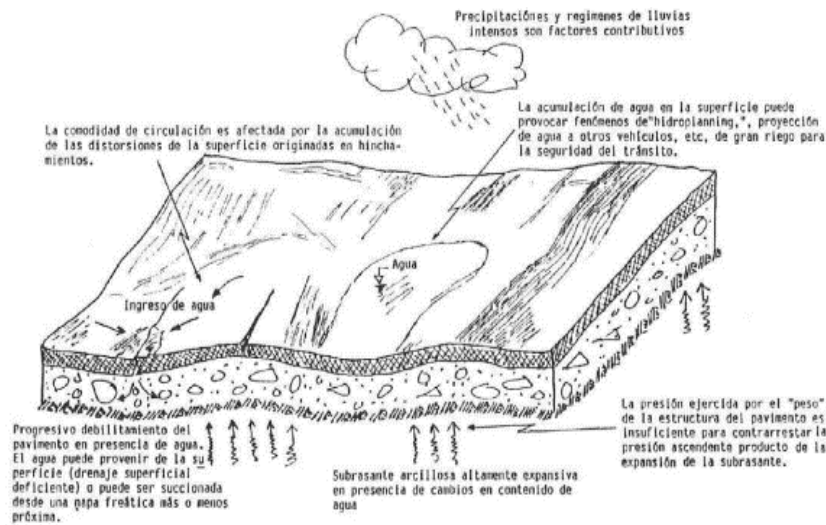
2.5.5 Hinchamiento

Es el abultamiento o acenso vertical de la superficie del pavimento, puede ocurrir en forma de onda abrupta y pronunciada sobre una pequeña área, o por el contrario en forma de una onda gradual, de más de 3 m de longitud, que distorsiona el perfil de la vía. En ambos casos puede ser acompañado de agrietamientos.

Causas:

- Cambios volumétricos en fundaciones arcillosas altamente expansivas.
- Deficiente tratamiento de suelos arcilloso, potencialmente expansivos, durante la construcción y compactación de terraplenes y fundaciones.
- Contaminación de los materiales que conforman las capas del pavimento y/o la fundación con materia orgánica.

Ilustración 13. Deformación por Hinchamiento.



Fuente: (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 32)

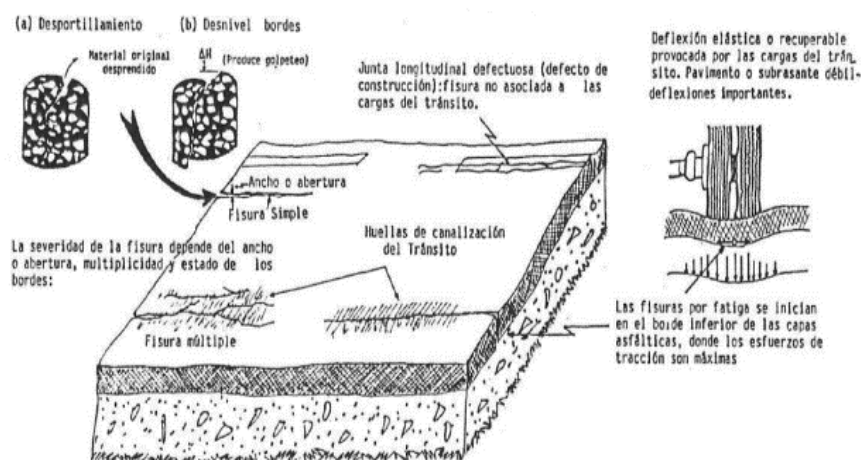
2.5.6 Fisura Longitudinal

Se refiere a la fractura mientras que se extiende a través de la superficie del pavimento paralelamente al eje de la calzada. Pueden localizarse en las huellas de canalización del tránsito, próximos a los bordes en el eje o en correspondencia con los anchos de distribución de las mezclas asfálticas; con frecuencia su ubicación es indicativa de la causa o mecanismo más probable que la original, y por ende debe ser tomada en cuenta durante la evaluación. Causas:

- Fatiga de la mezcla asfáltica sometida a repeticiones de carga que provocan deflexiones recuperables importantes (pavimento débil): ocurren en las huellas de canalización del tránsito.
- Acción del tránsito sobre el área del pavimento próxima al borde, donde se encuentra debilitado por efecto de deficiente confinamiento lateral (falta de paseo), constructivos (falta sobre ancho base) o ingreso de agua lateral (deficiente drenaje): ocurren típicamente entre 0.30 y 0.60 m del borde de la calzada.

- Deficiente proceso constructivo de las juntas longitudinales durante la colocación de la mezcla asfáltica: ocurren típicamente en el eje de la vía y/o en coincidencia con los carriles de distribución.
- Reflexión de fisura localizadas en una capa subyacente (rechapados delgados sobre pavimentos antiguos muy agrietados, eventualmente grietas por retracción de bases estabilizadas) o de juntas originadas en la construcción de ensanches (particularmente cuando es diferente la rigidez entre materiales del antiguo y nuevo pavimento).

Ilustración 14. Deformación por fisura longitudinal.



Fuente: (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 37)

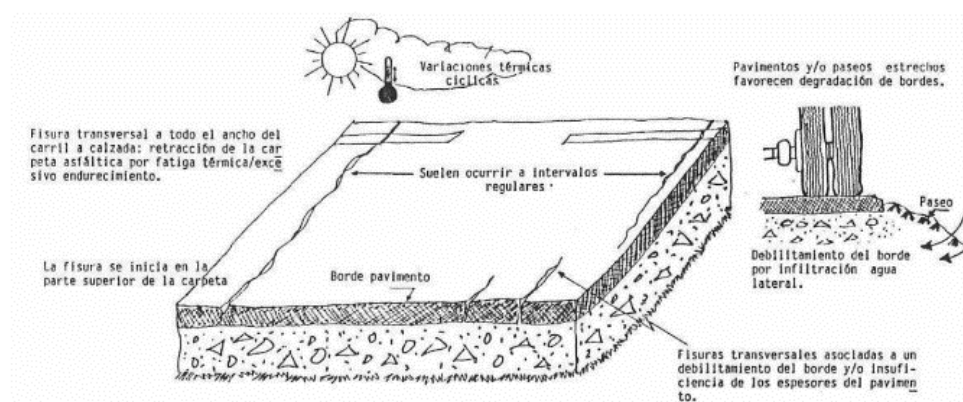
2.5.7 Fisura Transversal

Es la fractura miento rectilíneo que se extiende a través de la superficie del pavimento perpendicularmente al eje de la calzada. Puede afectar todo el carril o ancho de calzada como limitarse a los 0.60m próximos al borde. A veces las fisuras transversales se distribuyen a intervalos más o menos regulares, con espaciamento variables entre 5 y 20m. Al igual que las fisuras longitudinales puede desarrollar ramificaciones y fisuras paralelas “multiplicidad”.

Causas:

- Insuficiente espesor del pavimento frente a las cargas del tránsito (infra diseño estructural).
- Falta de sobre ancho y/o contaminación de las capas inferiores en la proximidad de los bordes del pavimento, o deficiente contención lateral (fisuras de bordes).
- Retracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler, envejecimiento (oxidación) del asfalto, etc., particularmente ante gradientes térmicos frecuentes.
- Reflexión de grietas que acompañan movimientos de la base, particularmente la retracción de bases estabilizadas con ligante hidráulicos (cemento) y grietas en losa de hormigón.
- Apertura de juntas de construcción defectuosamente ejecutadas.
- Contracción por desecación de los terraplenes o asentamiento de esto y/o su fundación.

Ilustración 15. Deformación por fisura transversal



Fuente: (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 42)

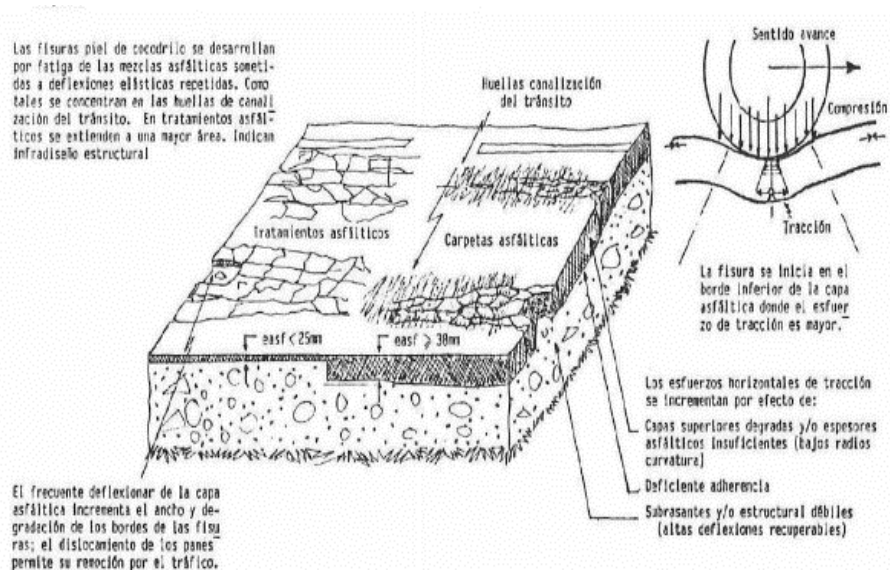
2.5.8 Fisura tipo piel de lagarto

Son una serie de fisuras interconectadas entre sí, formando en la superficie del pavimento pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos y dimensión mayor normalmente inferior de 0.30 m. Fenómeno asociado a las repeticiones de carga (fatiga), estas fisuras ocurren solo en áreas expuesta a las sollicitaciones del tránsito (principalmente huellas de canalización); por ende, raramente cubren toda el área del pavimento. No tienen por qué ocurrir en pavimentos mixtos (refuerzo asfáltico sobre losas de hormigón); en estos casos ciertos patrones de fisuración que pueden asemejarse a la piel de cocodrilo responde más bien a una reflexión de las grietas de la losa subyacente y pueden ser identificadas como fisuras en bloques.

Causas:

- Insuficiencia de los espesores y resistencia del pavimento frente a las repeticiones de carga (infra diseño estructural).
- Pavimentos altamente deformables o resilientes (deflexiones recuperables importantes bajos radios de curvatura).
- Significativamente reducción de la resistencia a fatiga de las mezclas asfálticas como consecuencia de deficiente la calidad de los materiales, deficiencias en el proceso de elaboración y puesta en obra, degradación de mezclas susceptibles a la acción del agua por efecto de un drenaje superficial inadecuado.

Ilustración 16. Deformación por fisura tipo piel de lagarto



Fuente: (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 50)

2.5.9 Exudación del asfalto

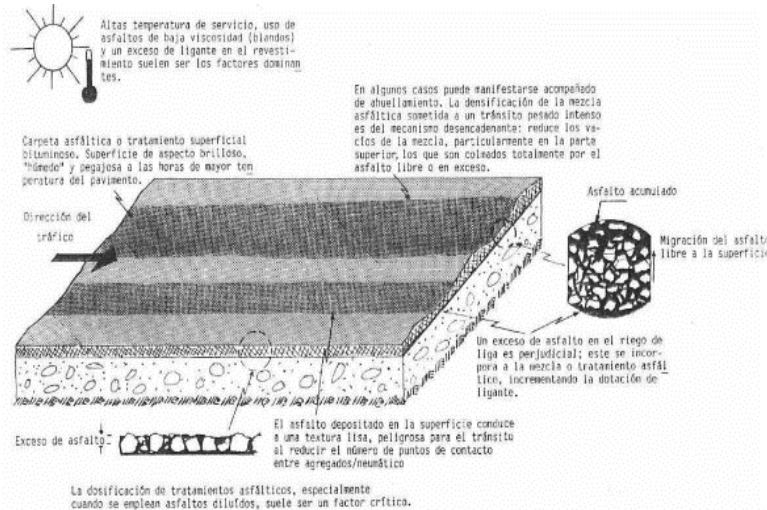
Es el afloramiento de material bituminoso de la mezcla a la superficie del pavimento, formando una película o film continuo de ligante o mastic (ligantes + finos). La superficie adquiere en consecuencia un aspecto brillante, tornándose reflectante, resbaladiza y pegajosa en tiempo caluroso. El proceso de exudación es irreversible: el afloramiento de asfalto en la estación cálida no se absorba durante el clima frío.

Causas:

- Exceso de asfalto en la mezcla o tratamiento.
- Insuficiencia contenida de vacío (el asfalto colma los vacíos de la mezcla).
- Excesiva dotación de asfalto en el riego de la liga.
- Bitumen muy blando para condiciones de servicio desfavorables (tránsito pesado intenso, altas temperaturas en el pavimento).

- Sobre compactación de la mezcla o tratamientos asfáltico o dosificación para condiciones de tránsito menores que las reales.

Ilustración 17. Deformación por exudación del asfalto



Fuente: (Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos, 1990, pág. 90)

2.6 Diseño

2.6.1 Clasificación Vehicular y vehículos de diseño

Para la clasificación vehicular es necesario hacer una respectiva categorización de los diferentes tipos de vehículos que transitan por una carretera, debido a sus tan variables dimensiones, ya que cada vehículo presenta radios de giro específicos, de cada uno de los vehículos para realizar el diseño geométrico se selecciona el radio de giro de mayor dimensión para asegurar y diseñar con modelos que brinden mayor seguridad y facilite la circulación vial de los vehículos.

La ganancia de realizar un diseño geométrico con radios de giros mayores, es que se crea un factor de seguridad el cual brinda más seguridad a la hora de realizar el diseño, ya que se tiene la confianza que los vehículos de mayor tamaño podrán maniobrar sin ningún

inconveniente. Así mismo como se ha mencionado en el presente documento, una de las implicaciones que se tiene para realizar el diseño geométrico de la carretera Breñón es la topografía del terreno, ya que la vía en cuestión presenta curvas cerradas y con pendientes considerables, además de ello, esta ruta es utilizada usualmente por vehículos que transportan productos que se comercializan en la zona y también por los vehículos de la unidad técnica de gestión vial de la municipalidad de Acosta, lo cual son vehículos de 2 a 3 ejes en algunos casos.

Según el (Ministerio de Obras Publicas y Transportes, 2016) los vehículos se clasifican de la siguiente manera:

- Livianos: automóviles compactos, vehículos deportivos.
- Carga liviana: vehículos acondicionados para cargas pequeñas, conocidos como vehículos tipo pick-ups.
- Autobuses: todos los buses que poseen doble llanta en la parte trasera de su estructura automotriz.
- 2 ejes: son todos los camiones de dos ejes, doble llanta en parte trasera (tándem)
- 3 ejes: son todos los camiones de tres ejes, dos ejes de doble llanta en la parte trasera. (trídem):
- 5 ejes: furgones, dos parejas de dos ejes con doble llanta.

En la tabla # 2 se muestra la clasificación vehicular según el tipo de vehículo de diseño y sus respectivas dimensiones, en la tabla # 2 se muestra las trayectorias mínimas de radio de giro según el tipo de vehículo con el cual se esté diseñando el diseño geométrico.

Tabla 2. Clasificación de vehículos

Vehículo de Diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo Delantero	Voladizo Trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	
Bus	BUS-14	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	3.10	6.70	5.90	
Cabezal con Semirremolque	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabezal con Semirremolque	WB-19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	10.80
Cabezal con Semirremolque	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80	6.6	13.20-13.80

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, (2011)

Tabla 3. Trayectorias Mínimas de giro de los vehículos

Vehículo de Diseño	Símbolo	Radio de Giro Mínimo de Diseño (m)	Radio en la Línea Central RMG (m)	Radio Interior Mínimo (m)
Vehículo Liviano	P	7.30	6.40	4.40
Camión	SU	12.80	11.60	8.60
Bus	BUS-14	13.70	12.40	7.80
Bus Articulado	A-BUS	12.10	10.80	6.50
Cabezal con Semirremolque	WB-15	13.70	12.50	5.20
Cabezal con Semirremolque	WB-19	13.70	12.50	2.40
Cabezal con Semirremolque	WB-20	13.70	12.50	1.30

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, (2011)

2.6.2 Factor camión

El factor camión permite estimar el daño que produce un vehículo cualquiera (peso, tipo, eje) en la estructura del pavimento. Los factores camión se utilizan en la metodología AASHTO 1993 para poder diseñar el tipo de pavimento. En Costa Rica, el Ministerio de Obras Públicas

y Transportes, mediante la normativa DVOP-5170-07 (MOPT, 2007), determina los factores camión para distintos tipos de vehículos:

Tabla 4. Factores camión para Costa Rica.

Vehículo	Factor camión		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Pick-up	0.01	0.02	0.01
C2-eje simple trasero	0.01	0.07	0.26
C2-eje tándem trasero	0.26	0.63	0.47
C3	0.99	1.28	1.1
Bus	1.25	2.29	1.71
T3-S2	1.51	2.38	1.71
Livianos		0.005	

Fuente: DVOP-5107-07. Decreto presentado por el Despacho del Viceministro Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 10 de setiembre de 2007.

2.6.3 Tránsito promedio diario (TPD)

El tránsito promedio diario (TPD) se describe como la cantidad promedio o volumen total de vehículos que circulan por una carretera.

Para efectos de este trabajo realizar un conteo vehicular y poder obtener un TPD no es viable, ya que la carretera en cuestión es de bajo tránsito la cual hace o dificulta el conteo vehicular que normalmente se realiza en este tipo de proyectos.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2008) en el Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de tránsito, define una carretera de bajo de tránsito como; “aquellas que tienen demandas proyectadas de hasta 350 vehículos por día que corresponden al sistema nacional de carreteras” (pág. 4)

En el Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de tránsito, (2008) menciona los anchos de calzadas para carreteras de bajo tránsito la cual se muestra a continuación en la tabla #5.

Tabla 5. Anchos mínimos para carreteras de bajo tránsito.

IMDA Vehículo / día	Ancho mínimo de calzada (m)	Tipo de superficie de rodadura
0 - 350	5.50 Para carreteras de 2 carriles 4.00 Para carreteras de 1 carril (*)	Desde tratamiento superficiales asfálticos hasta carpeta asfáltica

Fuente: (Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de tránsito, 2008, pág. 6)

2.6.4 Período de diseño.

El periodo de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección de tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionalmente.

En la tabla #6 se presentan los parámetros por tomar en cuenta para definir el período de diseño para un pavimento nuevo los cuales se establecen en el manual Diseño de Pavimentos, (1993).

Tabla 6. Periodo de diseño (años)

Tipo de Carretera	Período de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 años
Troncales suburbanas	15 – 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2002, pág. 3)

2.6.5 Factor de distribución por carril.

Es el que generalmente recibe el mayor número de ejes equivalentes. En la tabla #7 se hace referencia a número de carriles en cada dirección para así poder determinar el factor de distribución por carril el cual se le conoce como L.

Tabla 7. Factores de distribución por carril.

Número de carriles en cada dirección	L
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Guía para el diseño de pavimentos AASHTO 1993.

2.6.6 Nivel de confianza.

El nivel de confianza es la probabilidad de que el funcionamiento del diseño de la estructura de pavimento se desarrolle de manera satisfactoria, debido a las cargas de tránsito y las condiciones climatológicas. En la Tabla #8 se muestran los valores recomendados de niveles de confianza.

Según la Unidad de Gestión Municipal LanammeUCR, (2016) el porcentaje adecuado para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo tránsito es de 50% o 75%, ya que los diseños toman en cuenta una variedad de factores que intervienen según el tipo de zona en la que se tenga pensado realizar el diseño del pavimento y la recolección de datos.

Tabla 8. Niveles de confianza.

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

Fuente: Guía para el diseño de pavimentos AASHTO 1993

2.6.7 Diseño geométrico

Para realizar un diseño geométrico de una carretera se debe de tener en cuenta una serie de criterios y consideraciones con el fin de realizar un adecuado diseño el cual tiene como prioridad, proveer de funcionalidad y dar prioridad a la seguridad y movilización del usuario que transite en una determinada vía.

Las especificaciones descritas en el Manual de diseño geométrico (SIECA, 2011) proponen una serie de propuestas que son necesarias y que son de gran utilidad para poder efectuar un diseño adecuado según el tipo de carretera en la que se esté desarrollando un determinado proyecto. De las consideraciones, propuestas y factores importantes que deben ser tomados en cuenta para realización de un diseño geométrico de una vía son, la velocidad de diseño, topografía, distancia de visibilidad entre vehículos, tipos de vehículos que transitan sobre la carretera, el control y manejo de las aguas pluviales, todos estos factores tienen como objetivo de asegurar y promover el desarrollo funcional, seguro y cómodo para los usuarios que transiten a través de ella.

2.6.7.1 Diseño geométrico horizontal

Según el Manual de carreteras y diseño geométrico (DG-2014) establece que el alineamiento horizontal está constituido por trazos rectos y curvas circulares que permiten una transición suave al pasar los alineamientos rectos a curvas circulares, así mismo dicho manual establece que el alineamiento horizontal debe permitir la transición o circulación interrumpida de vehículos, para que se promueva la velocidad de diseño en la mayor cantidad de longitud posible de la carretera.

Como lo establece el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2014) “el relieve del terreno es el elemento de control del radio de las curvas horizontales y el de la velocidad de diseño y a su vez, controla la distancia de visibilidad” (pág. 135).

Podemos describir que el alineamiento horizontal se define como el trazado de un eje en el cual se define un punto en cada sección transversal de la carretera, el cual está constituido por tramos rectos los cuales son llamados tangentes y de los cuales son enlazados entre sí por curvas circulares simples de las cuales se mencionan y se describen a continuación, además se describen y se menciona la importancia del radio mínimo el diseño del alineamiento horizontal.

Curvas circulares simples: se describen como arcos de un solo radio la cuales están enlazadas entre dos tangentes las cuales conforman y proporcionan una proyección horizontal de las curvas reales de la carretera.

Seguidamente se describen a continuación los elementos geométricos que caracterizan o conforman una curva circular simple:

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 y PT.

R = Radio de la curva circular simple.

T = Tangente o subtangente: distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.

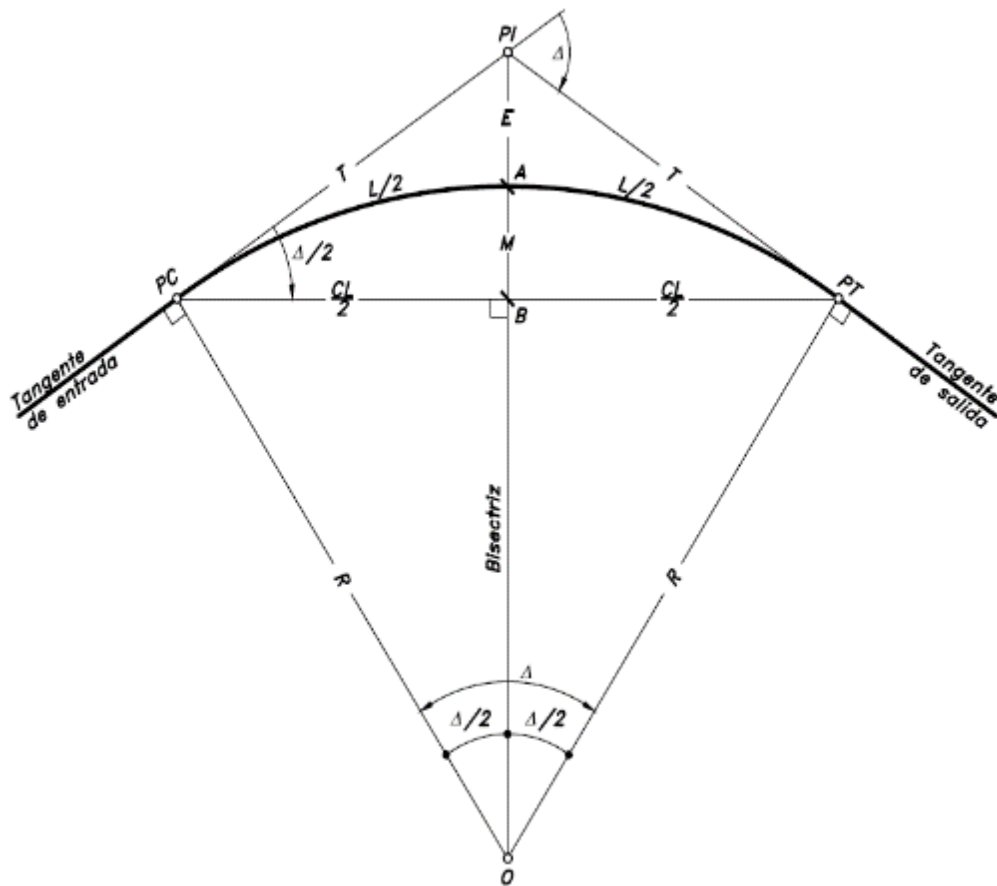
L = Longitud de curva circular: distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.

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.

Ilustración 18. Elementos geométricos que componen una curva circular simple.



Fuente: (Cardenas Grisales, 2013)

Curvas circulares compuestas: las curvas circulares compuestas son las que están compuestas por más de dos curvas circulares simples, además de ello se pueden utilizar en terrenos montañosos para ajustar la carretera a la forma posible del terreno existente, además de ello se puede utilizar en accesos a puentes, pasos a desnivel e intersecciones, seguidamente se describen a continuación los elementos geométricos que componen una curva circular compuesta:

PI = Punto de intersección de las tangentes.

PC = Principio de la curva compuesta.

PT = Fin de la curva compuesta o principio de tangente.

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.

$\Delta 1$ = Ángulo de deflexión principal de la curva de mayor radio.

$\Delta 2$ = Ángulo de deflexión principal de la curva de menor radio.

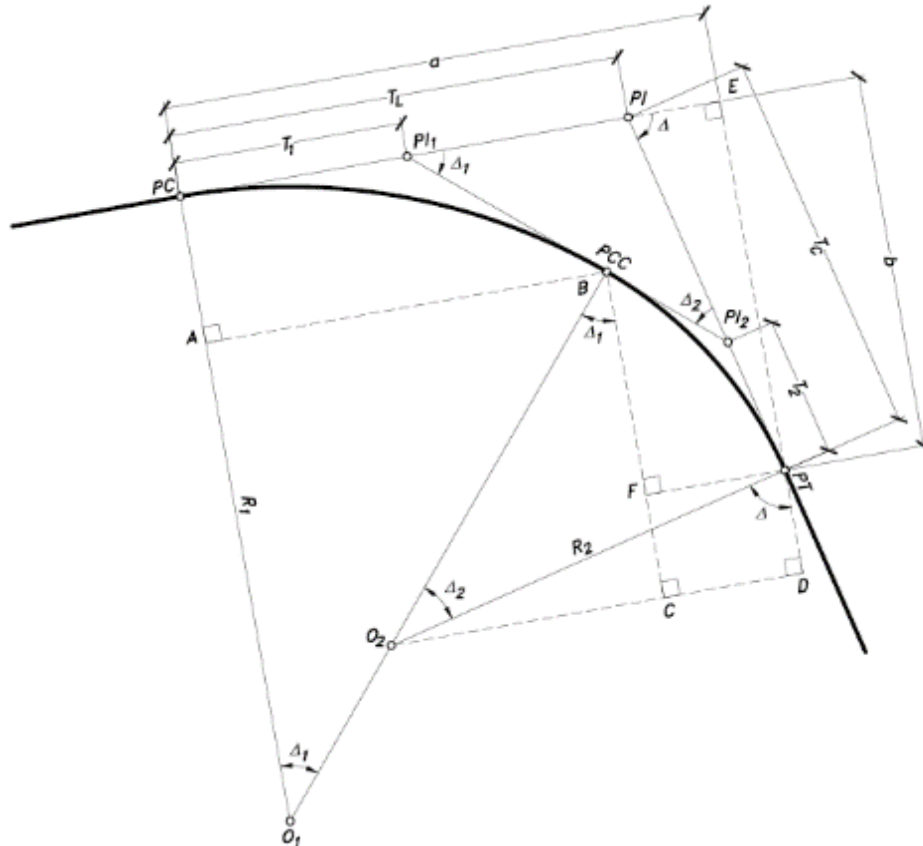
T1 = Tangente de la curva de mayor radio.

T2 = Tangente de la curva de menor radio.

TL = Tangente larga de la curva circular compuesta.

TC = Tangente corta de la curva circular compuesta.

Ilustración 19. Elementos geométricos que componen una curva circular compuesta.



Fuente: (Cardenas Grisales, 2013)

Radio Mínimo: el radio mínimo es un determinado valor que restringe o limita el diseño de una curva, en la cual se establece un valor de velocidad determinado el cual está relacionado con el peralte máximo y la fricción lateral.

Como lo establece el Manual de Diseño Geométrico de carreteras, (2008) el radio mínimo se utilizar en situaciones o condiciones extremas, donde sea imposible poder utilizar radios mayores. De acuerdo con el criterio de seguridad ante el deslizamiento el radio mínimo se

calcula mediante la aplicación de la ecuación de equilibrio la cual se muestra y se describe a continuación:

Ecuación 1

$$R_{\min} = \frac{(V)^2}{127 \times (e_{\max} + f_{T\max})}$$

En donde:

R_{\min} = Radio mínimo de curva en m.

e_{\max} = Sobreelevación en fracción decimal.

$f_{T\max}$ = Factor de fricción lateral

V = velocidad de diseño en KPH.

En las siguientes tablas se muestran los radios mínimos y fricción lo cuales son utilizados para diseñar, y están en función de la velocidad de diseño.

Tabla 9. Radios mínimos de diseño para peraltes máximos de 4% y 6%.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 4%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 6%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	8.1	8	143°14'	7.7	8	143°14'
30	0.28	22.1	22	52°05'	20.8	21	54°34'
40	0.23	46.7	47	24°23'	43.4	43	26°39'
50	0.19	85.6	86	13°19'	78.7	79	14°30'
60	0.17	135.0	135	08°29'	123.2	123	09°19'
70	0.15	203.1	203	05°39'	183.7	184	06°14'
80	0.14	280.0	280	04°06'	252.0	252	04°33'
90	0.13	375.2	375	03°03'	335.7	336	03°25'
100	0.12	492.1	492	02°20'	437.4	437	02°37'
110	0.11				560.4	560	02°03'
120	0.09				755.9	756	01°31'

Fuente: (SIECA, 2011)

Tabla 10. radios mínimos de diseño para peralte máximo de 8% y 10 %.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 10%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7.0	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'	18.6	19	60°19'
40	0.23	40.6	41	27°57'	38.2	38	30°09'
50	0.19	72.9	73	15°42'	67.9	68	16°51'
60	0.17	113.4	113	10°08'	105.0	105	10°55'
70	0.15	167.8	168	06°49'	154.3	154	07°26'
80	0.14	229.1	229	05°00'	210.0	210	05°27'
90	0.13	303.7	304	03°46'	277.3	277	04°08'
100	0.12	393.7	394	02°55'	357.9	358	03°12'
110	0.11	501.5	501	02°17'	453.7	454	02°31'
120	0.09	667.0	667	01°43'	596.8	597	01°55'

Fuente: (SIECA, 2011)

2.6.7.2 Diseño geométrico Vertical

Como lo establece el Manual de Carreteras y diseño Geométrico (DG-2014), “El alineamiento vertical son tangentes; cuyo desarrollo sentido de las pendientes se define según el avance del kilometraje, en positivas, aquellas que implican un aumento de cotas y negativas las que producen una disminución de cotas”. (pág. 189)

La topografía o relieve del terreno es un factor que condiciona las curvas verticales de las cuales pueden ser cóncavas o convexas, así mismo se encargan de controlar aspectos tales como la distancia de visibilidad en las vías.

Al eje que proyecta la vía se le conoce como eje real o especial el cual se encarga de mostrar la longitud real del eje de la vía donde este es trazado, también se le conoce como eje rasante

o sub-rasante. De los cuidados más importantes a la hora de realizar el diseño geométrico es que los valores de alineamiento vertical como el del alineamiento horizontal coincidan y además ellos sean congruentes el uno con el otro, por lo que se requiere que ambos tengan la misma velocidad de diseño.

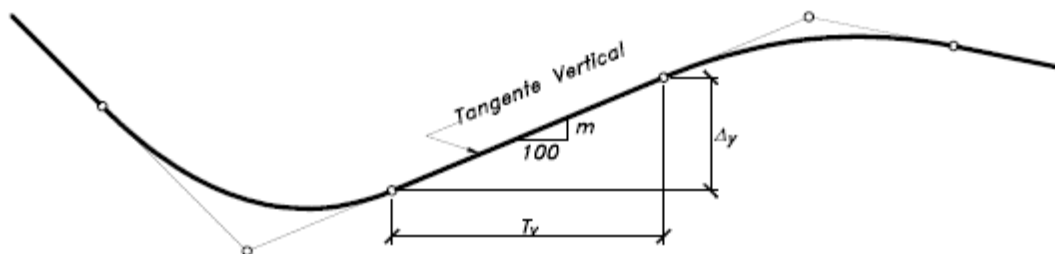
Según el autor SIECA (2011) el alineamiento vertical está conformado por una serie de factores que inciden de manera sustancial en diseño y alineamiento vertical de una carretera de los cuales se mencionan a continuación:

- Clasificación funcional y composición del tránsito.
- Topografía del área que atraviesa
- Diseño de alineamiento horizontal y su velocidad de diseño correspondiente
- Distancias de visibilidad.
- Drenaje valores estéticos y ambientales.
- Costos de la construcción.

Para realizar un diseño geométrico vertical se deben de tener cuenta la existencia de las pendientes y las distintas curvas de las cuales se mencionan y se describen a continuación:

Curvas (Tangentes) verticales: son las que se caracterizan por su longitud y grado de pendiente las cuales se encuentran limitadas por dos curvas, la cual T_v es la distancia vertical entre el final de curva y el inicio de la siguiente curva tal y como se muestra en la figura a continuación.

Ilustración 20. Tangente vertical



Fuente: (Cardenas Grisales, 2013)

Curvas verticales simétricas: según el autor Cárdenas Grisales, (2013) las curvas verticales se definen de la siguiente manera:

Las curvas verticales son las que permiten 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. (pág. 313).

Elementos que componen una curva vertical simétrica:

A = PIV = Punto de intersección vertical. Es el punto donde se interceptan las dos tangentes verticales.

B = PCV = Principio de curva vertical es el inicio de la curva.

C = PTV = Principio de tangente vertical, el punto donde termina la curva.

BC = L_v = Longitud de la curva vertical, medida en proyección horizontal.

VA = E_v = 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.

$\alpha =$ Ángulo de pendiente de la tangente de entrada.

$\beta =$ Ángulo de pendiente de la tangente de salida.

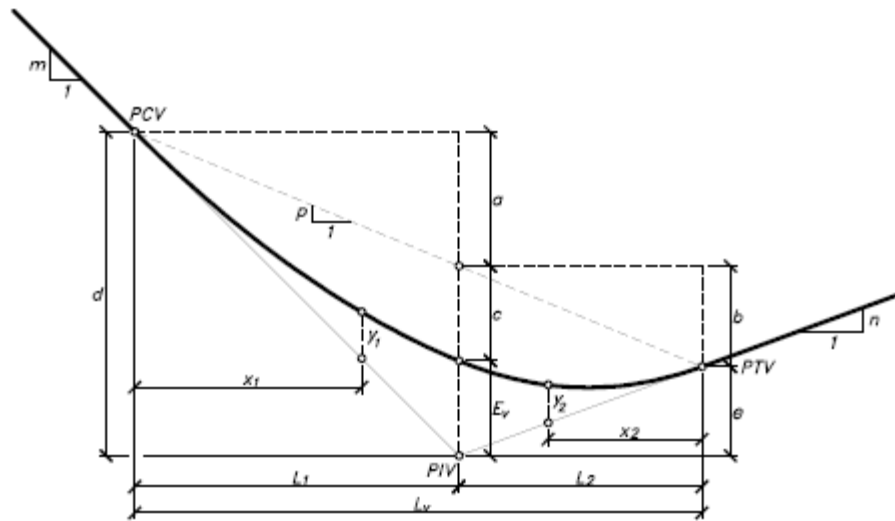
$\varphi =$ Ángulo entre las dos tangentes. Ángulo de deflexión vertical.

$m = \tan \alpha =$ Pendiente de la tangente de entrada.

$n = \tan \beta =$ Pendiente de la tangente de salida.

$i = \tan \varphi =$ Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y de salida.

Ilustración 22. Curva vertical asimétrica.



Fuente: (Cardenas Grisales, 2013)

En el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, (2011) se menciona la existencia de las curvas verticales en crestas, convexas, columpio y cóncavas, las cuales las primeras se diseñan de acuerdo con las amplias distancias de visibilidad de la velocidad de diseño y las otras se diseñan conformen a la distancia que alcanza a iluminar los faros del tipo de vehículo con el que se diseña.

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

En donde:

L= Longitud de la curva vertical en metros.

S= Distancia de visibilidad en metros.

A= Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje.

h1= Altura del ojo sobre la superficie del camino en metros.

h2= Altura del ojo sobre la superficie en metros.

En la siguiente tabla se muestra el control de diseño para la curva vertical en cresta para distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento:

Tabla 11. Control de diseño para curva vertical en cresta y distancia de visibilidad de adelantamiento.

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de visibilidad de adelantamiento	Tasa de curvatura vertical (K)
30	120	17
40	140	23
50	160	30
60	180	38
70	210	51
80	245	69
90	280	91
100	320	119
110	355	146
120	395	181
130	440	224

Fuente (AASHTO, 2011)

Tabla 12. Control de diseño para curva vertical en cresta y distancia de visibilidad de parada.

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de visibilidad de parada	Tasa de curvatura vertical (K)	
		Calculado	para diseño
20	20	0,6	1
30	35	1,9	2
40	50	3,8	4
50	65	6,4	7
60	85	11	11
70	105	16,8	17
80	130	25,7	26
90	160	38,9	39
100	185	52	52
110	220	73,6	74
120	250	95	95
130	285	123,4	124

Fuente: (AASHTO, 2011)

Curvas verticales en columpio: las curvas tipo columpio requieren de una serie de fundamentos para poder realizar los cálculos de las longitudes necesarias los cuales se mencionan a continuación:

- El primero se basa en la distancia de iluminación de los faros delanteros del vehículo.
- La comodidad de conducción, cambio de pendiente.
- Requerimientos adecuados del drenaje en la carretera.
- Se basa en las consideraciones estéticas de la carretera.

A partir de los fundamentos mencionados anteriormente se deben considerar aspectos cuando la longitud de la curva (L) es menor a la distancia de visibilidad iluminada (S), la cual se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 4

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3,5 S}$$

En donde:

L= Longitud de curva vertical columpio en metros.

S= Distancia de visibilidad iluminada en metros.

A= Diferencia algebraica entre porcentaje y pendientes de la curva.

Cuando S es mayor que L, la fórmula utilizada es la siguiente:

Ecuación 5

$$L = 2 S - \left(\frac{120 + 3,5 S}{A} \right)$$

De los fundamentos mencionados anteriormente el Manual Centroamericano de Nomas para el Diseño Geométrico de Carreteras, (2011) ha establecido una tabla en la cual se establecen una serie de parámetros con el fin de tener control para el diseño de curvas verticales en columpio, además de ello dicho manual menciona ciertos consejos a la hora de realizar el alineamiento vertical, de donde cabe entresacar la importancia o relevancia para la práctica vial centroamericana.

- Las curvas verticales en columpio deben evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.
- En pendientes largas, puede ser preferible colocar las pendientes mayores al pie de la pendiente y aliviarlas hacia el final o, alternativamente, intercalar pendientes suaves por cortas distancias para facilitar el ascenso.
- En tangente, deberían generalmente evitarse, particularmente en curvas en columpio donde la visión de la carretera puede ser desagradable al usuario.
- Los alineamientos ondulados, que involucran longitudes sustanciales de pendientes que generan momentum, pueden ser indeseables en el caso de vehículos pesados que pueden incrementar excesivamente su velocidad, sobre todo cuando una pendiente positiva adelante no contribuye a la moderación de dicha velocidad.

- Hay que evitar el “efecto de montaña rusa”, que ocurre en alineamientos relativamente rectos, donde el perfil longitudinal de la rasante se ajusta a las suaves irregularidades de un terreno ligeramente ondulado.

Tabla 13. Factores para el control de diseño de una vertical en columpio.

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de curvatura vertical K	
		Calculada	Para diseño
20	20	2,1	3
30	35	5,1	6
40	50	8,5	9
50	65	12,5	13
60	85	17,3	8
70	105	22,6	23
80	130	29,4	30
90	160	37,6	38
100	185	44,6	45
110	220	54,4	55
120	250	62,8	63

Fuente: (SIECA, 2011)

Pendientes para el diseño geométrico vertical: las pendientes en carreteras se deben ser tan a nivel como sea más práctico, teniendo en cuenta que las pendientes tengan un mínimo de valor del 0.30% y 0.50%, con el propósito de facilitar el manejo de aguas pluviales, es recomendable es que se utilicen pendientes mayores 0.50% o más.

A continuación, se describen las pendientes máximas de calles colectoras urbanas y carreteras rurales, en función de la topografía del terreno y la velocidad con la que se vaya a diseñar la carretera:

Tabla 14. Pendiente máxima para carreteras tipo colectoras urbanas.

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	7	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	10	10	9	8	8	7	7	6
Montañoso	12	11	10	10	10	9	9	8

Fuente: (SIECA, 2011)

Tabla 15. Pendientes máximas para carretas tipo rurales.

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	9	8	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	12	11	11	10	10	9	8	7	6
Montañoso	17	16	15	14	13	12	10	10	---

Fuente: (SIECA, 2011)

2.6.7.3 Diseño geométrico transversal

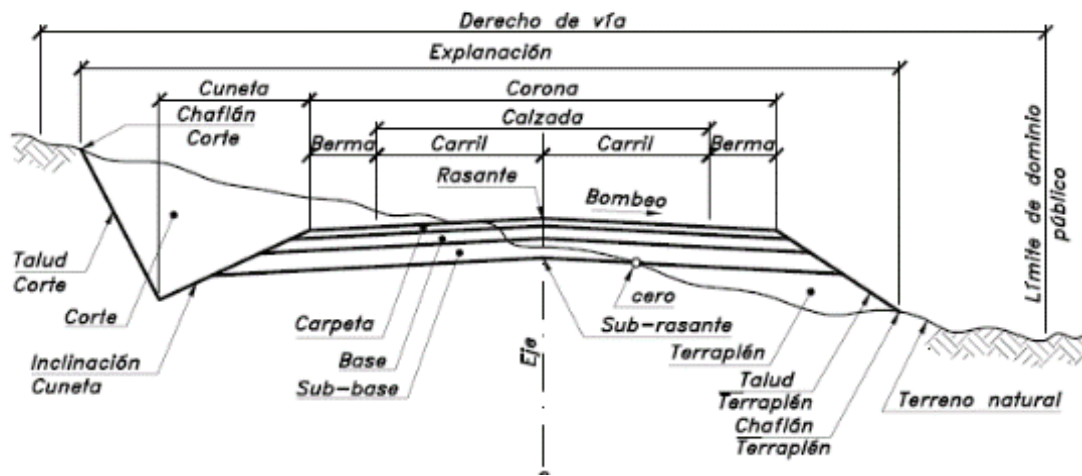
Según el Manual de Carreteras y diseño Geométrico, (2014) el diseño geométrico de la sección transversal consiste una descripción de los elementos que componen la carretera en un plano vertical y horizontal, el cual facilita las dimensiones de los elementos.

Así mismo se menciona que producto de la combinación de los distintos elementos que conforman la carretera la sección transversal varia de un punto a otro, esto a razón de que los elementos dependen de las funciones que cumplen y de las características del trazado y del tipo del terreno en el este situado la carretera.

De todos los elementos que componen la sección transversal, el más importante es superficie de ruedo o calzada, cuyas dimensiones permiten el nivel de servicio previsto para las necesidades del proyecto, de la misma forma no se debe desestimar la importancia de elementos tales como aceras, cunetas, taludes y elementos complementarios que conforman la sección transversal de una vía.

En la siguiente ilustración se detalla a continuación los elementos que conforman el diseño geométrico transversal:

Ilustración 24. Sección típica transversal de una carretera.



Fuente: (Diseño Geométrico de Carreteras, 2013, pág. 406)

Según los autores (Cal, Reyes Spindola, & Cardenas Grisales, 2007) en el Manual de Ingeniería de Transito, Fundamentos y aplicaciones, (2007) describen los elementos que componen una sección típica transversal de una carretera, los cuales se describen a continuación:

Calzada o Superficie de ruedo: es la faja que se ha condicionado especialmente para el libre tránsito vehicular, la cual normalmente está cubierta por un pavimento rígido o flexible.

Carril: es la parte de la calzada o de la superficie de rodamiento, la cual presenta un ancho suficiente para la circulación de una sola de fila de vehículos en un solo sentido.

El número de carriles de cada calzada se fijará de acuerdo con las previsiones y composición del tráfico así también con el nivel de servicio deseado.

Según el autor Cárdenas Grisales, (2013) “Los anchos de carril normalmente utilizados en recta son de 3.00 m, 3.30 m, 3.50 m y 3.65 m, respectivamente” (pág. 446)

Acotamientos (espaldones): son fajas laterales que sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodamiento y que eventualmente se pueden utilizar como un estacionamiento provisional para poder abrir espacio para los vehículos de emergencia en una determinada situación que se amerite.

Corona: es la superficie finalizada de una carretera, la cual se encuentra comprendida entre sus hombros, por lo que se incluye la calzada más los acotamientos.

Hombro: se define como el punto de intersección de las líneas definidas por talud terraplén y corona.

Cunetas: son los elementos paralelos a la corona los cuales están destinados a facilitar el drenaje superficial longitudinal de la carretera.

Taludes: los taludes son las superficies laterales inclinadas, que en cortes queda comprendida entre la línea de ceros y el fondo de la cuneta, en terraplenes queda comprendida entre la línea de ceros y el hombro correspondiente.

Cero o punto extremo de talud: punto de intersección del talud de corte y el hombro correspondiente.

Pendiente Transversal: la pendiente transversal está representada por el bombeo en recta o por la sobreelevación en curva, es la pendiente que se le da a la corona, normal a su eje.

Subcorona: es la superficie que limita las terracerías de las cuales se apoyan las capas del pavimento.

Terracería: es la cantidad de material o volumen de material que se debe cortar para lograr formar la carretera hasta la subcorona.

Pavimento: se define como las capas de un material debidamente especificado, en cual se encuentra comprendido entre la subcorona y la corona, el cual tiene la principal función u objetivo de soportar las cargas las cuales son inducidas por el tránsito y de repartirlas de manera que los esfuerzos generados sean transmitidos a las capas que se encuentran abajo de este, previniendo deformaciones perjudiciales y proporcionando una superficie de rodamiento adecuada.

Rasante: se describe como la línea que se obtiene al proyectar o trazar sobre un plano vertical el desarrollo de un eje de la corona de la carretera, en la sección transversal está representada con un punto.

Subrazante: es el trazado sobre un plano vertical del desarrollo de la subcorona, en cual en la sección transversal es un punto cuya diferencia de elevación con la rasante, está determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con respecto al terreno natural, sirve para poder determinar el espesor de corte o relleno.

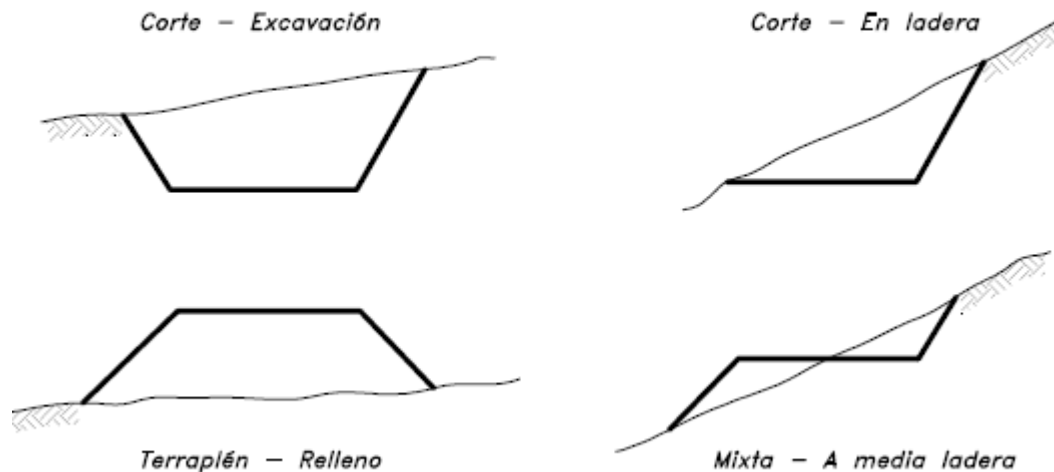
Ancho de explanación: se describe como la distancia horizontal la cual está comprendida entre los cerros derecho e izquierdo.

Derecho de vía o de circulación: faja de terreno destinada a la construcción, conservación reconstrucción, ampliación, protección y mantenimiento, para el uso adecuado de la vía y de los servicios auxiliares.

Para las secciones típicas se deben tener una consideración razonable de factores tales como el tipo de terreno o la topografía, el cual determinara la sección transversal que predominara

en un determinado tramo, en la siguiente ilustración se muestran los diferentes tipos de secciones transversales según el tipo del terreno y topografía.

Ilustración 25. Secciones transversales según tipo del terreno y topografía



Fuente: (Cardenas Grisales, 2013, pág. 460)

2.6.8 Drenajes

Según el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, (2016) menciona la importancia que tiene la ejecución de las obras de evacuación pluvial en un proyecto vial, cuyo objetivo es evitar que su desempeño y funcionalidad, no se vean afectadas, tanto en los materiales que componen la carretera, como la interrupción vehicular de la carretera.

En dicho manual se hace mención de una serie de factores los cuales se deben tener consideraciones importantes, ya que estos factores, se deben de tener presentes a la hora de realizar el diseño y la planificación correspondiente. Dicho factor se menciona a continuación:

- Ubicación, importancia y magnitud del proyecto vial.
- Ubicación de las obras de drenajes.
- Cantidad de flujo a drenar (hidrología del sitio).
- Capacidad hidráulica de la obra por proponer.
- Condiciones iniciales del sitio y posibles afectaciones al realizar el encauzamiento del flujo por medio de la obra de drenaje.

Como lo establece la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, (2002) en el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos; el agua penetra dentro de la estructura del pavimento por muchos medios, tales como; grietas, juntas, infiltraciones o como corrientes subterráneas de una acuífero interrumpido, las cuales ocasionan daños considerables en la estructura del pavimento, de la misma forma hace mención de los efectos considerables que tienen el agua sobre la estructura del pavimento, los cuales se describen a continuación:

- Reduce la resistencia de los materiales granulares.
- Reduce la resistencia de los suelos de la subrazante cuando esta se satura y permanece en similares condiciones durante largos períodos.
- Succiona los suelos de apoyo de los pavimentos de concreto con las consiguientes fallas, grietas y deterioro de hombros.
- Succiona los finos de los agregados de las bases que están debajo de los pavimentos flexibles, haciendo que las partículas del suelo se desplacen con los resultados de pérdida de soporte por la erosión provocada.

En Costa Rica, una de las principales problemáticas que sufren las carreteras es la falta o inexistencia de elementos canalizadores de agua, por lo que muchas de estas presentan daños

considerables en la calzada tales como erosión, deterioro, inundaciones y desgaste del pavimento, lo cual afecta la serviciabilidad de la carretera y de los usuarios que transitan en ella.

La Secretaría de Integración Económica Centroamericana, (2002) establece que un buen drenaje “mantiene la capacidad soporte de la subrazante, manteniendo el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable, lo que hace un camino de mejor calidad, así como permite en determinado momento el uso de capas de soporte de menor espesor” (pág. 57)

En resumen, podemos mencionar que el encauzamiento de las aguas pluviales evita el deterioro progresivo de la capa asfáltica y de las capas que conforman la carretera, alargando la vida útil y manteniendo un estado regular para el libre tránsito vehicular, protegiendo la sección estructural de infiltraciones por lo que se al canalizar las aguas pluviales que corren superficialmente, evitamos daños considerables a corto plazo.

La norma ASHTO, (1993) recomienda los tiempos adecuados y necesarios para poder evacuar el agua almacenada en la base, dichas recomendaciones se basan en la duración para que la capa de la base elimine considerablemente la humedad, cuando esta tenga un grado de saturación de 50%, también hace la mención que para un grado de saturación del 80% reduce en buena medida el tiempo real necesario para poder seleccionar la calidad de un drenaje.

En la siguiente tabla se describe los tiempos convenientes, que son recomendados por el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, (2002, pág. 3)

Tabla 16. Tiempos adecuados para capas granulares

Calidad del Drenaje	50% saturación	85% saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	mayor de 15 horas

Fuente: (Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, 2002)

2.6.8.1 Drenaje longitudinal o drenaje superficial

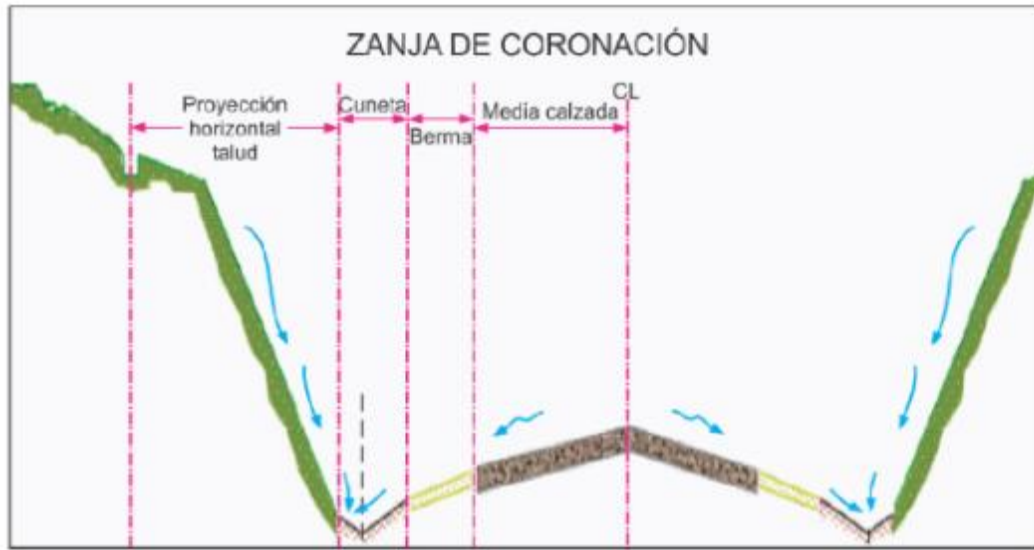
Al drenaje longitudinal o superficial se le conoce comúnmente como cuneta, el cual es una estructura hidráulica que se encarga de captar las aguas de la escorrentía superficial de la carretera y de los taludes de corte, esto, con el objetivo de captar y desaguarlas las aguas de manera adecuada en la cual la carretera no se afecte su desempeño y estructura interna de la cual está compuesta.

Según el autor (INVIAS, 2009) en el Manual de Drenaje para Carreteras; “Las cunetas se deben localizar esencialmente en todos los cortes, en aquellos terraplenes susceptibles a la erosión y en toda margen interna de un separador que reciba las aguas lluvias de las calzadas” (pág. 198)

La cuneta es uno de los elementos hidráulicos que sobresalen entre los mejores elementos canalizadores de agua en las carreteras, ya que por su forma transversal presentan mayor capacidad hidráulica, ya que esta tiene la capacidad de canalizar más cantidad de agua debido a la forma de su estructura transversal, el cual resulta ser una estructura de gran provecho en carreteras que presentan pendientes considerables o carretas con topografías muy quebradas.

En la ilustración # 26 que se presenta a continuación, se muestra como la escorrentía superficial de la calzada, así como la de los taludes ingresa de manera continua en la cuneta.

Ilustración 26. Flujo de escorrentía a la cuneta.



Fuente: (INVIAS, 2009, pág. 199)

Los autores (Cárdenas Quintero & Vicente Marbello, 2011) realizaron una investigación llamada “Deducción de las Ecuaciones de Diseño de cunetas a partir de las ecuaciones de Manning” en la cual se destaca los diferentes tipos y formas que pueden adoptar las cunetas, y en la cual a partir de una serie de cálculos matemáticos, utilizando la ecuación de Manning como base, se deduce la ecuación de diseño del caudal capacidad de caudal de la cuneta, que aplica para cada tipo de cuneta, las cuales se presentan a continuación:

Ecuación de Manning se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 6

$$Q = \frac{\phi}{n} AR_H^{2/3} * S_0^{1/2} = \frac{\phi A^{5/3}}{n P^3} * S_0^{1/2}$$

En donde:

Q: caudal de diseño, (m³/s)

A: área mojada, (m²)

P: perímetro mojado, (m)

RH: radio hidráulico, (m)

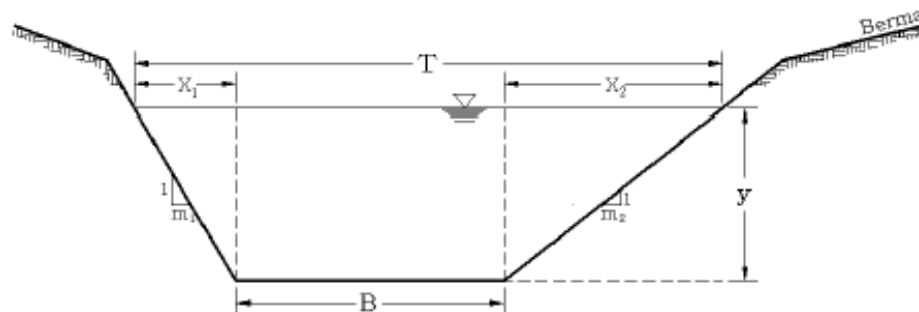
So: pendiente longitudinal de la cuneta, (m/m)

n: coeficiente de rugosidad, de Manning, (adimensional)

ϕ : Coeficiente empírico, ($\phi = 1m^{1/3}/s$)

Ecuación de diseño para cuneta de sección transversal tipo trapezoidal.

Ilustración 27. Cuneta de Sección transversal tipo Trapezoidal



Fuente: (Ecuaciones de diseño de cunetas recomendadas en el Manual de Drenaje para Carreteras, empleando la ecuación de Manning y la ecuación de Darcy & Weisbach - Colebrook & White, 2011, pág. 3)

A continuación, se mencionan los elementos geométricos, los cuales conforman la cuneta de sección trapezoidal y demás.

T: ancho superficial del agua.

y: profundidad de la lámina de agua.

B: ancho de base de la cuneta.

m1 y m2: taludes laterales de la cuneta (Z_1 y Z_2)

De la figura mostrada anteriormente se obtiene el área y el perímetro mojado, así mismo se deduce ecuación de radio hidráulico y posteriormente se reemplaza en la ecuación inicial de Manning para poder determinar el caudal de diseño para la cuneta de sección trapezoidal, en el cual dicho proceso matemático se describe a continuación:

Área y perímetro mojado:

Ecuación 7

$$A = By + \frac{x_1 y}{2} + \frac{x_2 y}{2}$$

Ecuación 8

$$x_1 = m_1 y \text{ y } x_2 = m_2 y$$

Ecuación 9

$$A = \left[B + \frac{1}{2}(m_1 + m_2)y \right] y$$

Ecuación 10

$$P = B + (\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}) y$$

Radio hidráulico:

Ecuación 11

$$R_H = \frac{A}{P} = \frac{\left[B + \frac{1}{2}(m_1 + m_2)y \right] y}{B + (\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}) y}$$

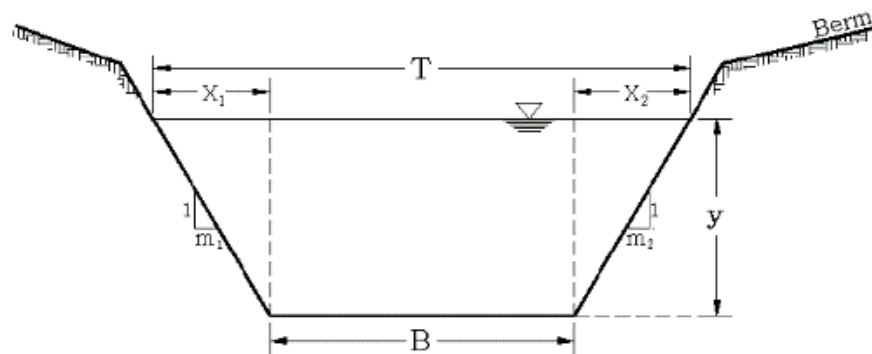
Remplazando en las ecuaciones anteriores se tiene el caudal de diseño:

$$Q = \frac{\phi [B + \frac{1}{2}(m_1 + m_2)y]^{\frac{5}{3}}}{n [B + (\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2})y]^{\frac{2}{3}}} S_o^{\frac{1}{2}}$$

Para el cálculo y deducción de área, perímetro mojado y radio el hidráulico en las siguientes cunetas, se usan las mismas ecuaciones, de la cuneta de sección trapezoidal, la diferencia es la forma geométrica donde estas son diferentes, en las cuales la geometría es un factor importante para generar estos cálculos.

Ecuación de diseño para cuneta de sección transversal tipo trapecial.

Ilustración 28. Cuneta de Sección transversal tipo Trapecial



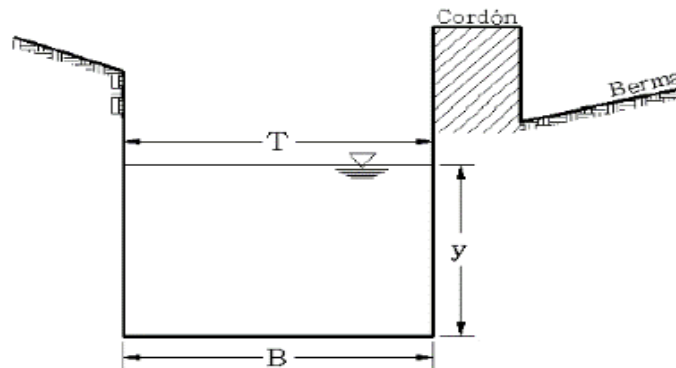
Fuente: (Ecuaciones de diseño de cunetas recomendadas en el Manual de Drenaje para Carreteras, empleando la ecuación de Manning y la ecuación de Darcy & Weisbach - Colebrook & White, 2011, pág. 4)

Para la cuneta los valores de m_1 y m_2 son iguales a m , por lo que se tiene la ecuación de diseño de caudal la cual se presenta a continuación:

$$Q = \left(\frac{\phi S_o^{\frac{1}{2}}}{n} \right) \frac{[(B + my)y]^{\frac{5}{3}}}{(B + 2y\sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}}$$

Ecuación de diseño para cuneta de sección transversal tipo rectangular.

Ilustración 29. Cuneta de Sección transversal tipo rectangular



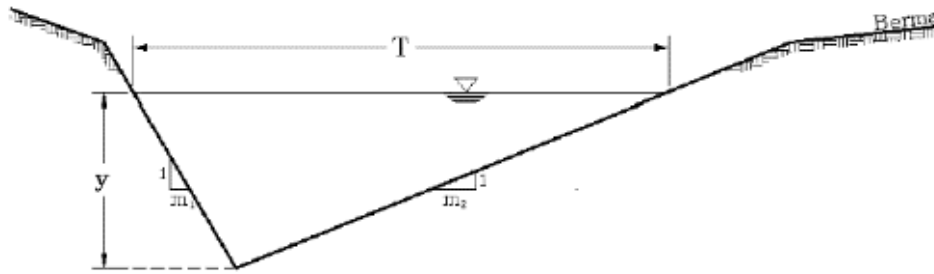
Fuente: (Ecuaciones de diseño de cunetas recomendadas en el Manual de Drenaje para Carreteras, empleando la ecuación de Manning y la ecuación de Darcy & Weisbach - Colebrook & White, 2011, pág. 4)

La cuneta de sección rectangular es un caso especial por lo que la ecuación de diseño se puede obtener con solo sustituir $m = 0$, obteniendo así la ecuación de diseño la cual se muestra continuación:

$$Q = \left(\frac{\phi S_o^{\frac{1}{2}}}{n} \right) \frac{(By)^{\frac{5}{3}}}{(B + 2y)^{\frac{2}{3}}}$$

Ecuación de diseño para cuneta de sección transversal tipo asimétrica.

Ilustración 30. Cuneta de Sección transversal tipo asimétrica



Fuente: (Ecuaciones de diseño de cunetas recomendadas en el Manual de Drenaje para Carreteras, empleando la ecuación de Manning y la ecuación de Darcy & Weisbach - Colebrook & White, 2011, pág. 5)

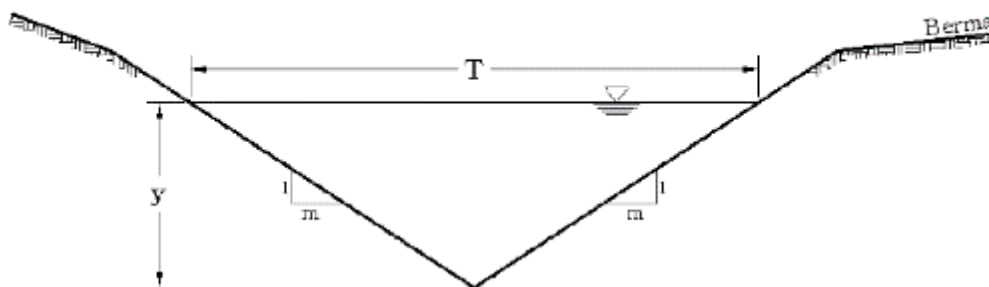
La cuenta de sección triangular asimétrica es un caso particular de la trapezoidal, ya que esta presenta un ancho $B = 0$ por lo que ecuación de diseño se puede obtener de la siguiente manera:

Ecuación 15

$$Q = \left(\frac{\phi S_0^{1/2}}{2^{3/5} n} \right) \frac{(m_1 + m_2)^{5/3} y^{8/3}}{(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2})^{2/3}}$$

Ecuación de diseño para cuneta de sección transversal tipo simétrica.

Ilustración 31. Cuneta de Sección transversal tipo simétrica



Fuente: (Ecuaciones de diseño de cunetas recomendadas en el Manual de Drenaje para Carreteras, empleando la ecuación de Manning y la ecuación de Darcy & Weisbach - Colebrook & White, 2011, pág. 5)

Por la simetría de cuneta en ambos costados se tiene que $m_1 = m_2 = m$ por lo que la ecuación del caudal de diseño es la siguiente:

Ecuación 16

$$Q = \left(\frac{\phi S_o^{\frac{1}{2}}}{2^{\frac{2}{3}} n} \right) \left[\frac{m^5}{(1 + m^2)} \right]^{\frac{1}{3}} y^{\frac{8}{3}}$$

De las diferentes tipos y formas de cunetas que se mencionan anteriormente, la que mejor se adapta a nuestro proyecto es la de sección asimétrica, ya que este tipo de sección de cuneta brinda la opción de lo que se le conoce comúnmente como cunetearse, lo cual significa que se le da la oportunidad al vehículo de pasar por encima de ella, esto con el objetivo de que pueda girar sin problemas en caso de que el vehículo sea muy largo y se le dificulte realizar el giro de la curva con un radio considerable el cual se vea limitado a realizar dicha maniobra.

En la tabla #17 que se presenta a continuación se presenta distintos valores de coeficientes de manning los cuales se utilizan para poder obtener el caudal a partir de la ecuación general de manning, la cual es comúnmente utilizada para diseñar este tipo de elementos hidráulicos.

Tabla 17. Coeficientes de Rugosidad de Manning (n)

TIPO DE CANAL		MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Polido 0.009 b. Acero soldado 0.010 con remaches 0.013 c. Metal corrugado 0.017 sub - dren 0.021 dren para aguas lluvias 0.021	0.010 0.012 0.016 0.019 0.024	0.013 0.014 0.017 0.021 0.030
	A.2 NO METÁLICOS	a. Concreto 0.010 tubo recto y libre de basuras 0.011 tubo con curvas, conexiones 0.011 afinado 0.013 tubo de alcantarillado con cámaras, entradas. 0.012 Tubo con moldaje de acero. 0.012 Tubo de moldaje madera cepillada 0.015 Tubo con moldaje madera en bruto 0.015 b. Madera 0.010 duelas 0.015 laminada y tratada 0.018 c. Albañilería de piedra. 0.018	0.011 0.013 0.012 0.014 0.017 0.014 0.016 0.017 0.012 0.014 0.025	0.013 0.014 0.014 0.017 0.014 0.016 0.020 0.014 0.016 0.020 0.030
B. CANALES REVESTIDOS	B.1 METAL	a. Acero liso 0.011 sin pintar 0.012 pintado 0.021 b. Corrugado 0.021	0.012 0.013 0.025	0.014 0.017 0.030
	B.2 NO METÁLICO	a. Madera 0.010 Sin tratamiento 0.011 Tratada 0.012 Planchas 0.012 b. Concreto 0.011 afinado con plana 0.015 afinado con fondo de grava 0.014 sin afinar 0.017 excavado en roca de buena calidad 0.022 excavado en roca descompuesta 0.022 c. Albañilería 0.017 piedra con mortero 0.023 piedra sola 0.023	0.012 0.012 0.015 0.013 0.017 0.017 0.020 0.027 0.025 0.032	0.014 0.015 0.018 0.015 0.020 0.020 0.020 0.030 0.035
C. EXCAVADO		a. Tierra, recto y uniforme 0.016 nuevo 0.022 grava 0.022 con algo de vegetación 0.023 b. Tierra, sinuoso 0.023 sin vegetación 0.025 con malezas y pasto 0.030 maleza tupida, plantas 0.025 fondo pedregoso - malezas. 0.025 c. Roca 0.025 suave y uniforme 0.035 irregular 0.035 d. Canales sin mantención 0.050 maleza tupida 0.040 Fondo limpio, bordes con vegetación 0.040	0.018 0.025 0.027 0.025 0.030 0.035 0.035 0.035 0.040 0.040 0.080	0.020 0.030 0.033 0.030 0.033 0.040 0.040 0.040 0.050 0.120 0.080

Fuente: (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2008)

2.6.8.2 Drenaje Transversal

Como lo establece el autor (SIECA, 2016) en el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, “El drenaje transversal se entiende como toda estructura que tenga como función la de evacuar, desalojar o trasladar el flujo superficial proveniente de cualquier curso natural o artificial que atraviese o afecte al alineamiento y entorno de un proyecto vial” (pág. 112)

En dicho manual se menciona los distintos drenajes transversales los cuales son; las alcantarillas, tubos transversales, secciones tipo cajón y bóvedas. De estos elementos hidráulicos, el más utilizado en carreteras son las alcantarillas, la cual, es una estructura hidráulica que funciona como un ducto el cual se encuentra debajo de la vía, cuya función principal es evacuar las aguas provenientes de la escorrentía que corren superficialmente sobre la calzada, ya que las alcantarillas por lo general funcionan por gravedad aprovechando la pendiente del terreno.

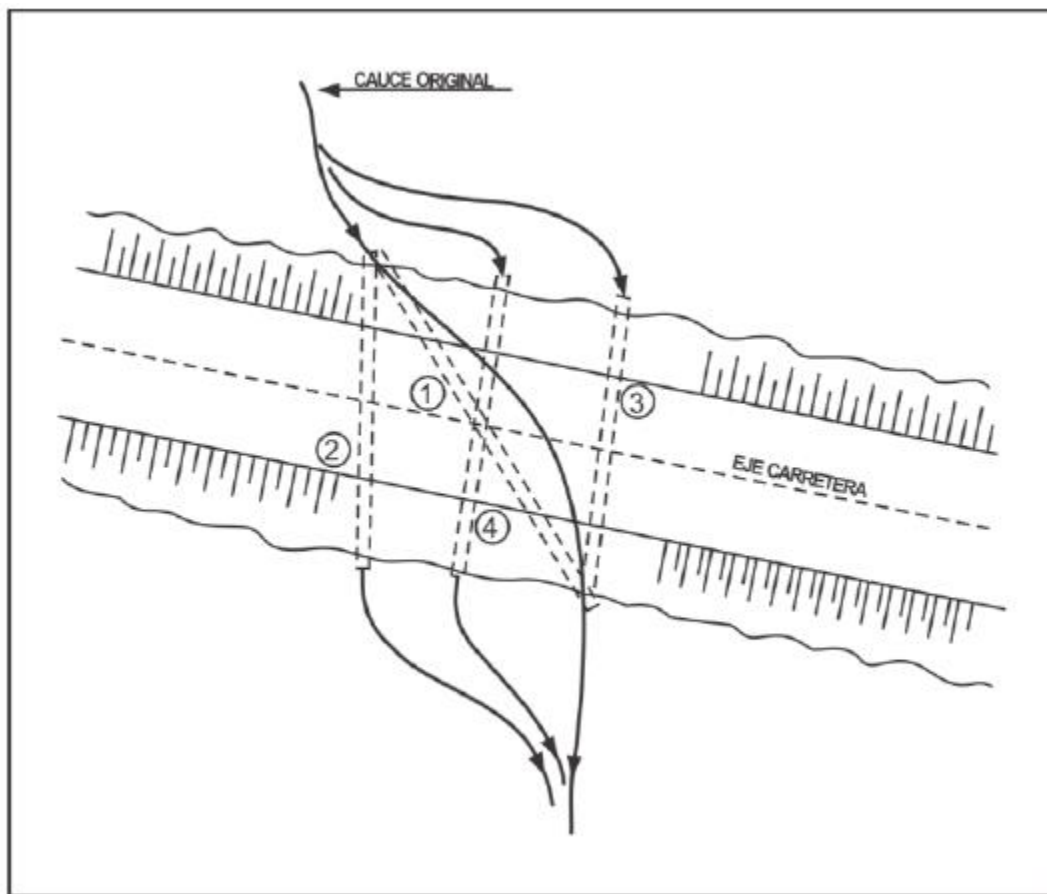
Según el Manual de Drenaje para Carreteras, (2009) las alcantarillas son estructuras la cuales están conformadas por una entrada, una salida y conducto de encoles y descoles que conducen el agua hacia o desde la alcantarilla respectivamente. (pág. 33) Además de ello, se utilizan comúnmente en cruces de corrientes, para poder desaguar cajas colectoras de cunetas, filtros y zanjas de coronación en los puntos bajos de la vía.

Generalmente las alcantarillas están ubicadas perpendicularmente a la vía, aunque pueden presentar un ángulo de sesgo o esviaje cuando se trata de cruces de corrientes en los cuales se intenta considerar y conservar la dirección del drenaje corriente, así mismo se debe tener en cuenta el incremento y disminución de la pendiente, ya que esta influye considerablemente en la velocidad de flujo y se debe prever que no ocasioné daños tales

como erosión ni sedimentación. Según el autor (INVIAS, 2009) las alcantarillas se ubican en tres sitios lo cuales se describen a continuación:

- En el fondo de depresiones donde no existen cursos de agua naturales.
- En donde las corrientes de agua cortan las carreteras.
- En los lugares donde se requiera que pase el agua del drenaje superficial conducido por cunetas debajo de los caminos y carreteras hasta las propiedades adyacentes.

Ilustración 32. Alternativas de construcción de alcantarillado



Fuente: (Manual de Drenaje para Carreteras, 2009, pág. 34)

Uno de los parámetros más importantes que se deben de tener en cuenta a la hora de diseñar drenajes transversales o longitudinales, es la velocidad del flujo, ya que esta es un valor de suma importancia la cual se debe verificar que se encuentra dentro de ciertos límites, esto

debido a que, si no es así, se pueden generar afectaciones como acciones erosivas en las estructuras hidráulicas. La velocidad de diseño se puede obtener a partir de la ecuación de continuidad, a partir del caudal de diseño y el área mojada de la estructura hidráulica, dicha ecuación se presenta a continuación:

$$Q = V * A$$

En donde:

- Q: Caudal de diseño en (m³/s)
- V: Velocidad de diseño (m/s)
- A: área de la sección mojada.

En la tabla #18 según el autor SIECA en el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, (2016) se menciona la velocidad máxima admisible (m/s) en conductos revestidos, así mismo el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en la Norma técnica para el Diseño y Construcción de Sistemas de abastecimiento de agua potable, saneamiento y pluvial, (2017) establece una velocidad máxima de flujo de 5m/s la cual es comúnmente conocida en Costa Rica como la velocidad a tubo lleno.

Tabla 18, Velocidades máximas admisibles en conductos revestidos

TIPO DE REVESTIMIENTO	VELOCIDAD (m/s)
Concreto	3.0 – 6.0
Ladrillo con concreto	2.5 – 3.5
Mampostería de piedra y concreto	2.0

Fuente: (Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, 2016)

2.6.9 Análisis Hidrológico

Para poder realizar un estudio hidrológico, estimar caudales y dimensionar una estructura hidráulica, se requiere determinar datos de entrada, tales como lo es la intensidad de lluvia que cae sobre una determinada zona, tiempo transcurrido o duración y el número de años que transcurrirán antes de una combinación de intensidad y duración dada la cual se repita y la cual se le conoce como frecuencia.

El objetivo de realizar un estudio hidrológico es para estudiar y determinar valores específicos para así dar razón a la finalidad del diseño hidráulico, cuyo objetivo es captar, conducir y disponer las aguas de lluvia que caen sobre la calzada y los taludes de corte, para así prevenir de daños en la estructura del pavimento y asegurar el libre tránsito vehicular.

Hoy en día el método racional sigue siendo de gran utilidad en lo que se refiere análisis hidrológico para el diseño de hidráulico de drenajes, ya que la información que se requiere resulta fácil de obtener.

2.6.9.1 Método racional

El método racional es uno de los métodos más utilizados para la estimación del caudal máximo, los cuales están asociados a determinadas lluvias de diseño, dicho método se utiliza en obras de diseño tanto urbanas como rurales, así mismo posee la ventaja de no requerir de datos estrictamente complejos para la determinación de estos valores.

Una de las limitaciones que presenta el método racional es que está limitado a cuencas con superficies que no sobre pasen los 20 km², las cuales dependen de las condiciones en las que se rija el proyecto, ya que las normativas y validez de los resultados determinados aplicando dicho método depende de la aplicación de cada país.

En el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica menciona la importancia de una serie de factores que se ven involucrados en la relación empírica del método racional los cuales mencionan a continuación:

- Área de la cuenca.
- Intensidad de precipitación.
- Particularidades de la superficie del terreno.

La expresión utilizada por el método racional en el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, (2016) para obtener el caudal, el cual está asociado a una determinada precipitación está conformada por tres términos la cual se presenta a continuación:

Ecuación 17

$$Q = 0.278 C * I * A$$

Si se expresa Q en m³/s, I en mm/h y A en km², que es la forma habitual de presentarla cuando se trabaja en el sistema métrico, la expresión anterior queda como:

Ecuación 18

$$Q = \frac{C * I * A}{3.60}$$

En donde:

Q= Caudal o descarga máxima de diseño (m³/s)

C= es el coeficiente de escorrentía que representa las pérdidas del caudal total que se precipita y que se convierte posteriormente en escorrentía superficial, un ejemplo de estas pérdidas es la infiltración en el suelo.

I= intensidad máxima para un periodo de retorno T y un tiempo de concentración t_c (mm / hr)

A= Área de la cuenca Km^2

t_c = tiempo de concentración (minutos)

T= Periodo de retorno (años)

Caudal de diseño: como lo describe el Ing. (Gamboa, 1969) en el Manual de Diseño Hidrológico e Hidráulico de Drenajes menores en carreteras en Costa Rica “es el caudal de agua que es seleccionado para diseñar una alcantarilla o canal en función del tamaño y forma de la cuenca; longitud, pendiente y otras características hidráulicas” (pág. 6).

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, establece en la Norma técnica para el Diseño y Construcción de Sistemas de abastecimiento de agua potable, saneamiento y pluvial (2017) que; “el caudal de diseño debe presentar detalles específicos de las áreas tributarias y su correspondiente distribución espacial la cual se encuentra basada en la topografía del sitio del proyecto considerado” (pág. 47).

Coefficiente de escorrentía: el autor (Valentin, 2007) en el Manual de Hidrología Urbana describe el coeficiente de escorrentía como; “como la relación entre el volumen de lluvia neta (o de escorrentía) y el de la lluvia total, por lo tanto, teóricamente varía en el rango de valores entre 0 y 1” (pág. 86) en el manual de Diseño Hidrológico e hidráulico de Drenajes menores en carreteras, (1969, pág. 8) se menciona una serie de factores que afectan la afectan considerablemente la escorrentía los cuales se mencionan a continuación:

- Factores climáticos: tales como precipitación, de los cuales comprende la intensidad, duración, distribución en la cuenca, frecuencia, localización geográfica.
- Factores Fisiográficos: son los factores geométricos tales como área drenada, forma, pendiente y densidad de las corrientes, factores físicos como el uso de tierra, condiciones de infiltración, tipos de suelo, condiciones geológicas, y condiciones topográficas.

Tal y como se establece en el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, (2016) en la tabla #18 se muestran los coeficientes de escorrentía los cuales son recomendados en el método racional por tipo de área desarrollada o no desarrollada, en la tabla #19 se muestran los coeficientes de escorrentía para áreas no desarrolladas o áreas rurales.

Tabla 19. Coeficientes de escorrentía por tipo de área desarrollada o no desarrollada.

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0 – 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2 – 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0 – 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 – 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0 – 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2 – 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de Cultivo							
Plano, 0 – 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2 – 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0 – 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 – 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0 – 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2 – 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: (Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, 2016, pág. 81)

Tabla 20. Coeficientes de escorrentía por tipo de área desarrollada o no desarrollada.

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA ÁREAS NO DESARROLLADAS O RURALES (1)				
TIPOS DE CUENCAS				
	EXTREMO	ALTO	NORMAL	BAJO
Relieve	0.28 – 0.35 Empinado, terreno escarpado con pendientes promedios por encima del 30%	0.20 – 0.28 Montañoso, con pendientes promedios del 10 al 30%	0.14 – 0.20 Ondulado con pendientes promedio del 5 al 10%	0.08 – 0.14 Tierras relativamente planas, con pendientes promedio del 0 al 5%
Infiltración del suelo	0.12 – 0.16 Cubierta de suelo ineficiente, con cualquiera de los dos roca o manto de suelo delgado de capacidad de infiltración despreciable	0.08 – 0.12 Lento para tomar agua, arcilla o tierra negra, suelos superficiales de baja capacidad de infiltración, imperfecta o pobremente drenados	0.06 – 0.08 Normal, suelos con textura de suelos ligeros a medianamente bien drenados, arenas arcillosas, limos y llimos arcillosos	0.04 – 0.06 Altos, arenas profundas u otros suelos que guardan agua rápidamente, suelos muy ligeros bien drenados
Cobertura vegetal	0.12 – 0.16 Cubierta de plantas ineficiente, desnudo o muy dispersa	0.08 – 0.12 De malo a regular,, cultivos limpios, o cubierta natural pobre, menos que el 20% del área de drenaje con buena cubierta	0.06 – 0.08 De regular a bueno, alrededor del 50% del área con tierras cubiertas de grama o bosques, no más del 50% con áreas en la producción de cosechas	0.04 – 0.06 Buena a excelente, acerca del 90% del área de drenaje con buenos pastizales, bosques o albeledas o cubiertas equivalentes
Almacenaje superficial	0.10 – 0.12 Depresiones superficiales despreciables pocas y planas; drenajes empinados y cortos, sin pantanos	0.08 – 0.10 Bajo sistemas cortos de drenajes bien definidos, sin lagunas ni pantanos	0.06 – 0.08 Normal, considerables depresiones superficiales, lagos y lagunas y pantanos	0.04 – 0.06 Alta, superficie de almacenaje alta, sistema de drenaje no bruscamente definido, grandes planicies de inundación o gran número de lagunas o pantanos
Ejemplo	Dado: Una cuenca rural consistente de 1) terreno ondulado con pendientes promedios del 5%, 2) tipos de suelos arcillas,, 3) Área de pastizales, y 4) depresiones superficiales normales. Encuente: el coeficiente de escorrentía, C, para la cuenca señalada arriba		Solución 0.14	Relieve: Infiltración del suelo: 0.08 Cubierta vegetal: 0.04 Superficie de almacenaje: 0.06 C = 0.32

Fuente: (Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, 2016, pág. 81)

Intensidad: la intensidad de la lluvia se calcula en función del periodo de retorno y del tiempo de concentración de la tormenta con la cual se esté diseñado. El Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en

Centroamérica establece la importancia de contar con curvas de intensidad frecuencia (IDF) las cuales según el autor (Instituto Meteorológico Nacional, 2011) “son rectas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno” (pág. 4) en otras palabras las curvas de intensidad duración frecuencia (CIDF) representan una gráfica de la relación entre la precipitación, duración y el periodo de retorno.

Según el autor (Instituto Meteorológico Nacional, 2011) “la intensidad de precipitación se define como tasa temporal de precipitación, o sea, la altura de agua de precipitación por unidad de tiempo (mm/hr o pulg/hr)” (pág. 4), y esta se expresa como:

Ecuación 19

$$I = \frac{P}{T_d}$$

En donde:

I= Intensidad de precipitación.

P= Altura de agua de precipitación en mm o pulg.

T_d= Duración de la lluvia, dada usualmente en hr.

Área de cuenca: en el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, (2016) se describe el área de la cuenca como: “el área delimitada por los accidentes geográficos por la cual escurre el volumen de agua superficial, es una propiedad que contribuye, en conjunto con otras propiedades, a la forma de respuesta de la cuenca a la precipitación” (pág. 50).

Tiempo de concentración (t_c): según el autor (SIECA, 2016) en el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en

Centroamérica, el tiempo de concentración “se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca aporten agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida de esta” (pág. 82)

La ecuación que es comúnmente utilizada para determinar el tiempo de concentración es la de kirpich – Ramser la cual se muestra a continuación:

Ecuación 20

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

En donde:

T_c= es el tiempo de concentración, en minutos.

L= longitud del cauce principal, en metros.

ΔH= es la diferencia de altura.

Período de Retorno (T): Según el Ing. (Gamboa, 1969) en el Manual de Diseño Hidrológico e hidráulico de Drenajes menores en carreteras describe el período de retorno como; “el número de años entre la ocurrencia de una tormenta de determinada intensidad y la ocurrencia de otra igual o mayor” (pág. 15)

Dicho autor menciona la importancia de una serie de factores los cuales se deben considerar para realizar una solución más económica a largo plazo, los cuales se presentan a continuación:

- Frecuencia de inundaciones.
- Consecuencias económicas que pueda traer la inundación.
- Costo inicial y costo anual a largo plazo de la vida de la obra.

- Otras variantes económicas o técnicas asociadas con alternativas de diseño y de operación.

Según el Manual de Diseño Hidrológico e hidráulico de Drenajes menores en carreteras recomienda los siguientes periodos de retorno según el tipo de carreteras, así como la velocidad de diseño y el tipo de drenaje en cual se esté diseñando, dicha tabla se muestra a continuación:

Tabla 21. Período de retorno según drenaje, tipo de carreteras y velocidad de diseño.

Tipo de drenaje	Período de diseño (años)			
	Autopistas		Carreteras	
	Avenidas Urbanas	Rurales	Velocidad de diseño	
			40-100 km/h	25-60 km/h
Pontones	50	50	50	25
Alcantarillas de sección transversal mayor a 4 m ²	50	25	25	10
Alcantarillas de sección transversal menor 4 m ²	25	25	15	10

Fuente: (Diseño Hidrológico e hidráulico de Drenajes menores en carreteras, 1969, pág. 17)

2.6.10 Modulo de Resiliencia para Pavimentos flexibles

En el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos se describe el concepto de lo que es el módulo de resiliencia, el cual se presenta a continuación:

En el método AASHTO 93, el Módulo de Resiliencia reemplaza a CBR como variable para caracterizar la subrazante, subbase, base y la mezcla asfáltica. El Mr es una medida propia de la propiedad elástica de los suelos que se reconoce a su vez las características no lineales

de su comportamiento. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2002, pág. 9)

El presente manual menciona que la humedad en la subrazante es variable a lo largo del transcurso del año, por lo que es conveniente realizar un análisis de la variación que exista durante todo el año, para así poder determinar el módulo de resiliencia promedio con más exactitud, así mismo dicho manual menciona una serie de factores necesarios para poder obtener dicho módulo los cuales se menciona a continuación:

- Es necesario realizar ensayos de Mr en el laboratorio sobre las muestras de suelo que representen condiciones de tensión y humedad, las cuales estarán en el transcurso del año. Con estas pruebas, se establece una relación de las condiciones entre el módulo y la humedad.
- Se determina el módulo de resiliencia en el lugar por medio de las deflexiones obtenidas en los pavimentos; el módulo de resiliencia se ajusta para analizar las posibles diferencias que existen entre los resultados de laboratorio y los obtenidos en el lugar.
- Es posible estimar valores normales (en época seca) del módulo de resiliencia, en función de las propiedades conocidas de los suelos y utilizar relaciones empíricas para calcular las variaciones conforme con las épocas del año.

Dados estos factores, se concluye que el año se divide en periodos, de los cuales el Mr se mantiene constante; dichos periodos no pueden ser menores a 15 días. Cada valor del módulo de resiliencia se determina mediante la siguiente fórmula o en la tabla #21 que se muestra a continuación:

$$U_f = 1.18 \times 10^8 \times M_r^{-2.32}$$

Tabla 22. Módulo de Resilencias de subrasante para pavimentos flexibles

No.	Meses	Módulo de la subrasante Mr (PSI)	Daño Relativo U _r
1	Enero	20,000	0.012402
2	Febrero	20,000	0.012402
3	Marzo	2,500	1.544049
4	Abril	4,000	0.518923
5	Mayo	4,000	0.518923
6	Junio	7,000	0.141662
7	Julio	7,000	0.141662
8	Agosto	7,000	0.141662
9	Septiembre	7,000	0.141662
10	Octubre	7,000	0.141662
11	Noviembre	4,000	0.518923
12	Diciembre	20,000	0.012402
Suma U_r			3.846336
U_r promedio			0.3205280039

Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2002, pág. 10)

El Manual de Diseño de Pavimentos, (1993) menciona una serie de correlaciones para obtener el Mr (módulo de resiliencia) de los materiales de las cuales se deben tener conocimientos de las propiedades de los materiales presentes y del buen criterio del diseñador de las cuales se mencionan a continuación:

$$M_R = 1500 * CBR$$

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64}$$

Usualmente en Costa Rica se utilizan estas correlaciones para determinar dichos módulos y proceder a realizar el diseño del pavimento.

2.6.11 Señales viales en carreteras

El objetivo de las señales viales en carretera es, prevenir, regular y guiar a los usuarios que transitan a través de una ella, para así informar de una manera adecuada y eficiente las restricciones y prevenciones que se deben tener a la hora de transitar o circular sobre la vía.

Como lo describe la Secretaría de Integración Económica Centroamericana en el Manual Centroamericano de Dispositivos uniformes para el control de tránsito, (2015) indica que la utilización de los dispositivos de control de tránsito para el señalamiento vial, reglas de justificación de uso y criterios técnicos, son fundamentales para facilitar y garantizar el movimiento ordenado, seguro y predecible de los usuarios que transitan sobre la vía.

Así mismo en dicho manual se menciona una serie de condiciones que se deben de tomar en cuenta para poder ser efectivo con un dispositivo de control de tránsito las cuales se mencionan a continuación:

- Que exista una necesidad para su utilización.
- Que llame positivamente la atención.
- Que encierre un mensaje claro y conciso.
- Que su localización permita al usuario un tiempo adecuado de reacción y respuesta.
- Infundir respeto y ser obedecido.
- Uniformidad.

2.6.11.1 Señales verticales

Según el Manual Centroamericano de Dispositivos uniformes para el control de tránsito, describe la función y definición de las señales verticales en carreteras como:

Las señales verticales son dispositivos de control de tránsito, constituidas por placas fijadas en postes, estructuras instaladas sobre las vías o adyacentes a ellas, o aparatos luminosos, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones, mediante palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente, o para advertir sobre la existencia de algún peligro en la vía y su entorno, o para guiar e informar sobre rutas, nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés y servicios. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2014, pág. 2)

Dicho manual menciona la importancia que este tipo de señalamiento sea utilizado únicamente en lugares que se ameriten, en los cuales se realice un estudio técnico, y un análisis de necesidades de este tipo de dispositivos.

Las señales verticales se clasifican en 3 tipos lo cuales se describen continuación:

Señales de reglamentación: indican al conductor sobre la prioridad de paso, existencia de ciertas restricciones o limitaciones en uso de la vía, este tipo de señalización es de carácter obligatorio. Generalmente este tipo de señales tiene formas rectangulares, la cuales los colores destacan por ser rojas y negras y con el fondo en blanco, en la ilustración #33 se muestra algunas de las señales de reglamentación.

Ilustración 33. Señales de reglamentación



Fuente: (Manual oficial de educación Vial de Costa Rica, 2016)

Señales de Prevención: son las que indican las condiciones que prevalecen en una carretera, las cuales el objetivo es advertir al conductor de la existencia de un determinado peligro, usualmente este tipo de señales son flechas negras con el fondo en amarillo tal y como se muestran en la ilustración #34 que se presenta seguidamente.

Ilustración 34. Señales de prevención.



Fuente; (Manual oficial de educación Vial de Costa Rica, 2016)

Señales de información: estas señales informan al usuario sobre: nombres, ubicaciones, rutas, destinos, direcciones, kilometrajes y cual otra información que resulte de interés para poder realizar la travesía, generalmente las letras con color blanco y el fondo es de color verde.

Ilustración 35. Señales de información.



Fuente: (Manual Centroamericano de Dispositivos uniformes para el control de tránsito, 2014)

2.6.11.2 Señales horizontales o demarcación del pavimento

Según la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, (2015) establece en el Manual Centroamericano de Dispositivos uniformes para el control de tránsito que la demarcación está constituida por; “las líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura con el fin de regular el tránsito o indicar la presencia de obstáculos” (pág. 1) cuya función en el

pavimento es fundamental y establecer un buen control de tránsito. En dicho de manual se hace la mención de la clasificación que presenta la demarcación las cuales se presentan a continuación:

Demarcación del pavimento:

- Líneas de centro
- Líneas de carril
- Líneas de barrera
- Líneas de borde de pavimento
- Transiciones en el ancho del pavimento
- Líneas de canalización
- Aproximaciones a obstáculos
- Marcas de giros
- Líneas de parada
- Pasos para peatones
- Aproximaciones a pasos de nivel con vías férreas
- Zonas de estacionamiento
- Palabras y símbolos sobre el pavimento
- Marcas para regular el uso de la vía
- Otros dispositivos y marcas auxiliares

Demarcaciones para indicar restricción de estacionamiento.

- Línea de borde amarilla
- Línea de borde roja

- Línea de borde verde
- Línea de borde azul

La señalización horizontal se divide en grupos lo cuales son:

Amarillo: el color amarillo define la separación del tránsito por sentido opuesto de cada carril.

Blanco: el blanco define la separación de flujos de tránsito en solo sentido de circulación, así como los bordes de calzada.

Azul: utilizada para hacer uso de la Ley 7600 la cual vela por el derecho de que las personas discapacitadas tengan mejores condiciones de vida, el color azul diferencia el uso exclusivo para personas con discapacidad.

2.6.11.3 Señales luminosas

Son utilizadas principalmente para regular el tránsito de vehículos y peatones, cuyo objetivo es minimizar los accidentes en las carreteras. Algunos tipos son:

- El semáforo vehicular.
- El semáforo peatonal.
- Señalamiento preventivo.

3. Marco Metodológico

La metodología de investigación estará adjunta en las siguientes secciones, ya que se plantean los métodos y normas que permitirá realizar las estimaciones más acertadas para la propuesta del diseño, la cual se puede identificar como una propuesta de evaluación y pruebas de campo por lo que es una investigación de carácter cuantitativa.

3.1 Enfoque y método de investigación

La propuesta del presente trabajo es evaluativa y de carácter cuantitativa, ya que permite evaluar y manipular los resultados obtenidos del estudio actual del camino y así plantear una mejor solución con sus respectivos métodos a la problemática que se presenta actualmente como lo es el mal estado del camino.

3.1.1 Enfoque Cuantitativo

Se dice que la investigación es cuantitativa dado que para alcanzar los objetivos se debe realizar una serie de pruebas de campo y recopilación de datos numéricos, para así aplicar las metodologías y poder aplicar las normas de diseño. El objetivo de recopilar los datos y la información; es para analizar, procesar con el fin de buscar soluciones que mejor se adapten a la realidad y mejoren las condiciones actuales del camino Breñón.

3.2 Población y Muestra

Esta sección no aplica en el presente trabajo, ya que los valores de CBR, SPT y los puntos de interés para crear una superficie, serán realizados por profesionales a cargo los cuales tienen bastante experiencia en la recolección y formulación de datos. Cabe mencionar que colaboré en la recolección de datos, pero no se realiza ningún cálculo posterior para obtener los valores de importancia mencionados anteriormente.

3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son por medio de bibliografías de diseño geométrico y diseño de carpeta asfáltica, normas de diseño como AASHTO 1993, tesis, artículos técnicos, libro de estudio, teorías y demás.

3.3.1 Levantamiento topográfico

Para el levantamiento topográfico, la encargada es la Ingeniera topográfica Andreina Vázquez, la cual labora en la Municipalidad de Acosta, así mismo mi persona colabora para realizar el levantamiento correspondiente para así obtener los puntos y generar las curvas nivel que se utilizarán en el software CIVIL 3D, en el cual se genera una superficie para realizar el diseño geométrico vertical y horizontal correspondiente.

Para realizar el levantamiento topográfico se debe realizar el siguiente proceso.

- Se debe realizar una vista técnica a lo largo del sector donde se tiene pensando realizar la mejora del proyecto, esto con el objetivo de identificar la zona en cuestión y elaborar un plan de medición con puntos de interés para realizar el trabajo correspondiente.
- Seguidamente se da inicio con el levantamiento topográfico, la cual se utiliza la estación total, bastones y prismas, los cuales se utilizan para la ayuda de recolección de datos.
- Se establece un punto de inicio en el campo para así poder establecer una estación.
- Se realiza la toma de datos de cortes transversales para los diferentes estacionamientos. Cabe mencionar que el levantamiento se debe realizar abarcando el derecho de vía correspondido.
- Se debe poner la cantidad de estacionamientos necesarios hasta tener el levantamiento de todos los detalles importantes que componen el sector de la carretera en cuestión, generalmente la cantidad de estacionamientos depende de las pendientes o curvas de la carretera existente.

Seguidamente terminado el trabajo de levantamiento se procesan los datos y se exportan al software AutoCAD Civil 3D con el fin de unir puntos con líneas para tener un dibujo representativo de la superficie y así generar la carretera.

En las ilustraciones que se presentan a continuación se documenta de manera ilustrativa mi participación en el levantamiento topográfico.

Ilustración 36. Fotografía #1



Fuente: Elaboración Propia - 11 de marzo del 2020

Ilustración 37. Fotografía #2



Fuente: Elaboración Propia - 11 de marzo del 2020

3.3.2 Análisis hidrológico

Para el cálculo de intensidades y de precipitaciones, se utiliza como referencia; las intensidades máximas de las tormentas sobre los centros rurales más importantes y destacables de Costa Rica, en función del tiempo de concentración y del periodo de retorno tal y como lo establece los autores (Vahrson & Dercksen, 1990) en el libro de Intensidades Críticas de lluvia para el diseño de obras de conservación de suelos en Costa Rica, también se propone utilizar el Manual de Curvas de Intensidad de Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas, (2011) que es establecido por el Instituto Meteorológico Nacional, y el cual es utilizado comúnmente para este tipo de proyectos, ya que la información que contiene dicho manual resulta ser muy útil.

Para el diseño y construcción de sistemas canalizadores de agua se utilizará la Norma diseño y construcción de sistemas de agua y saneamiento pluvial, así como el manual de hidrología urbana, también los parámetros establecidos por el A y A para el diseño del alcantarillado pluvial, y requerimientos mínimos establecidos por la Municipalidad de San Ignacio de Acosta para los diseños elementos hidráulicos, también se utilizará como referencia el Manual de Drenaje para Carreteras, (2009) y Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, (2008).

3.3.3 Criterios de diseño

La perspectiva de este proyecto está encaminada a proponer un diseño geométrico de una ruta cantonal de dos carriles, basado en los reglamentos y criterios, según las Normas para el Diseño Geométrico de carreteras (SIECA)

Tabla 23. Sistema de clasificación funcional

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	SERVICIOS QUE PROVEE
• Arterial	Provee el mayor nivel de servicio con las mayores velocidades permitidas en distancias de viaje ininterrumpido, con algún grado de control en los accesos.
• Colector	Provee un menor nivel de servicio que la arterial. Se permiten velocidades menores en distancias cortas por servir de colector de tráfico de caminos locales y los conecta con las arteriales.
• Local	Consiste en todas las carreteras no definidas como arteriales o colectoras; su servicio principal es proveer acceso a la mayoría de lugares y sirve a los viajes sobre distancias relativamente cortas.

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras,

(2011)

Tabla 24. Clasificación de las carreteras

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras,

(2011)

Tabla 25. Anchos mínimos de aceras y espaldones

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AA	Autopista	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 - 3.0	
AR	Arterial Rural	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AU	Arterial Urbana	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AMR	Arterial Menor Rural	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
AMU	Arterial Menor Urbana	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CMR	Colector Mayor Rural	Controlado	Alto	1.0 -1.5	2.5 – 3.0	1.2 – 2.0
CMU	Colector Mayor Urbana	-	Alto	0.5 – 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 – 1.5
CR	Colectoras Menor Rural	-	Intermedio	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CS	Colectoras Menor Urbana	-	Intermedio	-	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
LR	Local Rural	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
LU	Local Urbano	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
R	Rural	-	Bajo	-	-	-

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras,
(2011)

Acosta es uno de los lugares que presentan una topografía muy quebrada en lo que se refiere a los caminos y Breñón no es la excepción, ya que esta presenta riesgo por deslizamientos en varios puntos.

Tabla 26. Factores físicos de formación de deslizamiento.

Factores Físicos	
Lluvia	El aporte de agua en el suelo favorece su inestabilidad. Estas pueden ser fuertes aunque de corta duración o bien leves pero de muchos días
Topografía	Los deslizamientos ocurren con mayor frecuencia en terrenos de mucha pendiente y desprovistos de vegetación
Tipos de suelos y rocas	Los suelos de mala calidad como arcillas, rocas muy fracturas y rellenos mal compactados son todos muy susceptibles a desarrollar derrumbes
Temblores y sismos	La actividad sísmica o temblores son un factor detonante de deslizamientos

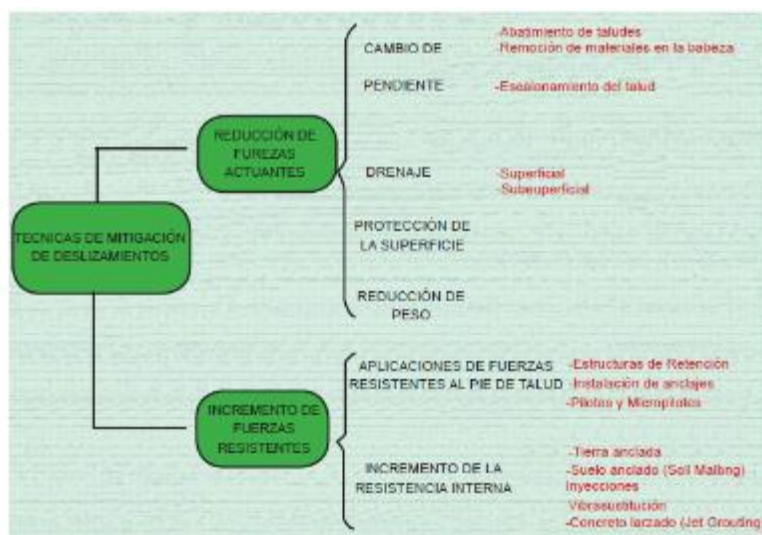
Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras,
(2011)

Tabla 27. Clasificación de terrenos en función de pendientes y topografía

Tipo de Terreno	Rango de Pendientes P(%)
Llano o Plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 > P \leq 15$
Montañoso	$15 > P \geq 30$

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras,
(2011)

Ilustración 38. Técnicas de ejecución de obra contra prevención de deslizamientos.



Fuente: Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de Carreteras,
(2011)

Se realizará una modificación a las dimensiones actuales de la carretera, ya que esta presenta un carril por sentido, la cual actualmente es muy estrecha y dificulta el libre tránsito vehicular debido a las condiciones del terreno.

3.3.4 Normativa AASHTO 1993

La Normativa de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, con el objetivo de realizar diseños de pavimentos a nivel internacional, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones de deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986, y su correspondiente versión mejorada de 1993, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original. Este método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

Para el diseño del pavimento flexible, se realizó una proyección vehicular para periodo de no menos de 20 años, dato que usualmente se utiliza para diseñar en Costa Rica, esto debido a que la vía al ser ruta cantonal rural presenta un bajo volumen vehicular, la cual se define como carretera pavimentada de bajo tráfico, esta información es sustentada por la Municipalidad de Acosta con base en datos estadísticos de uso de las carreteras del cantón de Acosta.

3.3.5 Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de datos

Para la elaboración de este proyecto se utilizó el programa AutoCAD Civil 3D, el cual es una herramienta de gran utilidad ya que permite realizar el diseño vertical y horizontal, a través de una superficie en la cual se crea a través de los puntos que son generados a partir del levantamiento topográfico, el diseño geométrico busca la manera de representar las

elevaciones, calzada, aceras, cunetas, y entre otros elementos hidráulicos presentes en la carretera. Para la ubicación digital se utilizará el programa Google earth y Google Maps para el levantamiento topográfico se utilizó la estación total con el fin de obtener un estudio técnico descriptivo con el cual podemos examinar de manera minuciosa la superficie del terreno teniendo en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, así como el GPS, el cual nos brinda una localización por medio de coordenadas.

Para obtener el CBR se realizará pruebas de DCP, el cual se utiliza para evaluar la capacidad resistente de capas granulares de caminos, carreteras y pistas de aeropuertos, el cual el resultado del ensayo se expresa en mm de avance golpe en cada perforación. La norma ASTM recoge la formula $CBR = 292 / (DCP EXP1, 12)$, con DCP expresado en mm/golpe a partir del avance del penetrómetro, esta ecuación se utiliza para todo tipo de suelos, excepto suelos con $CBR < 10$ y suelos CH, que tienen otras fórmulas recomendadas en la norma. El ensayo permite detectar las diferentes capas existentes y asignar un valor índice CBR in situ a cada una.

Para la ejecución de la prueba mencionada anteriormente participé en la toma de datos, tal y como se muestra en las fotografías a continuación.

Ilustración 39. Fotografía #3



Fuente: Elaboración Propia - 30 de octubre del 2019

Ilustración 40. Fotografía #4



Fuente: Elaboración Propia - 30 de octubre del 2019

3.3.6 Ejes equivalentes

Es la cantidad de repeticiones del eje de carga equivalente de 18 kips (8.16 t, 80 kN) para un periodo determinado de vehículos de diseño, el cual se utiliza como parámetro de diseño del pavimento.

Para obtener los ejes equivalentes en este estudio la metodología se basa en la Guía AASHTO y en los datos establecidos para Costa Rica del Ministerio de Obras Públicas y Transportes con la siguiente fórmula.

Ecuación 24

$$ESAL = TPD * T * Tf * GY * D * L * 365$$

Ecuación 25

$$GY = \frac{(1 + r)^y - 1}{r}$$

TPD = Tránsito promedio diario.

T = Composición vehicular.

Tf = Factor camión.

D = Factor de distribución por dirección.

L = Factor de distribución por carril.

GY = Tasa de crecimiento total para la cantidad de años de diseño.

365 = corresponde a un año.

r = tasa de crecimiento anual.

y = Vida útil del periodo de diseño.

Según el informe emitido por la Unidad de Gestión Municipal LanammeUCR, el cual se registra como: Propuesta para una guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirígidos, (2016), establece que el rango Ejes equivalentes (ESALS) por considerar en

un diseño tanto de pavimentos flexibles como rígidos en una carretera de bajo volumen es de 50 000 a 2 000 000, así mismo dicho informe menciona los valores recomendados para la confiabilidad de este tipo de carreteras los cuales son 50% o 75%.

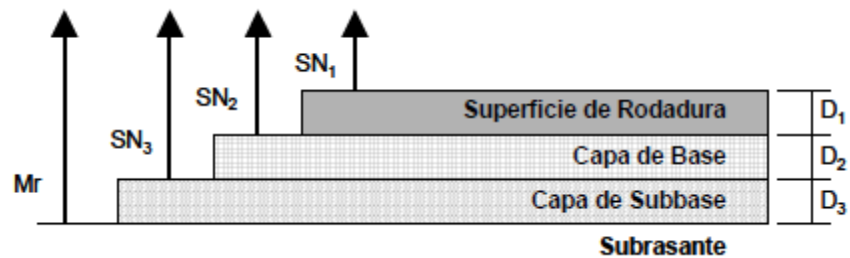
3.3.7 Diseño de espesores de la capa asfáltica

Tabla 28. Espesores mínimos de pavimentos flexibles.

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 - 15,000	5.0 cm	10 cm
150,000 - 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 - 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 - 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

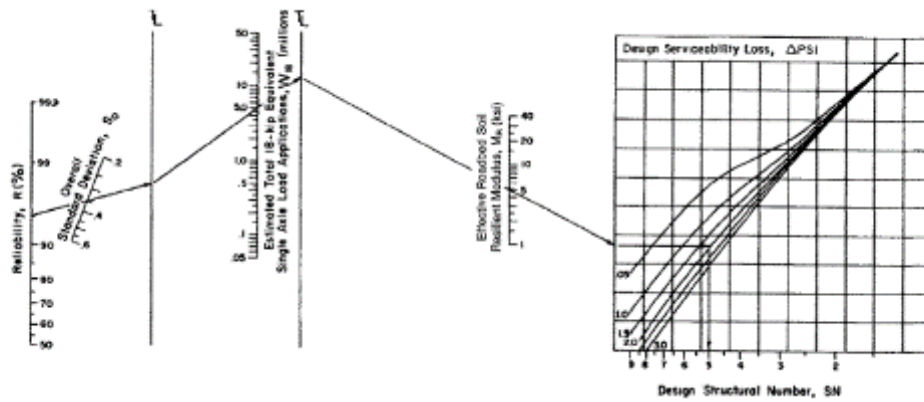
Fuente: Guía para el diseño de pavimentos AASHTO 1993

Ilustración 41. Espesores mínimos en función del número estructural SN



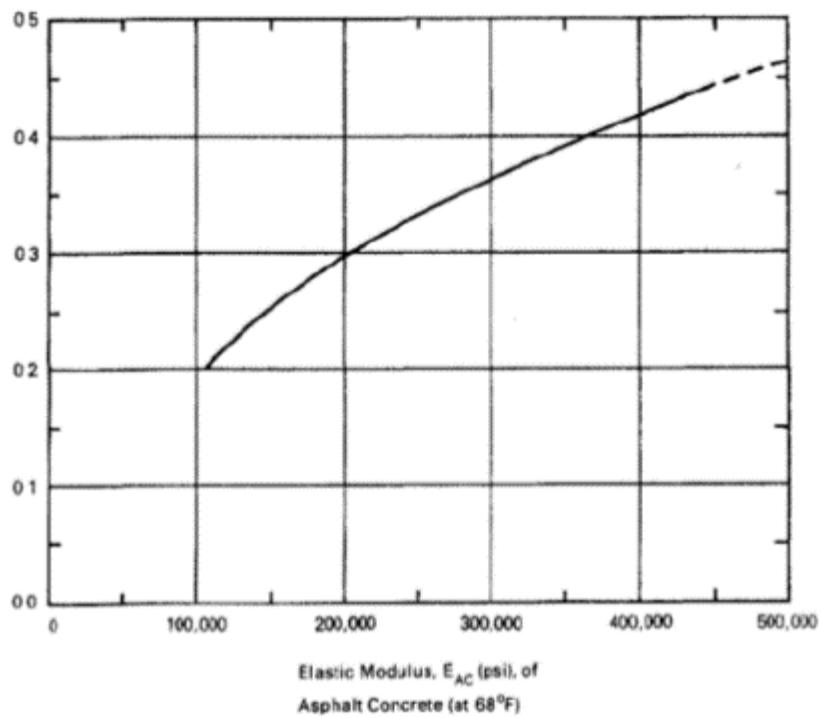
Fuente: (Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, 2002, pág. 8)

Ilustración 42. Grafico Nomograma para determinar número estructural.



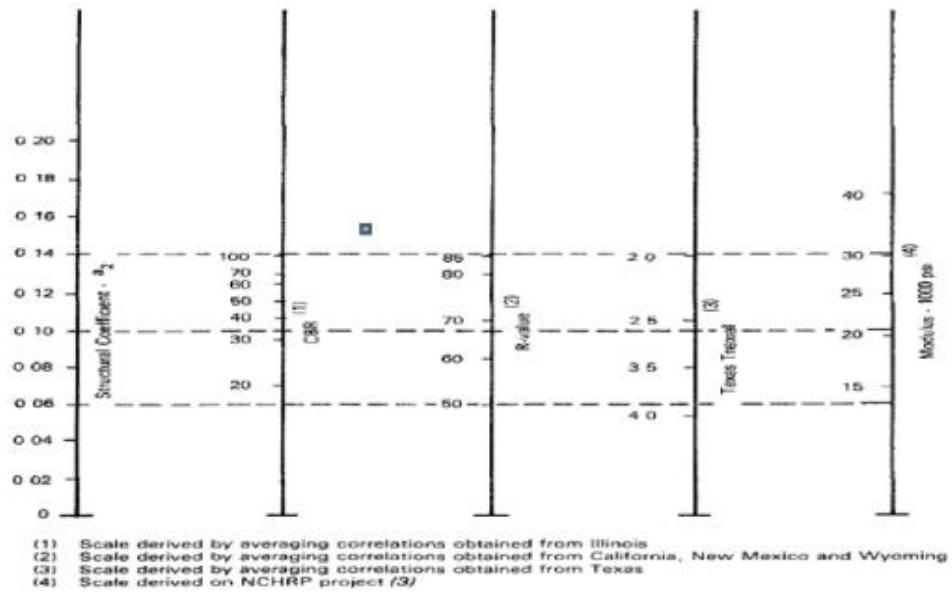
Fuente: Guía para el diseño de pavimentos AASHTO 1993

Ilustración 43. Grafico Coeficiente estructural a_1 para la superficie de capa asfáltica.



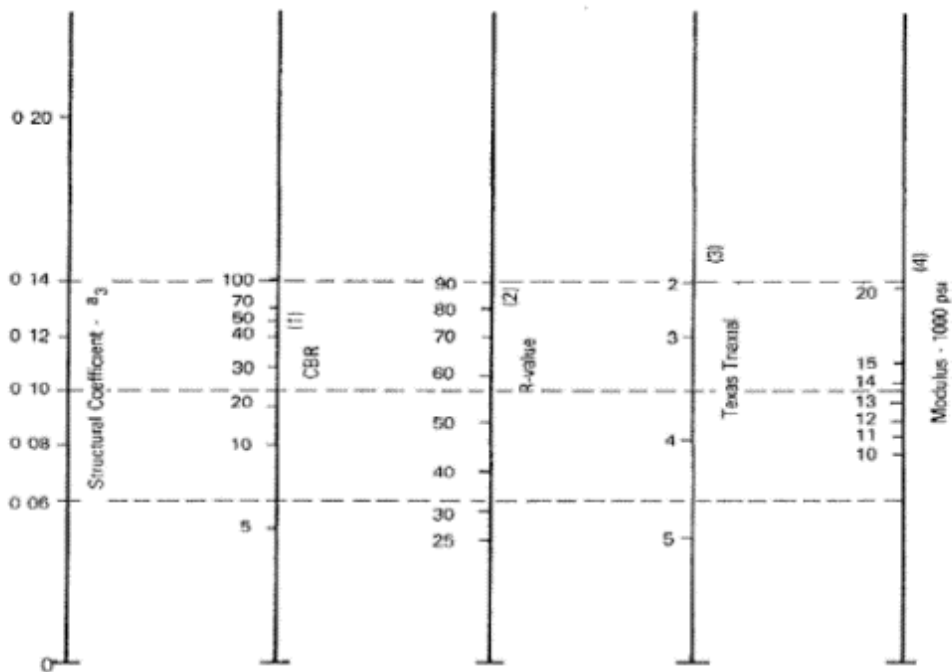
Fuente: Guía para el diseño de pavimentos AASHTO 1993.

Ilustración 44. Gráfico Coeficiente estructural a2 para la superficie de capa base.



Fuente: Guía para el diseño de pavimentos AASHTO 1993.

Ilustración 45. Gráfico Coeficiente estructural a3 para la superficie de capa de subbase.



Fuente: Guía para el diseño de pavimentos AASHTO 1993.

Ecuación 26

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

En donde:

a_1, a_2, a_3 : son los coeficientes estructurales o de capa, de la superficie de rodadura, base y subbase respectivamente.

m_2, m_3 : son los coeficientes de drenaje para base y subbase.

D_1, D_2, D_3 : son los espesores de cada capa en pulgadas para la superficie de rodadura, base y subbase respectivamente.

Se establecen las siguientes condiciones.

Ecuación 27

$$D_1 \geq SN_1 / a_1$$

Ecuación 28

$$D_2 \geq SN_2 - SN_1 / a_2 * m_2$$

Ecuación 29

$$D_3 \geq SN_3 - SN_2 - SN_1 / a_3 * m_3$$

Tabla 29. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
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 pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Guía para el diseño de pavimentos AASHTO 1993.

4 Análisis de Resultados

4.1 Análisis del diseño Geométrico Vertical y Horizontal

Para realizar el diseño geométrico es de importancia establecer el tipo de carretera o su clasificación de acuerdo con sus características o funciones para así tener en cuenta las consideraciones correspondientes a la hora del realizar el diseño, ya que cada carretera depende de algunos factores según clasificación como se establece en el apartado 2.1.1 del presente documento.

Para el diseño geométrico, se tomaron en cuenta ciertos parámetros, normas y fundamentos lo cuales están establecidos en el presente documento, de los cuales fueron esenciales para poder realizar dicho diseño mediante la herramienta AutoCAD CIVIL 3D 2020.

4.1.1 Velocidad de diseño

La carretera Breñón se clasifica como una carretera cantonal de orden vecinal la cual está ubicada en una zona montañosa, por lo que teniendo en cuenta las características de la zona se establece una velocidad mínima de diseño de 20km/h.

4.1.2 Radio mínimo

Para determinar el radio mínimo se determinó mediante la tabla #10, la cual establece un valor de radio mínimo de 7 metros para una velocidad de diseño de 20km/h con una pendiente máxima de 8%. En la tabla que se presenta a continuación se detallan las curvas horizontales.

4.1.3 Alineamiento Vertical y Horizontal

El alineamiento vertical y horizontal se estableció desde la estación 0+000 a la estación 1+400 con la topografía respectiva de la zona, en la que se aprecia un terreno bastante ondulado y con pendientes considerables para el desarrollo de la rasante.

4.1.4 Pendiente máxima y mínima para curvas verticales

Parte de las implicaciones que se tiene en realizar un diseño geométrico en terrenos montañosos y quebrados, son las pendientes, ya que estas obligan a que los vehículos pesados y livianos transiten a velocidades sostenidas, generando movimientos de tierra considerables y provocando dificultades en el trazado y en la explanación, por lo cual el trazado de la rasante se debe realizar teniendo en cuenta las pendientes de diseño las cuales son establecidas por Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, (2011) donde la pendiente mínima de diseño es de 5% ya que esta pendiente asegura el escurrimiento de aguas sobre la superficie de riego y cunetas, para la pendiente máxima según la tabla #15 se establece un valor máximo de 17%, en algunos casos se permite hasta el 20% como máximo, estos valores se utilizan para emplear los criterios de diseño a la hora de crear la rasante en el programa AutoCAD Civil 3D.

4.1.5 Curvas Horizontales

Debido a la zona en la que se encuentra la carretera se ha tenido que ajustar el diseño al radio mínimo en algunas curvas, ya que el espacio es meramente reducido, ya que la topografía existente no permite establecer un radio de giro mayor o ampliar el espacio en dichas curvas, cabe mencionar que debido a la zona y al tipo del terreno se ha generado gran cantidad de curvas, de las cuales en la tabla que se presenta a continuación se detallan algunas características de ellas.

Tabla 30. Datos y elementos de Curvas Horizontales.

Carretera Breñón - Elementos de Curvas Horizontales						
Numero	Longitud	Radio	Dirección	Delta	Estación Inicial	Estación Final
C1	5.001m	20.000m	350° 09' 55.05"	014.3260 (d)	0+008.64m	0+013.64m
C2	11.521m	7.167m	029° 03' 13.30"	092.1028 (d)	0+026.76m	0+038.28m
C3	11.380m	7.000m	121° 40' 48.85"	093.1502 (d)	0+038.28m	0+049.67m
C4	5.459m	14.000m	157° 05' 07.71"	022.3398 (d)	0+069.13m	0+074.59m
C5	22.530m	15.000m	102° 53' 10.32"	086.0588 (d)	0+082.89m	0+105.42m
C6	12.578m	15.000m	083° 52' 42.89"	048.0435 (d)	0+119.00m	0+131.58m
C7	20.494m	8.504m	038° 51' 49.69"	138.0731 (d)	0+155.17m	0+175.67m
C8	8.461m	9.000m	302° 53' 45.39"	053.8626 (d)	0+212.37m	0+220.83m
C9	12.953m	11.000m	309° 41' 59.24"	067.4703 (d)	0+244.59m	0+257.55m
C10	7.425m	34.000m	349° 41' 29.23"	012.5130 (d)	0+257.60m	0+265.02m
C11	4.101m	20.000m	001° 49' 22.01"	011.7496 (d)	0+273.65m	0+277.76m
C12	29.922m	33.142m	033° 33' 42.88"	051.7286 (d)	0+277.76m	0+307.68m
C13	19.250m	30.000m	077° 48' 30.64"	036.7646 (d)	0+393.85m	0+413.10m
C14	27.792m	30.000m	069° 39' 05.76"	053.0784 (d)	0+435.89m	0+463.68m
C15	16.494m	27.000m	025° 36' 40.50"	035.0023 (d)	0+464.01m	0+480.51m
C16	6.352m	50.000m	004° 28' 14.74"	007.2787 (d)	0+520.28m	0+526.63m
C17	12.880m	30.000m	348° 31' 55.03"	024.5989 (d)	0+543.93m	0+556.81m
C18	19.059m	52.000m	346° 43' 57.04"	021.0001 (d)	0+561.93m	0+580.98m
C19	50.385m	62.000m	020° 30' 48.41"	046.5618 (d)	0+633.14m	0+683.53m
C20	36.743m	45.608m	020° 42' 54.82"	046.1583 (d)	0+698.04m	0+734.78m
C21	13.397m	42.194m	348° 32' 24.75"	018.1918 (d)	0+746.23m	0+759.63m
C22	17.739m	15.000m	013° 19' 26.60"	067.7595 (d)	0+759.63m	0+777.37m
C23	5.186m	10.845m	033° 30' 11.04"	027.4015 (d)	0+777.37m	0+782.55m
C24	6.763m	30.000m	013° 20' 39.38"	012.9161 (d)	0+803.94m	0+810.71m
C25	22.885m	41.000m	350° 53' 45.57"	031.9804 (d)	0+830.55m	0+853.43m
C26	17.840m	20.000m	000° 27' 32.84"	051.1067 (d)	0+858.49m	0+876.33m
C27	21.881m	25.000m	051° 05' 10.87"	050.1478 (d)	0+910.57m	0+932.45m
C28	54.677m	77.000m	055° 49' 03.70"	040.6851 (d)	0+963.79m	1+018.46m
C29	26.366m	60.000m	048° 03' 49.68"	025.1773 (d)	1+041.53m	1+067.90m
C30	2.761m	41.000m	062° 34' 52.98"	003.8579 (d)	1+099.12m	1+101.88m
C31	5.715m	41.000m	068° 30' 12.46"	007.9863 (d)	1+120.88m	1+126.60m
C32	5.434m	50.000m	069° 22' 58.40"	006.2274 (d)	1+152.41m	1+157.84m
C33	12.545m	55.000m	072° 48' 11.90"	013.0683 (d)	1+195.90m	1+208.45m
C34	11.792m	68.000m	084° 18' 19.44"	009.9359 (d)	1+282.43m	1+294.22m
C35	6.426m	20.000m	098° 28' 41.29"	018.4095 (d)	1+294.34m	1+300.76m

C36	3.750m	7.359m	122° 16' 56.83"	029.1991 (d)	1+304.96m	1+308.71m
C37	6.947m	7.653m	162° 53' 21.37"	052.0145 (d)	1+308.71m	1+315.65m
C38	6.405m	15.000m	201° 07' 43.97"	024.4647 (d)	1+329.87m	1+336.27m
C39	8.990m	74.151m	216° 50' 04.48"	006.9467 (d)	1+337.45m	1+346.44m
C40	13.606m	7.000m	164° 37' 26.66"	111.3677 (d)	1+346.70m	1+360.31m
C41	8.718m	7.290m	074° 40' 52.14"	068.5181 (d)	1+360.42m	1+369.14m
C42	15.544m	25.000m	058° 14' 02.21"	035.6237 (d)	1+387.13m	1+402.67m
C43	6.072m	15.000m	064° 26' 55.00"	023.1944 (d)	1+408.85m	1+414.92m

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.1.6 Curvas Verticales

De la propuesta de la rasante se deben de tener en cuenta los criterios de adelantamiento y parada los cuales rigen para las curvas verticales y consideran los factores mínimos de k que son basados en la norma AASHTO, (1993) que se establecen para las curvas tipo de cresta o columpio.

Teniendo en cuenta la velocidad de diseño de 20 km/h la distancia de visibilidad de adelantamiento en curvas tipo crestas del factor k mínimo es de 17 según la tabla #11. Así mismo manteniendo una velocidad de diseño de 20 km/h la distancia de visibilidad de parada según la tabla #11 el factor k mínimo es de 1.

En las vueltas tipo columpio el factor mínimo de k es de 3 según la tabla #13 la cual se rige por la velocidad de diseño, la cual en este caso es de 20 km/h.

En la tabla que se muestra a continuación se muestra a un breve resumen de cada curva vertical, con sus respectivos radios, valores de k, tipo de curva y longitud de ellas.

Tabla 31. Datos y elementos de Curvas Verticales

Carretera Breñón - Elementos de Curvas Verticales							
Numero	Estación PIV	Elevación PVI	Pendiente	Tipo de curva	Radio	Longitud	K diseño
C1	0+059.69m	275.174m	-12.08%	Columpio	300.000m	10.487m	3.000
C2	0+178.48m	264.973m	-8.59%	Cresta	1700.000m	66.511m	17.000
C3	0+282.26m	252.000m	-12.50%	Cresta	2790.161m	67.723m	27.902
C4	0+691.48m	190.913m	-14.93%	Columpio	3267.715m	181.994m	32.677
C5	0+950.04m	166.718m	-9.36%	Cresta	1700.000m	167.836m	17.000
C6	1+387.91m	82.512m	-19.23%	Columpio	315.753m	19.825m	3.158

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.1.7 Dimensiones del carril

Debido a las características de la zona donde se encuentra el proyecto y por la topografía del terreno se propone un ancho de carril de 2.5 metros, ya que la topografía no permite extender más el ancho del carril y se debe tener en cuenta el espacio requerido por los medios canalizadores de agua en cual en este caso son cunetas. Según el manual del SIECA, (2011) el ancho mínimo recomendado para carreteras rurales o urbanas debe ser 3.6 metros, pero de acuerdo con las implicaciones mencionadas anteriormente y teniendo en cuenta el Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de tránsito, (2008) donde se establece que para una región montañosa el ancho de una carretera debe ser de 5 metros como mínimo, por lo que se utilizó el valor mínimo de diseño.

Parte de las implicaciones que se tiene al diseñar una carretera en una región montañosa con un ancho de carril de 2.5 metros es que para los vehículos tipo tendrá que disminuir la velocidad y aorillarse para poder permitir el libre tránsito vehicular en caso de que se tope otro vehículo, ya sea acendiendo o decendiendo. Otra de las limitaciones que tiene esta carretera es que los vehículos articulados tipo T3-S2 no podrán circular por esta carretera, ya que no cumplen con el radio mínimo de diseño, estas limitaciones se presentan de acuerdo con que la zona en

cuestión y a topografía no permite extender el espacio para que este tipo de vehículos realice dicha maniobra sin interferir en la maniobra de otros vehículos.

4.2 Análisis del diseño de pavimentos

El diseño del pavimento se realizó utilizando la metodología y norma ASSHTO 1993, la cual es comúnmente utilizada en Costa Rica, esta norma contiene los requerimientos mínimos y máximos que se deben de tener en cuenta para poder realizar un diseño de un pavimento.

4.2.1 Estudio de suelos

El estudio de suelos realizado por la Municipalidad de Acosta determinó una subrazante con una serie de valores de CBR los cuales dichos valores se presentarán más adelante, en la ilustración que se presenta a continuación se muestra la ubicación de las pruebas de DCP realizadas en el camino Breñón para la obtención de CBR.

Ilustración 46. Ubicación de ensayos DCP



Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial, Municipalidad de Acosta.

Debido a la gran variación geotécnica a lo largo del camino, se secciona el camino en cuatro tramos que presentan condiciones similares. De seguido se describen los resultados obtenidos para cada tramo junto con el modelo de capas equivalente. De igual manera en la tabla #31 que se presenta a continuación se indican las longitudes de cada tramo, los cuales se muestran en la ilustración #47.

Tabla 32. Longitudes de tramos definidos.

Sección	Longitud (m)
Tramo 1	227
Tramo 2	100
Tramo 3	571
Tramo 4	486

Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial, Municipalidad de Acosta.

Ilustración 47. Tramos del camino.



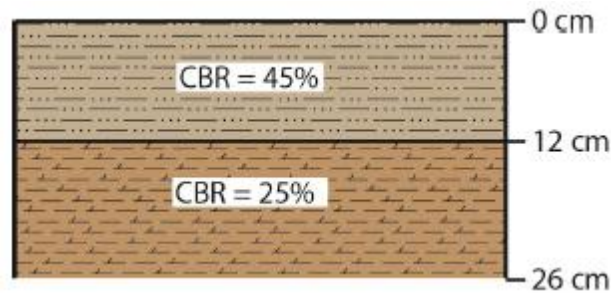
Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial, Municipalidad de Acosta.

Los valores que se presentan a continuación son los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas en campo en el cual establece un modelo de dos capas establecido por la Unidad técnica de Gestión Vial de la Municipalidad de Acosta para cada uno de los tramos mencionados anteriormente.

Tramo 1: Se ha determinado un modelo de dos capas para este tramo según se observa en la ilustración #48

- Capa 1: espesor de 12 cm con un CBR de 45%.
- Capa 2: espesor medido de 14 cm con un CBR de 25%.

Ilustración 48. Modelo de capas para el tramo 1.



Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial, Municipalidad de Acosta.

Tramo 2: Se ha determinado un modelo de dos capas para este tramo según se observa en la ilustración #49

- Capa 1: espesor de 4 cm con un CBR de 75%.
- Capa 2: espesor medido de 6 cm con un CBR > 100%.

Ilustración 49. Modelo de capas para el tramo 2



Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial, Municipalidad de Acosta.

Tramo 3: Se ha determinado un modelo de una única capa para este tramo según se observa en la ilustración #50

- Capa 1: espesor de 27 cm con un CBR de 40%.

Ilustración 50. Modelos de capa para el tramo 3

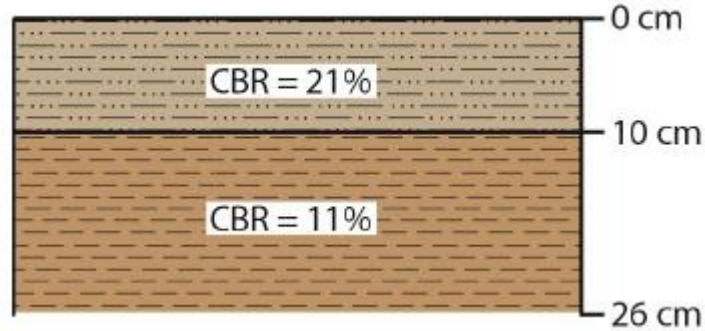


Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial, Municipalidad de Acosta.

Tramo 4: Se ha determinado un modelo de dos capas para este tramo según se observa en la ilustración #4

- Capa 1: espesor de 10 cm con un CBR de 21%.
- Capa 2: espesor medido de 16 cm con un CBR de 11%.

Ilustración 51. Modelo de capas para el tramo 4.



Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial, Municipalidad de Acosta.

4.2.2 Módulo de resiliencia de la subrazante

Teniendo los resultados correspondientes de CBR del camino Breñón se establece a determinar el módulo de resiliencia de la subrazante en cual se utiliza la fórmula de correlaciones establecida por la AASHTO, (1993) lo cual en dicha normas se establece que para determinar dicho módulo, se hace recomendación y queda a criterio del diseñador utilizar un CBR promedio o utilizar el valor menor de CBR de todas las pruebas realizadas para poder trabajar del lado de la seguridad y minimizar el error humano en la obtención de datos o pruebas realizadas a la hora de determinar dichos ensayos, con base en la recomendaciones establecidas por la norma mencionada anteriormente, para el diseño del pavimento se utiliza el CBR del tramo 4 de la segunda capa con un valor de CBR de 11% en el cual el módulo de resiliencia dio como resultado un valor de 11854 psi, anexos se adjuntan el informe de estudio de suelos.

4.2.3 Ejes equivalentes

Como se mencionó en el presente documento el realizar un conteo vehicular para obtener TPD y posteriormente obtener los ESALS no es viable debido al tipo de carretera, la cual es una carretera pavimentada rural de bajo tránsito vehicular por lo que como se muestra en la

tabla #26 según la norma para el Diseño de Pavimentos, (1993) muestra los valores para carreteras de bajo tránsito vehicular de los cuales los valores de ESALS oscilan entre los 50.000 y los 2.000.000 de ejes equivalentes los cuales son comúnmente utilizados en carreteras de bajo tránsito, con base en la investigación realizada por la Unidad de Gestión Municipal LanammeUCR, (2016) en donde se contabilizaron y se establecieron ESALS mínimos de diseño en distintas zonas del país, se propone utilizar un valor de ESALS de 1.5 millones de ejes equivalentes para así poder realizar el diseño del pavimento y poder tener más seguridad en el diseño. En el periodo de diseño de esta carretera es 10 de años.

Tabla 33. Valores para el cálculo de los números estructurales SN1, SN2 y SN3

DISEÑO DE PAVIMENTO METODO AASHTO 1993	
PROYECTO : CARRETERA BREÑON	TRAMO : LA PALMA - SABANILLAS
SECCION - : km 5+150 - km 6+650	FECHA : MARZO 2020
DATOS DE ENTRADA :	
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES	DATOS
A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (Psi)	450000
B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (Psi)	28500.00
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (Psi)	15000.00
D. CBR	11%
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE	
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	1500000
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	75%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-0.674
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, Psi)	11854
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	10
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO	
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)	0.44
Base granular (a ₂)	0.13
Subbase (a ₃)	0.108
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m ₂)	0.80
Subbase (m ₃)	0.80

Fuente: Elaboración propia, 2020

A partir de la tabla #30 se obtienen los valores de SN1 el cual corresponde al asfalto, SN2 base granular y SN3 sub base granular para así poder aplicar las fórmulas correspondientes y determinar los espesores del pavimento, esto con el fin de verificar si cumple con las

especificaciones mínimas para el diseño del pavimento, estos datos son obtenidos a partir de los gráficos que corresponden a la metodología ASSTHO 1993.

Tabla 34. Valores SNI, SN2 y SN3

DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :				
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN ₁)				2.74
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN ₁)				1.98
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN ₂)				2.52
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN ₃)				2.74

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.2.4 Espesores de la estructura de pavimento

Verificando en la tabla #28 podemos observar que tabla #35 las dimensiones de pavimentos cumplen con los espesores mínimos.

Tabla 35. Propuesta de dimensiones del pavimento.

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA				
		D TEORICO (IN)	D PROPUESTO (IN)	SN*
				D (CM)
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)		4.50	4.5	1.98
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)		5.11	6.0	0.63
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)		1.46	6.0	0.52
ESPESOR TOTAL (cm)			16.5	42

Fuente: Elaboración propia, 2020

4.2.5 Criterio de falla en el pavimento

Para determinar los criterios de falla del pavimento, se utiliza la herramienta y software Pitra Pave en el cual se establece un modelo de capas donde se determina las deformaciones críticas en el asfalto las cuales corresponden a la deformación por tensión y por compresión.

En la ilustración que se presenta a continuación se muestran dichas deformaciones las cuales proceden de la modulación del diseño del pavimento en el programa Pitra Pave.

Ilustración 52. Deformaciones en el pavimento.

Resultados del modelo en los puntos especificados:

Esfuerzos		Deformaciones		Deflexiones		
#	Exx (1)	Eyy (1)	Ezz (1)	Exy (1)	Exz (1)	Eyz (1)
1	3,0298e-04	2,1401e-04	-6,8350e-05	-3,2690e-20	1,3182e-35	7,1759e-20
2	2,6618e-04	5,5647e-07	-1,1982e-04	-6,5060e-20	2,4179e-35	0,0000e+00
3	-2,8526e-04	-2,0450e-04	2,4394e-04	2,9668e-20	-2,3870e-21	-1,2994e-05
4	-2,3660e-04	3,8474e-05	1,0636e-04	6,7374e-20	-3,3778e-21	0,0000e+00
5	-9,3171e-05	-7,6708e-05	2,3183e-04	6,0484e-21	-1,7657e-20	-9,6121e-05
6	-9,7553e-05	-8,6955e-05	2,4904e-04	2,5959e-21	-7,5977e-21	0,0000e+00

Fuente: Pitra Pave 2020.

4.2.5.1 Criterio de falla por fatiga

La ecuación para verificar y poder determinar si el diseño de asfalto correspondiente, es adecuado para que este cumpla con el criterio de falla por agrietamiento se determina mediante la ecuación que se presenta a continuación.

Ecuación 30

$$N_F = (1.0226 \times 10^{25}) \times \left[\frac{1}{\epsilon_t} \right]^{6.308} \times \left[\frac{1}{MR} \right]^{0.810}$$

En donde:

N_F = repeticiones de carga para la falla por fatiga, $N_F > ESALS$.

ϵ_t = deformación por tensión.

MR = módulo de resiliencia de asfalto en Mpa.

$$N_F = (1.0226 \times 10^{25}) \times \left[\frac{1}{285.26} \right]^{6.308} \times \left[\frac{1}{3100.5} \right]^{0.810}$$

$$N_F = 4.94 \times 10^6$$

$$N_F = 4.94 \times 10^6 > 1.5 \times 10^6 \text{ ESAL (Cumple)}$$

4.2.5.2 Criterio de falla por deformación

La ecuación para verificar y poder determinar si el diseño de asfalto correspondiente, es adecuado para que este cumpla con el criterio de falla por deformación se determina mediante la ecuación que se presenta a continuación.

Ecuación 31

$$N_R = (1.365 \times 10^{-9}) \times \left[\frac{1}{\epsilon_v} \right]^{4.477}$$

En donde:

N_R = capacidad de carga por deformación plástica de la subrazante, $N_R > \text{ESALS}$

ϵ_v = es la deformación por compresión.

$$N_R = (1.365 \times 10^{-9}) \times \left[\frac{1}{249.04 \times 10^{-6}} \right]^{4.477}$$

$$N_R = 1.85 \times 10^6$$

$$N_R = 1.85 \times 10^6 > 1.5 \times 10^6 \text{ ESAL (Cumple)}$$

El pavimento cumple por ambos deterioros.

4.3 Análisis hidrológico

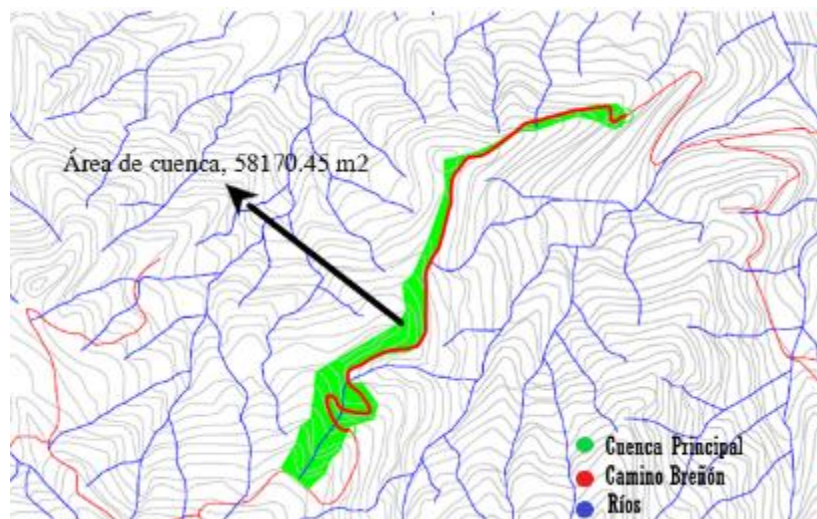
Para realizar y estimar el análisis hidrológico se utiliza el método racional el cual es comúnmente utilizado en Costa Rica para el diseño pluvial de aguas en carreteras, de la misma manera como se mencionó en el apartado 2.6.9.1 y basándonos en el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en

Centroamérica, (2016) el área de la cuenca en la que se puede utilizar el método racional debe ser menor a los 2.5 km².

4.3.1 Áreas Tributarias (Cuenca hidrográfica)

Utilizando la herramienta Google Earth, AutoCAD y ArcGIS se traza la cuenca principal, la cual presenta una área total de 58170.45 m², por lo que para este diseño se puede utilizar el método racional, cabe mencionar que para el trazado de la cuenca se utilizaron los datos de elevación que facilita dichos software y las curvas de nivel, esto para utilizarlo como referencia y establecer la dirección de la escorrentía para determinar el área tributaria principal, de igual forma se realizó una visita de campo a dicho proyecto, con el propósito de evaluar el escurrimiento o sentido o dirección en la que corre el agua en la zona, ya que al ser un sector con un relieve montañoso ondulado y no contar con medios canalizadores de aguas en tiempos de lluvia, provoca que se deba determinar una posible dirección o el paso del flujo del agua en dicha área. La visita al campo ayudó a afinar más la cuenca principal de influencia al proyecto para tener una visión más clara a la hora de trazar la cuenca, en la siguiente ilustración #52 se aprecia el área y delimitación de dicha cuenca.

Ilustración 53. Trazo de cuenca hidrológica principal.

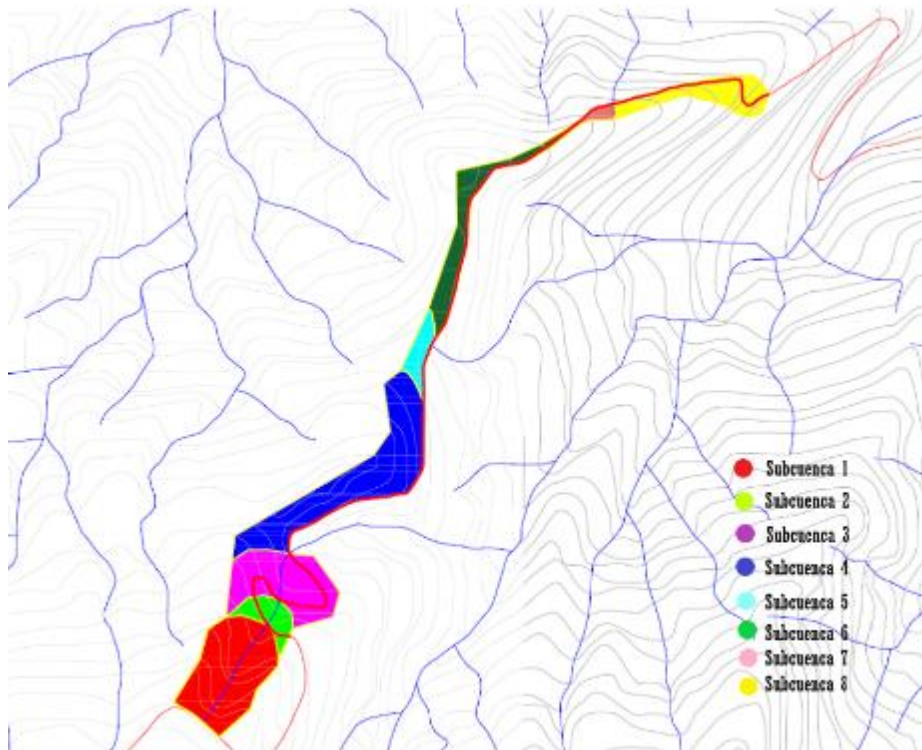


Fuente: Elaboración propia, 2020.

Delimitada la cuenca principal, se procede a subdividir en cuencas secundarias para así poder determinar de una manera más específica el área tributaria de cada pozo pluvial ya que teniendo estos datos se pueden generar de una forma más exacta la capacidad de los caudales, como se establecerá más adelante.

En la ilustración #53 que se presenta a continuación se muestran las subcuencas delimitadas basadas en la distribución de la zona y la esorrentía pluvial, esta delimitación se realizó con base en las curvas de nivel obtenidas de la zona donde se está realizando la propuesta de mejora.

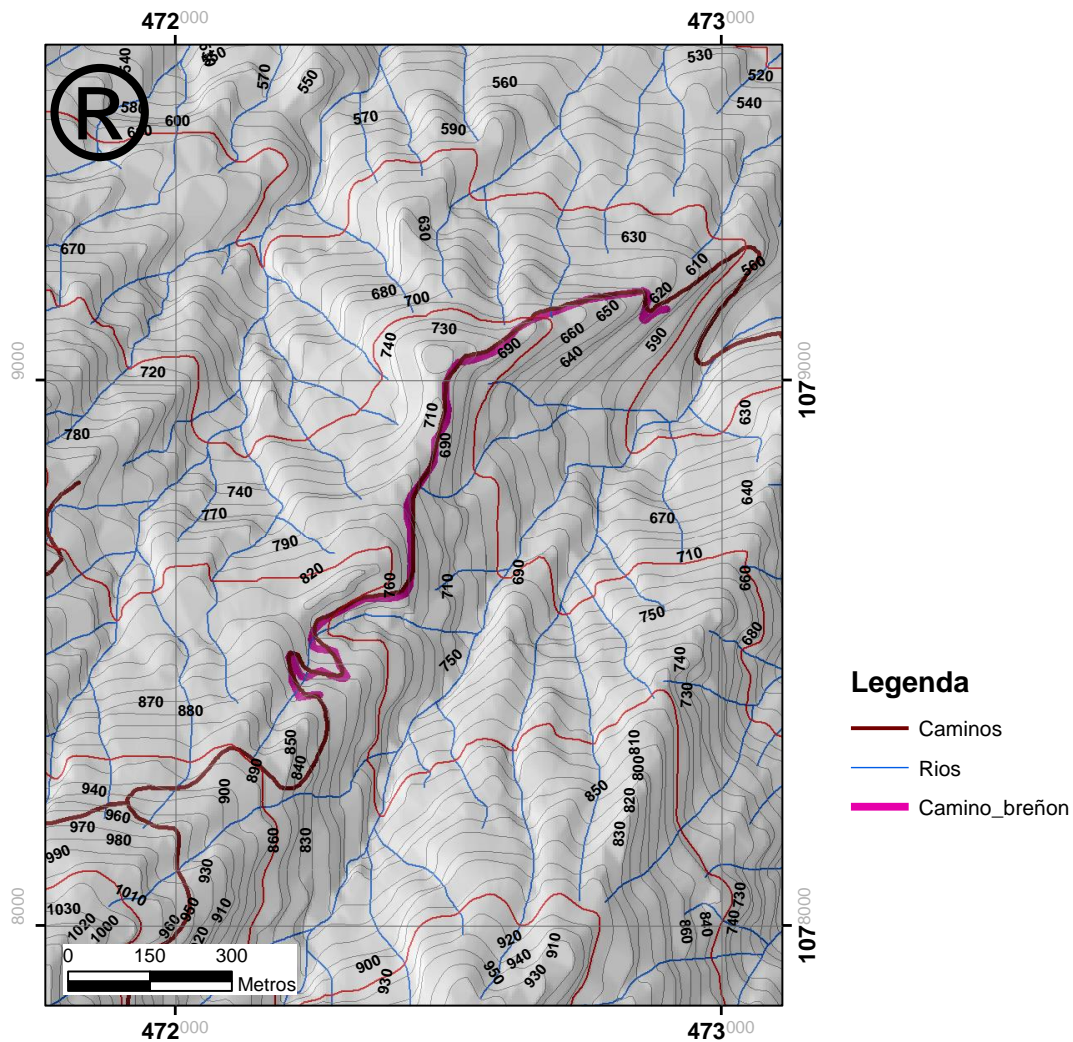
Ilustración 54. Trazo de Subcuencas hidrológica,



Fuente: Elaboración propia, 2020.

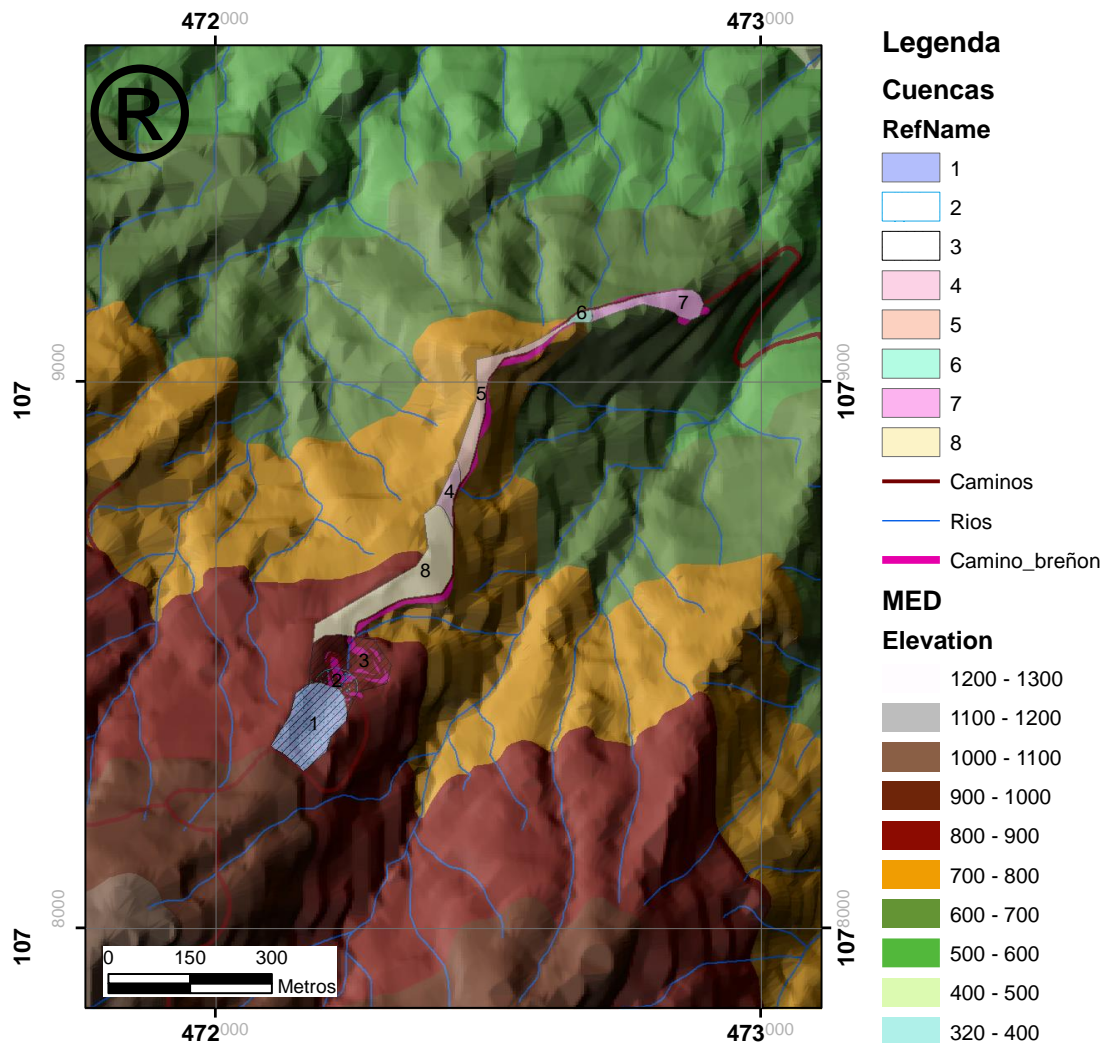
Para realizar un buen trazado de las cuencas se realizado en el software ArcGIS también, para así corroborar y establecer las elevaciones y tener más claro las elevaciones de la zona y así como su relieve, en la ilustración #54 que se presenta a continuación se denota las elevaciones y el relieve que esta presenta en la zona, también en la ilustración #55 se puede observar de una manera más clara el relieve de la zona y la delimitación de las subcuencas.

Ilustración 55. Elevaciones y relieve de la zona.



Fuente: ArcGIS 2020.

Ilustración 56. Relieve de la zona y delimitación de subcuencas.



Fuente: ArcGISz 2020.

En la tabla #33 se exponen una serie de información para cada una de las subcuencas, en la cual dicha información respalda valores tales como áreas, diferencias de altura entre en el punto más alto y el punto más bajo de la subcuenca (ΔH), longitud entre cada una de ellas (L) y pendiente de cada una de las subcuencas.

Tabla 36. Información de Subcuencas

Información de la Subcuencas						
Sub cuenca	Área (m²)	P.A (m)	P.B (m)	ΔH (m)	L (m)	Pendiente
1	13335.45	900	840	60	156.91	38%
2	16175.14	900	825	75	193.85	39%
3	26368.31	900	810	90	260.06	35%
4	16553.20	840	770	70	373.2	19%
5	2225.09	770	750	20	85.74	23%
6	6715.2674	750	710	40	369.01	11%
7	704.7383	710	695	15	51	29%
8	5603.8476	700	640	60	215.28	28%

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.3.2 Periodo de retorno

Para efectos de este proyecto y de acuerdo con la información recaudada se utilizará un periodo de diseño de 25 años, esto debido a la zona en la que se encuentra el proyecto y también por la intensidad de lluvia, ya que, en Costa Rica, usualmente se utiliza este valor en este tipo de diseños.

4.3.3 Tiempo de concentración

Como se describe en el apartado 2.6.9.1, en el cual se especifican una serie de factores los cuales conforman la ecuación general del método racional, y entre ellas también presente la ecuación de Kirpich – Ramser para el cálculo del tiempos de concentración de cada cuenca, tomando en cuenta la especificación de Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, donde el Tc mínimo para el diseño debe ser de 10 minutos, en este caso los tiempos calculados de concentración, están muy debajo del mínimo, en la tabla que presenta a continuación se presentan los tiempos de concentración calculados mediante la ecuación mencionada anteriormente.

Tabla 37. Tiempos de concentración para cada subcuenca

Tiempo de concentración	
Subcuenca	Tc (minutos)
1	1.38
2	1.62
3	2.12
4	3.55
5	1.05
6	4.35
7	0.64
8	2.00

Fuente: elaboración propia, 2020.

Como se observa en la tabla anterior #34 los resultados obtenidos los cuales corresponden a los tiempos de concentración para cada una de las subcuencas no cumplen con el mismo valor de tiempo de concentración, ya que todos están por debajo de los 10 minutos, debido a esta condición se utiliza un tiempo de concentración de 10 minutos el cual rige según las especificaciones dadas por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

4.3.4 Intensidad de lluvia.

La intensidad de lluvia de se determinó utilizando la estación meteorológica 88-35 Frailes, del libro de Curvas de Intensidad de Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas, (2011) la cual está ubicada en la provincia de San José, se seleccionó esta estación ya que esta es la más cercana a la zona donde se está realizando la propuesta y también por la cantidad de años que posee de registro, la distancia de la estación 88-35 al proyecto Breñón es de al menos 11 km aproximadamente.

A partir de la estación 88-35, se aplica la siguiente ecuación para determinar la intensidad de lluvia.

$$I = 610.71 * \frac{T^{0.137}}{D^{0.777}}$$

En donde:

T: es el periodo de retorno.

D: es el tiempo de concentración.

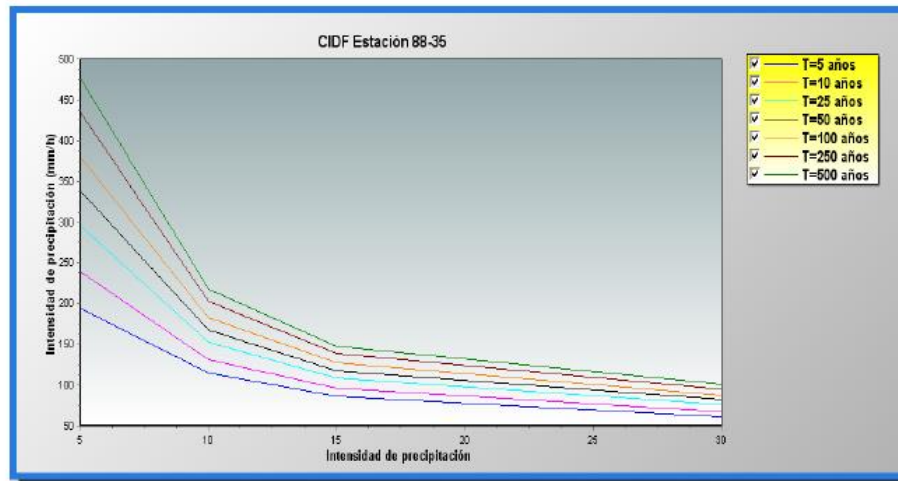
Dicha ecuación permite calcular la intensidad de lluvia con condiciones determinadas, esto quiere decir que se puede determinar la intensidad de lluvia evaluando cualquier valor determinado de tiempo de concentración y periodo de retorno. A continuación, se presenta la tabla de intensidades y las curvas IDF para la estación 88-35 Frailes.

Tabla 38. Intensidades de precipitación máxima (mm/h) por duración y periodo de retorno.

Intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno (mm/hr)							
Duración (min)	T 5	T 10	T 25	T 50	T 100	T 250	T 500
5	193,96	238,93	295,76	337,91	379,76	434,85	476,45
10	115,50	131,84	152,50	167,82	183,02	203,05	218,17
15	86,88	96,63	108,95	118,09	127,16	139,11	148,13
30	61,85	68,14	76,09	81,98	87,84	95,54	101,36

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, (2011)

Ilustración 57. Curvas IDF, estación 88-35 Frailes



Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, (2011)

Para poder determinar la intensidad de lluvia de cada una de las cuencas se utiliza el tiempo de concentración de 10 minutos ya que en la tabla #34 ninguno cumplió con el mínimo establecido, para el periodo de retorno se determinó valor de 25 años tal y como se menciona en la sección 4.3.2, a continuación, en la tabla # 36 se muestran los datos de intensidades para cada subcuenca utilizando la ecuación #39 que se expone en esta sección.

Tabla 39. Intensidades de lluvia.

Intensidad de lluvia.			
Subcuenca	Tc (minutos)	Periodo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)
1	10	25	158.62
2	10	25	158.62
3	10	25	158.62
4	10	25	158.62
5	10	25	158.62
6	10	25	158.62
7	10	25	158.62
8	10	25	158.62

Fuente: Elaboración propia, 2020.

A partir de los cálculos generados para obtener la intensidad de lluvia se determinó una intensidad de 158.62 mm/h para el diseño pluvial, manteniendo un periodo de diseño de 25 años.

4.3.5 Coeficiente de escorrentía ponderado

Para calcular el coeficiente de escorrentía, se debe calcular de manera ponderada, haciendo uso de la tabla #19 de coeficientes de escorrentía de la Norma técnica para el Diseño y Construcción de Sistemas de abastecimiento de agua potable, saneamiento y pluvial, (2017) recomendados para el diseño y cálculo del método racional.

En este proceso se determina el área total de cada subcuenca sumando las áreas de cobertura correspondientes de la zona en cuestión, para así posteriormente dividir cada una de ellas en el área total de la cuenca y poder obtener el porcentaje correspondiente, seguidamente se brinda el coeficiente de escorrentía correspondiente a cada cobertura, de las cuales son viviendas, pastizales, vialidad y bosque (árboles).

En las siguientes tablas se muestra las áreas de cobertura y el valor obtenido de coeficiente de escorrentía ponderado para cada una de las subcuencas.

Tabla 40. Cálculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuenca #1.

COEFICIENTE Ponderado DE ESCORRENTIA SUBCUENCA 1				
Área de la cuenca en m²	13335.45			
Cobertura	Áreas (m²)	Área en %	C	A*C
Área total (viviendas)	168.00	1%	0.88	0.011
Área total de Pastizales	11850.70	89%	0.46	0.409
Área total de Vialidad	0.00	0%	0.86	0.000
Área total de Bosque	1316.74	10%	0.45	0.044
TOTAL		1.0	Coeficiente ponderado.	0.46

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 41. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuenca #2.

COEFICIENTE PODERADO DE ESCORRENTIA SUBCUENCA 2				
Área de la cuenca en m2	2839.69			
Cobertura	Áreas (m2)	Área en %	C	A*C
Área total (viviendas)	168.00	6%	0.88	0.052
Área total de Pastizales	267.17	9%	0.46	0.043
Área total de Vialidad	0.00	0%	0.86	0.000
Área total de Bosque	2404.52	85%	0.45	0.381
TOTAL		1.0	Coeficiente ponderado.	0.48

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 42. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuenca #3.

COEFICIENTE PODERADO DE ESCORRENTIA Subcuenca 3				
Área de la cuenca en m2	10193.17			
Cobertura	Áreas (m2)	Área en %	C	A*C
Área total (viviendas)	336.00	3%	0.88	0.029
Área total de Pastizales	4241.09	42%	0.46	0.191
Área total de Vialidad	1375.00	13%	0.86	0.116
Área total de Bosque	4241.09	42%	0.45	0.187
TOTAL		1.0	Coeficiente ponderado.	0.52

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 43. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuenca #4.

COEFICIENTE PODERADO DE ESCORRENTIA Subcuenca 4				
Área de la cuenca en m2	16553.20			
Cobertura	Áreas (m2)	Área en %	C	A*C
Área total (viviendas)	168.00	1%	0.88	0.009
Área total de Pastizales	731.76	4%	0.46	0.020
Área total de Vialidad	1750.00	11%	0.86	0.091
Área total de Bosque	13903.44	84%	0.45	0.378

TOTAL	1.0	Coefficiente ponderado.	0.50
--------------	------------	--------------------------------	-------------

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 44. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuenca #5.

COEFICIENTE PODERADO DE ESCORRENTIA Subcuenca 5				
Área de la cuenca en m2	2225.09			
Cobertura	Áreas (m2)	Área en %	C	A*C
Área total (viviendas)	168.00	8%	0.88	0.066
Área total de Pastizales	1366.02	61%	0.46	0.282
Área total de Vialidad	450.00	20%	0.86	0.174
Área total de Bosque	241.06	11%	0.45	0.049
TOTAL			1.0	Coefficiente ponderado.
				0.57

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 45. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuenca #6.

COEFICIENTE PODERADO DE ESCORRENTIA Subcuenca 6				
Área de la cuenca en m2	6715.27			
Cobertura	Áreas (m2)	Área en %	C	A*C
Área total (viviendas)	1008.00	15%	0.88	0.132
Área total de Pastizales	3214.93	48%	0.46	0.220
Área total de Vialidad	1925.00	29%	0.86	0.247
Área total de Bosque	567.34	8%	0.45	0.038
TOTAL			1.0	Coefficiente ponderado.
				0.64

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 46. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuenca #7.

COEFICIENTE PODERADO DE ESCORRENTIA Subcuenca 7				
Área de la cuenca en m2	704.74			
Cobertura	Áreas (m2)	Área en %	C	A*C
Área total (viviendas)	0.00	0%	0.88	0.000

Área total de Pastizales	227.37	32%	0.46	0.148
Área total de Vialidad	250.00	35%	0.86	0.305
Área total de Bosque	227.37	32%	0.45	0.145
TOTAL		1.0	Coficiente ponderado.	0.60

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 47. Calculo de coeficiente ponderado de escorrentía para el diseño de alcantarillado pluvial subcuena #8.

COEFICIENTE PODERADO DE ESCORRENTIA Subcuena 8				
Área de la cuenca en m2	5603.85			
Cobertura	Áreas (m2)	Área en %	C	A*C
Área total (viviendas)	504.00	9%	0.88	0.079
Área total de Pastizales	562.48	10%	0.46	0.046
Área total de Vialidad	1350.00	24%	0.86	0.207
Área total de Bosque	3187.37	57%	0.45	0.256
TOTAL		1.0	Coficiente ponderado.	0.59

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.3.6 Calculo de caudales

Para el cálculo de caudal se utilizó el método racional. En la siguiente tabla se muestran los caudales de diseño, según cada subcuena, estos caudales son generados en los pasos de agua ya existentes, así como los puntos bajos de las líneas divisorias entre cada subcuenas.

Tabla 48. Calculo del caudal de diseño.

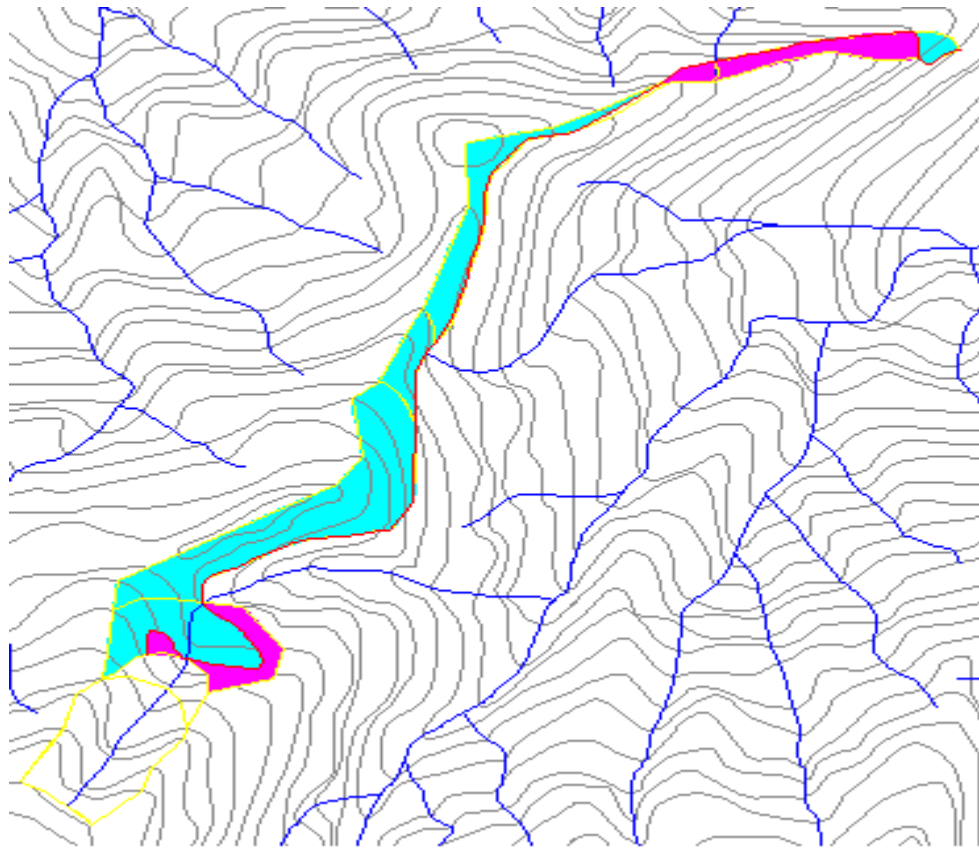
Caudal de diseño			
Subcuena	C	Q (m3/s)	Q (l/s)
1	0.46	0.273	272.81
2	0.48	0.340	339.51
3	0.52	0.608	608.37
4	0.50	0.363	363.32
5	0.57	0.056	56.03

6	0.64	0.188	188.43
7	0.60	0.019	18.59
8	0.59	0.145	145.29

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para el análisis hidráulico de las cunetas se determina el área tributaria de cada una de las subcuencas a la carretera, es decir; el área de influencia del lado derecho de la vía, y el área de influencia del lado izquierdo de la vía, esto con el objetivo de poder determinar o proponer el área de la sección de la cuneta que pueda ser capaz de sobrellevar el caudal generado a partir del método racional. De las Sub cuencas 1 y 2 el caudal de diseño se toma en cuenta únicamente para definir y diseñar el paso de la tubería transversal en el estacionamiento 0+097 que está dentro de la subcuenca 2 y el paso transversal en el estacionamiento 0+259 que corresponde al caudal acumulado de las subcuencas 1, 2 y 3.

En siguiente ilustración se muestra la carretera con una línea de color rojo, y las áreas tributarias de cada lado de la vía, en donde el color cian representa las áreas del lado izquierdo y el color magenta representa el área tributaria del lado derecho de la vía, desde el estacionamiento 0+000 al estacionamiento 1+420, cabe mencionar que la mayor zona de influencia está del lado izquierdo en sentido norte Sur.

Ilustración 58. Áreas tributarias de cunetas

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para determinar el caudal que transita en las cunetas, se fracciona las subcuencas para determinar las áreas tributarias a estas, es decir de los caudales generados en la tabla #41 se determina cuanto de ese caudal se distribuye en el lado derecho y el lado izquierdo.

En la tabla #42 se muestra la ubicación y las áreas correspondientes para determinar el caudal que conduce a las cunetas, también se muestra las longitudes entre los pasos transversales los cuales corresponden columna Estación F, estos pasos fueron creados naturalmente por el paso de la escorrentía. En la estación 0+760 hay un cambio de dirección del agua producto de una intersección, respetando los pasos o salidas de agua naturales se pretende no alterar

las direcciones del agua, ya que esto puede causar problemas para los dueños de las propiedades adyacentes a la carretera.

Tabla 49. Información y ubicación de áreas tributarias de cunetas

Información y ubicación de áreas tributarias de cunetas					
Subcuenca	Estación I	Estación F	Longitud (l)	Área izquierda	Área derecha
3	0+000	0+097	97.00	3971.48m ²	540.42 m ²
	0+097	0+256	159.00	2819.84 m ²	2864.18 m ²
4	0+256	0+400	144.00	6650.93 m ²	-
	0+400	0+625	225.00	9884.99 m ²	-
5	0+625	0+715	90.00	2226.12 m ²	-
6	0+715	0+760	45.00	1611.23 m ²	-
	0+760	0+925	165.00	3522.77 m ²	-
	0+925	1+100	175.00	1654.35 m ²	-
7	1+100	1+151	51.00	-	704.8 m ²
8	1+151	1+350	199.00	-	3481.72 m ²
	1+350	1+420	70.00	869.68 m ²	-

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para determinar los caudales, se utiliza el método racional, con los valores de intensidad y coeficiente de escorrentía calculados anteriormente, en la tabla que se muestra a continuación se muestran los resultados correspondientes.

Tabla 50. Caudales de diseño para cunetas.

Caudales de diseño para cunetas.						
Subcuenca	Estación Inicial	Estación Final	Q izquierdo (m³/s)	Q derecho (m³/s)	Q izquierdo (l/s)	Q derecho (l/s)
3	0+000	0+097	0.092	0.012	91.63	12.47
	0+097	0+256	0.065	0.066	65.06	66.08
4	0+256	0+400	0.146	-	145.98	-
	0+400	0+625	0.217	-	216.96	-
5	0+625	0+715	0.056	-	56.06	-
6	0+715	0+760	0.045	-	45.21	-
	0+760	0+925	0.099	-	98.85	-

	0+925	1+100	0.046	-	46.42	-
7	1+100	1+151	-	0.019	-	18.59
8	1+151	1+350	-	0.090	-	90.27
	1+350	1+420	0.023	-	22.55	-

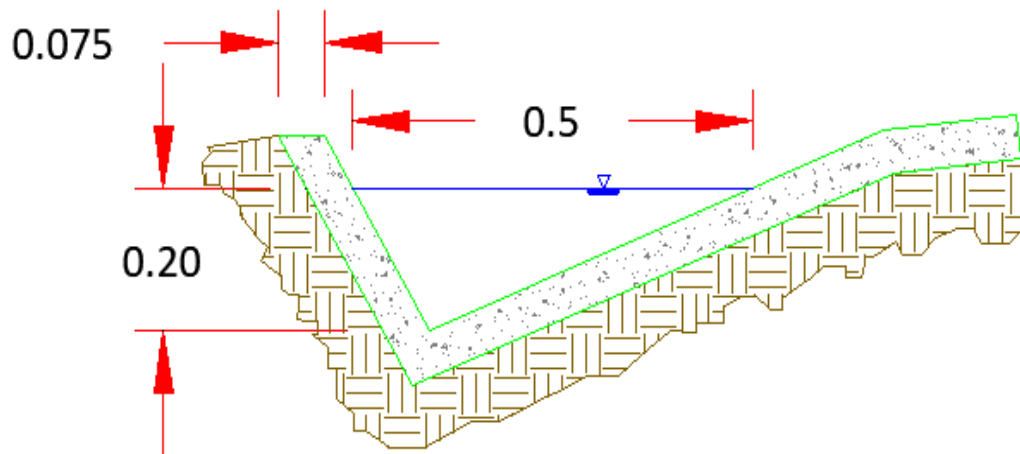
Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.4 Análisis hidráulico

4.4.1 Análisis y diseño hidráulico de cunetas (longitudinal)

A partir de los caudales obtenidos por la ecuación del método racional, se propone la cuneta de sección tipo asimétrica, la cual se valora la capacidad hidráulica de esta mediante la ecuación de manning, en la ilustración que se presenta a continuación se muestra las dimensiones de la cuneta.

Ilustración 59. Sección transversal propuesta para la cuneta.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para determinar la capacidad hidráulica de la cuneta mencionada anteriormente se utiliza la ecuación #15, la cual considera valores como lo es el coeficiente de rugosidad manning, el cual se obtiene de la tabla #17 en la que se establece un valor de 0.013 para canales revestidos

en concreto. En la tabla que se muestra a continuación se muestra los resultados pertinentes para determinar la capacidad hidráulica de las cunetas en función de la pendiente, de las cuales se destaca el área mojada, el perímetro mojado y el radio hidráulico, para determinar si las dimensiones propuestas de la cuneta son las convenientes, se utiliza las pendiente generadas del perfil donde se puede verificar que la capacidad hidráulica van desde los $0.213\text{m}^3/\text{s}$ a los $0.305\text{m}^3/\text{s}$, por lo que esta sección de cuneta satisface satisfactoriamente la demanda de los caudales generados por la ecuación del método racional de la tabla #50. A partir de la ecuación de continuidad, se determina la velocidad, la cual dio como resultado valores entre 4.17m/s y 5.97m/s por lo que velocidad se encuentra casi al límite pero cumpliendo lo establecido por el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, (2016).

Tabla 51. Capacidad Hidráulica de las cunetas en función de las pendientes según sus estacionamientos.

Capacidad Hidráulica de Cunetas en función de la pendiente.								
Subcuencia	Estación Inicial	Estación Final	Área Mojada	Perímetro Mojado	Radio Hidra.	So (m/m)	Q (m³/s)	V (m/s)
3	0+000	0+097	0.050m ²	0.671m	0.075m	12%	0.236	4.72
	0+097	0+256	0.050m ²	0.671m	0.075m	12%	0.226	4.72
4	0+256	0+400	0.050m ²	0.671m	0.075m	14.9%	0.226	5.26
	0+400	0+625	0.050m ²	0.671m	0.075m	14.9%	0.264	5.26
5	0+625	0+715	0.050m ²	0.671m	0.075m	9.36%	0.213	4.17
6	0+715	0+760	0.050m ²	0.671m	0.075m	9.36%	0.213	4.17
	0+760	0+925	0.050m ²	0.671m	0.075m	9.36%	0.213	4.17
	0+925	1+100	0.050m ²	0.671m	0.075m	19.3%	0.213	5.97
7	1+100	1+151	0.050m ²	0.671m	0.075m	19.3%	0.305	5.97
8	1+151	1+350	0.050m ²	0.671m	0.075m	19.3%	0.305	5.94
	1+350	1+420	0.050m ²	0.671m	0.075m	12%	0.264	4.72

Fuente: Elaboración propia, 2020.

A partir del análisis hidráulico de la cuneta en su máxima capacidad de llenado se evalúa posteriormente los caudales conocidos mediante la herramienta Hydraflow Express del programa AutoCAD CIVIL 3D en la cual se evalúan parámetros como: tirante, velocidad área mojada, radio hidráulico y la fuerza tractiva, en las tablas que se presentan a continuación se pueden observar los parámetros mencionados anteriormente de las cuales la velocidad y el tirante máximo del lado izquierdo y del lado derecho de la carretera cumplen con la norma establecida por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados , y también por el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, (2016).

Tabla 52. Calculo de velocidad y tirante máximo a partir de los caudales obtenidos del lado izquierdo de la carretera.

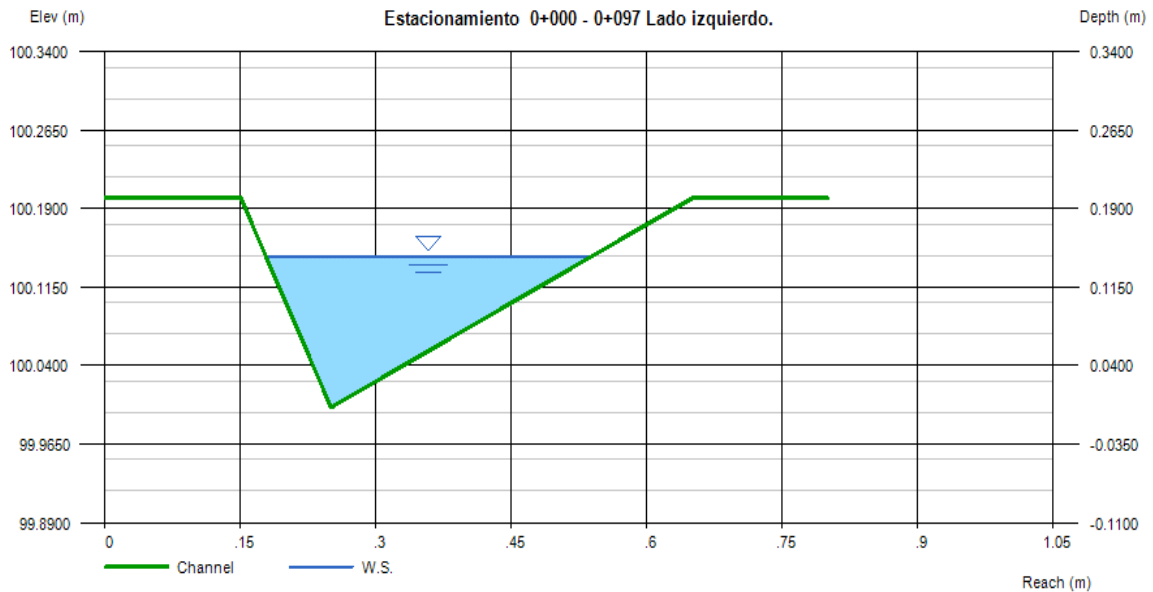
Verificación del tirante, velocidad, y fuerza tractiva a partir de los caudales conocidos del lado izquierdo de la carretera.								
Subcuenca	Estación Inicial	Estación Final	So (m/m)	Tirante (m)	Área (m²)	V (m/s)	Radio H (m)	Ft (kg/m²)
3	0+000	0+097	12%	0.140	0.026	3.58	0.48	2.766
	0+097	0+256	12%	0.125	0.020	3.32	0.41	2.507
4	0+256	0+400	15%	0.165	0.033	4.470	0.570	4.073
	0+400	0+625	15%	0.186	0.043	4.980	0.623	4.907
5	0+625	0+715	9%	0.120	0.020	2.860	0.410	1.861
6	0+715	0+760	9%	0.110	0.017	2.680	0.388	1.664
	0+760	0+925	9%	0.150	0.030	3.270	0.520	2.247
	0+925	1+100	19%	0.100	0.013	3.630	0.337	3.200
8	1+350	1+420	12%	0.080	0.009	2.520	0.286	1.628

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En las ilustraciones que se presenta a continuación se destaca el comportamiento de llenado de la cuneta del lado izquierdo el cual se debe tener en cuenta que esta evaluación se hace con el valor de profundidad efectivo el cual tiene un valor de 0.20m ya que la norma establece que se debe dejar un borde libre de 0.10m el cual trabaja como un factor de seguridad, ya

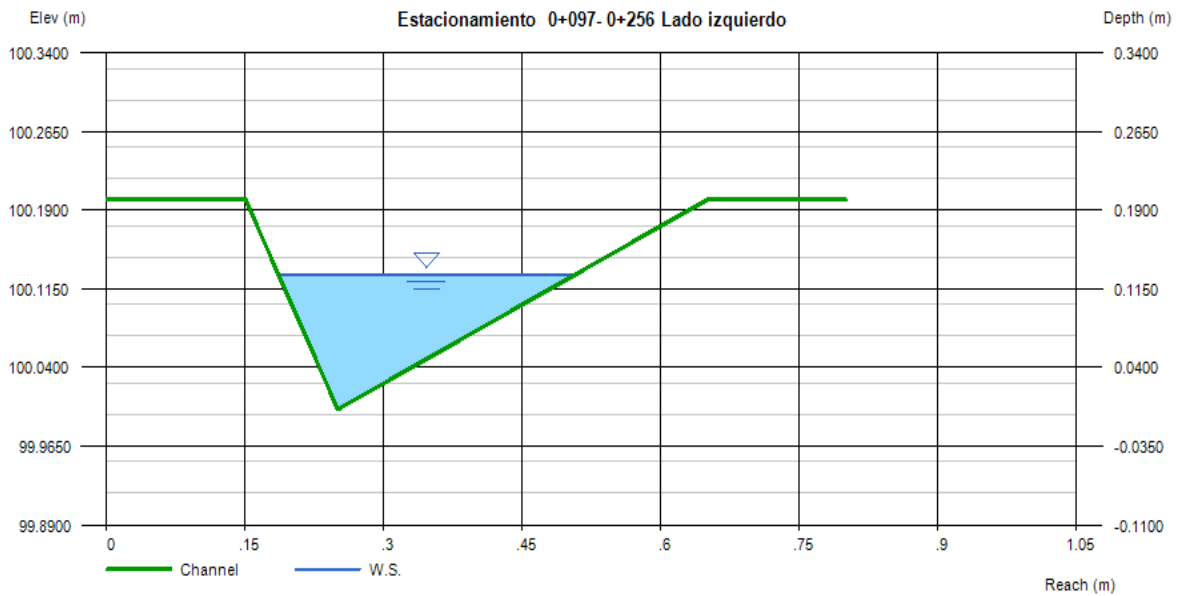
tiene como objetivo que el agua no se rebalse de la cuneta y mantenga la continuidad del flujo.

Ilustración 60. Tirante máximo 0+000 - 0+097 lado izquierdo.



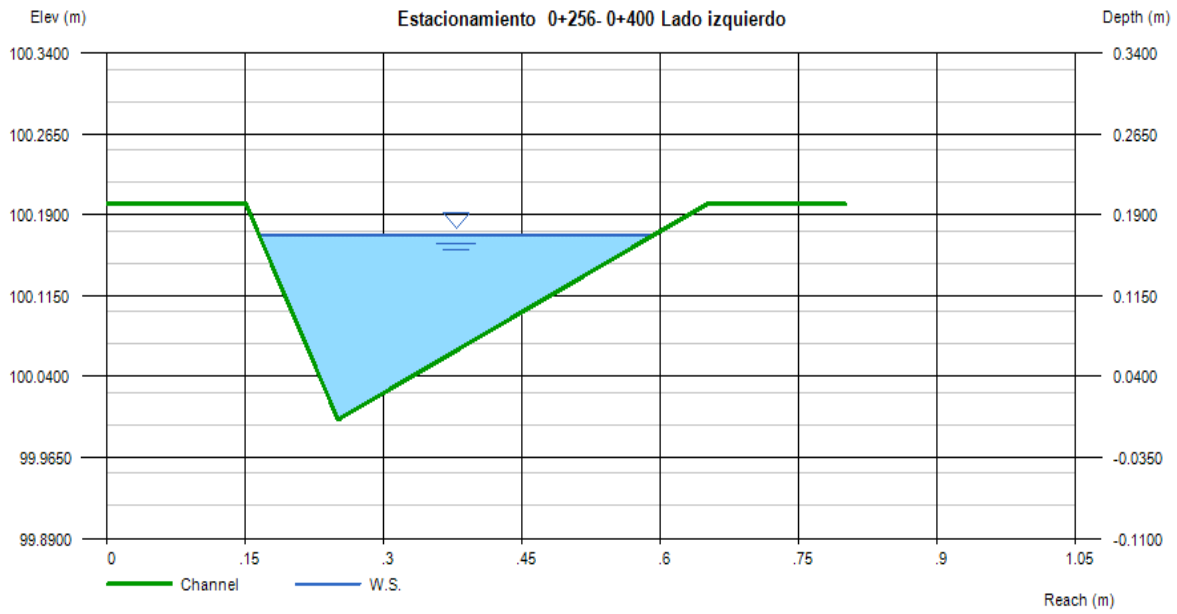
Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 61. Tirante máximo 0+097 - 0+256 lado izquierdo.



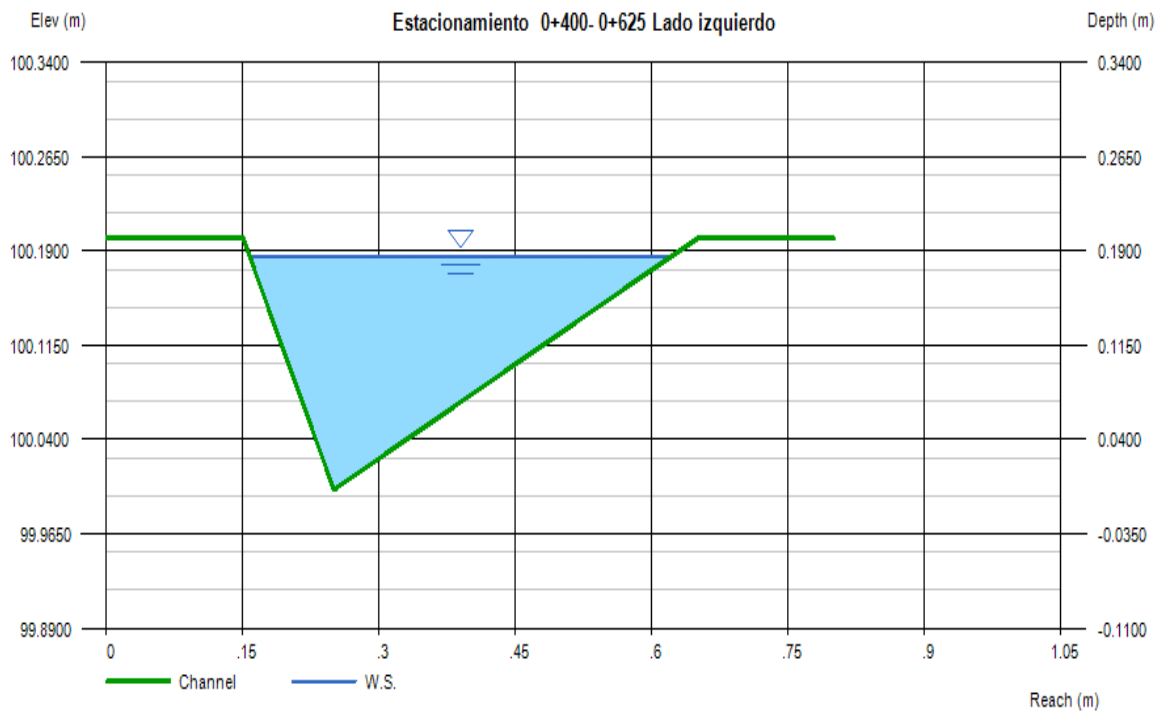
Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 62. Tirante máximo 0+256 - 0+400 lado izquierdo.



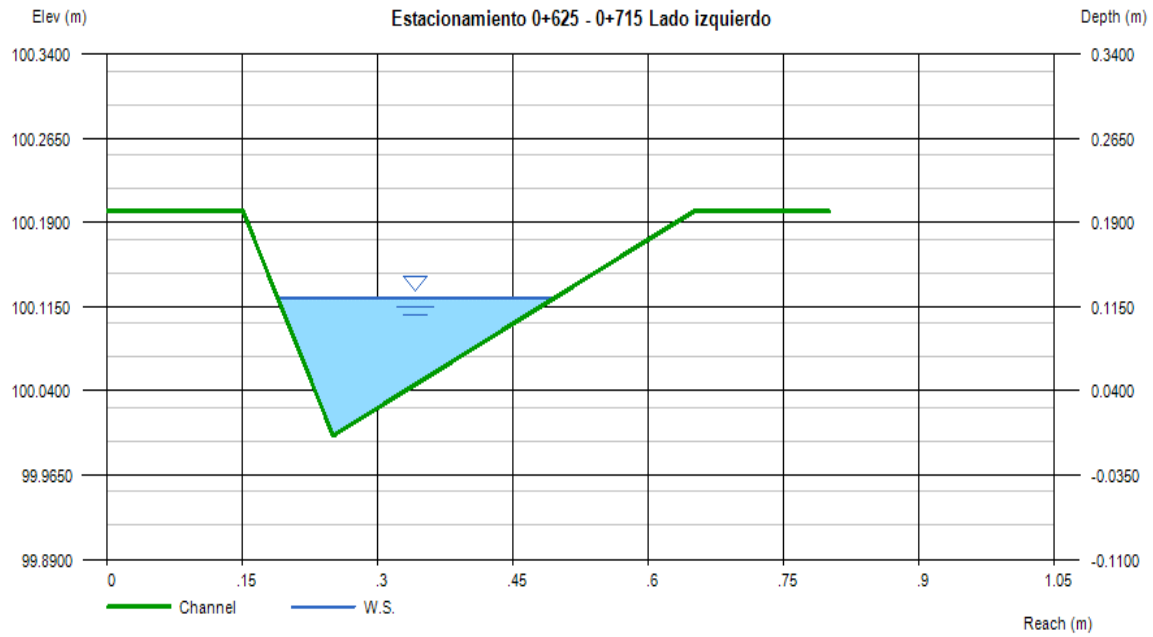
Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 63. Tirante máximo 0+400 - 0+625 lado izquierdo.



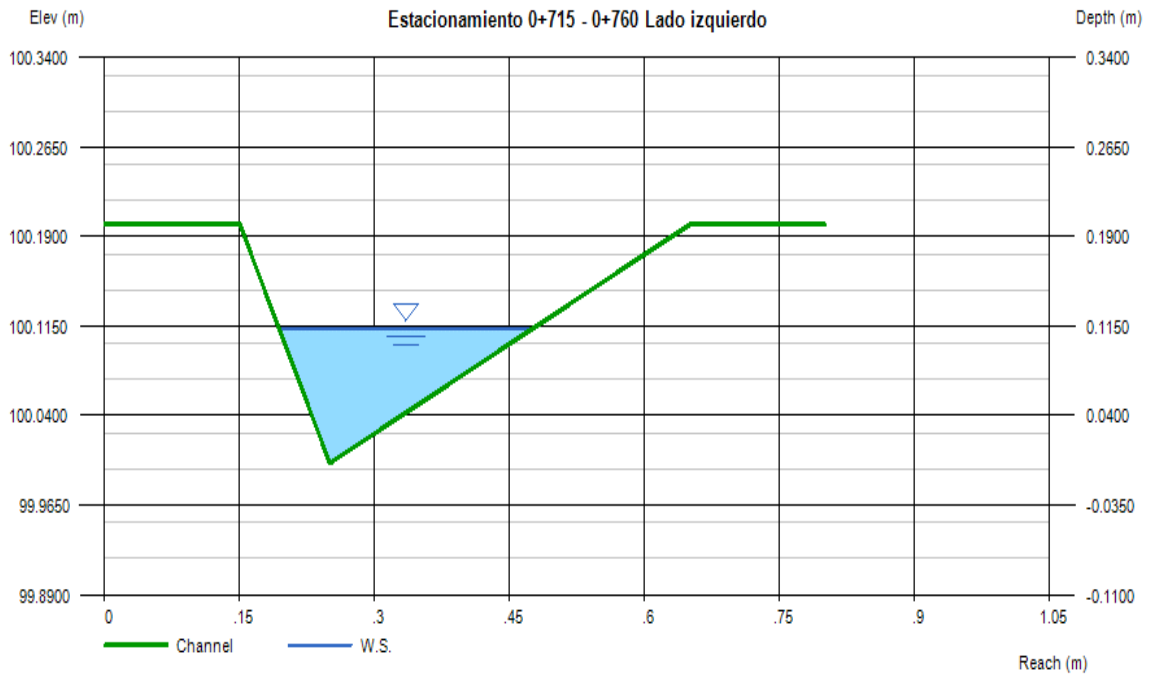
Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 64. Tirante máximo 0+625 - 0+715 lado izquierdo.



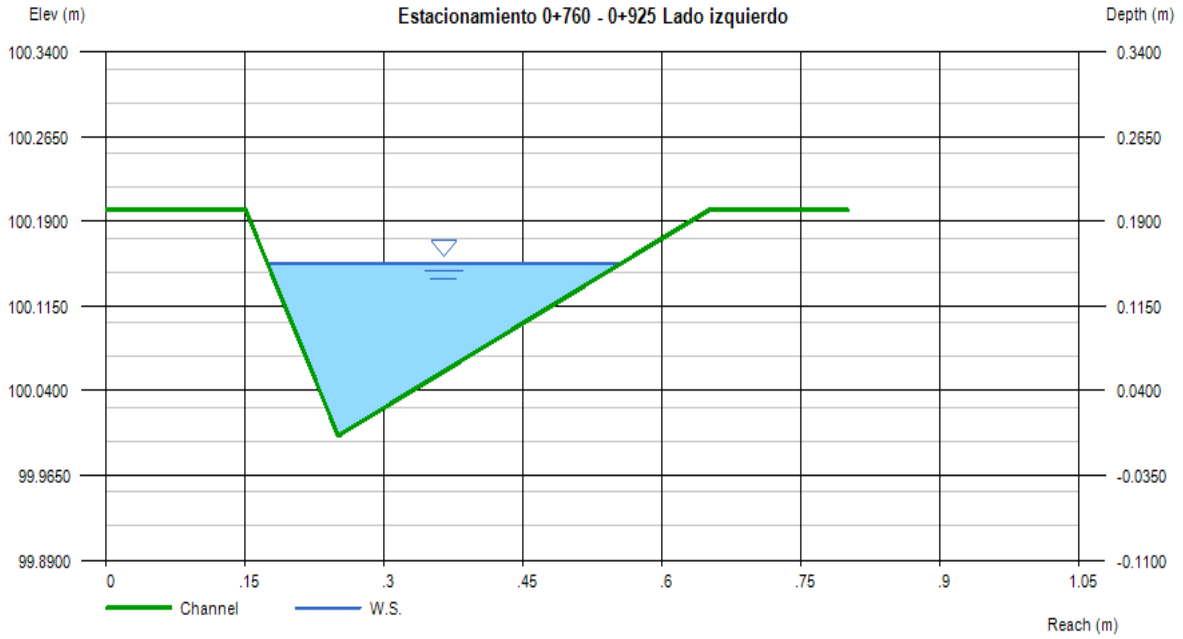
Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 65. Tirante máximo 0+715 - 0+760 lado izquierdo.



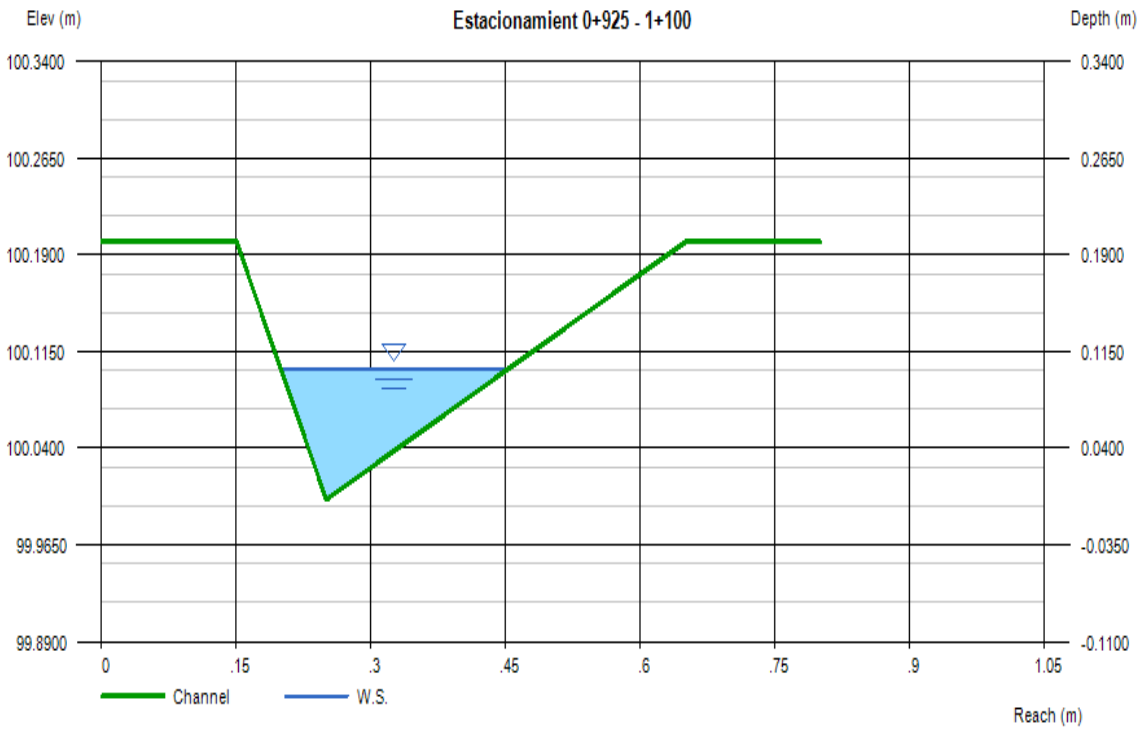
Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 66. Tirante máximo 0+760 - 0+925 lado izquierdo.



Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 67. Tirante máximo 0+925 - 1+100 lado izquierdo.



Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

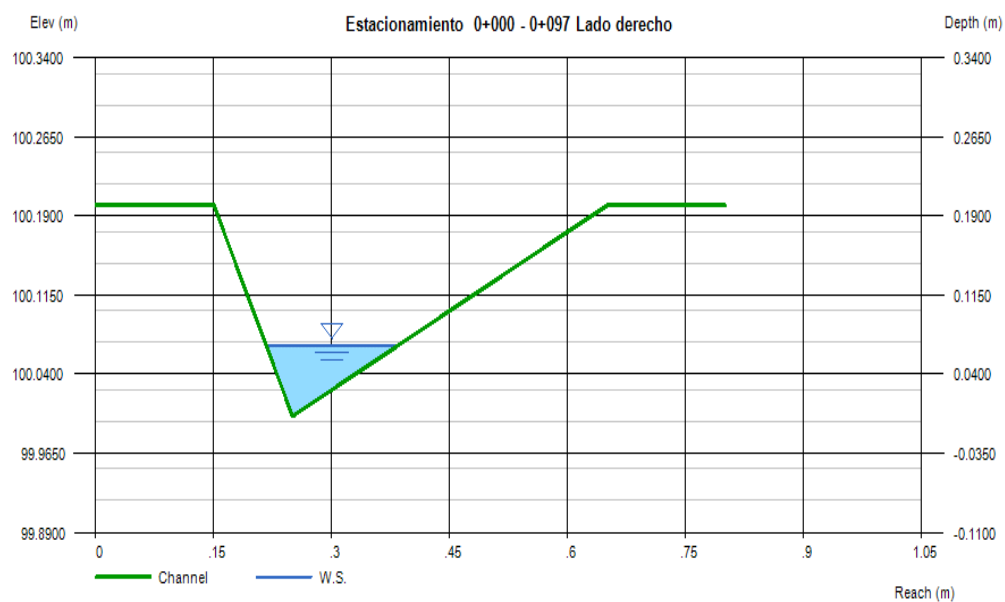
Tabla 53. Cálculo de velocidad y tirante máximo a partir de los caudales obtenidos del lado derecho de la carretera.

Verificación del tirante y velocidad a partir de los caudales conocidos del lado derecho de la carretera.								
Subcuenca	Estación Inicial	Estación Final	So (m/m)	Tirante (m)	Área M	V (m/s)	Radio H (m)	Ft (kg/m²)
3	0+000	0+097	12%	0.060	0.06	2.13	0.22	1.270
	0+097	0+256	12%	0.125	0.02	3.38	0.42	2.580
7	1+100	1+151	19%	0.073	0.007	2.840	0.245	2.178
8	1+151	1+350	19%	0.128	0.020	4.390	0.429	4.318

Fuente: Elaboración propia, 2020.

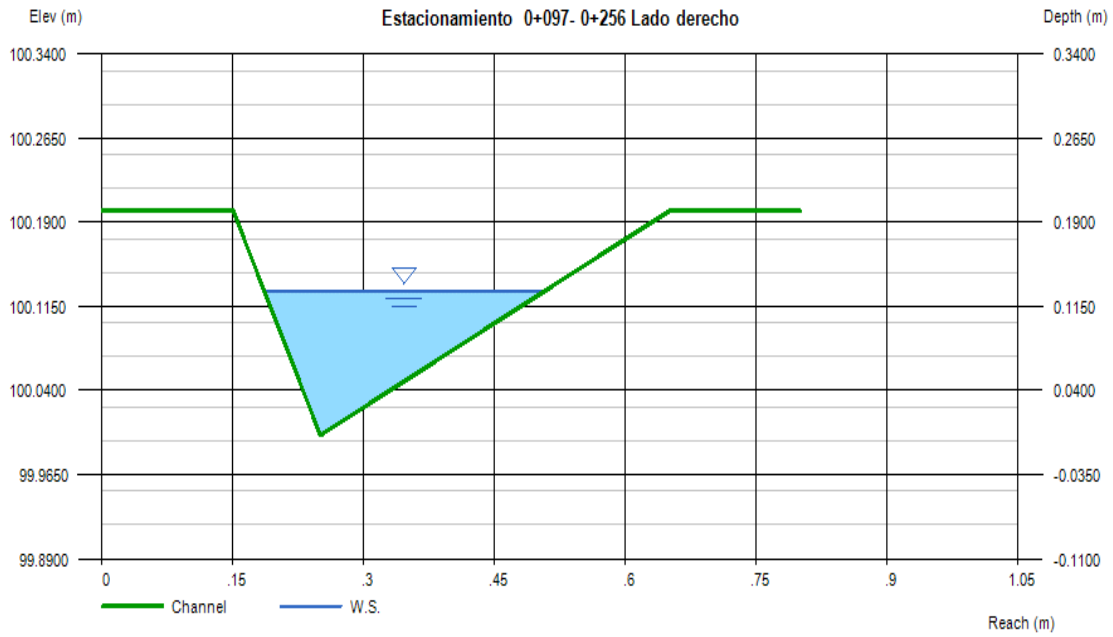
De la misma forma que se evaluaron las cunetas del lado izquierdo se evalúan las de lado derecho teniendo en cuenta que esta evaluación se hace con el valor de profundidad efectivo el cual tiene un valor de 0.20m ya que la norma establece que se debe dejar un borde libre de 0.10m el cual trabaja como un factor de seguridad, ya tiene como objetivo que el agua no se rebalse de la cuneta y mantenga la continuidad del flujo, en las ilustraciones que se presentan a continuación se destaca el comportamiento de llenado de la cuneta del lado derecho.

Ilustración 68. Tirante máximo 0+000 - 0+097 lado derecho.



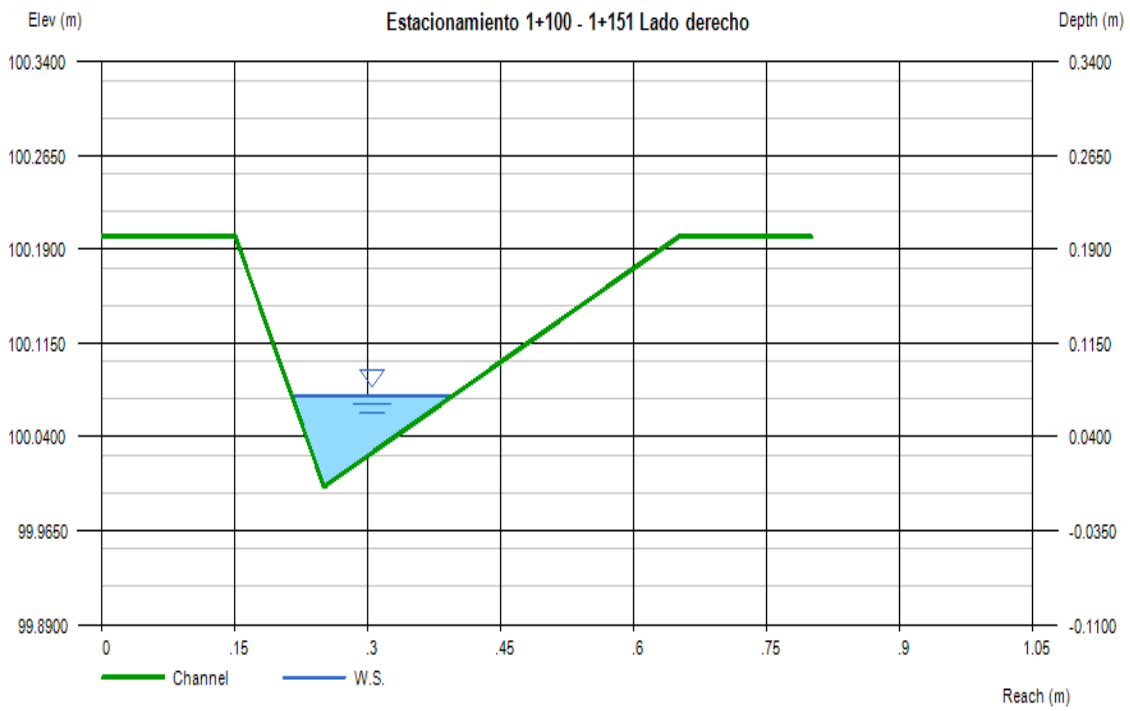
Fuente: Hydraulflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 69. Tirante máximo 0+097 - 0+256 lado derecho.



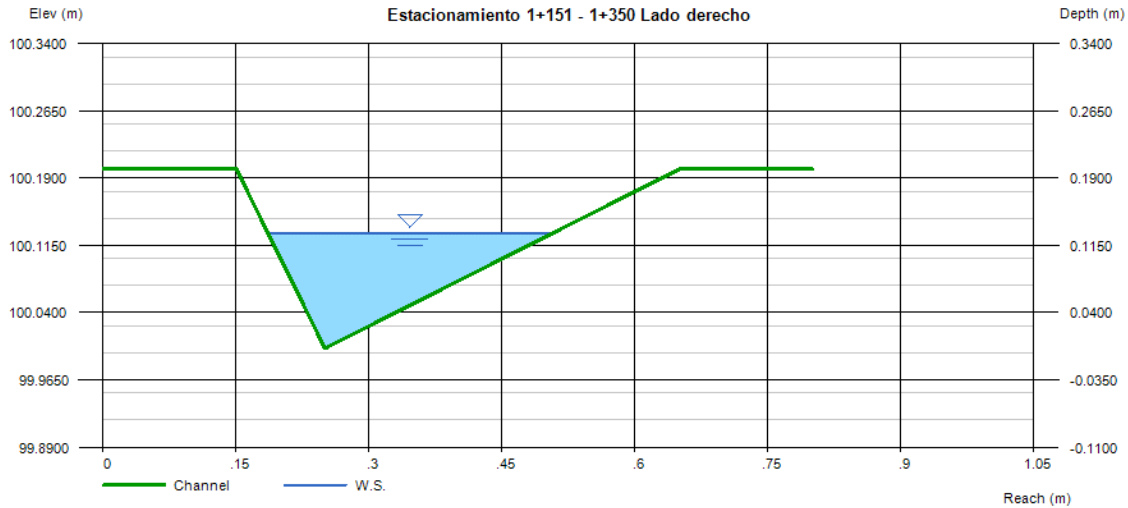
Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 70. Tirante máximo 1+100- 1+151 lado derecho.



Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 71. Tirante máximo 1+151- 1+350 lado derecho.



Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

4.4.2 Análisis y diseño hidráulico del alcantarillado pluvial (transversal)

Para realizar un diseño óptimo o adecuado del alcantarillado pluvial se debe respetar una serie de condiciones y normas establecidas por Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, esto con el objetivo de desarrollar un diseño de alcantarillado pluvial correcto y efectivo, de los cuales se mencionan a continuación:

- Las velocidades del flujo en la tubería o la velocidad a tubo lleno no deben exceder los 5 m/s.
- El tirante máximo permisible no debe superar $0.85d$, donde d es diámetro en m de la tubería de diseño.
- La fuerza tractiva o el esfuerzo mínimo debe ser mayor o igual a 0.10 kg/m^2 .
- El diámetro mínimo de alcantarillado pluvial por utilizar en urbanizaciones es de 400mm el cual es establecido por el A y A.

- El diámetro mínimo de alcantarillado pluvial por utilizar en carreteras es de 900mm el cual es establecido por el MOPT.

Para verificar la capacidad hidráulica del alcantarillado pluvial transversal se propone una alcantarilla de 900 mm de diámetro la cual es el diámetro mínimo establecido por el ente rector de construcción de caminos y carreteras de Costa Rica (CR-2010), además se propone una pendiente de 1%.

En la tabla #54 se determinan una serie de valores como lo son el área mojada, que corresponde al área del círculo, el radio hidráulico que se determina como $d/4$ en una condición de tubo lleno, además se puede verificar que la velocidad a partir de la ecuación de Manning (ecuación #33) se encuentra debajo de lo establecido por la norma del A y A por lo cual el diseño cumple las condiciones establecidas por las entes reguladoras, en cuanto al caudal o la capacidad hidráulica de la sección propuesta, es de 1.81 m/s por lo que este valor es mayor a los valores determinados en la tabla #48.

Ecuación 33

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

V= velocidad (m/s)

Rh= radio hidráulico (m)

n= número de rugosidad de manning

S= pendiente (m/m)

$$F_t = \frac{\gamma * (V * n)^2}{R_h^{\frac{1}{3}}}$$

En donde:

F_t = fuerza tractiva (kg/m²)

γ = densidad del fluido

V = velocidad (ms)

n = número de rugosidad de manning

R_h = radio hidráulico de la estructura.

Tabla 54. Capacidad Hidráulica de alcantarillado pluvial a tubo lleno.

Cálculo Q y V a tubo lleno		
Coefficiente de rugosidad (n)	0.013	C. de Manning
Diámetro (D)	0.9	m
Área mojada (A)	0.6362	m²
Radio Hidráulico (Rh)	0.225	m
S (pendiente)	1%	m/m
V tubo lleno	2.85	m/s
Q tubo lleno	1.81	m³/s

Fuente: Elaboración propia, 2020.

A partir de los caudales conocidos de la tabla #48 se determina el área mojada, velocidad, radio hidráulico, fuerza tractiva y tirante máximo mediante la herramienta y extensión Hydraflow Express del programa AutoCAD CIVIL 3D los cuales, los valores mencionados anteriormente se muestran en la tabla #53, estos valores no incluyen las subcuencas 1,2 y 3 ya que estos pasos de alcantarillado deben ser evaluados de una forma distinta. A partir de la

ecuación #34 se determina la fuerza tractiva correspondiente para cada una de las subcuencas, la cual dicha fuerza se define como; la capacidad de auto limpieza de una tubería de alcantarillado, es decir, la posibilidad de que sean arrastradas las partículas en suspensión, el cual depende del esfuerzo cortante que la corriente de agua ejerza sobre las paredes interiores donde podría ocurrir la sedimentación. De los resultados generados en la tabla #55 se puede verificar que la fuerza tractiva cumple en cada uno de las subcuencas ya que los valores son mayores 0.1kg/m^2 , y los tirantes máximos está por debajo de valor máximo permitido.

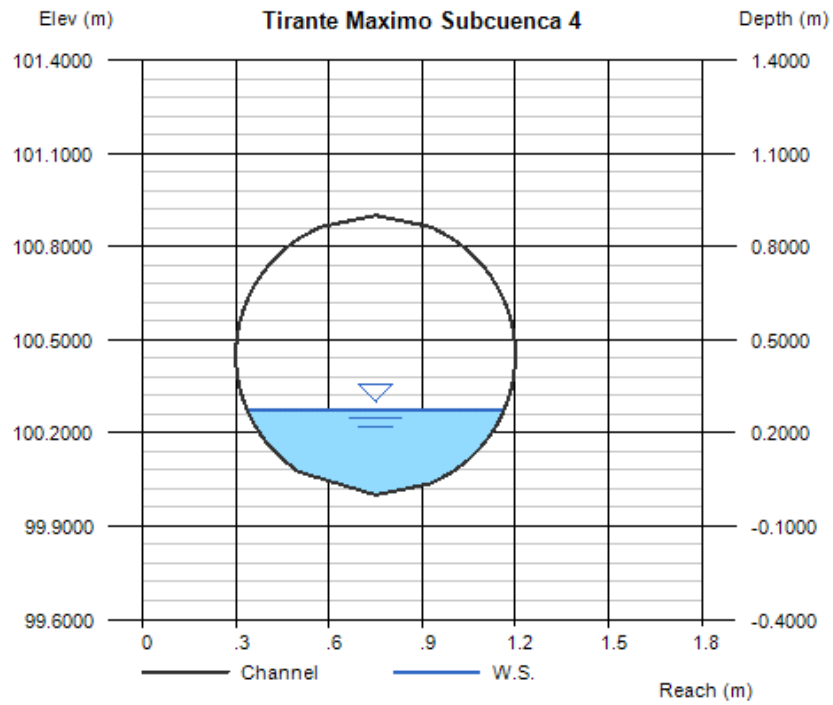
Tabla 55. Determinacion del Área mojada, Velocidad, Radio hidráulico, Fuerza tractiva y Tirante máximo

Calculo de Área, Velocidad, Radio hidráulico, Fuerza tractiva y Tirante máximo						
Subcuencas	Q (m³/s)	Área (m²)	V (m/s)	Rh (m)	Ft (kg/m²)	Tirante máximo (m)
4	0.363	0.1640	2.215	1.0500	0.816	0.27
5	0.056	0.0450	1.245	0.6400	0.304	0.12
6	0.188	0.1050	1.795	0.8820	0.568	0.20
7	0.019	0.0220	0.876	0.4995	0.163	0.07
8	0.145	0.0860	1.689	0.8190	0.516	0.17

Fuente: Elaboración propia, 2020.

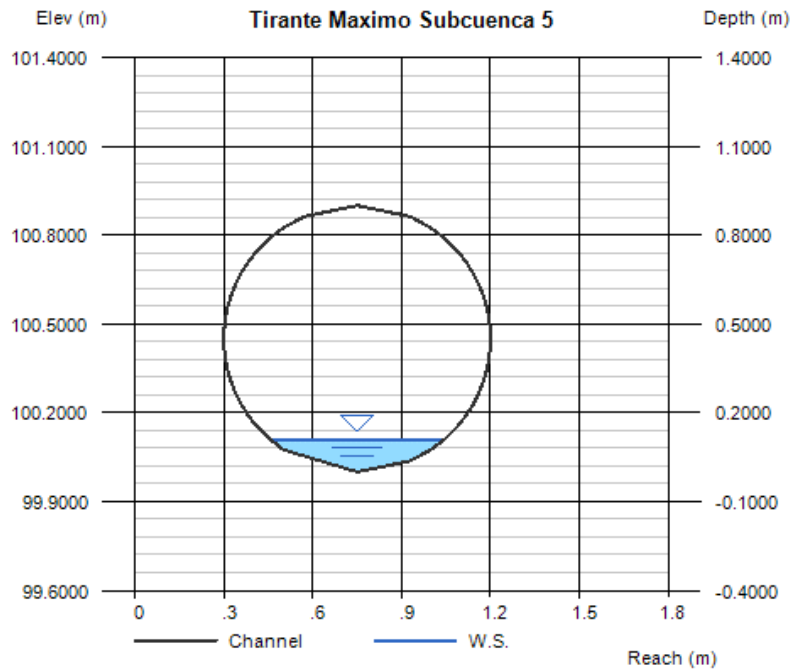
En las ilustraciones que se presentan a continuación se muestra el tirante máximo respectivo para cada una de las subcuencas de acuerdo con los caudales calculados en la tabla #48.

Ilustración 72. Tirante máximo Subcuenca #4.



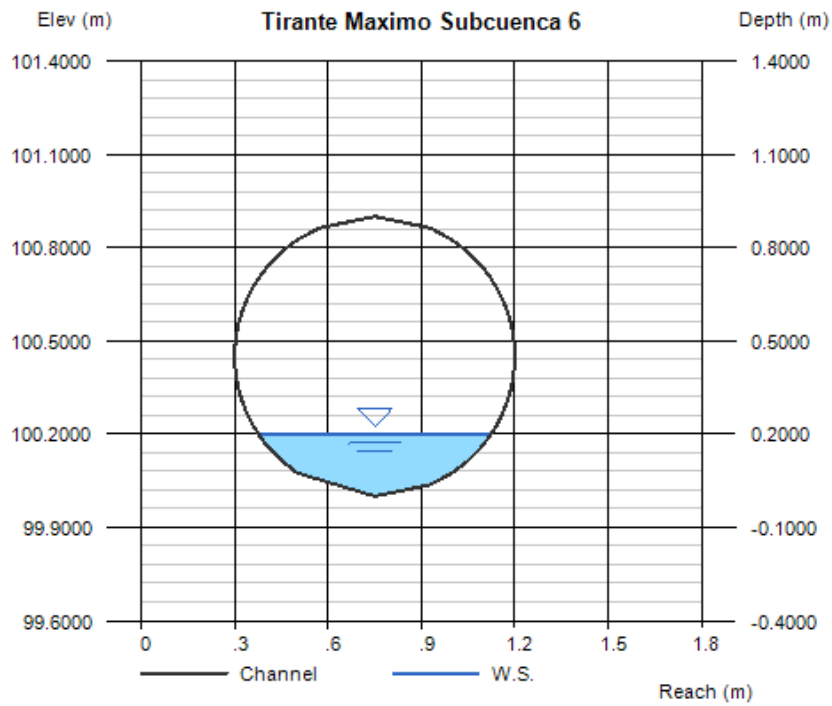
Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 73. Tirante máximo Subcuenca #5.



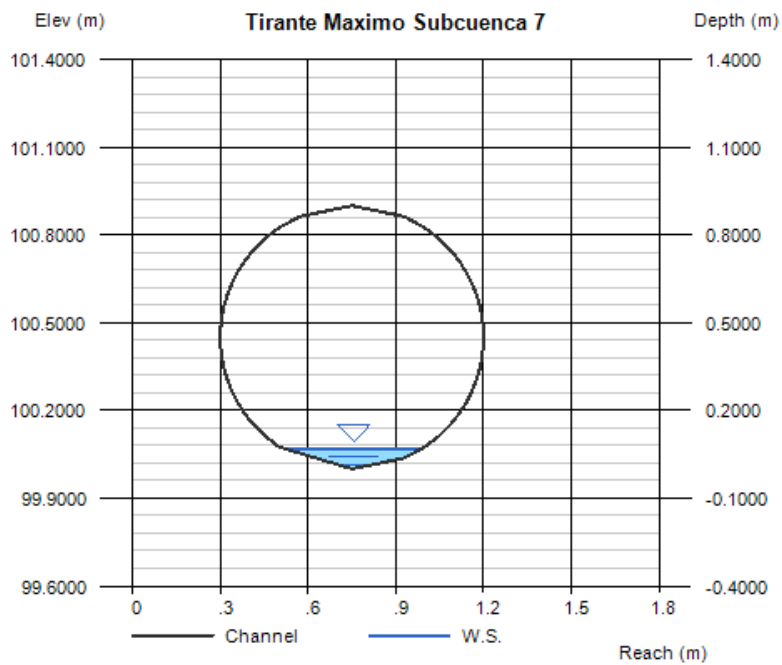
Fuente: Hydraflow Express Extensión for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 74. Tirante máximo Subcuenca #6.



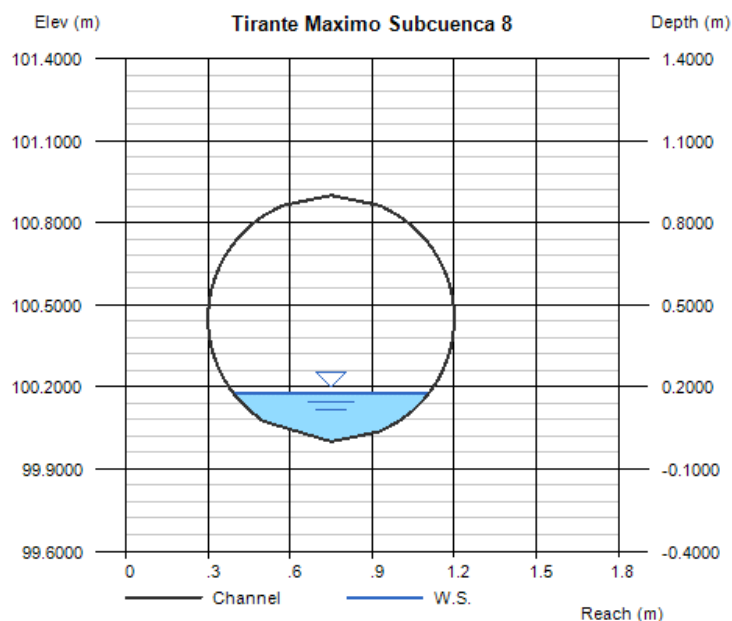
Fuente: Hydraflow Express Extension for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 75. Tirante máximo Subcuenca #7.



Fuente: Hydraflow Express Extension for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 76. Tirante máximo Subcuenca #8.



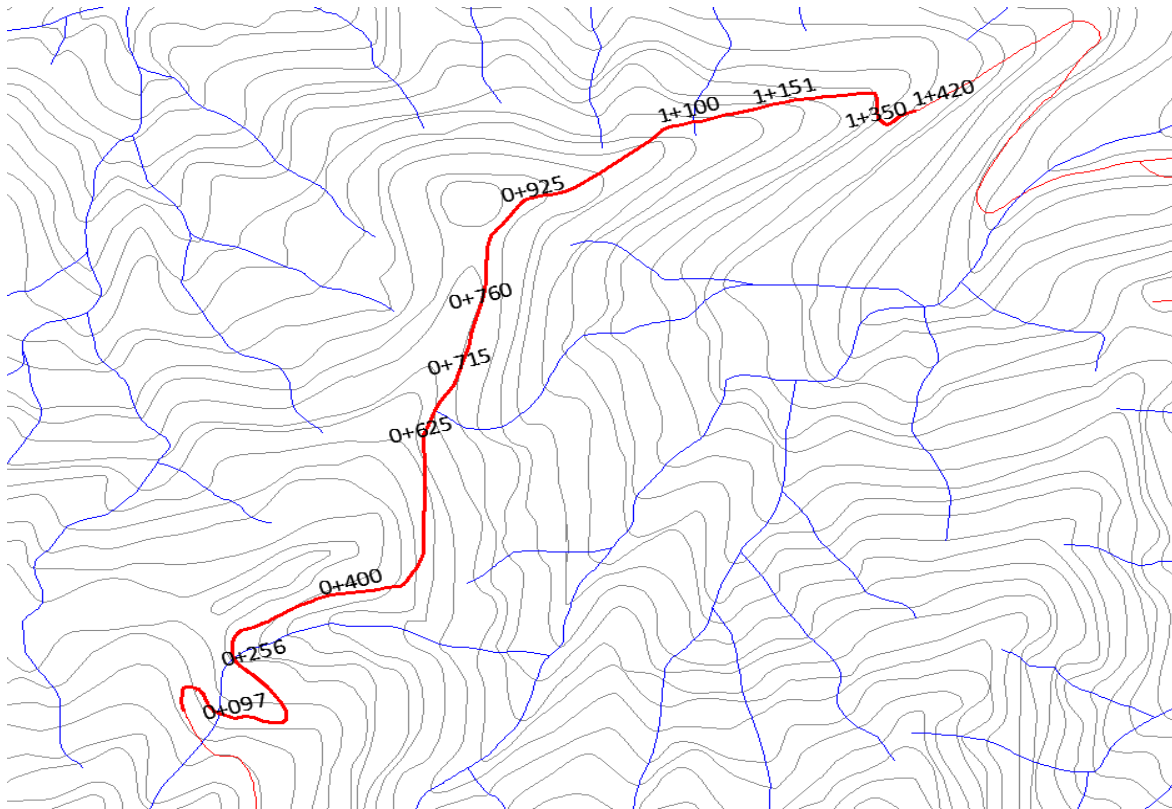
Fuente: Hydraflow Express Extension for Autodesk CIVIL 3D

Tabla 56. Ubicación de los pasos transversales y Tipo de cabezal a construir.

Ubicación de los pasos transversales y Tipo de cabezal a construir.						
Zona o Subcuenca	Estación	Diámetro Existente	Estado	Diámetro por utilizar	Pendiente	Tipo de Cabezal
3	0+097	0.6	Construir Nuevo	0.9m	1%	CA-1 Ø90
	0+256	0.6	Construir Nuevo	0.9m	1%	CA-1 Ø91
4	0+400	Natural	Construir Nuevo	0.9m	1%	CA-1 Ø90
	0+625	0.6	Construir Nuevo	0.9m	1%	CA-1 Ø90
5	0+715	0.6	Construir Nuevo	0.9m	1%	CA-1 Ø90
6	0+760	Natural	No construir	-	-	-
	0+925	Natural	Construir Nuevo	0.9m	1%	CA-1 Ø90
	1+100	0.6	Construir Nuevo	0.9m	1%	CA-1 Ø90
7	1+151	0.6	Construir Nuevo	0.9m	1%	CA-1 Ø90
8	1+350	Natural	No construir	-	-	-
	1+420	0.7	Construir Nuevo	0.9m	1%	CA-1 Ø90

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 77. Ubicacion de las alcantarillas estudiadas.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

El caudal de la subcuenca 1 se toma únicamente en cuenta para analizar los pasos transversales que se encuentran dentro de la subcuencas 2 y 3, en otros términos, se toma en cuenta el acumulado de las cuencas 1y 2 para evaluar el paso transversal de agua pluvial del paso 2 y para la cuenca 3 se toma el acumulado de la cuenca 1, 2 y 3 dichos caudales están representados en la tabla #48.

Como se mencionó anteriormente, estos pasos transversales se evalúan de forma distinta ya que se debe asegurar que el comportamiento de este sea adecuado sin presentar problemas de rebalse por la existencia de un flujo continuo (quebrada). En la tabla #57 y #58 se muestra el comportamiento de cada uno de los pasos transversales de agua pluvial que están ubicados en los estacionamientos 0+097 y 0+256. En dichas tablas se destacan un proceso iterativo en

donde se establece un caudal mínimo y un caudal máximo con el fin de establecer de una forma más adecuada el comportamiento en distintos panoramas.

Las presentes tablas tienen datos como el caudal de inicio, el caudal que cruza a través de la alcantarilla, el caudal que rebosa que como podemos observar en las ilustraciones 78,79,80,81,82, y 83 se puede observar de una forma más ilustrativa el comportamiento del agua dentro de la alcantarilla donde esta no supera el diámetro establecido para el diseño.

De los parámetros más importantes que se destacan en dichas tablas es la velocidad, ya que en ninguno de los casos este parámetro no supera los 5m/s por lo cual dichos valores están dentro de los parámetros y normas establecidos por los entes reguladores.

Para el caso del paso transversal ubicado en 0+097 según la tabla #48, el cual tiene un caudal de diseño de 0.340 m³/s, se tiene que la velocidad en la parte baja (salida) y en la parte alta (entrada) se encuentran cumpliendo, ya que los valores no superan los 5m/s. En el caso del tirante máximo permitido que equivale al 85% del diámetro de diseño, este no es superado, ya que el valor del tirante máximo para un diámetro de 900mm es de 765mm, por lo cual el diseño se encuentra correcto y cumpliendo los parámetros establecidos. Lo mismo sucede en el paso transversal 0+256, el cual presenta un caudal de 0.608 m³/s según la tabla #48, y como se puede observar en la tabla #58 los parámetros se encuentran por debajo y cumpliendo con los parámetros de diseño establecidos anteriormente.

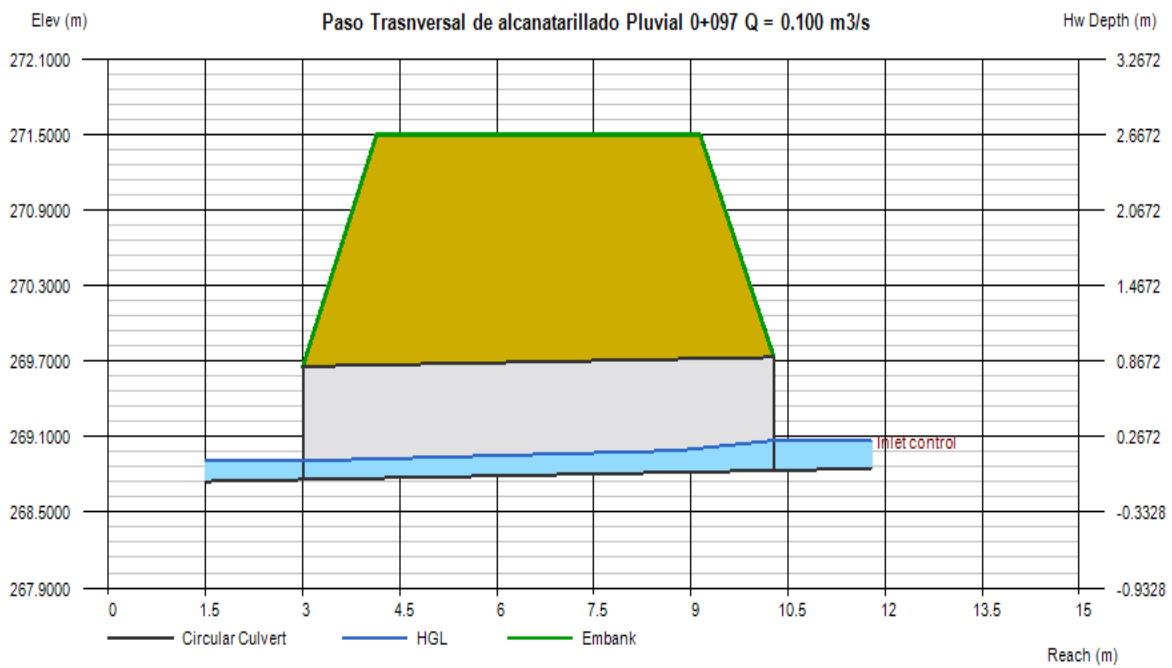
Tabla 57. Analisis Hidráulico de alcantarillado del paso transversal 0+097

Análisis Hidráulico de alcantarillado del paso transversal 0+097									
Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Velocidad (m/s)		Tirante (mm)		Elevaciones (m)		Perdidas (m)
Total	Cruza	Rebosa	Parte Baja	Parte Alta	Parte Baja	Parte Alta	Parte Baja	Parte Alta	Hw
0.100	0.100	0.00	1.46	1.10	147.97	179.35	268.90	269.01	269.07

0.200	0.200	0.00	1.76	1.34	210.66	255.77	268.70	269.08	269.17
0.300	0.300	0.00	1.94	1.50	262.08	315.38	269.02	269.14	269.26
0.400	0.400	0.00	2.09	1.64	305.97	366.21	269.06	269.19	269.34
0.500	0.500	0.00	2.19	1.76	349.24	411.43	269.24	269.41	269.41
0.600	0.600	0.00	2.29	1.87	386.84	452.79	269.14	269.28	269.55
0.700	0.700	0.00	2.38	1.97	422.65	490.74	269.18	269.32	269.55
0.800	0.800	0.00	2.48	2.07	454.14	526.20	269.21	269.35	269.62
0.900	0.900	0.00	2.55	2.16	487.84	559.44	269.24	269.39	269.69

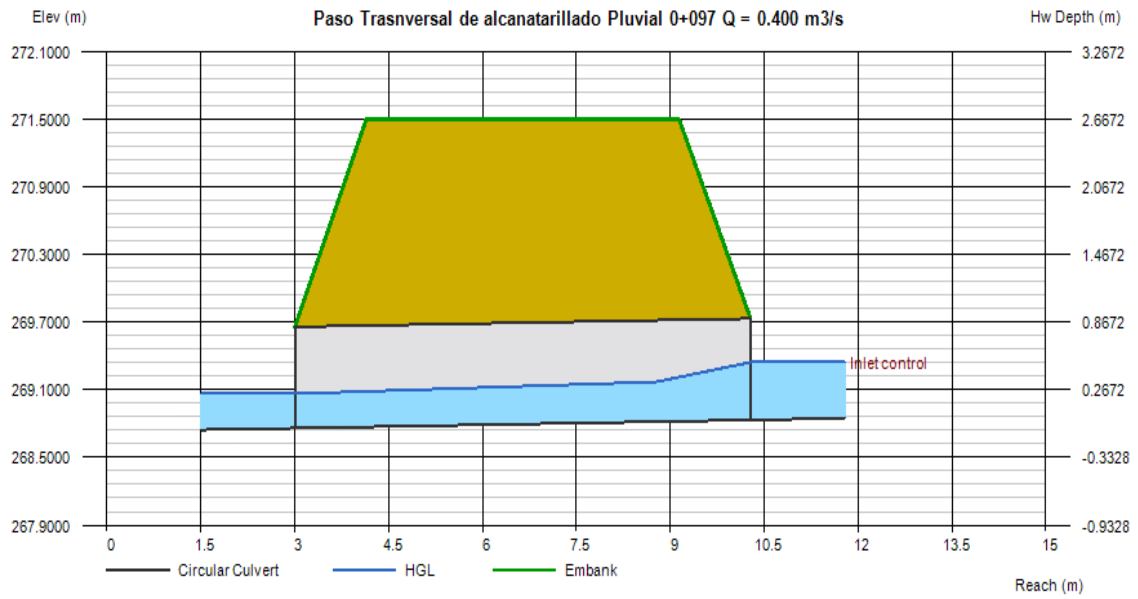
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 78. Comportamiento Hidráulico del P. transversal 0+097 con $Q = 0.100 \text{ m}^3/\text{s}$



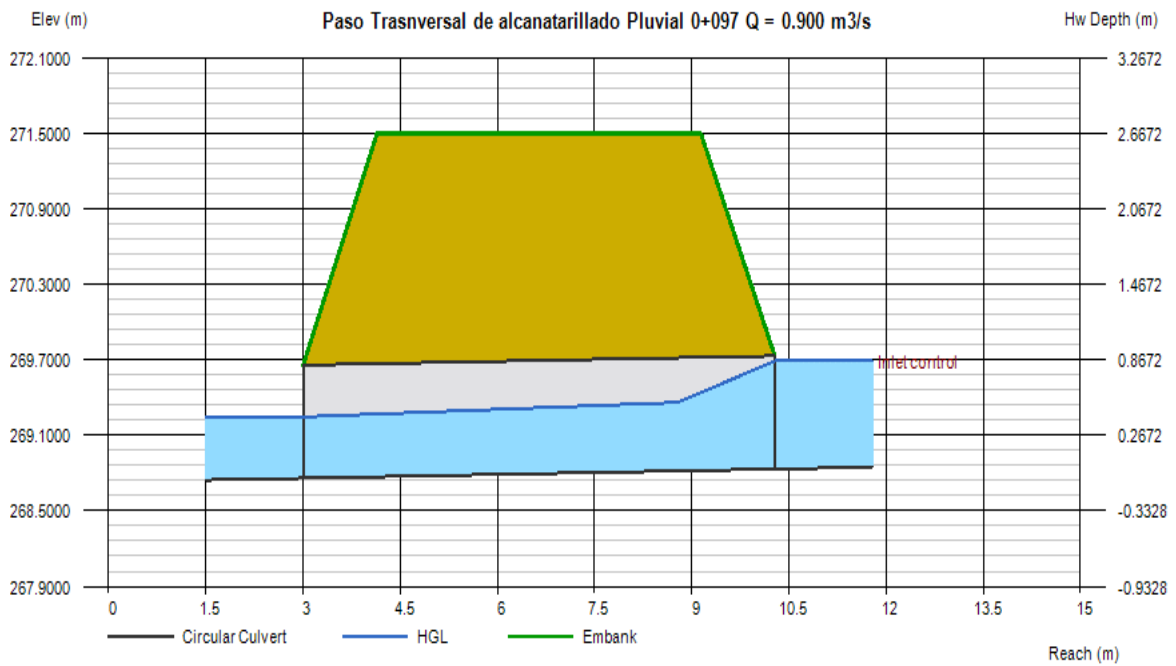
Fuente: Hydraflow Express Extension for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 79. Comportamiento Hidráulico del P. trasversal 0+097 con $Q = 0.400 \text{ m}^3/\text{s}$



Fuente: Hydraflow Express Extension for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 80. Comportamiento Hidráulico del P. trasversal 0+097 con $Q = 0.900 \text{ m}^3/\text{s}$

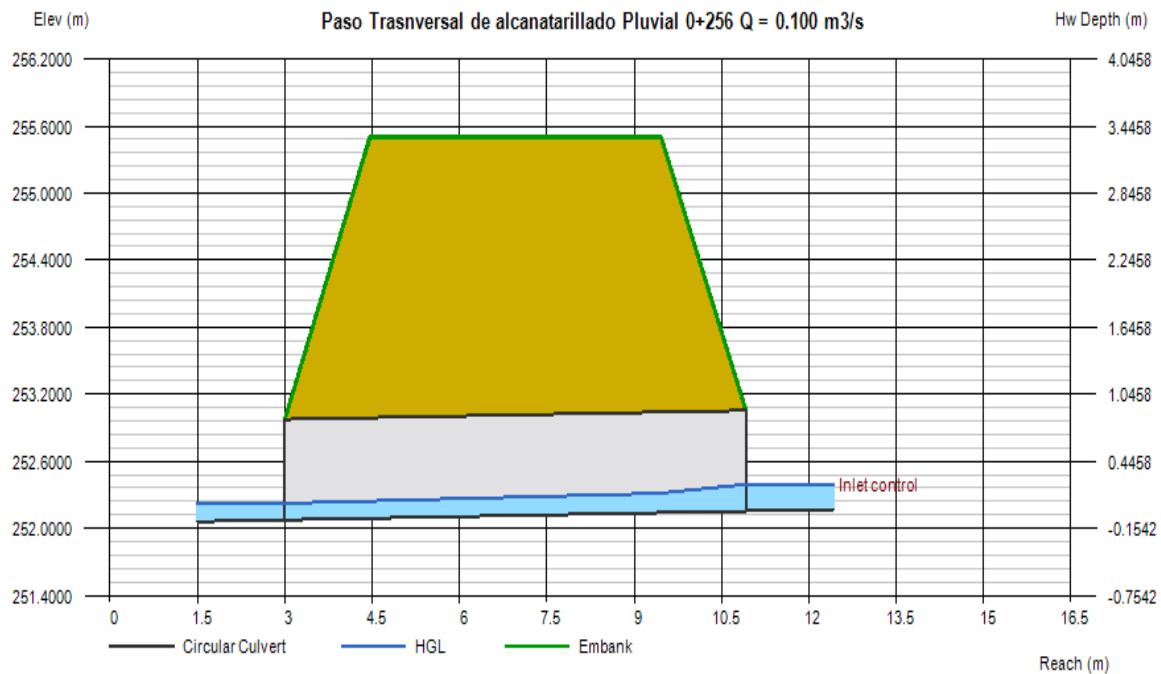


Fuente: Hydraflow Express Extension for Autodesk CIVIL 3D

Tabla 58. Analisis Hidráulico de alcantarillado del paso transversal 0+256

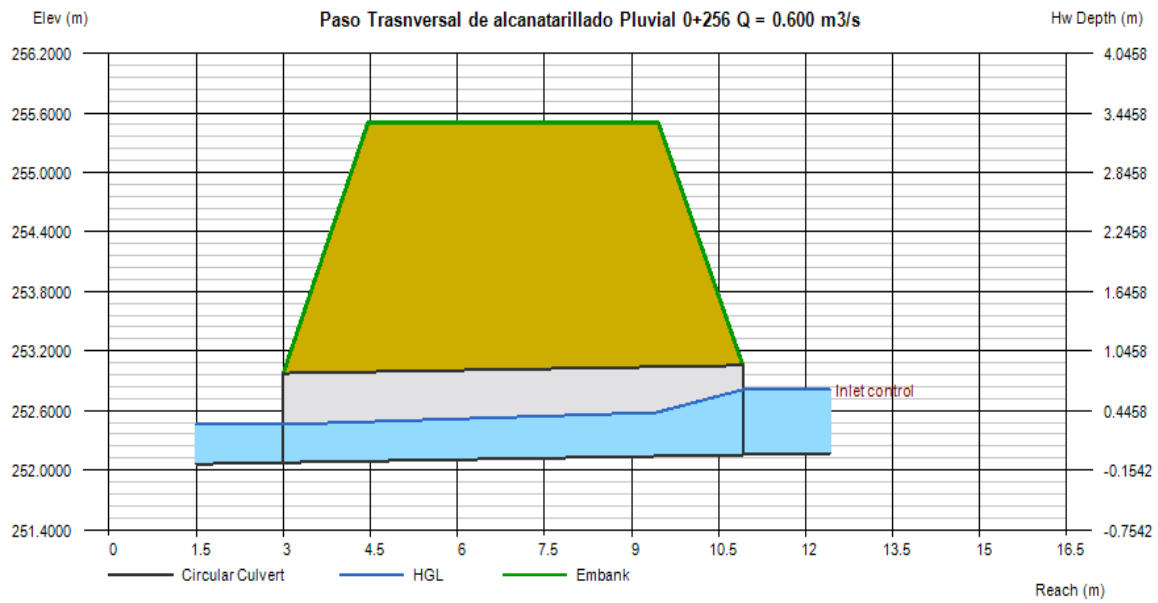
Análisis Hidráulico de alcantarillado del paso transversal 0+256									
Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Velocidad (m/s)		Tirante (mm)		Elevaciones (m)		Perdidas (m)
Total	Cruza	Rebosa	Parte Baja	Parte Alta	Parte Baja	Parte Alta	Parte Baja	Parte Alta	Hw
0.100	0.100	0.00	1.46	1.10	147.97	179.35	252.22	252.33	252.39
0.200	0.200	0.00	1.78	1.34	208.76	255.77	252.28	252.41	252.50
0.300	0.300	0.00	1.96	1.50	260.03	315.38	252.33	252.46	252.58
0.400	0.400	0.00	2.09	1.64	305.97	366.21	252.38	252.52	252.66
0.500	0.500	0.00	2.20	1.76	347.06	411.43	252.42	252.56	252.73
0.600	0.600	0.00	2.31	1.87	384.62	454.79	252.45	252.60	252.80
0.700	0.700	0.00	2.40	1.97	420.42	490.74	252.49	252.64	252.87
0.800	0.800	0.00	2.50	2.07	451.89	526.20	252.52	252.68	252.94
0.900	0.900	0.00	2.58	2.16	483.35	559.44	252.55	252.71	253.01

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 81. Comportamiento Hidráulico del P. transversal 0+097 con $Q = 0.100 \text{ m}^3/\text{s}$ 

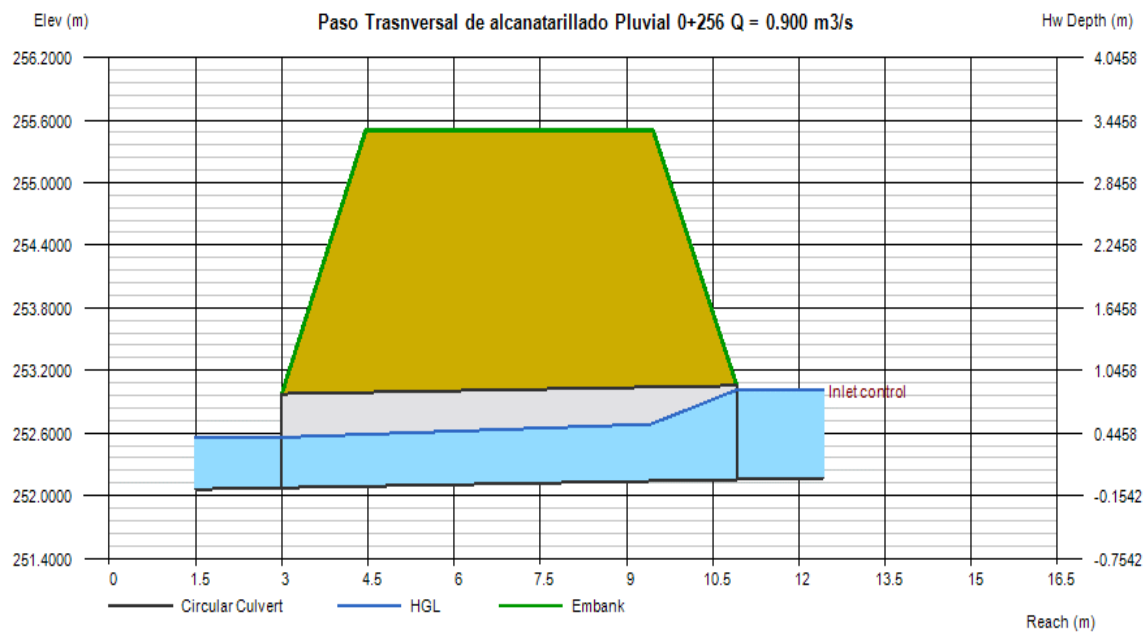
Fuente: Hydraulflow Express Extension for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 82 Comportamiento Hidráulico del P. trasversal 0+097 con $Q = 0.600 \text{ m}^3/\text{s}$



Fuente: Hydraflow Express Extension for Autodesk CIVIL 3D

Ilustración 83 Comportamiento Hidráulico del P. trasversal 0+097 con $Q = 0.900 \text{ m}^3/\text{s}$



Fuente: Hydraflow Express Extension for Autodesk CIVIL 3D

4.5 Señalización Vial

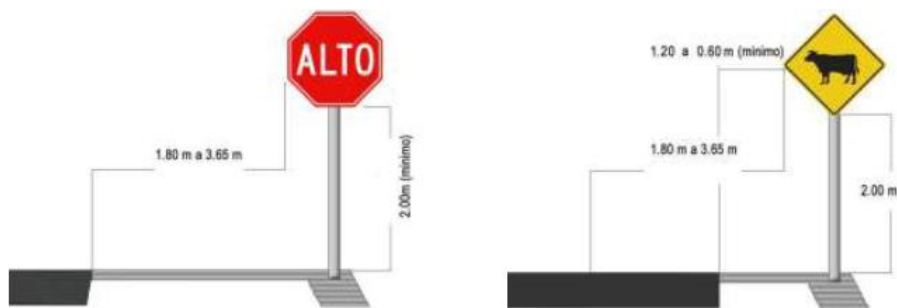
Para el diseño de señalización vial de la carretera Breñón, se utiliza como referencia el Manual Centroamericano de Dispositivos uniformes para el control de tránsito, (2014) dado que al diseñarse la carretera como una nueva, esta no cuenta con ningún dispositivo de seguridad referente a la señalización en carreteras.

4.5.1 Señalización Vertical

En el manual mencionado anteriormente se destacan algunos parámetros de suma importancia como lo son la colocación y dimensiones de las señales verticales, entre ellas destaca la distancia mínima y máxima en la que debe colocarse la señal vertical, así como la altura mínima permitida, la cual, en zona rural, deben tener una altura libre de 2.00 metros desde el borde de la superficie del pavimento hasta la parte inferior de la señal. Cuando exista más de una señal en un poste, como en el caso de los ensambles direccionales de información, la señal o placa inferior debe quedar a no menos de 1.80 metros de altura sobre el borde del pavimento.

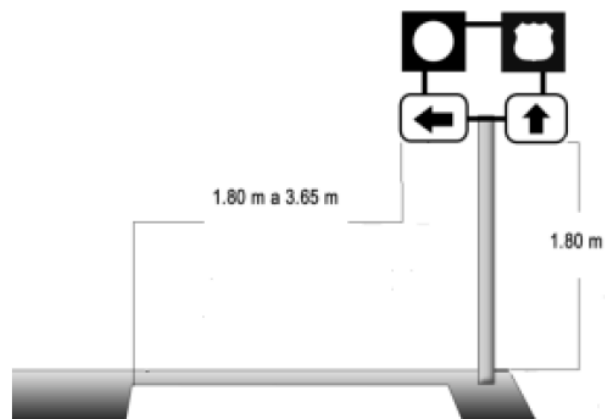
En las ilustraciones que se presentan a continuación se muestra de manera ilustrativa las dimensiones mínimas y máximas descritas anteriormente para carreteras en zonas rurales.

Ilustración 84. Carretera rural sin espaldón y con espaldón



Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2014)

Ilustración 85. Carretera rural con ensamble dirección de información



Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2014)

En la tabla #57 se presenta las ubicaciones, así como el tipo de señalamiento horizontal en cada estacionamiento por sentido de la vía en cuestión.

Tabla 59. Señalamiento vertical.

Código de señal	Señal Vertical	Estacionamientos		Sentido	
R-2-1	Velocidad Máxima (20km/h)	0+200, 1+035, 1+220	0+200, 0+385, 1+220	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
E-1-1 y E-1-2	Zona escolar a 100m	0+660	0+360	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
E-1-1	Zona escolar	0+760	0+460	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
E-1-1 y E-3-3	25 Kph escolares presentes	0+810	0+510	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
E-1-3	Paso peatonal	0+860	0+560	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
E-2-4	Fin de zona escolar	0+960	0+660	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón

P-1-1	Curva pronunciada	0+026, 0+082, 0+118, 0+156, 0+256, 0+211, 0+245, 0+395, 0+444, 0+760, 0+859, 0+911, 1+294, 1+347, 1+390	1+370, +1314, 1+288, 1+245, 1+197, 1+159, 1+112, 1+010, 0+939, 0+643, 0+544, 0+498, 0+103, 0+050, 0+016	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
P-6-1	Pendiente pronunciada	1+055	0+365	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.5.2 Señalización Horizontal

El Manual Centroamericano de Dispositivos uniformes para el control de tránsito, (2014) menciona que en curvas peligrosas y tramos de alto riesgo de accidentalidad se instalarán capta luces de color rojo en la línea central, con una separación de 3.00 m y en la línea de borde pavimento cada 6.00 m.

Así mismo dicho manual hace mención en carreteras de dos carriles, uno por sentido de vía, donde en esta la velocidad sea menor o igual a 60 km/h, se colocarán capta luces de la siguiente manera:

Capta luces dos caras amarillas:

- Se colocarán a cada 10.00 m sobre la doble línea continua amarilla.

Capta luces una cara blanca:

- Se colocarán a cada 10.00 m sobre la línea de borde blanca de cada sentido de vía, una cara blanca en el sentido del tránsito y una cara roja en el sentido contrario.

Ilustración 86. Capta luces en carreteras con velocidades menores a 60 km/h.



Fuente: (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2014)

Dicho manual menciona que las líneas del borde del pavimento deben ser blancas y continuas, en un rango de 0.10 m a 0.15 m de ancho, además deben usarse solamente como un suplemento y no para sustituir la línea central o las de carril. Los propósitos de marcar líneas al borde del pavimento son los siguientes:

- Evitar el paso de vehículos pesados por los hombros (espaldones), que generalmente tienen una capacidad estructural menor que la del pavimento adyacente.
- Suministrar una guía continua al automovilista, haciendo más cómoda su labor, principalmente durante la noche o en tiempo lluvioso o nublado.
- Disminuir accidentes de tránsito.

De igual forma, el manual mencionado anteriormente denomina que las líneas amarillas indican que la vía es de doble sentido. Además de ello menciona que cuando la línea es continua indica que es prohibido adelantar. Si la línea está punteada o discontinua quiere decir que se permite el adelantamiento, generalmente estas líneas presentan un rango de 0.10 m a 0.15 m de ancho.

Tabla 60. Señales Horizontales

Señal Horizontal	Estacionamientos		Sentido	
Letrero de escuela	0+760	0+460	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
Letrero Velocidad máxima	1+035	0+735	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
Letrero paso peatonal	0+860	0+560	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
Línea Blanca continua	0+000 - 1+420	0+000 - 1+420	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón
Línea doble amarilla	0+000 - 1+420	0+000 - 1+420	Sabanillas - Breñón	Cangrejal - Breñón

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En el caso de la señalización de la escuela, existe un caso especial, ya que la señal vertical E-1-1 y E-3-3 tiene una velocidad máxima permitida de 25 kph, lo que para el caso de que este proyecto le corresponde una velocidad de diseño de 20kph, por lo que se respeta la señalización tal y como esta definida en el este proyecto, ya que esta señal vertical no se puede modificar, ya que esta establecida de esta forma por el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, (2016)


4.6 Presupuesto preliminar de costos.

El presupuesto que se plantea para este proyecto es de manera preliminar, ya que no cuenta con costos como; gastos de administración, utilidades e imprevistos. Así se mismo se utiliza la hoja de cálculo de presupuesto de carreteras de la Municipalidad de Acosta la cual cuenta con ítems como: costo de los materiales, costo de mano de obra, costo del equipo y maquinaria, y el costo de los acarreo. En este presupuesto, se detallan la cantidad de los materiales y el precio unitario por unidad de medida.

El objetivo es brindar una idea o un costo previo del nuevo diseño de la carrera Breñón con las cantidades de materiales, esto con el objetivo de la que Unidad Técnica de Gestión Vial de la Municipalidad de Acosta tenga noción de ello y pueda funcionar en este caso como una referencia inicial del costo de la obra.

La hoja de cálculo de presupuesto está basada en las actividades descritas del CR-2010 las cuales se ejecutan en proyectos viales, en Costa Rica el manual CR-2010 es utilizado por todas las empresas para la planificación y determinación de costos en proyectos de vialidad.


Tabla 61. Actividades y cantidades de la carretera Breñón

	Hoja de Caculo para presupuesto de carreteras de la Municipalidad de Acosta.		
	Descripción del renglón de pago obras mayores	Unidad	Cantidad Requerida
CR.204.01	Obras de Relleno y conformado	m3	3348.61
CR.205.01	Obras de Corte	m3	23026.14
CR.209.01	Excavación para estructuras, alcantarillas y obras	m3	129.60
CR.209.04	Relleno para otras estructuras, alcantarillas y obras.	m3	95.26
CR.301.06	Suministro, acarreo y colocación de material granular de Subbase Graduación B (CR2010)	m3	1057.00
CR.301.03	Suministro, acarreo y colocación de material granular de base Graduación B (CR2010)	m3	1057.00
-	Emulsiona asfáltica para imprimación	l	14100.00
CR.402.01	Suministro de capa de mezcla asfáltica Marshall	m3	705.00
CR.602.01 (A)	Suministro y colocación de tubería de concreto clase III c76 de 900mm	und	44.00
CR.608.01 (A)	Construcción de canal revestido concreto hidráulico F'c 210 kg/cm ²	ml	1676.00
CR.604.01 (A)	Toma tipo TM-2 para tubo de 900mm	und	7
CR.604.03	Cabezal tipo CA-1 tubo 900mm	und	18.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical máxima velocidad (R-2-1)	und	6.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical zona escolar 100m (E-1-1 y E-1-2)	und	2.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical zona escolar (E-1-1)	und	2.00

Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical 25kph escolares p (E-1-1 y E-3-3)	und	2.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical paso peatonal(E-1-3)	und	1.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical fin de zona escolar (E-2-4)	und	2.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical Curva pronunciada(P-1-1)	und	30.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical pendiente pronunciada(P-6-1)	und	1.00
CR.634.01	Línea blanca continua para pavimentos (izquierda)	km	1.42
CR.634.02	Línea blanca continua para pavimentos (derecha)	m	1.42
CR.634.01	Línea doble continua amarilla para pavimentos	m	2.84
Señalización Horizontal	Letras de Velocidad de Km/h	und	4
Señalización Horizontal	Letreros de escuela	und	2
Señalización Horizontal	Capta luces doble cara roja	und	234
Señalización Horizontal	Capta luces doble cara roja una cara blanca	und	229
Señalización Horizontal	Capta luces doble cara amarilla	und	114.5
CR.556.01	Colocación de barandas de puente tipo flexbeam	m	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2020.


Tabla 62. Presupuesto de la obra.

	Hoja de Caculo para presupuesto de carreteras de la Municipalidad de Acosta.		
	Descripción del renglón de pago obras mayores	Precio Unitario	Total
CR.204.01	Obras de Relleno y conformado	₡ 10.740.00	₡ 35.964.071.40
CR.205.01	Obras de Corte	₡ 3.950.00	₡ 90.953.253
CR.209.01	Excavación para estructuras, alcantarillas y obras	₡ 9.850.00	₡ 1.276.560.00
CR.209.04	Relleno para otras estructuras, alcantarillas y obras.	₡ 8.865.00	₡ 844.516.25
CR.301.06	Suministro, acarreo y colocación de material granular de Subbase Graduación B (CR2010)	₡ 21.465.00	₡ 22.688.505.00
CR.301.03	Suministro, acarreo y colocación de material granular de base Graduación B (CR2010)	₡ 26.700.00	₡ 28.221.900.00
-	Emulsiona asfáltica para imprimación	₡ 125.00	₡ 1.762.500.00
CR.402.01	Suministro de capa de mezcla asfáltica Marshall	₡ 71.460.00	₡ 50.379.300.00
CR.602.01 (A)	Suministro y colocación de tubería de concreto clase III c76 de 900mm	₡187.200.00	₡ 8.236.800.00

CR.608.01 (A)	Construcción de canal revestido concreto hidráulico F'c 210 kg/cm ²	₡ 21.685.00	₡ 36.344.060.00
CR.604.01 (A)	Toma tipo TM-2 para tubo de 900mm	₡302.600.00	₡ 2.118.200.00
CR.604.03	Cabezal tipo CA-1 tubo 900mm	₡312.000.00	₡ 5.616.000.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical máxima velocidad (R-2-1)	₡116.115.00	₡ 696.690.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical zona escolar 100m (E-1-1 y E-1-2)	₡116.116.00	₡ 232.232.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical zona escolar (E-1-1)	₡116.116.00	₡ 232.232.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical 25kph escolares p (E-1-1 y E-3-3)	₡116.116.00	₡ 232.232.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical paso peatonal(E-1-3)	₡116.116.00	₡ 116.116.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical fin de zona escolar (E-2-4)	₡116.116.00	₡ 232.232.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical Curva pronunciada(P-1-1)	₡116.116.00	₡ 3.483.480.00
Señalización Vertical	Suministro y colocación de señal vertical pendiente pronunciada(P-6-1)	₡116.116.00	₡ 116.116.00
CR.634.01	Línea blanca continua para pavimentos (izquierda)	₡675.875.00	₡ 959.742.50
CR.634.02	Línea blanca continua para pavimentos (derecha)	₡675.875.00	₡ 959.742.50
CR.634.01	Línea doble continua amarilla para pavimentos	₡675.875.00	₡ 1.919.485.00
Señalización Horizontal	Letras de Velocidad de Km/h	₡ 53.911.00	₡ 215.644.00
Señalización Horizontal	Letreros de escuela	₡ 62.500.00	₡ 125.000.00
Señalización Horizontal	Capta luces doble cara roja	₡ 4.561.00	₡ 1.067.274.00
Señalización Horizontal	Capta luces doble cara roja una cara blanca	₡ 4.562.00	₡ 1.044.698.00
Señalización Horizontal	Capta luces doble cara amarilla	₡ 4.561.00	₡ 522.234.50
CR.556.01	Colocación de barandas de puente tipo flexbeam	₡ 87.578.00	₡ 8.757.800.00
Costo total de la obra.			₡ 305.318.616.15

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 63. Costo de materiales, mano de obra; equipo y acarreos.

	Porcentajes Respectivos			
	67%	16%	6%	11%
	Materiales	Mano de obra	Equipo y maquinaria	Acarreo
CR.204.01	₡ 24.095.927.84	₡ 5.754.251.42	₡ 2.157.844.28	₡ 3.956.047.85
CR.205.01	₡ 60.938.679.51	₡ 14.552.520.48	₡ 5.457.195.18	₡ 10.004.857.83
CR.209.01	₡ 855.295.20	₡ 204.249.60	₡ 76.593.60	₡ 140.421.60

CR.209.04	₡ 565.825.89	₡ 135.122.60	₡ 50.670.97	₡ 92.896.79
CR.301.06	₡ 15.201.298.35	₡ 3.630.160.80	₡ 1.361.310.30	₡ 2.495.735.55
CR.301.03	₡ 18.908.673.00	₡ 4.515.504.00	₡ 1.693.314.00	₡ 3.104.409.00
-	₡ 1.180.875.00	₡ 282.000.00	₡ 105.750.00	₡ 193.875.00
CR.402.01	₡ 33.754.131.00	₡ 8.060.688.00	₡ 3.022.758.00	₡ 5.541.723.00
CR.602.01 (A)	₡ 5.518.656.00	₡ 1.317.888.00	₡ 494.208.00	₡ 906.048.00
CR.608.01 (A)	₡ 24.350.520.20	₡ 5.815.049.60	₡ 2.180.643.60	₡ 3.997.846.60
CR.604.01 (A)	₡ 1.419.194.00	₡ 338.912.00	₡ 127.092.00	₡ 233.002.00
CR.604.03	₡ 3.762.720.00	₡ 898.560.00	₡ 336.960.00	₡ 617.760.00
Señalización Vertical	₡ 466.782.30	₡ 111.470.40	₡ 41.801.40	₡ 76.635.90
Señalización Vertical	₡ 155.595.44	₡ 37.157.12	₡ 13.933.92	₡ 25.545.52
Señalización Vertical	₡ 155.595.44	₡ 37.157.12	₡ 13.933.92	₡ 25.545.52
Señalización Vertical	₡ 155.595.44	₡ 37.157.12	₡ 13.933.92	₡ 25.545.52
Señalización Vertical	₡ 77.797.72	₡ 18.578.56	₡ 6.966.96	₡ 12.772.76
Señalización Vertical	₡ 155.595.44	₡ 37.157.12	₡ 13.933.92	₡ 25.545.52
Señalización Vertical	₡ 2.333.931.60	₡ 557.356.80	₡ 209.008.80	₡ 383.182.80
Señalización Vertical	₡ 77.797.72	₡ 18.578.56	₡ 6.966.96	₡ 12.772.76
CR.634.01	₡ 643.027.48	₡ 153.558.80	₡ 57.584.55	₡ 105.571.68
CR.634.02	₡ 643.027.48	₡ 153.558.80	₡ 57.584.55	₡ 105.571.68
CR.634.01	₡ 1.286.054.95	₡ 307.117.60	₡ 115.169.10	₡ 211.143.35
Señalización Horizontal	₡ 144.481.48	₡ 34.503.04	₡ 12.938.64	₡ 23.720.84
Señalización Horizontal	₡ 83.750.00	₡ 20.000.00	₡ 7.500.00	₡ 13.750.00
Señalización Horizontal	₡ 715.073.58	₡ 170.763.84	₡ 64.036.44	₡ 117.400.14
Señalización Horizontal	₡ 699.947.66	₡ 167.151.68	₡ 62.681.88	₡ 114.916.78
Señalización Horizontal	₡ 349.897.12	₡ 83.557.52	₡ 31.334.07	₡ 57.445.80
CR.556.01	₡ 5.867.726.00	₡ 1.401.248.00	₡ 525.468.00	₡ 963.358.00
Costo total	₡ 204.563.472.82	₡ 48.850.978.58	₡ 18.319.116.97	₡ 33.585.047.78

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5. Conclusiones

1. Se realizó una propuesta diseño geométrico horizontal y vertical que cumpliera con la normas y recomendaciones establecidos en manuales de diseño geométrico de

carreteras, intentado aprovechar los espacios disponibles, donde la topografía lo permitiera, empleando el derecho de vía existente.

2. Se realizó una propuesta de diseño de alcantarillado pluvial y de cunetas, utilizando como base las normas establecidas por el A y A y las recomendaciones de elementos hidráulicos de la Municipalidad de Acosta. Se establecieron subcuencas a partir de la cuenca principal en las cuales se verificó el aporte de escorrentía de las mismas a la carretera y a los pasos transversales del alcantarillado.
3. Se diseñó los espesores de capas de la estructura del pavimento flexible basándose en las normativas ASSTHO-1993, utilizando como referencia la investigación de carreteras pavimentadas de bajo tránsito vehicular realizada por la unidad técnica de gestión Municipal UCR.
4. Se elaboró un presupuesto de forma preliminar, el cual se tendrá información de carácter informativo para la toma de decisiones para el proyecto.

6. Recomendaciones

1. Se le recomienda a la Municipalidad de Acosta realizar un estudio de viabilidad de expropiación de propiedades, para así poder establecer un ancho de carril más amplio (3.5m) donde este pueda brindar más comodidad y confortabilidad a los usuarios que transitan en ella, además se recomienda la construcción de aceras en todo el tramo de la carretera pensando en el futuro de los habitantes actuales como de los futuros.
2. Se le recomienda a la Municipalidad de Acosta verificar y estar al pendiente del estado actual de las carreteras de la zona, con el objetivo de alargar la vida útil de estas estableciendo mantenimiento preventivo.

3. Se le recomienda a la Municipalidad de Acosta realizar una visita técnica y determinar si taludes paralelos a la carretera presenta riesgo de deslizamiento en el cual estos puedan poner en peligro a las personas que transitan en la carretera.
4. Se le recomienda a la Universidad Latina de Costa Rica, ampliar los conocimientos en el ámbito de levantamientos topográficos de carreteras, implementando el uso del software AutoCAD Civil 3D en el laboratorio en el cual el estudiante cree y adquiera conocimiento en la realización de este tipo de levantamientos.
5. A la Universidad Latina de Costa Rica, se le recomienda fortalecer el curso de hidrología e hidráulica en la construcción de caminos, ya que no se cuenta con herramientas o conocimientos básicos de como diseñar; una red de alcantarillado, canales revestidos en carreteras, pasos transversales de alcantarillas en carreteras.

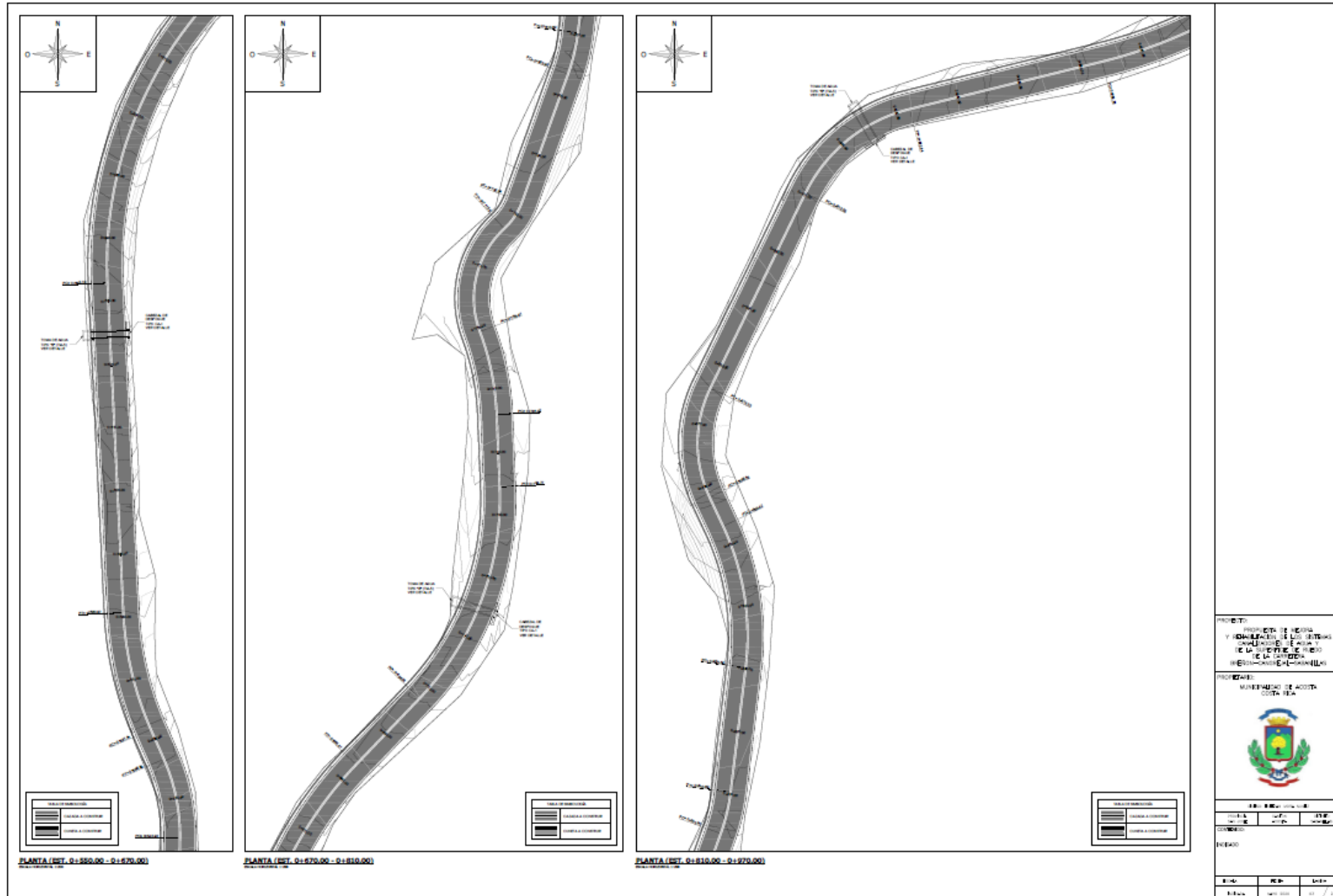
Bibliografía

- AASHTO. (1993). *Diseño de Pavimentos*. San Juan.
- AASHTO. (2011). *Politica sobre el Diseño Geometrico de Caminos y Calles*. San Juan: T1:C1C2C3.
- Asamblea Legislativa de Costa Rica. (1972). *Ley General de Caminos Publicos de Costa Rica*. Obtenido de Sistema Costarricense de Informacion Juridica: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=38653&nValor3=101756&nValor5=172151&strTipM=FA
- Cal, R., Reyes Spindola, M., & Cardenas Grisales, J. (2007). *Ingenieria de Transito, Fundamentos y aplicaciones*. MExico D.F: Alfaomega.
- Cardenas Grisales, J. (2013). *Diseño Geometrico de Carrteras*. Bogota: Andrea Sierra Gomez.
- Cárdenas Quintero, M., & Vicente Marbello, R. (Diciembre de 2011). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/321598427_Ecuaciones_de_diseno_de_cunetas_recomendadas_en_el_Manual_de_Drenaje_para_Carreteras_empleando_la_ecuacion_de_Manning_y_la_ecuacion_de_Darcy_Weisbach_-_Colebrook_White
- Consejo de Seguridad Vial de Costa Rica. (2016). *Manual oficial de educación Vial de Costa Rica*. San Jose: MOPT.
- Departamento de Adminitracion y Evaluacion de Pavimentos. (1990). *Identificacion de las fallas en pavimentos y tecnicas de reparacion (catalogo de falla)*. Republica Dominicana.
- Gamboa, I. (1969). *Diseño Hidrológico e hidráulico de Drenajes menores en carreteras*. San Jose: MInisterio de obras publicas y trasportes.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). *Norma técnica para el Diseño y Construcción de Sistemas de abastecimiento de agua potable,saneamiento y pluvial*. San Jose: La Gaceta.
- Instituto Metereológico Nacional. (2011). *Curvas de Intnesidad Duracion Frecuencia de algunas estaciones meterologicas automaticas*. San jose: Instituto Metereológico Nacional.
- INVIAS. (2008). *Manual de Diseño Geometrico de carreteras*. Bogota.
- INVIAS. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*. Colombia : Republica de Colombia.
- Lanamme UCR. (2016). Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre. *Revista Infraestructura Vial*, 31.

- Ministerio de Obras Publicas y Transportes. (2016). *Manual de Auscultacion Visual de Pavimentos de Costa Rica*. San Jose: Republica de Costa Rica.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de tránsito*. Peru: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Octubre de 2014). *Manual de Carreteras y diseño Geometrico (DG-2014)*. Lima, Peru.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú. (2008). *Manual de Hidrologia, Hidraulica y Drenaje*. Peru: Publicacion del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú.
- MOPT. (10 de Septiembre de 2007). DVOP - 5170-07. *Decreto presentado por el Despacho Viceministro de obras publicas*. San Jose, Costa Rica: Ministerio de Obras Publicas y transporte.
- Municipalidad de Acosta. (2 de 03 de 2018). *Municipalidad de Acosta*. Obtenido de Municipalidad de Acosta: <https://www.acosta.go.cr/index.php/nosotros/historia-de-acosta>
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos uniformes para el control de tránsito*. Guatemala: Proyecto Regional de Apoyo a la Integración Económica Centroamericana.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2002). *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*. SIECA.
- SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Nomas para el Diseño Geometrico de Carreteras*. Mexico: Grupo Editorial Patria.
- SIECA. (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica*. Salvador: DACGER.
- Unidad de Gestion Municipal LanammeUCR. (2016). *Propuesta para una guia de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrigidos*. San Pedro Monte de Oca: UCR.
- Vahrson, G., & Dercksen, P. (1990). *Intensidades Criticas de lluvia para el diseño de obras de conservacion de suelos en Costa Rica*. Heredia: Cooperacion tecnica Internacional Holandesa.
- Valentin, M. G. (2007). *Hiidrologia Urbana* . Barcelona : Flumen .

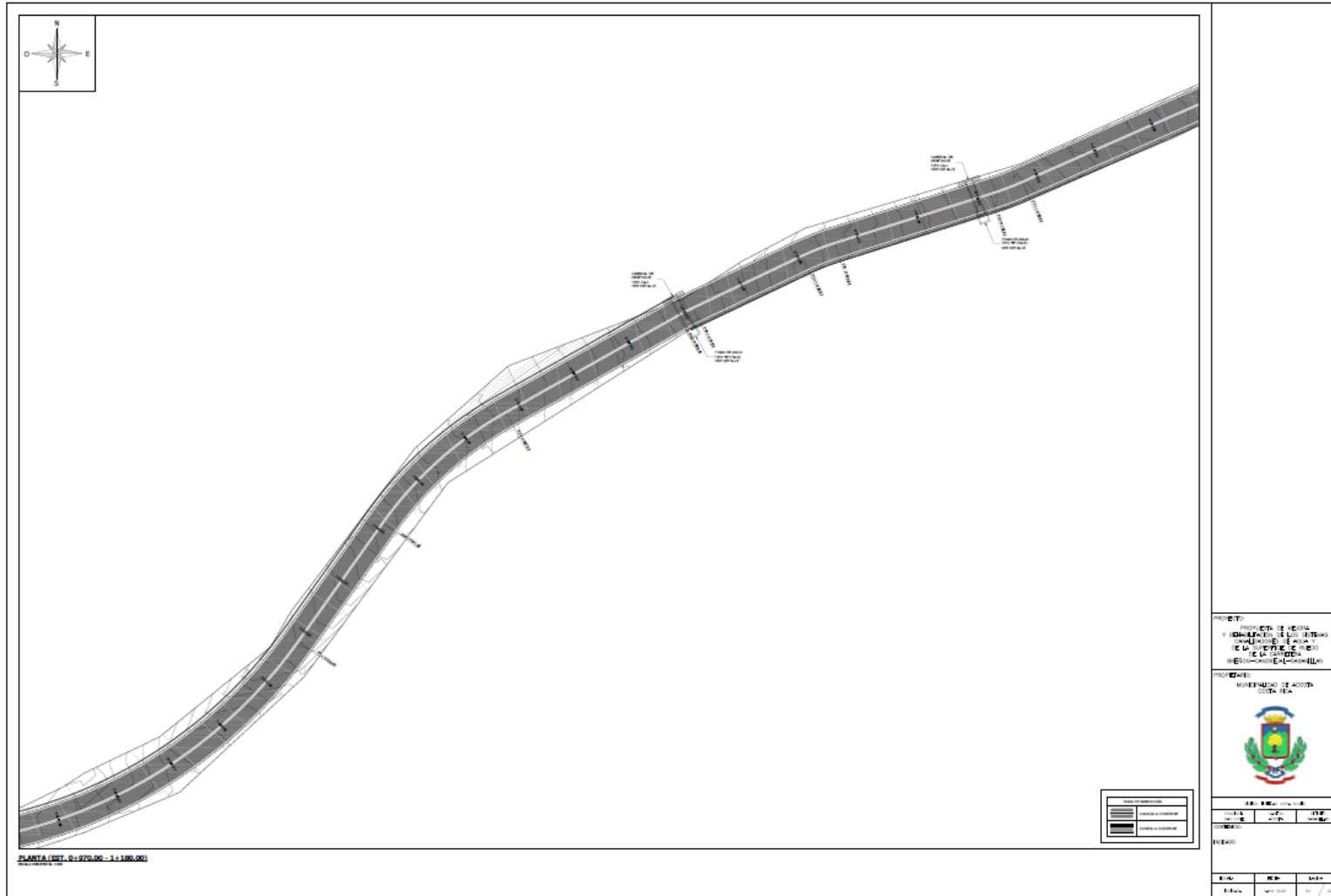
Anexos

Ilustración 90.2.3 PLANTA TFG



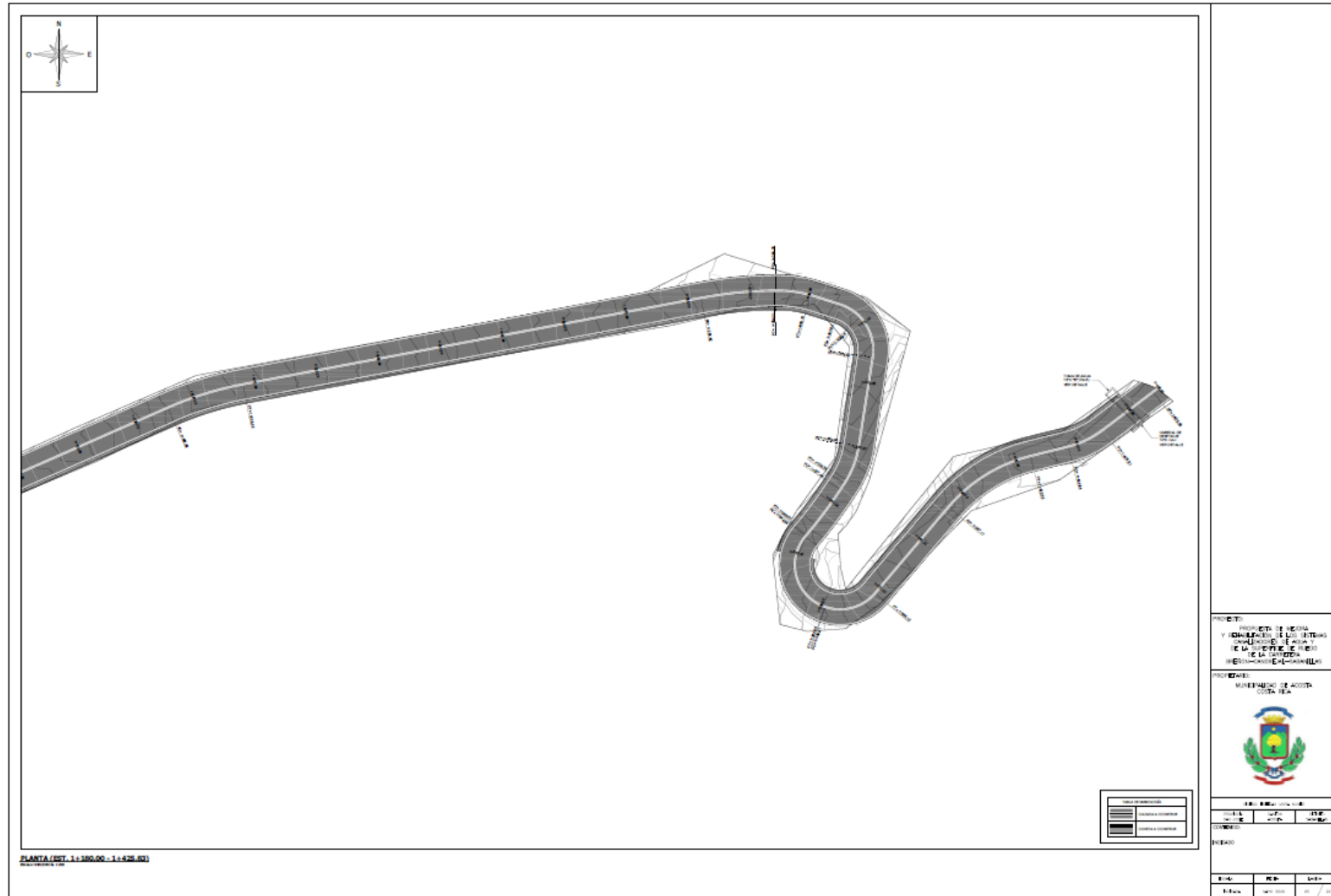
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 91.2.4 PLANTA TFG



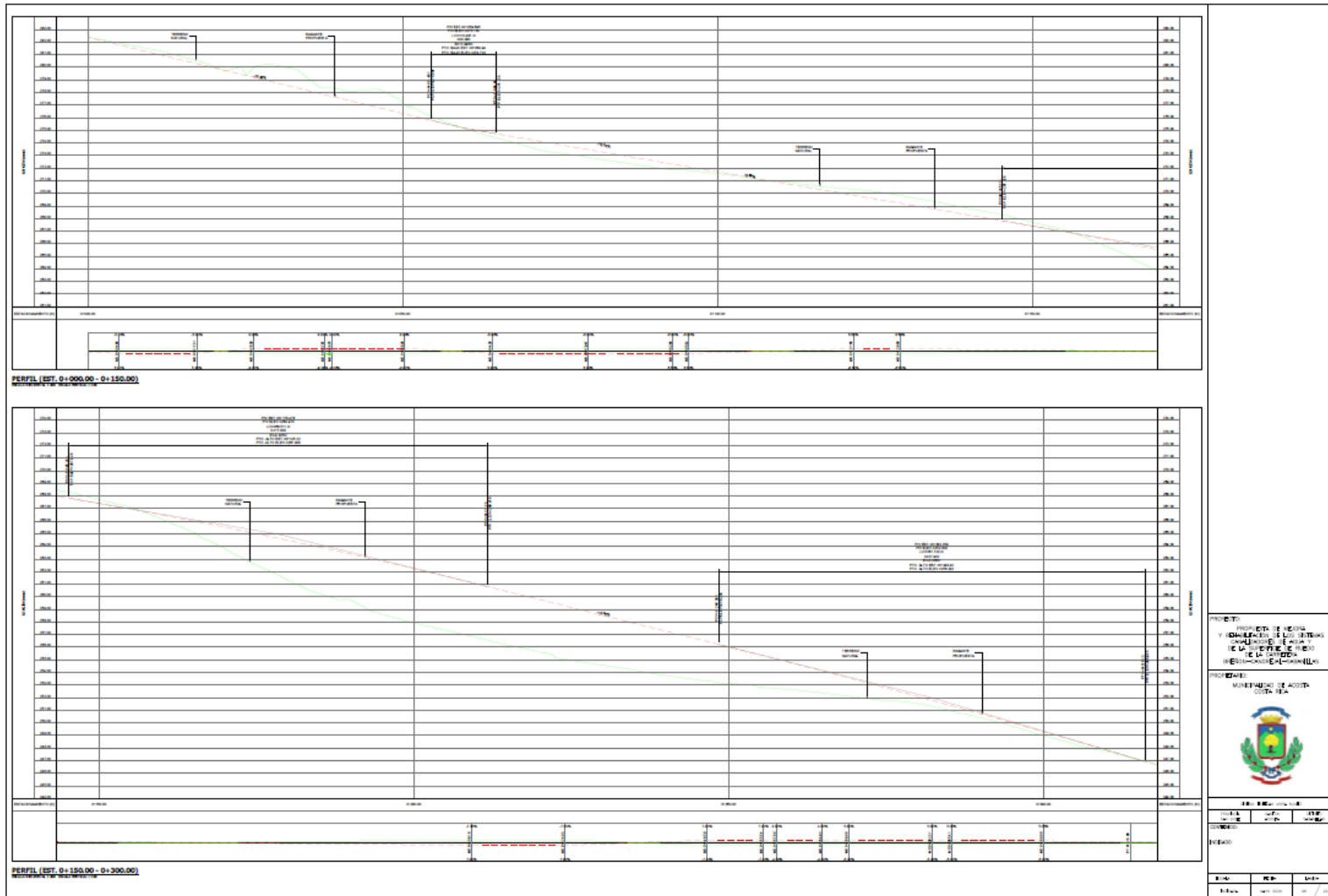
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 92.2.5 PLANTA TFG



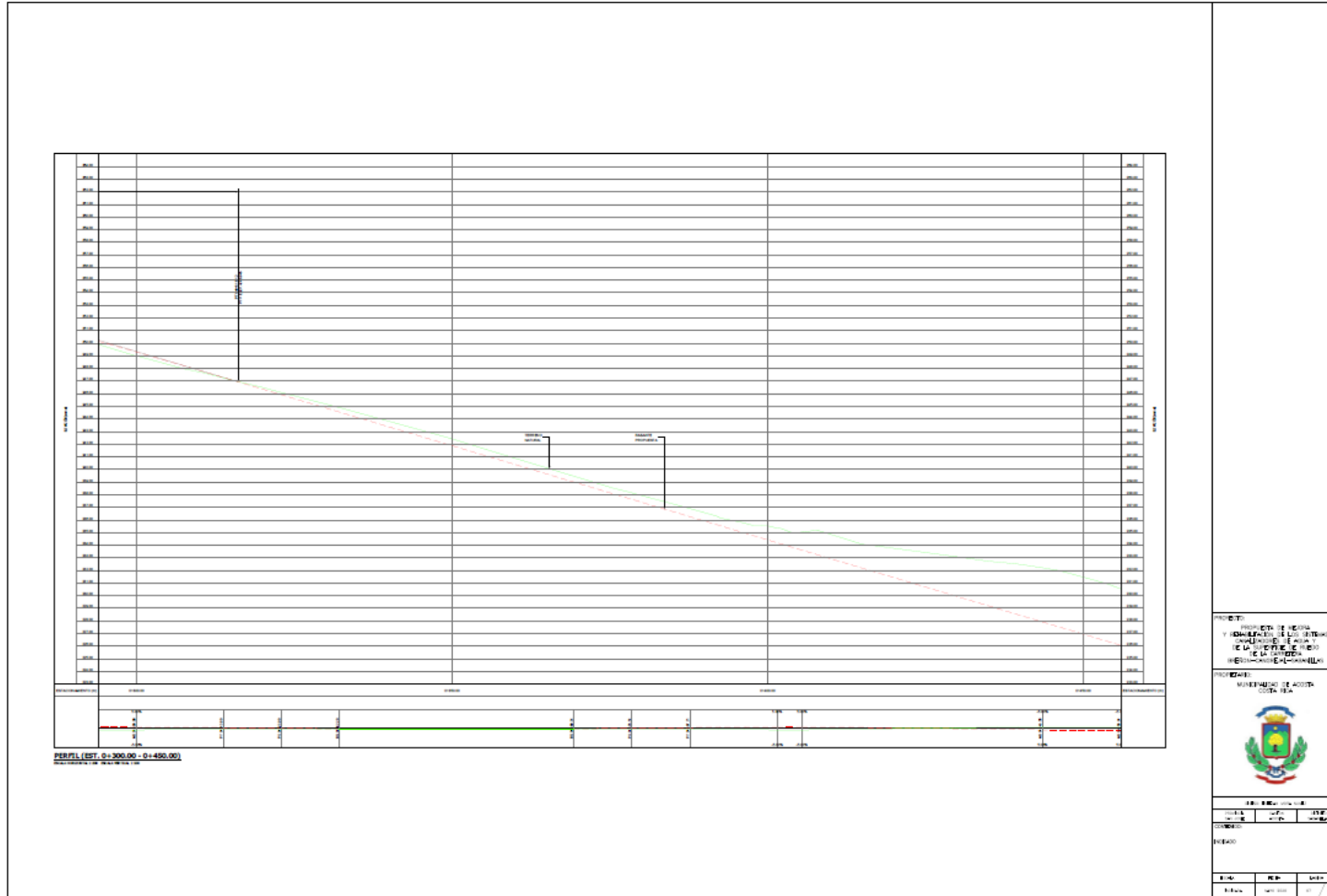
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 93.3.1 PERFIL TFG



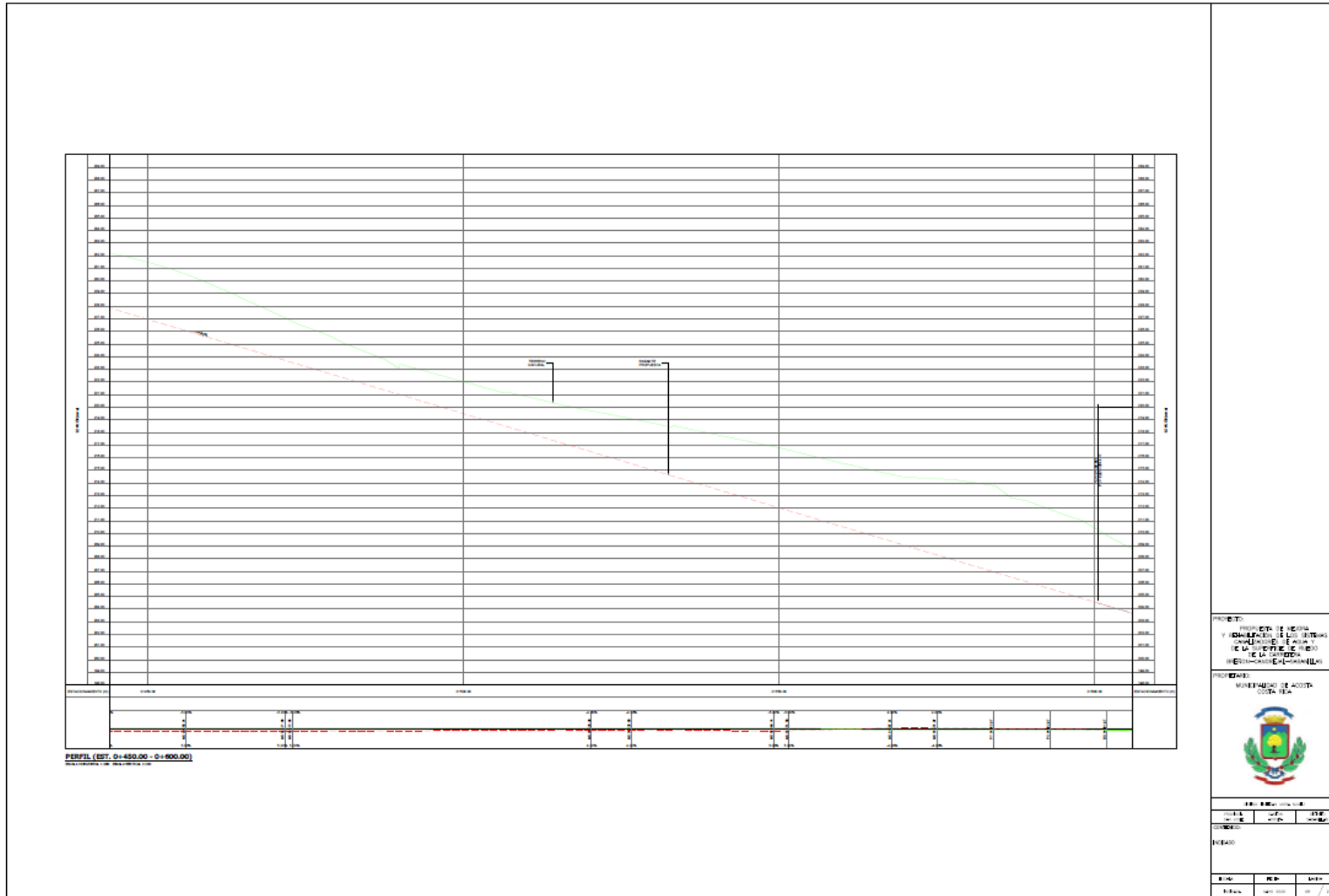
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 94.3.2 PERFIL TFG



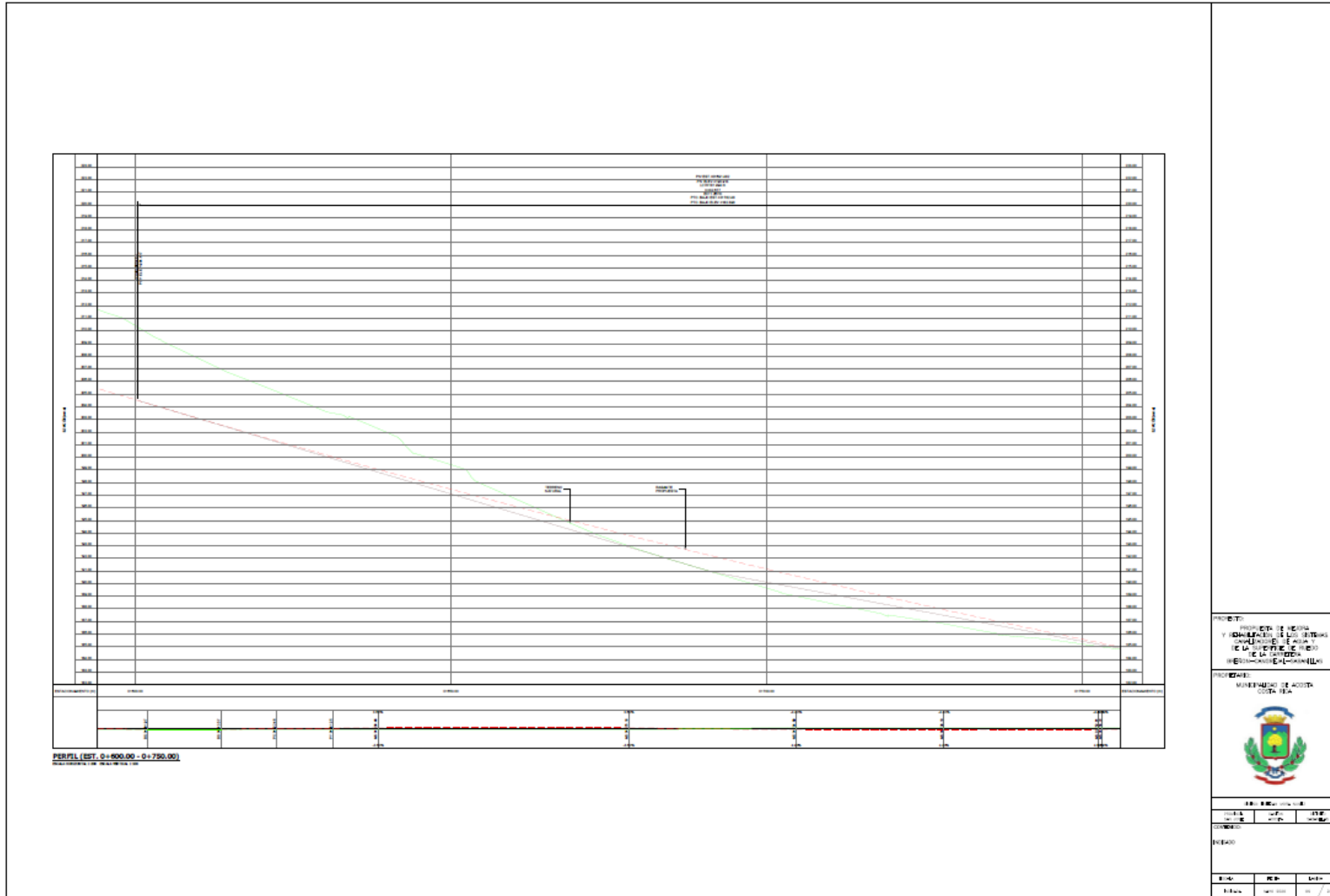
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 95.3.3 PERFIL TFG



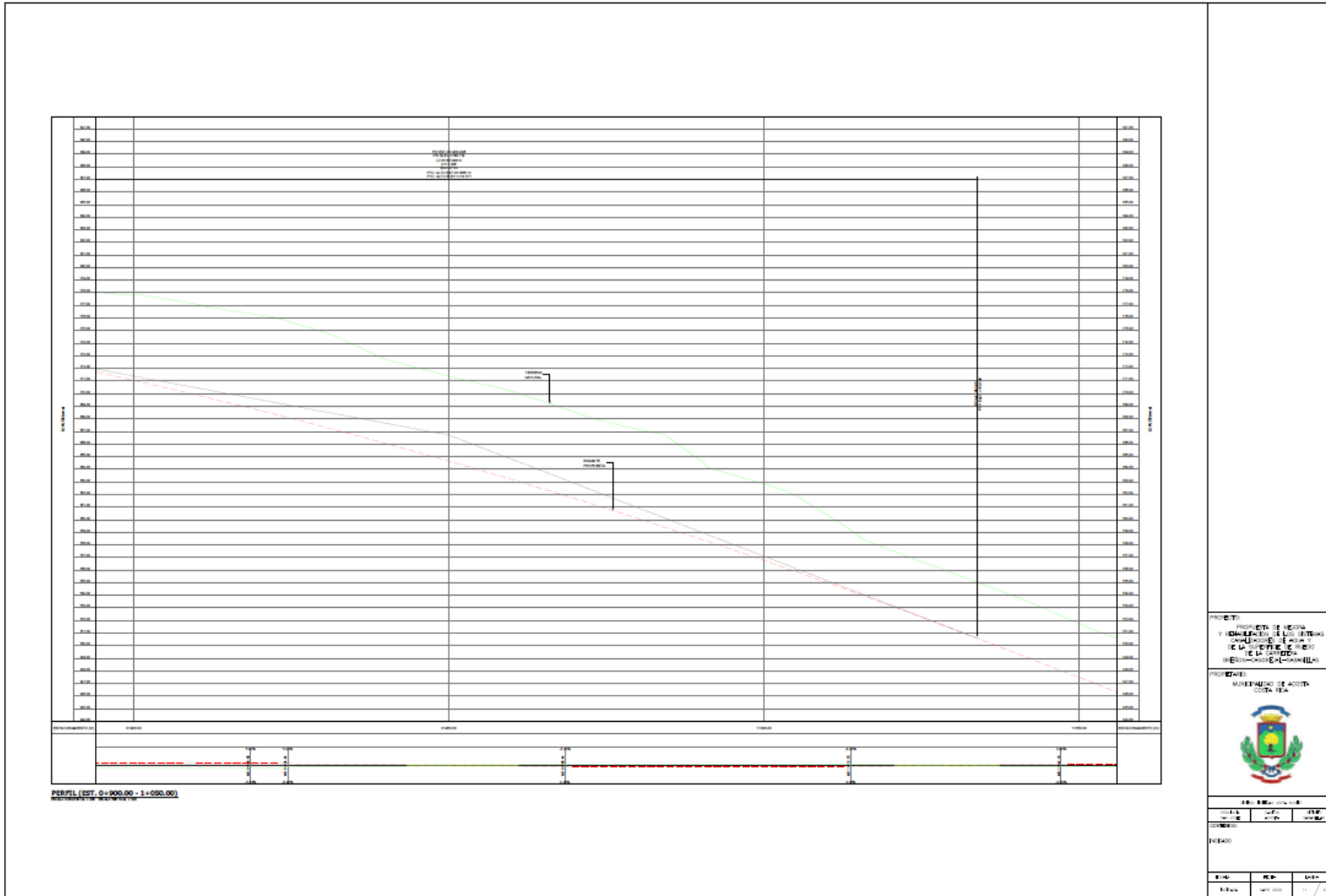
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 96.3.4 PERFIL TFG



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 98.3.6 PERFIL TFG



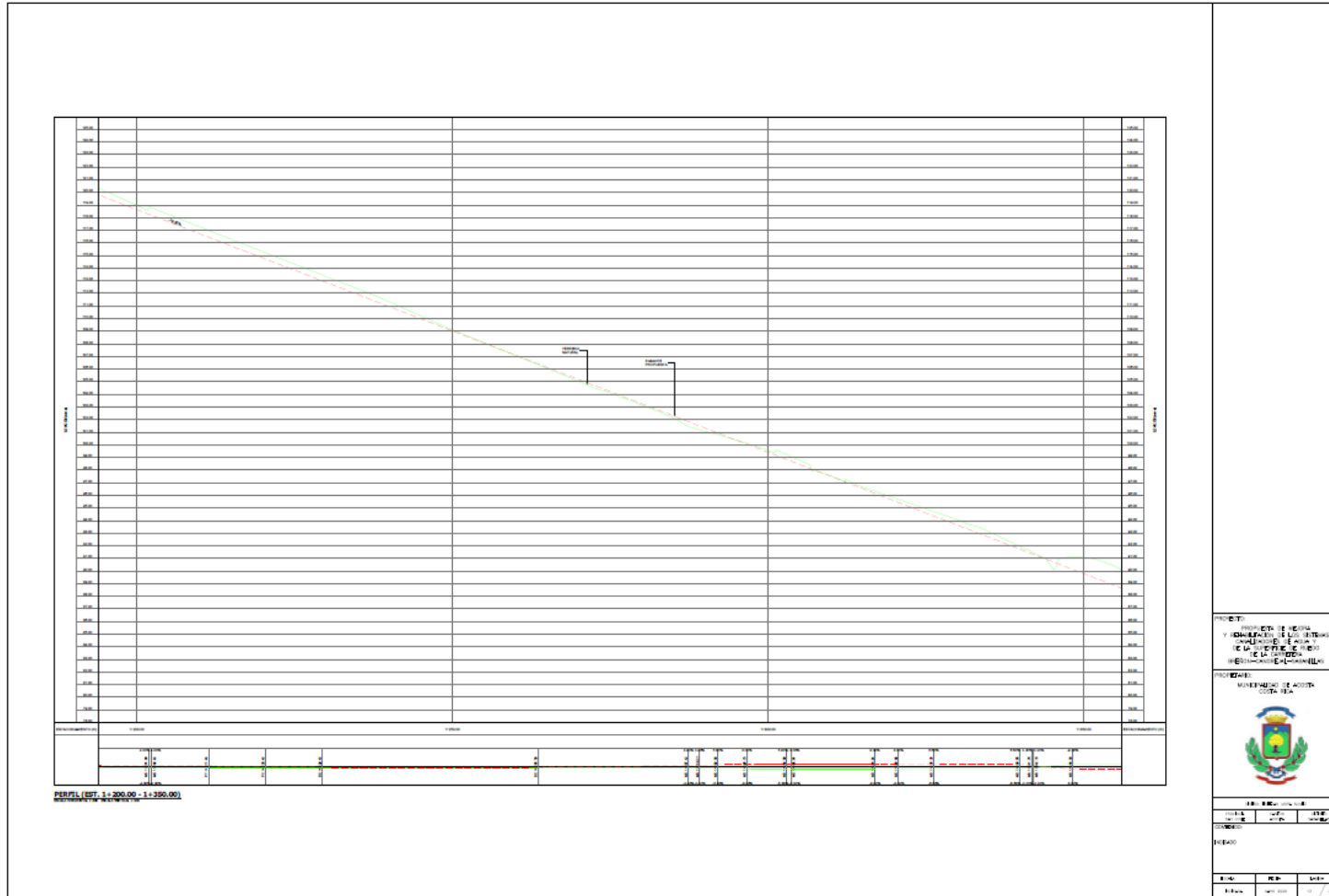
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 99.3.7 PERFIL TFG



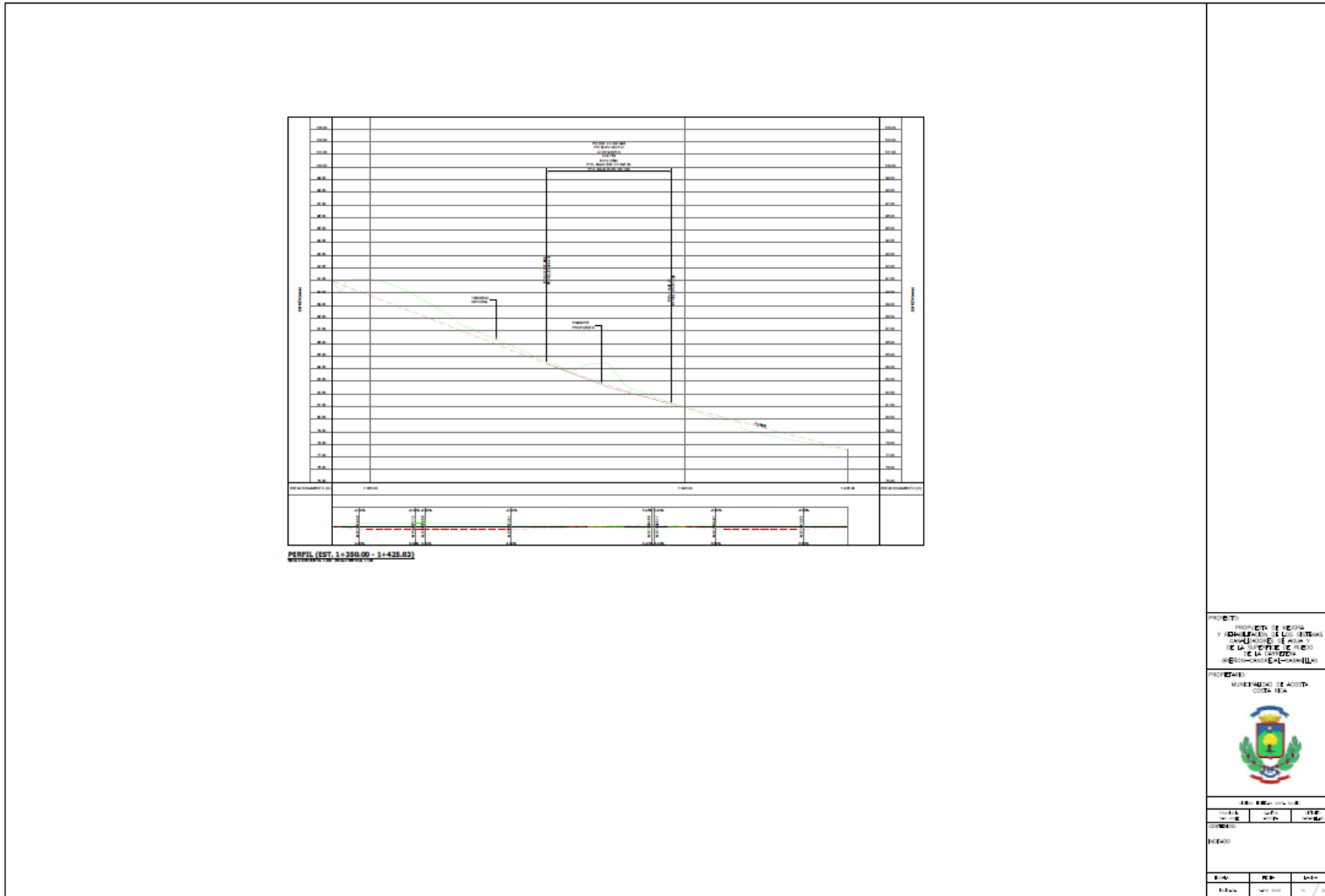
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 100.3.8 PERFIL TFG



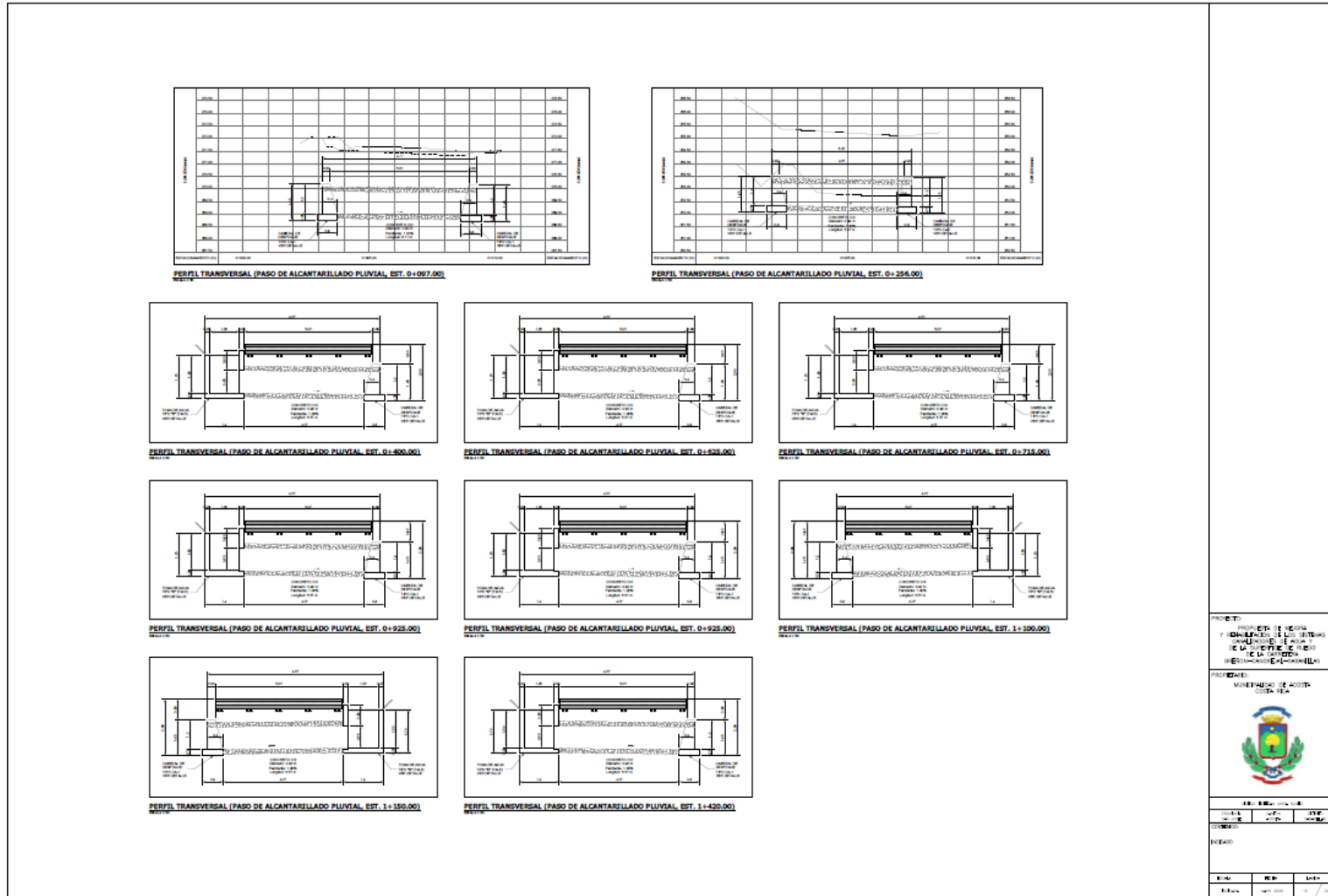
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 101.3.9 PERFIL TFG



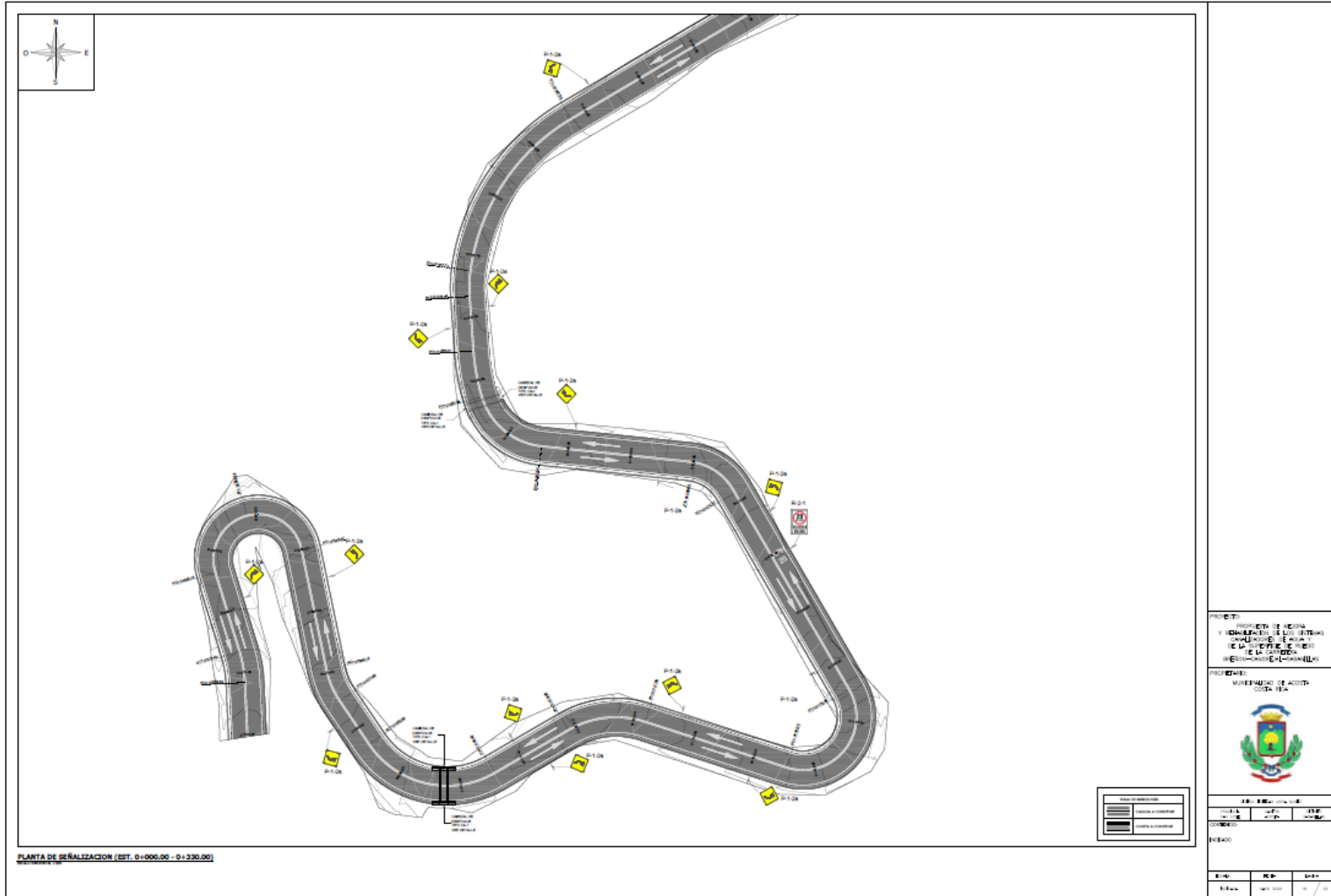
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 102.4.1 PASOS TRANSVERSALES TFG



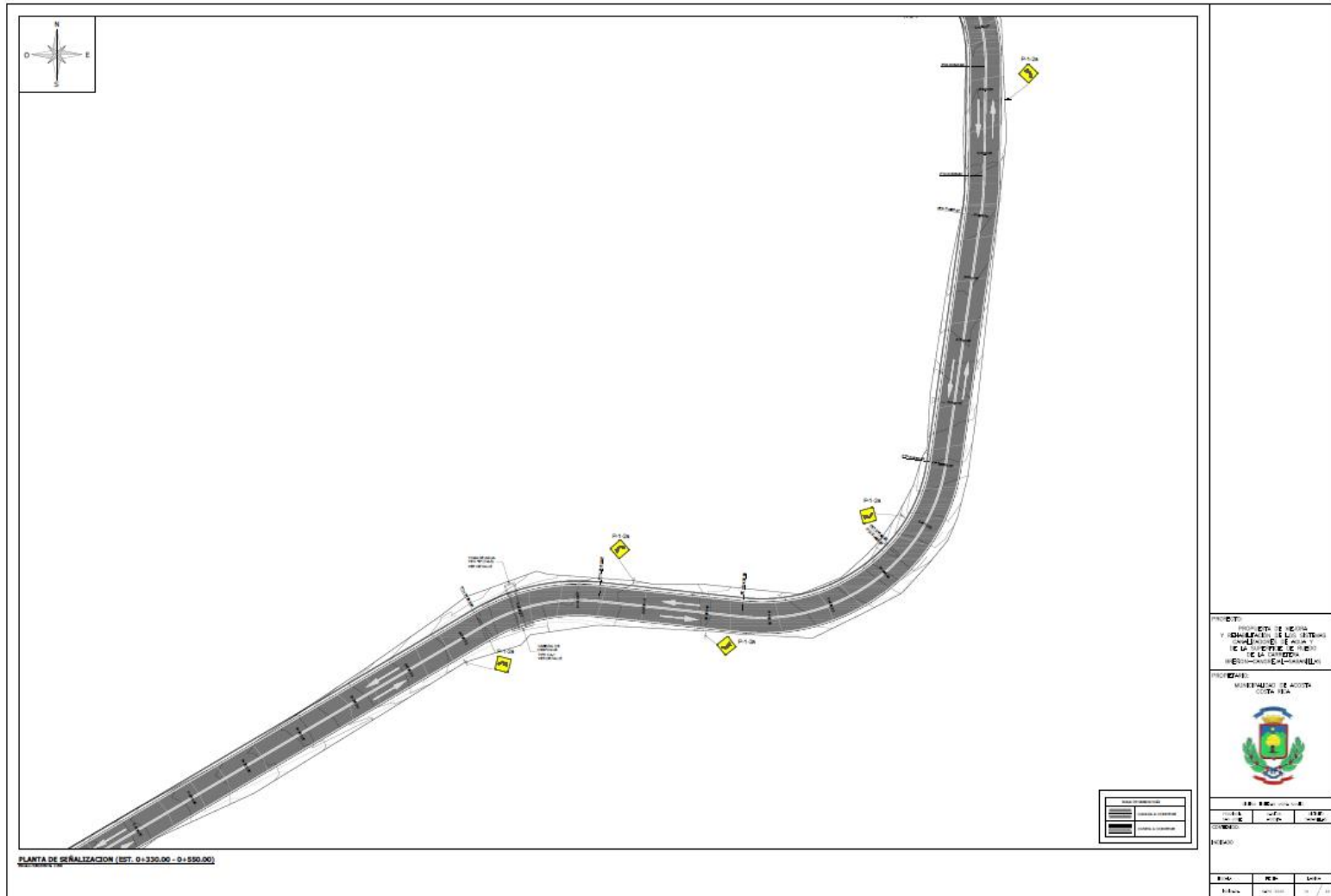
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 104. 5.1 PLANTA SEÑALIZACION TFG



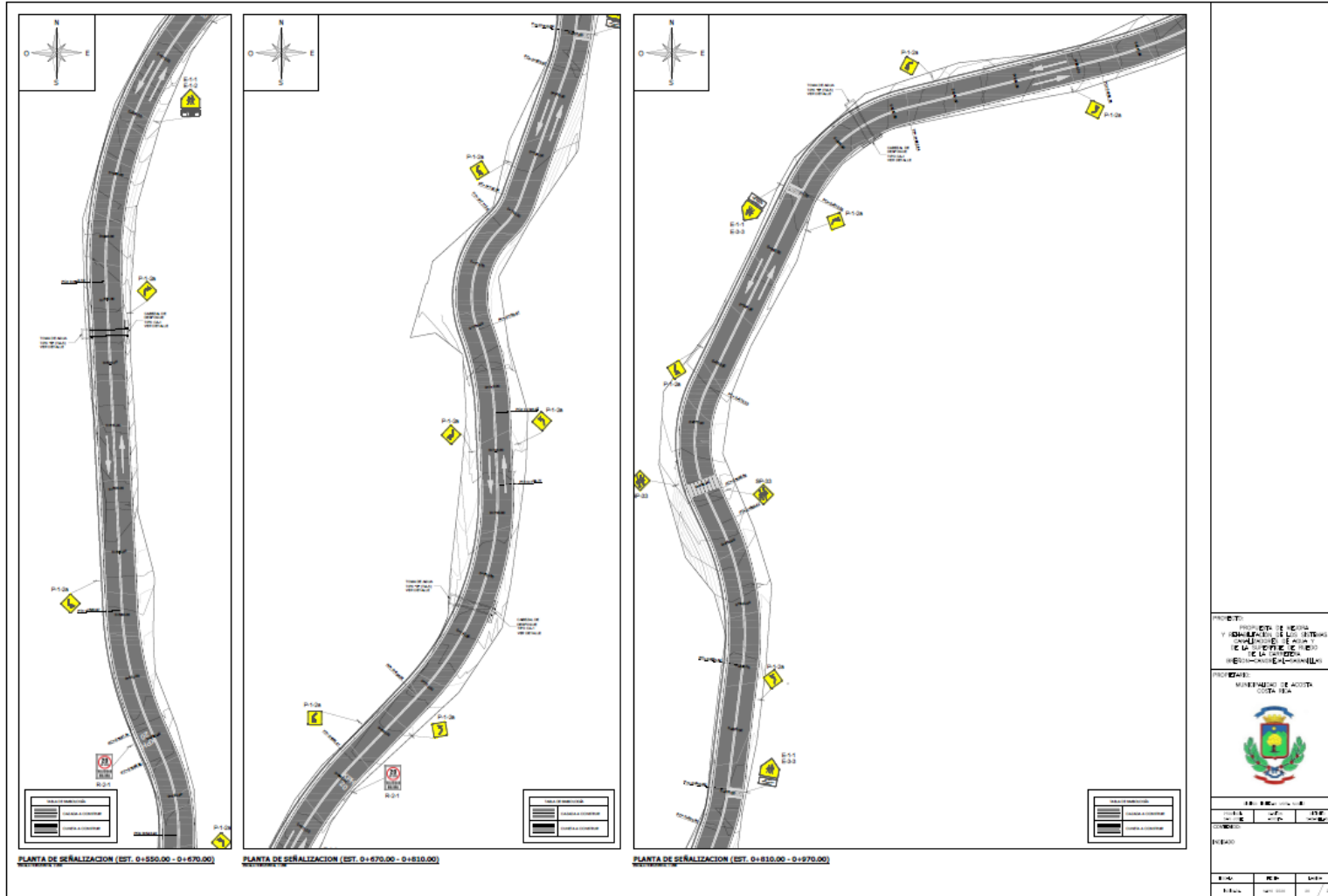
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 105.5.2 PLANTA SEÑALIZACION TFG



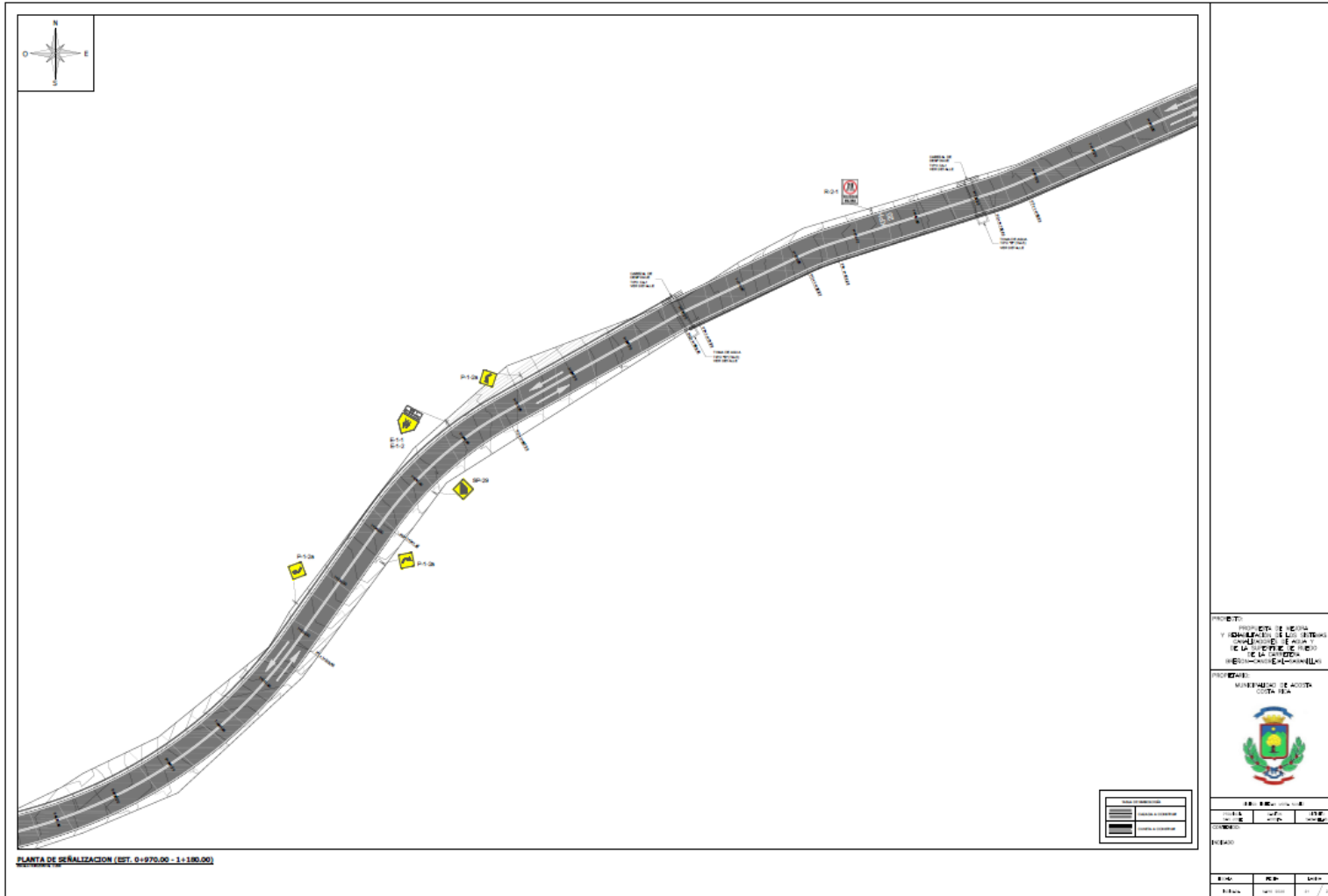
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 106.5.3 PLANTA SEÑALIZACION TFG



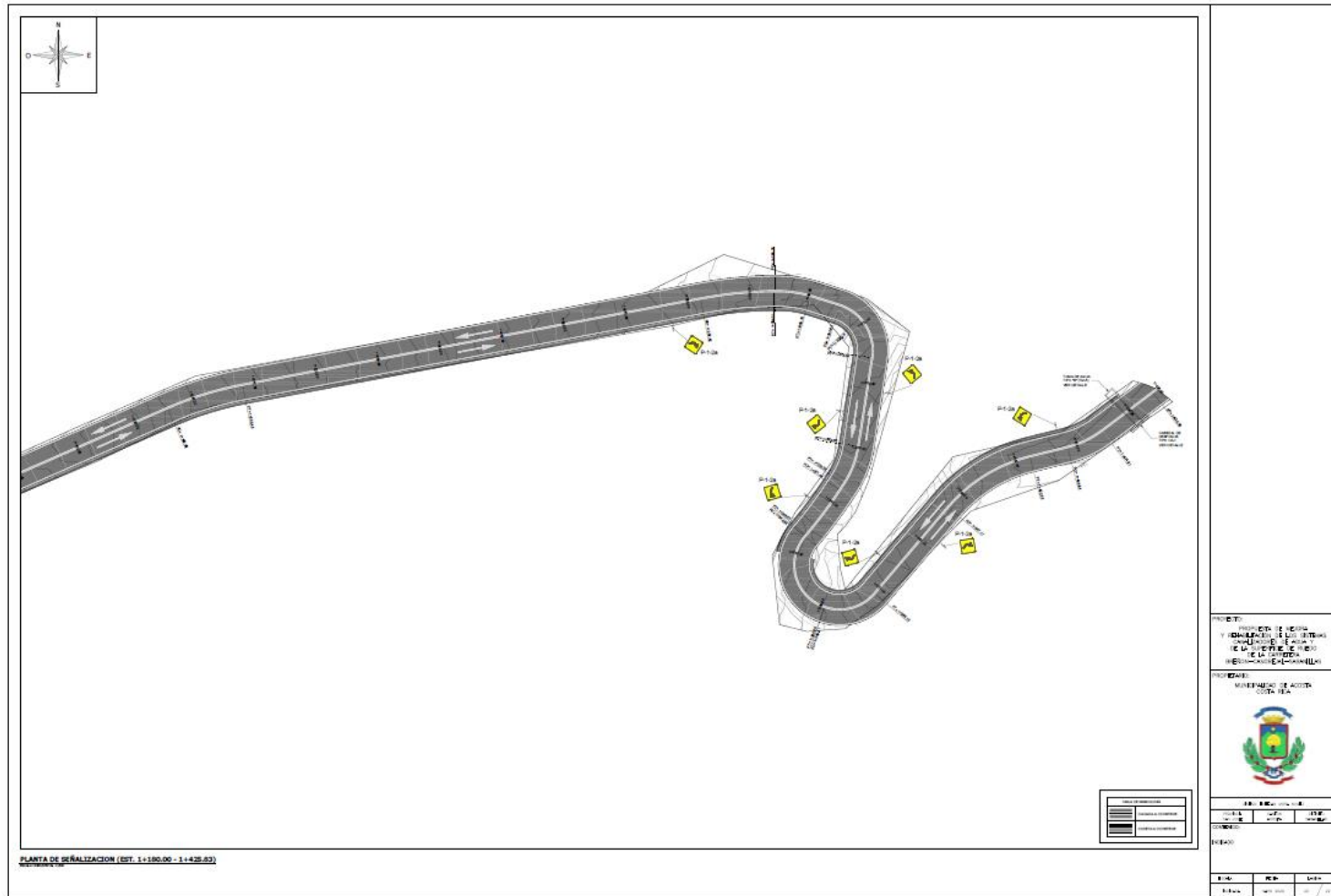
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 107.5.4 PLANTA SEÑALIZACION TFG



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Ilustración 108.5.5 PLANTA SEÑALIZACION TFG



Fuente: Elaboración propia, 2020.