

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO AASHTO - 93 DEL TRAMO CUESTA EL CASCABEL - QUEBRADA EL ZAPOTE, EN LA COMUNIDAD LOS ENCUENTROS, MUNICIPIO DE CIUDAD DARÍO, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Eynor Inmanol
Valenzuela Navas
Carnet: 2018-0065N

Br. Edward Josué
Valle Espino
Carnet: 2016-02171

Br. Harvin Oswaldo
Olivas Méndez
Carnet: 2018-0022N

Ing. Eddy Wilfredo
Montalván Lanzas

DEDICATORIA

A **Dios** por permitirme llegar hasta este momento y culminar mis estudios universitarios y por haberme otorgado sabiduría, en esta ardua labor que implica esfuerzo y perseverancia para poder finalizar toda una etapa con éxito; mi carrera de ingeniero civil.

Gracias a mi mamá: **María del Socorro López Navas**; por brindarme todo su apoyo en todo momento en todo el transcurso de mi vida para poder lograr esta meta y las próximas que vendrán.

A mis tías: **Ana Lucía Navas** y **Yolanda del Carmen Castillo**; que siempre se mostraron dispuestas a brindarme su ayuda, ya que sin ellas no hubiese sido posible alcanzar este importante logro que significa mucho para mí como primera etapa en mi trayectoria profesional con vista a nuevas metas académicas. Por apoyarme, motivarme, aconsejarme incondicionalmente en momentos difíciles y darme importantes lecciones de vida.

A todas las personas que no terminaría de mencionar, tanto amigos como familiares que me han acompañado en diferentes momentos de mi vida que si bien es cierto no es posible permanecer siempre juntos por diversas circunstancias de la vida, siempre te acompañan en sus mentes, brindando su apoyo incondicional de forma moral y espiritual.

A todas estas personas quiero decirles, que lo más importante de esta experiencia fue reconocer que los momentos difíciles en la vida, se hacen menos difíciles cuando se cuenta con buenas personas como ellos; que ofrecen su buena disposición para ayudar a quien lo necesite.

Br. Eynor Inmanol Valenzuela Navas

DEDICATORIA

*Primeramente, gracias a Dios por nunca soltar mi mano en este camino, que no fue fácil, pero se pudo; gracias a mis padres por el apoyo y soporte que siempre recibí de su parte; a mis amigos por formar parte de este proceso, por haberlo hecho muy especial; a mi familia por estar pendiente y aportar su granito de arena, a **Mariam Soza** por estar desde que empecé este camino, por ser mi apoyo incondicional, gracias a mis mentores por darme el conocimiento y guiarme durante todo este proceso.*

Este es el comienzo de un sueño, el límite es el cielo, gracias totales.

Br: Edward Josué Valle Espino

DEDICATORIA

Dedico primeramente a Dios, por brindarme sabiduría e inteligencia para poder culminar con éxito mi trabajo, seguidamente a mis padres que fueron un pilar fundamental en este proceso de aprendizaje ya que ellos estuvieron siempre a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí, una mejor persona; a los maestros que me guiaron durante toda esta trayectoria; a mis amigos y compañeros quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos cinco años estuvieron a mi lado apoyándome para que mi sueño se hiciera realidad.

Br. Harvin Oswaldo Olivas Méndez

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por permitirnos concluir nuestra carrera profesional y por darnos sabiduría.

A nuestros Padres, quienes nos han brindado su apoyo en todo momento y en cada etapa de nuestra formación personal y profesional.

A nuestras familias, que nos han brindado su apoyo de manera incondicional en todo momento.

A Ing. Eddy Montalván e Ing. Oliver Rivera, quienes ha brindado su total apoyo como guía en este proceso monográfico.

A todos nuestros docentes de toda nuestra trayectoria académica, que nos concedieron un poco de su enseñanza, parte del conocimiento y experiencia que poseen sobre el mundo de la ingeniería civil; en nuestra formación académica. En especial al Ing. Oliver Rivera; por guiarnos en el desarrollo de este trabajo monográfico.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Macro localización del tramo en estudio, Municipio de Ciudad Darío, Departamento de Matagalpa	2
Ilustración 2. Micro localización del tramo Cuesta el Cascabel - Quebrada El Zapote	3
Ilustración 3. Perfil natural del terreno Est. 0+000 - 2+000.....	11
Ilustración 4. Estación de conteo vehicular (0+000).....	17
Ilustración 5. Espesores mínimos para estructura de pavimento	40
Ilustración 6. Ubicación de bancos de material	52
Ilustración 7. Coeficiente de capa base granular.....	67
Ilustración 8. Coeficiente de capa de subbase granular	68
Ilustración 9. Determinación de SN ₂ (Base)	71
Ilustración 10. Resumen de SN determinados	72
Ilustración 11. Estructura de pavimento articulado.....	75
Ilustración 12. Vehículo de Diseño (SU).....	80
Ilustración 13. Elementos de la Sección Transversal de la Vía	81
Ilustración 14. Sobreechancho de curvas	87
Ilustración 15. Elementos geométricos de curvas horizontales	88
Ilustración 16. Problemas de drenaje	I
Ilustración 17. Condiciones actuales del tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote	II
Ilustración 18. Diagrama de cargas permisibles.....	XXXVII
Ilustración 19. Sondeo manual	XL
Ilustración 20. Realización de aforo vehicular	XLI
Ilustración 21. Recolección de muestras en los sondeos	XLII
Ilustración 22. Obtención de tabla de pendientes en Civil 3D	XLII
Ilustración 23. Obtención de tabla de pendientes en Civil 3D	XLIII
Ilustración 24. Obtención de tabla de pendientes en Civil 3D	XLIII

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas del tramo Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote	9
Tabla 2. Puntos geodésicos	9
Tabla 3. Puntos de BM	10
Tabla 4. Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales...	12
Tabla 5. Pendientes del terreno.....	12
Tabla 6. Evaluación del Levantamiento Topográfico	13
Tabla 7. Aforo Vehicular del tramo Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote ..	18
Tabla 8. Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDI)	19
Tabla 9. Vector Geográfico.....	21
Tabla 10. Factores de Expansión a TPDA Segundo Cuatrimestre (mayo -agosto)	22
Tabla 11. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) Tramo Cuesta Cascabel - Quebrada El Zapote	23
Tabla 12. Porcentaje Vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura	24
Tabla 13. TPDA histórico de la EMC	25
Tabla 14. TPDA histórico de la ECS 5710.....	26
Tabla 15. Histórico PIB.....	26
Tabla 16. Histórico POB	27
Tabla 16. Histórico Consumo de Combustible.....	27
Tabla 17. Tasa de crecimiento TPDA EMC 1802.....	28
Tabla 18. Tasa de crecimiento TPDA ECS 5710.....	28
Tabla 19. Tasa de crecimiento PIB Y POB.....	29
Tabla 20. Periodo de diseño en base al tipo de carretera	31
Tabla 21. Factor de Crecimiento	32
Tabla 22. Factor Distribución por Carril	33
Tabla 23. Tránsito de Diseño	33
Tabla 24. Factor ESAL obtenido por interpolación	35
Tabla 25. ESAL de Diseño (Cuesta el cascabel – Quebrada el Zapote)	36

Tabla 26. Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelo	39
Tabla 27. Ensayos de suelo de acuerdo a normas AASHTO	40
Tabla 28. Abertura de Tamices	41
Tabla 29. Resultados de Estudios de Suelos “Granulometría”	42
Tabla 30. Clasificación de suelo según Índice de Plasticidad	44
Tabla 31. Resultados de Estudios de Suelos “Límites de Consistencia”	45
Tabla 32. Resultados de Estudios de Suelos “Clasificación H.R.B.”	46
Tabla 33. Resultados de Estudios de Suelos “C.B.R. a Compactación”	50
Tabla 34. Resultados de ensayos de bancos de materiales	52
Tabla 35. Especificaciones de los materiales para base y sub base granular....	53
Tabla 36. Evaluación Banco de Materiales No 1	54
Tabla 37. Evaluación Banco de Materiales No 2	54
Tabla 38. Especificaciones de Terraplén y Subrasante.....	55
Tabla 39. Percentil de diseño para subrasante	56
Tabla 40. CBR subrasante	57
Tabla 41. Selección de CBR de diseño para la subrasante	58
Tabla 42. Niveles de Confiabilidad	62
Tabla 43. Desviación Estándar.....	63
Tabla 44. Valores de Serviciabilidad	63
Tabla 45. Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad	65
Tabla 46. Coeficiente de Drenaje	66
Tabla 47. Datos para determinación de SN_3 ; SN_2 y SN_1	69
Tabla 48. Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular.....	73
Tabla 49. Consolidado de espesores de pavimento.....	75
Tabla 50. Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales	79
Tabla 51. Dimensiones de vehículos de diseño (metros)	80
Tabla 52. Tasas de peralte (e).....	83
Tabla 53. Bombeo normal	85
Tabla 54. Sobrecanchos, banda derecha del Tramo Quebrada el Zapote – Cuesta el Cascabel.....	86

Tabla 55. Sobreanchos, banda derecha del Tramo Quebrada el Zapote – Cuesta el Cascabel.....	86
Tabla 57. Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales.....	92
Tabla 58. Curvas verticales del Diseño Geométrico del Tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote	96
Tabla 59. Consolidado de criterios de diseño.....	97
Tabla 60. Levantamiento de detalles.....	III
Tabla 61. Formato para control de aforo vehicular.....	XX
Tabla 62. Aforo Vehicular (lunes)	XXI
Tabla 63. Aforo Vehicular (martes).....	XXIII
Tabla 64. Aforo Vehicular (miércoles)	XXV
Tabla 65. Aforo Vehicular (jueves)	XXVII
Tabla 66. Aforo Vehicular (viernes)	XXIX
Tabla 67. Aforo Vehicular (sábado).....	XXXI
Tabla 68. Aforo Vehicular (domingo).....	XXXIII
Tabla 69. Registro histórico ECD Las Calabazas - Ciudad Darío.....	XXXV
Tabla 70. Registro histórico ECS Valle El Cuá - Emp. San José de Bocay (La Chata).....	XXXV
Tabla 71. Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos – Masatepe	XXXVI
Tabla 72. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.....	XXXVIII
Tabla 73. Control de Diseño para Curva Vertical Cóncava o en Columpio	XXXVIII
Tabla 74. Radio y grado de curvatura recomendados.....	XXXIX

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comportamiento vehicular por día	19
Gráfico 2. Porcentaje de la clasificación vehicular del TPDS	20
Gráfico 3. Porcentaje de la clasificación vehicular del TPDA	23
Gráfico 4. C.B.R. de Diseño Subrasante	58
Gráfico 5. Coeficientes estructurales de capas asfálticas	67
Gráfico 6. Determinación de SN_3 (Sub Base).....	70
Gráfico 7. Determinación de SN_2 (Base)	70
Gráfico 8. Determinación de SN_1 (Carpeta de rodamiento)	71

ÍNDICE

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1. Introducción.....	1
1.1.1. Localización del tramo	2
1.2. Antecedentes	4
1.3. Justificación.....	5

CAPÍTULO II ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1. Aspectos generales.....	8
2.2. Metodología	8
2.3. Levantamiento Topográfico.....	8
2.3.1. Puntos geodésicos.....	9
2.3.2. Establecimiento de BM	10
2.3.3. Levantamiento de detalles	11
2.4. Perfil longitudinal.....	11
2.5. Pendiente	12
2.6. Características de la topografía.....	13
2.7. Evaluación del levantamiento.....	13

CAPÍTULO III ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1 Aspectos generales.....	16
3.2. Metodología	16
3.3. Aforo vehicular	17
3.4. Tránsito Promedio Diurno (TPDI).....	19
3.5. Composición vehicular del TPDI	20
3.6. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	20

3.7. Composición vehicular del TPDA.....	23
3.8. Asociación de estaciones.....	24
3.10. Tránsito de Diseño.....	31
3.11. ESAL de diseño.....	34

CAPÍTULO IV ESTUDIO DE SUELOS

4.1. Aspectos generales.....	38
4.2. Metodología.....	38
4.3. Análisis granulométrico de los sondeos de línea.....	40
4.4. Estados de consistencia de los sondeos de línea.....	43
4.5. Clasificación de suelos de los sondeos de línea.....	46
4.6. Estratigrafía.....	47
4.8. CBR de los sondeos de línea.....	49
4.9. Resultado del estudio de suelos del banco de materiales.....	51
4.10. Análisis de resultados del estudio de suelos del banco de materiales ...	53
4.11. CBR de la subrasante.....	54

CAPÍTULO V DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

5.1. Aspectos generales.....	60
5.2. Método AASHTO – 93.....	60
5.3. Variables de Diseño.....	61
5.4. Cálculo de espesores.....	72

CAPÍTULO VI DISEÑO GEOMÉTRICO

6.1. Aspectos generales.....	77
6.2. Metodología.....	77
6.3. Parámetros de diseño.....	78
6.4. Características de la sección transversal.....	81

6.5. Diseño geométrico vertical	92
6.6. Resumen de parámetros de diseño	97

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones.....	99
7.2. Recomendaciones.....	100
7.3. Bibliografía	101

ANEXOS..... I

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tiene como objetivo realizar una propuesta de diseño geométrico haciendo uso del software Civil 3D y de estructura de pavimento articulado de 2 kilómetros, ubicado en el departamento de Matagalpa – Municipio de Ciudad Darío, aplicando el método ASSHTO-93.

CAPITULO I: GENERALIDADES

Se aborda las generalidades del proyecto como la ubicación, una breve introducción, antecedentes del lugar, la justificación de los 2.0 kilómetros de pavimento articulado y objetivos planteados para lograr con éxito su diseño final.

CAPITULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Se revisaron los resultados obtenidos en el estudio topográfico, facilitado por Topografía Mendoza, el cual en concordancia con el Manual para la Revisión de Estudios Topográficos del MTI se encuentra cumpliendo cada uno de los parámetros planteados en el mismo. El estudio posee la caracterización planimétrica y altimétrica del tramo en estudio.

CAPITULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO

Se llevo a cabo un conteo vehicular en la estación de la comunidad La Quesera donde se obtuvo la caracterización del tráfico vehicular, con los datos captados se tasa el TPDS (tráfico promedio diario semanal) calculándose a través de los datos recolectados en el conteo vehicular, que se hizo durante 7 días consecutivos 12 horas diarias, para estimar el TPDA (tráfico promedio diario anual), donde se utilizó factores del Anuario de Trafico del MTI 2020. Luego, se efectuó las correlaciones entre Producto Interno Bruto y el Censo poblacional con el TPDA, para obtener tasas de crecimiento y proyectar el tráfico anual, estimando un periodo de diseño para el cual se ha determinado el ESAL de diseño.

CAPITULO IV: ESTUDIO DE SUELOS

Se realizaron sondeos manuales para determinar la propiedades físicas y mecánicas de los suelos del tramo en estudio, 5 sondeos que fueron ubicados cada 500 m con una profundidad de 1 m y luego las muestras de cada estrato se analizaron en el laboratorio.

Se realizó el estudio de suelos con la finalidad de conocer las propiedades físicas y mecánicas de los bancos de préstamo cercanos al proyecto, los cuales se evaluaron en base a las recomendaciones de la NIC-2019 y AAHSTO.

CAPITULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO

Se calculó los espesores de cada capa que conforma el pavimento, en los que se utilizaron los parámetros de diseño como son: Ejes equivalentes de diseño (ESAL's), confiabilidad (R), serviciabilidad (Po, Pt), desviación estándar (So), de igual manera el CBR de diseño el cual sirvió de base para obtener el módulo de resiliencia así mismo el valor de los coeficientes estructurales y el valor de los números estructurales.

CAPITULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO

Se utilizó el programa informático Civil 3D 2023 con el apoyo de una plantilla en la cual se realizó el diseño horizontal y vertical, adoptando en el proyecto las Normas de Diseño mostradas en el Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA 2011).

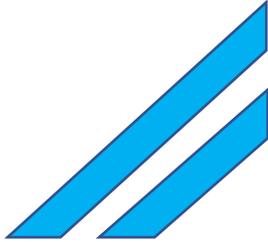
Se definieron parámetros tales como: Radio Mínimo, distancia entre ejes, coeficiente de fricción longitudinal, Grado de curvatura máximo, pendiente transversal (%), distancia de visibilidad de parada (DVA); en función de la velocidad de diseño.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones sintetizan los resultados obtenidos de los estudios realizados para el diseño del tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote. Las recomendaciones proporcionadas están en base a las normas NIC-2019, para llevar un control en una posible ejecución del tramo en el futuro.



CAPITULO I
GENERALIDADES



1.1. Introducción

Las carreteras juegan un papel muy importante en el ámbito socioeconómico ya que es la vía de comunicación más utilizada y de una fácil accesibilidad para todas las personas que quieran hacer uso de ellas, ya sea para fines económicos o como rutina de cada día, es de suma importancia el mantenimiento de las carreteras porque permiten un desarrollo ameno al país.

Se ha realizado el diseño geométrico y estructura de pavimento articulado del tramo Cuesta el cascabel - Quebrada el Zapote, en base a todos los parámetros que establece la Norma Centroamericana para diseño de pavimentos y la Norma Centroamericana para diseño geométrico de carreteras.

En el capítulo II se presenta la revisión del levantamiento topográfico, tomando en consideración el manual de Revisión de levantamientos topográficos del MTI. En el capítulo III se muestran los resultados obtenidos en el estudio de tránsito, el cual se realizó tomando en consideración el aforo vehicular realizado en el tramo, para posteriormente proyectarlo al periodo de diseño y obtener la caracterización del flujo vehicular.

En el capítulo IV correspondiente al Estudio de suelos, el cual se obtuvo a partir de la realización de sondeos manuales para conocer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que conforman el tramo. Además, se muestra el análisis y evaluación de los bancos de materiales.

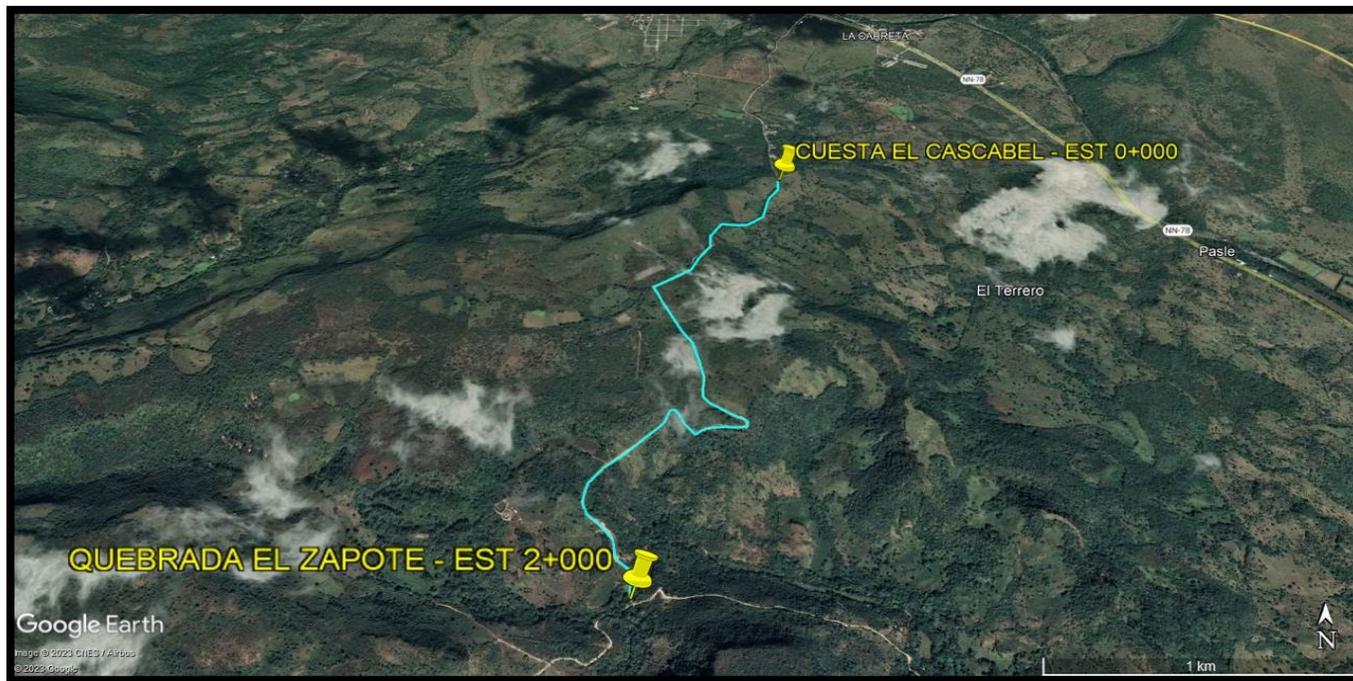
El diseño de estructura pavimento, se realizó tomando en consideración el método AASHTO - 93, establecido en el manual de diseño de pavimentos SIECA 2002. En el desarrollo del capítulo V se muestra detalladamente el procedimiento para la obtención de los espesores de conforman la estructura de pavimento articulado.

El diseño geométrico del tramo, se muestra en el capítulo VI, el cual contiene cada uno de los parámetros de diseño de la norma para Diseño Geométrico SIECA 2011, modelado en el Software Civil 3D 2023.

- **Micro Localización**

El proyecto se encuentra situado a 3 kilómetros del municipio de Ciudad Darío y de la capital Managua a 86.75 kilómetros, la longitud del tramo es de 2 kilómetros desde la Cuesta el Cascabel EST. 0+000 hasta la Quebrada el Zapote EST. 2+000 (Ver Ilustración 2).

Ilustración 2. Micro localización del tramo Cuesta el Cascabel - Quebrada El Zapote



Fuente: <https://goo.gl/maps/17R5i5wflRxAip39>

1.2. Antecedentes

Según Red Vial 2020 el municipio de Ciudad Darío cuenta con 321.19 kilómetros de vía en total, los que a su vez se componen y clasifican según su tipo de superficie y clasificación funcional. (pág. 421)

Tomando como referencia los datos brindados en la Alcaldía municipal de Ciudad Darío, la comunidad Los Encuentros, es un pequeño asentamiento con 47 familias, que se encuentra en desarrollo, impulsada por el cultivo y comercialización de limones, productos perecederos y crianza de ganado.

La vía de acceso hacia la comunidad de Los Encuentros, se habilitó en el año 2014, con un total de 2 Km, partiendo de la comunidad de La Quesera hasta la comunidad de los Encuentros, en donde inicialmente se había revestido con material selecto y contaba con dos carriles, uno para cada sentido, pero que lógicamente con el pasar de los años se fue deteriorando por las afectaciones en el invierno y falta de drenaje menor en la vía. (Aráuz, 2022)

El Productor Jairo Aráuz, ha realizado trabajo de mantenimiento a las vías de acceso a la finca El Tortuguero, que queda precisamente en la comunidad de Los Encuentros, y a su vez ha beneficiado a otros propietarios vecinos y comunidad en general. El mantenimiento realizado fue en marzo de 2022, ha consistido en revestimiento de carpeta de rodamiento con material selecto.

Las condiciones actuales del tramo, están de difícil acceso por las características de los suelos, la topografía del terreno y que, con el paso del reciente Huracán Julia en octubre de 2022, que dejó grandes daños en la vía, como grandes charcos, que ponen en riesgo la salud de las personas de la comunidad (Ver Anexos, Ilustración 3 pág. III)

1.3. Justificación

El proyecto de construcción de una vía de acceso a la comunidad Los Encuentros en el municipio de Ciudad Darío, traerá grandes beneficios para los habitantes y subsecuentemente para el país, ya que permitirá mejorar las condiciones y facilidad para obtener los servicios básicos.

El tramo de carretera de Cuesta El Cascabel – Quebrada El Zapote, surge con el objetivo de satisfacer las necesidades de transportarse de forma segura y con confort hacia la cabecera municipal, debido a que los habitantes de la zona viajan constantemente para comercializar limones y realizar diligencias personales.

La vía será construida con fondos propios del Señor Jairo Aráuz, quien es el dueño de la Finca Productora de Limones y es el quien la comercializa, pero que también vendrá a beneficiar de forma directa a los habitantes de la comunidad y otros propietarios vecinos, que se dedican a este mismo rubro.

Actualmente, la vía ha quedado deteriorada por el paso del reciente huracán Julia en octubre de 2022, por lo que el líder comunitario Jairo Aráuz, ha considerado que es necesario la realización un tramo carretero con un diseño geométrico y de estructura de pavimento articulado, tomando como referencia las normativas correspondientes las cuales son, Sistema de Integración Económica Centroamericana (SIECA) y de esta forma poder satisfacer las necesidades de transporte y movilidad de los habitantes de las comunidades.

Culminada la obra probablemente los pobladores emprenderán con mayor facilidad, la economía crecerá, tendrán fácil acceso a la salud, escuelas, agua potable, electricidad y suministros alimenticios.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- ✓ Realizar el diseño geométrico y estructura de pavimento articulado de 2 km del tramo Cuesta El Cascabel – Quebrada El Zapote, en la comunidad Los Encuentros, municipio de Ciudad Darío, departamento de Matagalpa por el Método AASHTO – 93.

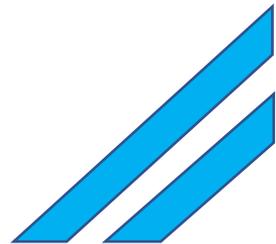
1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Determinar el relieve del terreno por medio de un levantamiento topográfico proporcionado por Topografía Mendoza, para la obtención de las características geométricas del sitio.
- ✓ Realizar estudio de tránsito, para la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y los ejes equivalentes (ESAL's), aplicando los criterios establecidos en el Anuario de Aforos de Tráfico Año 2020.
- ✓ Efectuar el estudio geotécnico del tramo y de los bancos de materiales, determinando las propiedades físicas y mecánicas esenciales en el diseño de la estructura del pavimento, mediante la aplicación de las normas AASHTO y NIC 2019.
- ✓ Determinar los espesores de la estructura de pavimento articulado, que soportaran las cargas de diseño durante su vida útil, mediante el Método AASHTO – 93.
- ✓ Diseñar geoméricamente el tramo, aplicando las normativas del Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA 2004 y 2011, mediante el software Civil 3D 2023, para que se brinde seguridad vial y comodidad.



CAPITULO II

ESTUDIO TOPOGRÁFICO



2.1. Aspectos generales

Tomando como referencia a Montes de Oca (1989) define topografía, como la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra, por medio de medidas según los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, o una dirección y una elevación.

En este capítulo se muestra el resultado del levantamiento topográfico realizado en el tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, por Topografía Mendoza bajo la gestión del Señor Jairo Arauz. Este estudio, permitió desarrollar el diseño geométrico del tramo, por lo que es de suma importancia conocer las condiciones actuales de la topografía del sitio.

2.2. Metodología

Para llevar a cabo el levantamiento topográfico, los miembros de la empresa Topografía Mendoza, llevaron a cabo la siguiente metodología:

- Establecimiento de puntos geodésicos.
- Establecimiento de BM de la poligonal base.
- Seccionamiento del tramo en rectas a cada 20 m y en curvas a cada 10 m, levantando banda izquierda, banda derecha, línea central y detalles.
- Importación de datos a Civil 3D 2023.

2.3. Levantamiento Topográfico

“Determinan la ubicación de características o accidentes naturales y artificiales, así como elevaciones usadas en la elaboración de mapas” (Jiménez Cleves , 2007, pág. 18).

El levantamiento topográfico se realizó con una estación total Leica modelo Flexline TS10, partiendo de las siguientes coordenadas, las cuales se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas del tramo Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote

Comunidad	Est.	Coordenadas Cartográficas (UTM84 - Zona 16N)		
		Este (W) (m)	Norte (Y) (m)	Elev. (Z)(m)
Cuesta el Cascabel	0+000	594649.1520	1403663.1630	674.357
Quebrada el Zapote	2+000	594584.9700	1402357.0550	480.000

Fuente: Elaboración propia

2.3.1. Puntos geodésicos

Los puntos geodésicos, también conocidos como vértices geodésicos, son puntos monumentales señalizados que permiten identificar una posición geográfica exacta sobre la superficie terrestre. Su función principal es servir como referencia para la elaboración de mapas, catastros, estudios topográficos y otras aplicaciones que requieren una alta precisión en la ubicación espacial. (Hurtado, 2009)

Los puntos geodésicos ubicados sobre el tramo en estudio se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Puntos geodésicos

Elevación	Norte	Este	Descripción	Factor de Escala
465.00	1402398.26	594594.22	GPS-1	0.9997
453.92	1402414.66	594512.83	GPS-2	0.9907
661.66	1403545.91	594778.72	GPS-3	0.9902
662.47	1403626.79	594694.21	GPS-4	0.9946

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Establecimiento de BM

“Un banco de nivel es un objeto natural o artificial, relativamente permanente, con una marca grabada y una elevación conocida” (Wirshing & Wirshing, 1987, pág. 89).

Para el establecimiento de BM a lo largo del tramo, se tomó en consideración la metodología empleada en el Manual de Revisión de estudios topográficos. Lo que indica que se deben ubicar los bancos de nivel, a lo largo del tramo, que posean visibilidad entre sí, y no deben exceder una distancia de 400 m entre cada uno.

En el levantamiento topográfico del tramo en estudio, se establecieron 21 bancos de nivel, los cuales se muestran sus coordenadas X, Y, Z en la Tabla 3, pág. 10

Tabla 3. Puntos de BM

Elevación	Norte	Este	Distancia	Descripción
463.34	1402480.20	594512.77	37.68	BM - 1
465.44	1402516.27	594523.65	65.25	BM - 2
469.98	1402578.09	594544.52	59.64	BM - 3
472.90	1402636.98	594535.12	50.56	BM - 4
486.45	1402670.72	594497.46	72.16	BM - 5
505.21	1402722.05	594446.74	38.28	BM - 6
513.88	1402744.26	594415.56	78.51	BM - 7
522.52	1402822.51	594421.90	67.77	BM - 8
533.86	1402888.16	594438.72	65.92	BM - 9
531.48	1402905.92	594502.20	78.19	BM - 10
538.68	1402952.17	594565.24	118.29	BM - 11
577.73	1403044.31	594639.42	186.14	BM - 12
574.90	1403051.01	594825.44	39.23	BM - 13
591.74	1403056.04	594864.35	61.62	BM - 14
611.72	1403065.03	594925.31	31.77	BM - 15
620.99	1403062.41	594956.97	47.52	BM - 16
637.00	1403059.91	595004.42	120.61	BM - 17
643.95	1403133.69	594909.01	45.25	BM - 18
660.55	1403176.60	594923.37	243.40	BM - 19
664.34	1403423.69	594866.88	50.87	BM - 20
664.29	1403465.99	594838.62	48.36	BM - 21

Fuente: Elaboración propia

2.3.3. Levantamiento de detalles

El manual de revisión de estudios topográficos indica que el levantamiento de detalles, que corresponderá a la ubicación de todas y cada una de las infraestructuras existentes a todo lo largo de la trayectoria del camino, que deberá estar enmarcado en el mismo sistema de coordenadas y referido a los Puntos de la Línea Base (PLB).

A lo largo de los dos kilómetros que comprenden el tramo en estudio, se ejecutó el levantamiento topográfico de detalles, tomando lectura en la banda izquierda, banda derecha, línea central, terreno natural, cerco, aceras, etc.

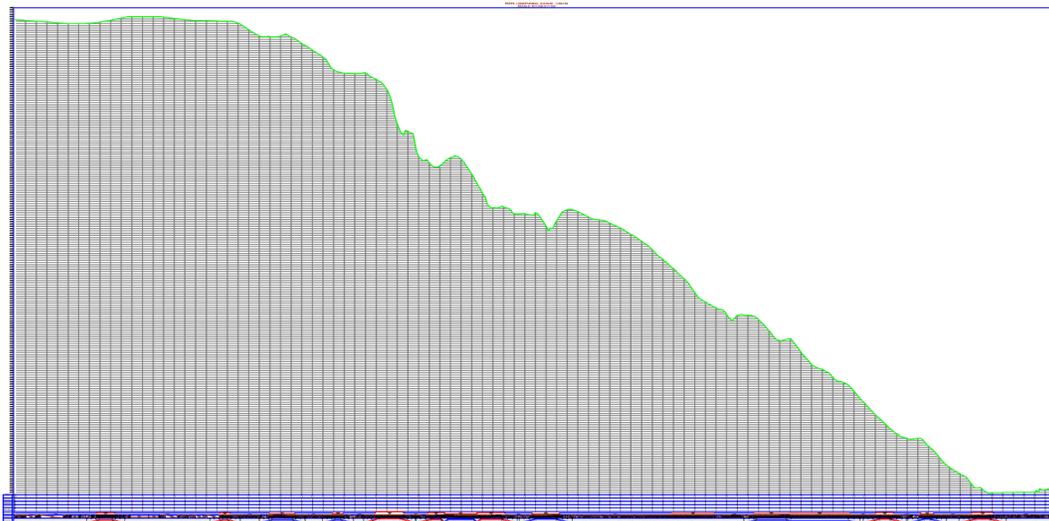
Los datos antes mencionados permitieron conocer las características plani altimétricas del tramo en estudio, se muestran en la Tabla 60 (Ver anexos, pág. III-XVIII).

2.4. Perfil longitudinal

“La finalidad de la nivelación de perfil es proporcionar la información necesaria para dibujar una gráfica de la elevación del terreno a lo largo de una línea o ruta propuesta” (McCormack, pág. 137).

Con los datos del levantamiento topográfico, se pudo generar el perfil longitudinal del tramo en estudio auxiliándose en el software Civil 3D 2023, el cual se muestra de forma gráfica en la Ilustración 3.

Ilustración 3. Perfil natural del terreno Est. 0+000 - 2+000



Fuente: Elaboración propia

2.5. Pendiente

La pendiente (llamada también porcentaje de inclinación), es el ascenso o descenso vertical en pies por cada 100 pies, o en metros por cada 100 m” (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 120).

Para la determinación de la pendiente natural del tramo en estudio, se etiquetaron en el software Civil 3D cada una de las pendientes presentes en el perfil longitudinal, tomando las que más se repetían, para poder clasificarlo, observando que los valores de pendiente natural oscilan entre 15-30%.

Entonces, acorde con la clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales, recomendada por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011, el tramo en estudio es clasificado como un **Terreno Montañoso**.

Tabla 4. Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

Tipo de Terreno	Rango de Pendiente P (%)
Llano o plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 < P \leq 15$
Montañoso	$15 < P \leq 30$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011), Capítulo 3, pág. 116.

Tabla 5. Pendientes del terreno

Tabla de Pendientes				
Número	Pendiente Mínima	Pendiente Máxima	Color	Área
1	0.00%	5.00%		21860.56
2	5.10%	15.00%		16222.85
3	15.10%	30.00%		27510.94

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento para la obtención de los rangos de pendientes predominantes en el terreno natural se muestra a partir de la Ilustración 22 (Ver anexos, Pág. XLII).

2.6. Características de la topografía

La topografía del tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, es considerado como montañoso debido a las pendientes predominantes a lo largo del tramo que se encuentran entre 15.00 – 30.00 %.

El tramo presenta curvas horizontales que no poseen un diseño adecuado. Existe presencia de muchos abismos a lo largo del tramo.

En algunas partes el ancho de la calzada actual oscila entre 5 y 6 m, por lo cual en ciertos tramos no hay suficiente espacio de circulación. No presentan peralte la mayoría de las curvas ni bombeo en las secciones transversales para el escurrimiento de las aguas superficiales.

2.7. Evaluación del levantamiento

Se muestra la evaluación del estudio topográfico proporcionado, tomando como referencia los criterios establecidos por el Manual de Revisión de Estudios Topográficos del Ministerio de Transporte e Infraestructura. (Ver Tabla 5, Pág. 13)

Tabla 6. Evaluación del Levantamiento Topográfico

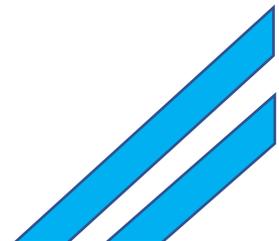
Tipo de Estudio y elementos de Revisión	Satisface	OBS.
Trabajos Topográficos control de gabinete		
Determinación de Coordenadas del Proceso de Georreferenciación.	Si	
Transferimiento de datos crudos de campo en archivo.	Si	
Determinación de Coordenadas Geodésicas.	Si	
Se determinó Factor de Escala.	Si	
Control-Cálculo del Proceso de Levantamiento – Medición de Circuitos de Poligonal Línea Base.	Si	
Se transfirieron datos de campo de Poligonales de la Estación Total a PC para archivos “txt”.	Si	
Verificación de datos de archivos “txt” con datos de Libretas de campo de cada circuito de Poligonal.	Si	
Se obtuvieron los datos verdaderos correspondientes a las distancias y acimut de cada lado de la poligonal de cada circuito de Línea Base.		Se generaron datos en Civil 3D
Levantamiento-Medición de la Planialtimetría transversal del camino.		

El Seccionamiento transversal del camino se realiza distanciado conforme lo establecido en los Términos de Referencia.	Si	
El Seccionamiento transversal del camino se realiza detallando toda la infraestructura existente dentro de la franja del camino establecida en los términos de referencia.	Si	
Se está utilizando puntos auxiliares para la toma de puntos incómodos y se realizan controles de llegada en cada punto de la Línea Base en coordenadas y elevación.	Si	
El montaje de los datos del seccionamiento transversal se detalla en libreta topográfica de campo con los respectivos esquemas y números de códigos de cada detalle.		Entregaron datos crudos en civil 3D.
Durante el levantamiento del seccionamiento se detallan el eje del camino, orillas de borde, cunetas, cercas del derecho de vía y divisiones de propiedades, Nombres de Propietarios, arboles de grosor mayor a los 15 cm, taludes, sondeos de línea, postes del tendido eléctrico y telefónico y demás detalles existentes en la vía.	Si	
Revisión de Planos Topográficos y Resultados del diseño de la Geometría de la Vía.		
Se generan los planos topográficos de la Planimetría.	No	
Revisión de la configuración topográfica de las curvas de nivel a intervalos de 0.50 mt.	Si	Se generaron en civil 3D
Revisión del contenido de la información de sondeos de línea ubicados en la superficie de rodamiento.	Si	

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO III
ESTUDIO DE
TRÁNSITO



3.1 Aspectos generales

Para conocer las características del tráfico es necesario realizar medidas y estudios en las carreteras existentes. Los datos obtenidos se utilizan como base para el planeamiento y explotación de las redes viarias, la aplicación de regulaciones del tráfico y la investigación de los efectos de los diferentes elementos de la carretera en la circulación de vehículos (Kraemer C. , y otros, 2003, pág. 81).

En este capítulo se muestran los resultados del estudio de tránsito realizado en el tramo Cuesta Cascabel – Quebrada El Zapote, ejecutado siguiendo la metodología indicada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura, tomando como referencia los parámetros del Anuario de aforos de tráfico 2020.

Se realizó un aforo vehicular durante siete días de la semana, en el periodo comprendido del 01-07 de mayo del año 2023. Se pudieron captar la cantidad de vehículos que circulan en ambos sentidos sobre el tramo en estudio. Posteriormente, se muestra el cálculo de TPDA y la determinación de la tasa de crecimiento para la proyección del tránsito de diseño y el cálculo del ESAL de diseño.

3.2. Metodología

Para llevar a cabo el estudio de tránsito, se ubicó un punto de aforo sobre el tramo, que permitió captar la cantidad de vehículos que circulan por el tramo, durante siete días por doce horas diarias. Para la recolección de datos se hizo uso del formato de aforos recomendado por el MTI (Ver anexos, tabla 61, pág. XIX).

Se procesaron los datos del aforo en Microsoft Excel, para posteriormente realizar el cálculo del tránsito promedio diario semanal (TPDS), obteniendo el porcentaje de composición vehicular. Seguidamente, se buscaron en el anuario la estación más cercana geográficamente al tramo, que también coincida con el porcentaje de la composición, para posteriormente buscar la estación de mayor cobertura a la cual pertenece la estación seleccionada, para aplicar los factores de expansión para el cálculo del Tránsito promedio diario anual (TPDA).

Se realiza el cálculo de las tasas de crecimiento involucrando los históricos del TPDA de la estación seleccionada, Producto Interno Bruto (PIB) y los datos de la población.

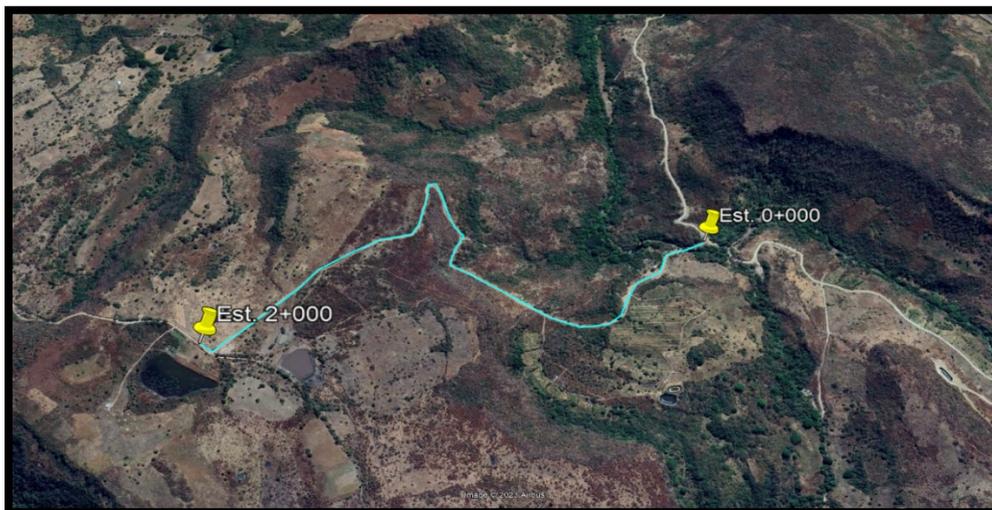
Se procede al cálculo del tránsito de diseño para el periodo de diseño seleccionado y se obtiene la cantidad de ejes equivalentes por tipo de vehículo, que serán necesario para el diseño de la estructura de pavimento articulado.

3.3. Aforo vehicular

Coronado Iturbide (2002), especifica que un aforo vehicular, es un censo que se efectúa para llevar el control de volúmenes de tránsito para una carretera determinada, con el propósito de evaluar la información recopilada para tener registros de un posible incremento o disminución del flujo vehicular en años futuros.

La estación de conteo vehicular fue la 0+000 ($12^{\circ}40'42.31''$ N y $86^{\circ}8'18.67''$ O), ya que es una ubicación estratégica donde existe un punto de intersección con otra vía (ver la Ilustración 4). Esta permitió recolectar la cantidad de vehículos durante la semana del lunes 01 de mayo al domingo 07 de mayo del año 2023, durante doce horas diarias.

Ilustración 4. Estación de conteo vehicular (0+000)



Fuente: <https://maps.app.goo.gl/eGZbg2TNBcbA5gGg6>

Los resultados del aforo vehicular se muestran en la tabla 6. (Ver pág. 18)

Tabla 7. Aforo Vehicular del tramo Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote

Ubicación: Est. 0+000											
Tramo: Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote											
FECHA	DIA	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga				Total Veh. 12 hrs.
		Motos	Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc	
1/5/2023	Lunes	48	21	0	22	4	0	0	0	0	95
2/5/2023	Martes	47	14	0	31	4	0	0	0	0	96
3/5/2023	Miércoles	35	14	3	28	0	2	0	0	0	82
4/5/2023	Jueves	73	12	0	22	4	0	0	5	0	116
5/5/2023	Viernes	41	17	0	23	0	4	0	0	0	85
6/5/2023	Sábado	34	17	0	19	0	4	0	0	0	74
7/5/2023	Domingo	26	17	0	19	0	3	0	0	0	65
Total/ Veh.		304	112	3	164	12	13	0	5	0	613
Total		595					18				613
Veh. / 12 hrs.		49.59%	18.27%	0.49%	26.75%	1.96%	2.12%	0.00%	0.82%	0.00%	100.00
% por tipo		97.06					2.94				100.00
		% Vehículos Livianos					% Vehículos Pesados				

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en el aforo, detallados en intervalos de 15 minutos, se muestran en las Tablas 62 - 68 (Ver anexos, pág. XX).

En el siguiente gráfico se muestra el comportamiento de la circulación vehicular realizado en el lapso de 1 semana de conteo, reflejando los días de mayor circulación en el tramo; los días jueves con 116 vehículos, siendo el día de mayor demanda, seguido por los días lunes y martes con un flujo vehicular de 95 y 96 respectivamente, obteniendo un consolidado total de 613 vehículos en el transcurso de la semana de aforo.

Gráfico 1. Comportamiento vehicular por día



Fuente: Elaboración propia

3.4. Tránsito Promedio Diurno (TPDI)

El Tráfico Promedio Diurno (TPDI), se determinó realizando un promedio de los resultados obtenidos en el aforo vehicular, teniendo en cuenta los dos sentidos de la vía, reflejando un valor de 88 vehículos por día los cuales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDI)

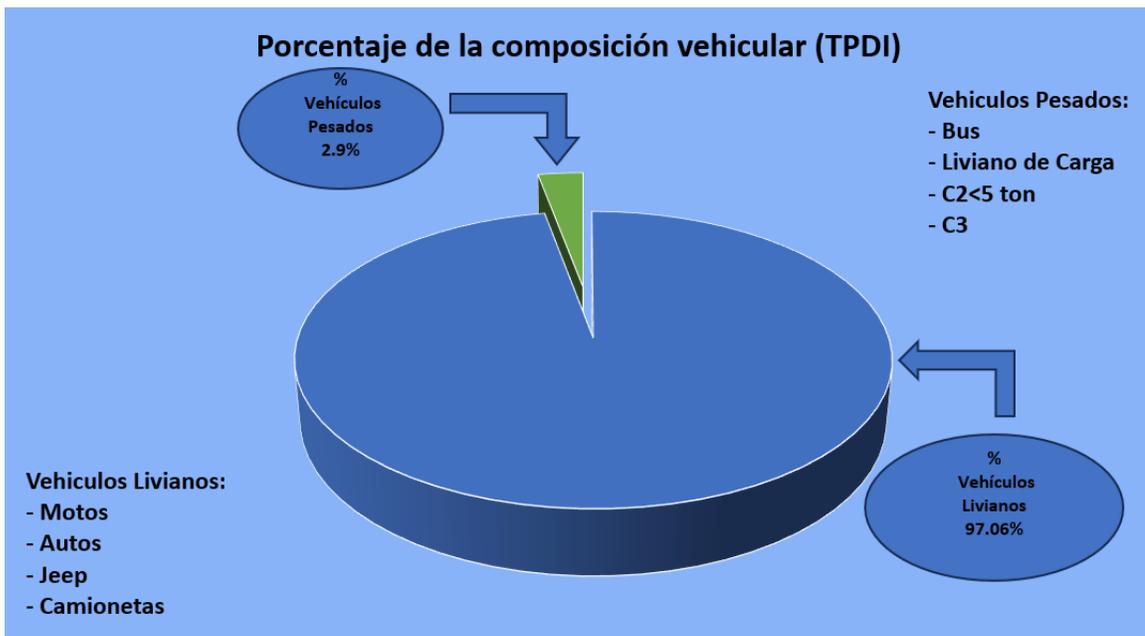
	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga				Total
	Motos	Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 >	C3	Veh. Agríc	
						Liv	5 ton			
TPDS	43	16	0	23	2	2	0	1	0	88
Total	85					3				88
%	49.6	18.3	0.5	26.8	2.0	2.1	0.0	0.8	0	100%
	97.06					2.9				100%
	% vehículos Livianos					% vehículos Pesados				

Fuente: Elaboración propia

3.5. Composición vehicular del TPDI

Al analizar los datos recolectados en el aforo vehicular, se define el valor de Tráfico Promedio Diurno (TPDI) de 88 vehículos por día, que acorde a la clasificación vehicular, se divide de la siguiente manera: el 97.06% corresponde a vehículos livianos (motocicleta, automóvil, jeep, camioneta, mini bus), y el 2.9% a los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3), dicho resultado se muestra ilustrado en el Gráfico 2.

Gráfico 2. Porcentaje de la clasificación vehicular del TPDI



Fuente: Elaboración propia

3.6. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Para obtener el tráfico promedio diario anual TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en períodos horarios, diarios, semanales o mensuales. Muchas veces esta información anual, es difícil de obtener, al menos en todas las vialidades, por los costos que ello implica. (Cal, Reyes Spíndola y Cárdenas Grisales, 2007)

Basado en lo establecido en el Anuario de Aforos de Tráfico (2020), es necesario tener en consideración diferentes vectores, tales como: vector geográfico y vector volumen.

En la Tabla 9, se presenta la clasificación que corresponde al vector geográfico, para el tramo en estudio Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, que corresponde a un vector R3, expresando que se encuentra en la región central norte, ya que pertenece al departamento de Matagalpa.

Tabla 9. Vector Geográfico

Vector	Código	Nombre de Región	Departamentos
R1	PS	Pacífico sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
R2	PN	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
R3	CN	Central Norte	Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales
R4	AS	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe Sur (RACS), Río San Juan
R5	AN	Atlántico Norte	Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020

Inicialmente, se seleccionó la Estación de Corta Duración 105A Las Calabazas – Ciudad Darío (Ver anexos, Tabla 69, pág. XXXIV), perteneciente a la Estación de Mayor Cobertura 700, Empalme Camoapa – Tecolostote, por estar en una ubicación geográfica cercana, sin embargo, debido a que el porcentaje de composición vehicular no es similar al obtenido en el aforo vehicular (Ver tabla 7, pág. 19), se procedió a utilizar la Estación de Conteo Sumaria 5710 Valle el Cuá – Emp. San José de Bocay (La Chata), perteneciente a la Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos – Masatepe, la cual según el anuario 2020 contiene una mayor relación del comportamiento del flujo vehicular y dinamismo económico en comparación con el aforo realizado en el tramo en estudio. (Ver anexos, Tabla 70, pág. XXXIV)

Retomando tal planteamiento, para dichos cálculos del tramo en estudio se utilizó la Estación de Conteo Sumaria 5710 Valle el Cuá – Emp. San José de Bocay (La Chata), perteneciente a la Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos – Masatepe, (Ver anexos, Tabla 71, pág. XXXV). Conforme lo establece el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2020), la ECS se aplicará cuando el vector volumen está comprendido en el rango de 300 a 5,000 vehículos por día.

Para obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), se tomó en cuenta el factor de expansión apropiado y el factor día correcto, los cuales se tomaron del anuario estadístico del MTI (2020), teniendo en cuenta la Estación de Conteo Sumaria 5710 Valle el Cuá – Emp. San José de Bocay (La Chata), siendo esta seleccionada, por presentar un porcentaje de composición del comportamiento del flujo vehicular más análogo.

Los factores implementados para realizar la expansión de TPDS a TPDA se aprecian en la Tabla 9, en el que se seleccionaron los valores que corresponden al Conteo 2, ya que estos pertenecen al segundo cuatrimestre del año, de acuerdo a los registros del conteo realizado por el MTI, y el aforo vehicular en estudio que se realizó en la primera semana del mes de mayo, cumpliendo con el periodo que lo rige.

Tabla 10. Factores de Expansión a TPDA Segundo Cuatrimestre (mayo - agosto)

Descripción	Motos	Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 > 5 ton	C3
						Liv		
Factor Dia	1.37	1.33	1.19	1.24	1.36	1.2	1.26	1.2
Factor Semana	0.98	1.06	1.1	1.03	0.89	0.92	0.85	0.88
Factor fin de semana	1.05	0.87	0.81	0.93	1.43	1.3	1.78	1.51
Factor Expansión a TPDA	1.02	0.99	0.95	1	1.01	0.97	1.01	1.01

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020

El cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo en estudio, haciendo uso de los factores día y factor expansión de la tabla 9, se calcula mediante la ecuación 1:

$$TPDA = TPDS * fd * fs * ffs * fe \quad Ec - 1. Tomada de MTI (2020)$$

Los resultados en el cálculo de TPDA se muestran en la tabla 10 (Ver pág. 23)

Tabla 11. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) Tramo Cuesta Cascabel - Quebrada El Zapote

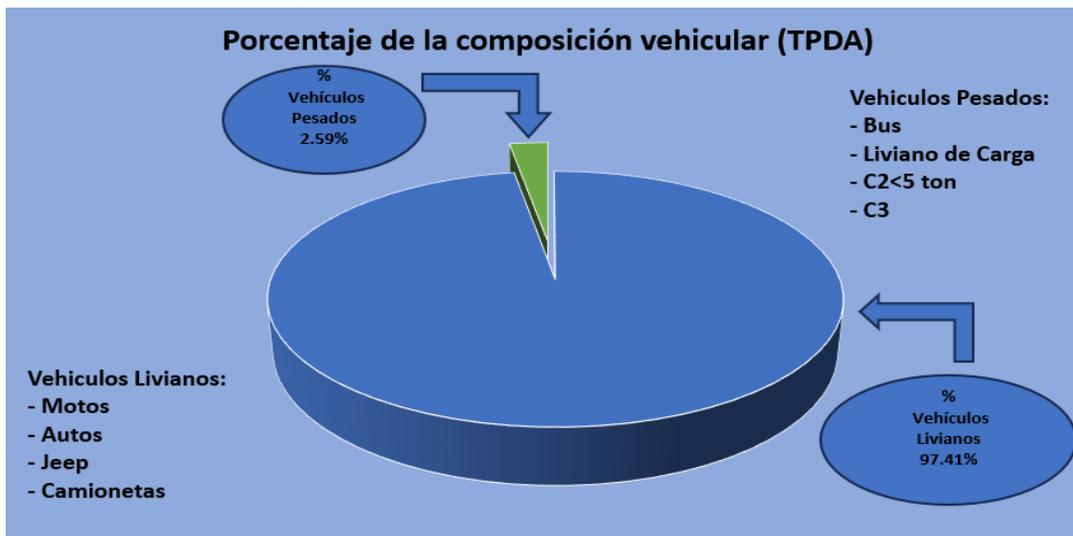
Ubicación: La Quesera										
Tramo: Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote										
	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga				Total
	Motos	Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc	Veh. 12 hrs.
TPDS	43	16	0	23	2	2	0	1	0	88
Factor día	1.37	1.33	1.19	1.24	1.36	1.2	1.26	1.2		
Factor Expansión	1.02	0.99	0.95	1	1.01	0.97	1.01	1.01		
TPDA	61	21	0	29	2	2	0	1	0	117
Total	114					3				117
%	52	18	0	25	2	2	0	1	0	100%
	97					3				100%
	% Vehículos Livianos					% Vehículos Pesados				

Fuente: Elaboración propia

3.7. Composición vehicular del TPDA

En base a los resultados obtenidos de la expansión de TPD a TPDA, se determinó la composición vehicular representada de forma porcentual, la que se conforma de la siguiente manera: de los 117 vpd, el 97.41% correspondiente a los vehículos livianos (motos, autos, jeep, camionetas, mini bus) y el 2.59%, se expresa en los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3). (Ver Gráfico 3).

Gráfico 3. Porcentaje de la clasificación vehicular del TPDA



Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes resultantes de vehículos livianos y pesados del TPDA para el tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote son; 97.41% y 2.59% respectivamente, en comparación con los valores de la Estación de Mayor Cobertura 1802, San Marcos Masatepe, existe una variación considerable, ya que los valores que representa son 91.10% para los vehículos livianos y 8.80% para los vehículos pesados. (Ver Tabla 11).

Tabla 12. Porcentaje Vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura

Nº	EST.	Nombre de Tramo	TPDA	% de Liviano	% de Pesados
1	101B	Zona Franca - La Garita	24,523	78.30	21.60
2	1205	Emp. Chichigalpa - Rot. Chinandega	10,585	75.00	24.70
3	200	Entrada INCAE - El Crucero	9,403	87.30	12.60
4	1802	San Marcos - Masatepe	9,392	91.10	8.80
5	401	Masaya - Granada	8,882	87.80	12.10
6	107	Sébaco - Emp. San Isidro	7,877	77.00	22.80
7	300	Sébaco - Quebrada Honda	6,270	76.50	23.30
8	2404	Chinandega - Corinto	6,058	62.80	36.80
9	2803	Nagarote - La Paz Centro	5,471	67.70	32.10
10	2400	Rot. Chinandega -Ranchería	4,019	81.10	17.10
11	700	Emp. San Francisco - Tecolostepe	2,024	68.30	31.50

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, MTI 2020. Pág. 13

3.8. Asociación de estaciones

Al indagar en el anuario de tráfico las distintas estaciones de corta duración y de conteo sumaria que pudiesen tener similitud tanto en el desarrollo económico como en el porcentaje de composición vehicular en comparación con los resultados del aforo en estudio, se propuso la estación 5710 Valle el Cuá – Emp.

San José de Bocay (La Chata) para referenciar los datos base utilizados en los cálculos del estudio de tránsito realizado.

3.9. Tasa de crecimiento

Para definir las tasas de crecimiento anual para las variables se hizo uso de correlaciones, resultando valores de 7.00% para el TPDA de la Estación de Conteo Sumaria 5710, Valle el Cuá-Emp. San José de Bocay (la chata), 5.02% para el TPDA de la Estación de Mayor Cobertura 1802, para el Producto Interno Bruto un valor de 4.70% y el crecimiento poblacional de 1.30%.

Tabla 13. TPDA histórico de la EMC

Año	TPDA
2020	9,392
2019	9,178
2018	9,499
2017	8,908
2016	8,500
2015	7,402
2014	6,883
2013	6,221
2012	6,324
2011	5,132
2010	4,936
2009	4,887
2008	4,554
2004	3,608
2002	3,602
1999	2,871
1997	2,260

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020. Pág. 155.

Tabla 14. TPDA histórico de la ECS 5710

Año	TPDA
2020	2,976
2019	2,789
1999	118

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020. Pág. 217.

Tabla 15. Histórico PIB

Año	PIB
2006	118,838
2007	124,870
2008	129,161
2009	124,908
2010	130,416
2011	138,654
2012	147,661
2013	154,937
2014	162,351
2015	170,132
2016	177,895
2017	186,134
2018	179,873
2022	196,433

Fuente: Banco Central de Nicaragua (BCN 2022)

Tabla 16. Histórico POB

Año	POB
2006	5,523
2007	5,596
2008	5,669
2009	5,742
2010	5,816
2011	5,997
2012	6,071
2013	6,134
2014	6,198
2015	6,263
2016	6,328
2017	6,394
2018	6,460
2022	6,734

Fuente: Banco Central de Nicaragua (BCN 2022)

Tabla 17. Histórico Consumo de Combustible

Año	Consumo de Combustible
2006	4702.63
2007	5221.63
2008	4858.8
2009	4997.87
2010	5167.9
2011	5390.1
2012	5579.74
2013	5798.15
2014	6124.31
2015	6812.08
2016	7287
2017	7576.4
2018	7061.14
2019	7267.153

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Tabla 18. Tasa de crecimiento TPDA EMC 1802

Año	TPDA	TC TPDA
1997	2,260	
1999	2,871	12.71%
2002	3,602	7.85%
2004	3,608	0.08%
2008	4,554	5.99%
2009	4,887	7.31%
2010	4,936	1.00%
2011	5,132	3.97%
2012	6,324	23.23%
2013	6,221	-1.63%
2014	6,883	10.64%
2015	7,402	7.54%
2016	8,500	14.83%
2017	8,908	4.80%
2018	9,499	6.63%
2019	9,178	-3.38%
2020	9,392	2.33%
	promedio	5.02%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Tasa de crecimiento TPDA ECS 5710

Año	TPDA ECS 5710	TC TPDA
1999	118	
2019	2789	17%
2020	2,976	7%
	Promedio	7%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Tasa de crecimiento PIB Y POB

Año	Tasa de crecimiento PIB	Tasa de crecimiento POB	Tasa de crecimiento Consumo de Combustible
2006			
2007	1.05%	1.01%	1.11%
2008	1.03%	1.01%	0.93%
2009	0.97%	1.01%	1.03%
2010	1.04%	1.01%	1.03%
2011	1.06%	1.03%	1.04%
2012	1.06%	1.01%	1.04%
2013	1.05%	1.01%	1.04%
2014	1.05%	1.01%	1.06%
2015	1.05%	1.01%	1.11%
2016	1.05%	1.01%	1.07%
2017	1.05%	1.01%	1.04%
2018	0.97%	1.01%	0.93%
2019	0.97%	1.01%	1.03%
2020	0.98%	1.01%	
2021	1.10%	1.01%	
2022	1.04%	1.01%	
Tasa Final	5.28%	1.25%	5.39%

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra un ejemplo de aplicación de ecuación para cálculo de tasa de crecimiento para datos continuos del año 2007 correspondiente a Tasa de Crecimiento PIB, así como como el cálculo de la tasa final con la cual se obtuvieron los resultados de tasas de crecimiento:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad Ec - 2. Tomada de MTI (2020)$$

$$TC_{PIB(2007)} = \left[\left(\frac{124,870.3}{118,837.7} \right)^{\frac{1}{1}} \right]$$

$$TC = 1.05$$

Al realizar los cálculos con la ecuación de datos continuos se procede a utilizar la ecuación de Tasa Final, en la cual se consideran todos los resultados obtenidos por cada año, a excepción de los que tienen un valor menor a 1 como se muestra a continuación:

$$Tf = \left[(TC_1 * TC_2 * \dots * TC_n)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \quad \text{Ec - 3. Tomada de MTI (2020)}$$

$$Tf_{PIB} = \left[(1.05 * 1.03 * 1.04 * 1.06 * 1.06 * 1.05 * 1.05 * 1.05 * 1.05 * 1.05 * 1.10 * 1.04)^{\frac{1}{12}} - 1 \right] * 100$$

$$Tf_{PIB} = 5.28\%$$

- **Selección de las variables para el cálculo de la tasa promedio**

En el cálculo de la tasa de crecimiento vehicular solo se consideró como variable las tasas que corresponden al Producto Interno Bruto y crecimiento poblacional, las cuales se promediaron sin considerar la tasa del TPDA de la Estación de Conteo Sumaria 5710 y la tasa del TPDA de la Estación de Mayor Cobertura 1802, por presentar valores muy altos en sus tasas de crecimiento con respecto a la del PIB y crecimiento poblacional de nuestro país, planteando el cálculo a continuación:

$$TC = \frac{TC_{PIB} + TC_{POB} + TC_{Consumo Combustible}}{n}$$

$$TC = \frac{5.28\% + 1.25\% + 5.39\%}{3}$$

$$TC = 3.97\%$$

La tasa de crecimiento vehicular calculada para implementar en el tramo en estudio, es de 3.97%.

3.10. Tránsito de Diseño

Acorde con Montejo Fonseca (2002), el Tránsito de Diseño (TD), es una proyección que se realiza para el periodo de diseño, dicha proyección, se efectúa con una serie de datos históricos de tránsito, obteniendo así, un tráfico futuro, para ello, se debe tomar en cuenta la Ecuación 4.

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365 \quad Ec - 4 \text{ Tomada de Cal y Mayor (2019)}$$

Donde:

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

FD: Factor Dirección.

fc: Factor Carril.

- **Periodo de Diseño**

Como señala Coronado Iturbide (2002), el periodo de diseño, es el tiempo 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 desproporcionadamente.

El periodo de diseño, se determina acorde al tipo de carretera, para ello, observe la Tabla 19, en la que se aprecia diferentes tipos de carreteras con su respectivo periodo de diseño recomendado; para el tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, por ser una colectoras rural montañosa (seleccionado por estar una zona rural del municipio de Ciudad Darío, y por tener un TPDA de 117 vpd, acorde a lo que especifica la SIECA (2002), se propone un periodo de diseño de 15 años.

Tabla 21. Periodo de diseño en base al tipo de carretera

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

Fuente: Propia: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA 2002. Capítulo 7, pág. 3.

- **Factor de Crecimiento**

Especifica que es uno de los factores involucrados en la expansión del TPDA al tráfico proyectado es el periodo de diseño, a su vez, involucra la tasa de crecimiento vehicular; para obtener el factor de crecimiento, se implementa la Ecuación 5.

$$f_c = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right) \quad \text{Ec - 5 Tomado de SIECA (2002)}$$

Donde:

FC: Factor de Crecimiento

i: Tasa de crecimiento vehicular

n: Periodo de diseño

Tabla 22. Factor de Crecimiento

Tasa de Crecimiento	3.00%
Periodo de Diseño (años)	15
Factor de Crecimiento	18.5936771

Fuente: Elaboración propia

- **Factor Carril**

Según AASHTO 93 (2001), el factor distribución por carril, corresponde al carril de diseño, el cual es el que recibe el mayor número de ESAL's. El tramo en estudio, presenta dos carriles en la vía, por lo que cualquiera puede representar el carril de diseño, ya que ambos canalizan forzosamente el tránsito por dirección.

En la Tabla 21, se presenta el factor de distribución por carril, esto considerando las cantidades de carriles en una sola dirección, seleccionando así, el factor de distribución por carril para el tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, con un valor de 1.

Tabla 23. Factor Distribución por Carril

Número de carriles en una sola dirección	FC
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 93. Pág. 58.

Con los diferentes factores definidos, se calcula el Tránsito de Diseño (TD) para el carril correspondiente, aplicando la Ecuación 2, pág. 29. En la Tabla 22, se presentan los resultados obtenidos, brindando un valor de 295,221.00 vehículos para el periodo de diseño de 15 años.

Tabla 24. Tránsito de Diseño

Tipo de vehículo	TPDA (2023)	FC	FD	FC'	TD
Moto	43	18.5936771	0.5	1	145913.881
Auto	16	18.5936771	0.5	1	54293.53713
Jeep	0	18.5936771	0.5	1	0
Camioneta	23	18.5936771	0.5	1	78046.95962
Bus	2	18.5936771	0.5	1	6786.692141
Liv C2	2	18.5936771	0.5	1	6786.692141
C2	0	18.5936771	0.5	1	0
C3	1	18.5936771	0.5	1	3393.34607
Total	87	18.5936771	0.5	1	295221.1081

Fuente: Elaboración propia

- **Factor Dirección**

Coronado Iturbide (2002) y SIECA (2011), establecen que el factor de distribución por dirección, es el factor del total del flujo vehicular; en la mayoría de los casos el valor es de 0.50, haciendo énfasis, que la mitad de vehículos va en una dirección y la otra mitad en otra dirección, esto para una vía de dos carriles, por lo que dicho valor, se implementará en el tramo en estudio.

3.11. ESAL de diseño

En el método AASHTO - 93 los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips (AASHTO-93, 2006, pág. 21).

$$ESAL = FESAL * TD \quad Ec - 6 \text{ tomada de (SIECA, 2002)}$$

ESAL: Equivalent Simple Axial Load (ejes equivalentes)

TD: Tránsito de Diseño

FESAL: Factor de Equivalencia

- **Número Estructural asumible**

El Número Estructural (SN), se considera como un número abstracto, que tiene la finalidad de expresar la resistencia estructural de un pavimento. Para calcular el ESAL (denominado también W18, y significa la cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 Kips), se debe considerar un valor de Número Estructural (SN) en función de la importancia de la vía, por lo que se asume un valor de SN igual a 3.

- **Factor de Equivalencia (FESAL)**

El Factor de Equivalencia fue determinado por estudios de pruebas de la AASHTO, en los que sometieron muestras de pavimentos a diferentes configuraciones de ejes y cargas, con el objetivo de analizar el daño que se ocasionó a la estructura. Para definir el factor que se implementa, se debe tener en cuenta el peso del eje de cada tipo de vehículo, que varía en dependencia del tipo de eje (sencillo, doble), y el valor del SN que se asume según el nivel de importancia de la vía.

Para definir el FESAL por cada peso de los ejes, se interpolaron ciertos valores que no se definen en los estudios realizados por la AASHTO, aplicando la Ecuación 7.

$$Y = \frac{(X-X_1)Y_2+(X_2-X)Y_1}{(X_2-X_1)} \quad \text{Ec - 7 Tomada de Spiegel \& Stephens (2009)}$$

En la Tabla 24, se definen los factores de equivalencia para los ejes que los pesos no estaban presentes en los resultados de las pruebas que obtuvo la AASHTO, esto mediante interpolación, para lo cual, se presenta un ejemplo del desarrollo a continuación:

Se abordan los datos que corresponden al automóvil, que tiene un peso en cada eje de 2.2 kip. En los estudios de la AASHTO, se presentan pesos de los ejes a partir de 2 kip hasta 50 kip, definiendo los pesos en números pares en el rango descrito, por lo que, el FESAL para un eje es de:

$$Y = \frac{(2.2 \text{ kip} - 2 \text{ kip})0.002 + (4 \text{ kip} - 2.2 \text{ kip})0.0002}{(4 \text{ kip} - 2 \text{ kip})}$$

$$Y = \frac{0.0004 + 0.00036}{2}$$

$$Y = 0.00038$$

El Factor ESAL (FESAL) de 0.00038, corresponde a uno de los dos ejes que posee un automóvil. (AASHTO 93, 2001)

Tabla 25. Factor ESAL obtenido por interpolación

Xo	Yo	X (PESO)	Y (Factor de Daño)
2	0.0002	2.2	0.00038
4	0.002		
4	0.002	4.4	0.0038
6	0.011		
8	0.036	8.8	0.0576
10	0.09		
10	0.09	11	0.1395
12	0.189		
16	0.613	17.6	0.9226
18	1		
36	1.38	36.3	1.4325
38	1.73		

Fuente: Elaboración propia

- **ESAL de diseño**

Con los factores definidos para cada eje, se calcula el valor del ESAL según su clasificación vehicular, implementando la Ecuación 8.

$$ESAL = FESAL * TD \quad Ec - 8 \text{ tomada de (SIECA, 2002)}$$

ESAL: Equivalent Simple Axial Load (ejes equivalentes)

TD: Tránsito de Diseño

FESAL: Factor de Equivalencia

El ESAL total de 33,263.43 psi, obtenido para el tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, se presenta en la Tabla 25, los valores representan las repeticiones equivalentes a 18 Kips, siendo esto acumulado en un periodo de diseño de 15 años. Las motocicletas no se tomaron en cuenta, debido a que no ejercen una carga considerable al pavimento. (SIECA , 2011)

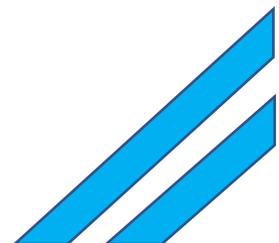
Tabla 26. ESAL de Diseño (Cuesta el cascabel – Quebrada el Zapote)

VEHICULO	TRANSITO DE DISEÑO	PESO POR EJE (KIP)	TIPO DE EJE	FESAL	W18 (ESAL DE DISEÑO)	ESAL TOTAL POR VEHICULO
Automóvil	61744.00869	2.2	SIMPLE	0.00038	23.4627233	46.9254466
		2.2	SIMPLE	0.00038	23.4627233	
Jeep	0	2.2	SIMPLE	0.00038	0	0
		2.2	SIMPLE	0.00038	0	
Camionetas	88757.01249	2.2	SIMPLE	0.00038	33.7276647	371.0043122
		4.4	SIMPLE	0.0038	337.276647	
Bus	7718.001086	11	SIMPLE	0.1395	1076.66115	19213.9637
		22	SIMPLE	2.35	18137.3026	
Liviano de Carga	7718.001086	8.8	SIMPLE	0.0576	444.556863	7565.184664
		17.6	SIMPLE	0.9226	7120.6278	
C2	0	11	SIMPLE	0.1395	0	0
		22	SIMPLE	2.35	0	
C3	3859.000543	11	SIMPLE	0.1395	538.330576	6066.348853
		0.3	DOBLE	1.4325	5528.01828	
					TOTAL	33,263.43

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO IV
ESTUDIO DE
SUELO



4.1. Aspectos generales

Kraemer C. refiere que la necesidad de realizar ensayos sobre los suelos, como sobre cualquier otro material, está originada por el deseo de objetivar su caracterización cuantificando sus propiedades.

Los estudios de suelo, son una parte imprescindible dentro de la ejecución de cualquier proyecto de obra civil; por lo que se deben realizar los respectivos estudios para saber los componentes y comportamiento que tendrá, al ser sometido a las cargas de la estructura. Así mismo, obtener una referencia para determinar cómo será su desempeño a lo largo de la vida útil de una obra civil.

Los estudios de suelo para carreteras deben proporcionar datos suficientes del subsuelo que permitan definir las propiedades geotécnicas más importantes de los suelos como son: límites de Atterberg, valor soporte (CBR), granulometría, humedad natural. Además, suministrar información para la selección de bancos de préstamo de materiales para terracerías, sub-base y base.

En este capítulo se presentan los resultados del estudio de suelos que nos permiten determinar las características de la sub-rasante que dará acceso a la comunidad Los Encuentros, los cuales se realizaron a partir de los sondeos manuales efectuados a lo largo del tramo en estudio a cada 500 m, por fines académicos.

4.2. Metodología

Para determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la sub-rasante se analizaron 5 muestras realizadas a lo largo del tramo mediante la ejecución de sondeos manuales ubicados a cada 500 metros, ya que debido a la excedencia de sobrecostos fuera de presupuesto disponible, no fue posible realizarlos a una distancia de 250 metros. Así mismo, estos se realizaron a una profundidad de 1.00 metro, ya que se encontró roca sólida a esta profundidad y no 1.50 metros como lo estipula el manual de revisión de estudios de suelo. (Ver Tabla 25, Pág. 38).

Se determinó el CBR de cada sondeo manual a cada 500 metros (Ver Tabla 33, Pág. 49), para la evaluación de la capacidad portante del suelo de la subrasante aplicando lo establecido en las normas NIC 2019.

Se evaluaron los bancos de materiales propuestos para la utilización en estructura de pavimento (Base y subbase), realizando sondeo manual y después pruebas de compactación, granulometría, límites de Atterberg y CBR, lo cual es importante para la toma de decisiones en el diseño de la estructura de pavimento de acuerdo con lo estipulado en la norma NIC – 2019.

En las tablas 28 - 32. Págs. 41 - 49, se muestran cada uno de los ensayos realizados en base a las normas AASHTO.

Con base a la estratigrafía se define la subrasante de la carretera, es necesario considerar también lo establecido por la norma NIC 2019, la cual establece que el mínimo necesario es de 0.25 m, según se muestra en la Ilustración 5, pág. 40.

Tabla 27. Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelo

Tipo de zona	Espaciamiento (m)	Profundidad
Carreteras	250 - 500	1.20 m – 1.50 m
Pistas de Aterrizaje	A lo largo de la línea central, 60-90	Cortes: 3 m debajo de la rasante. Rellenos
Otras áreas pavimentadas	1 perforación cada 1.000 ²	Cortes: 3 m debajo de la rasante. Rellenos: 3 m debajo de la superficie del suelo.
Prestamos	Pruebas suficientes para definir claramente el material no menor que 3	3 metros

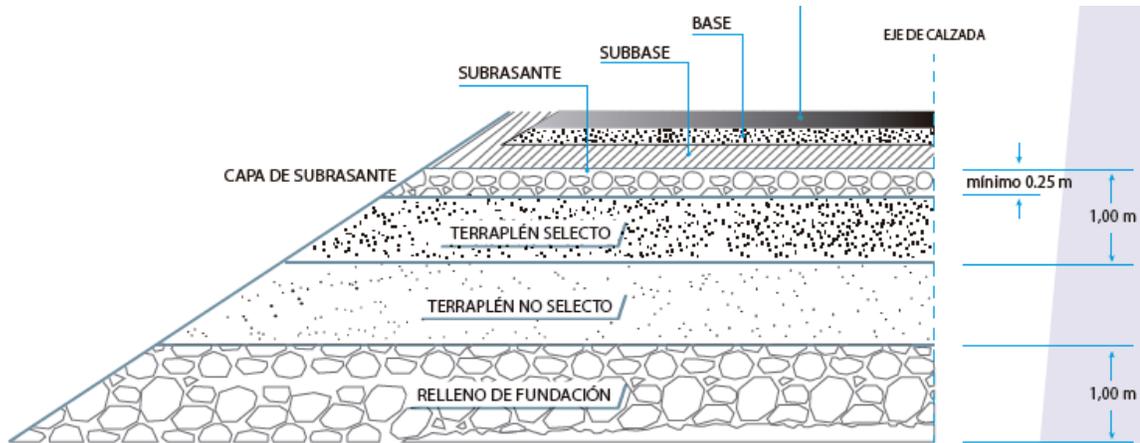
Fuente: Elaboración propia, teniendo en cuenta el Manual de Estudios Geotécnicos (MTI)

Tabla 28. Ensayos de suelo de acuerdo a normas AASHTO

Tipo de Ensayo	Norma
Granulometría	AASHTO T 27-88
Límite Líquido	AASHTO T 89
Índice de plasticidad	AASHTO T 90
CBR	AASHTO T 180

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5. Espesores mínimos para estructura de pavimento



Fuente: NIC 2019

4.3. Análisis granulométrico de los sondeos de línea

De acuerdo con Rico & del Castillo (1974), se denomina distribución granulométrica de un suelo a la división del mismo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes; las partículas de cada fracción se caracterizan porque su tamaño se encuentra comprendido entre un valor máximo y un valor mínimo, en forma correlativa para las distintas fracciones, de tal modo que el máximo de una fracción es el mínimo de la que la sigue correlativamente.

En este proceso se tomó como referencia lo establecido en la norma AASHTO T 27- 88. Se analizaron cada una de las muestras de suelo de los sondeos, de acuerdo a los diferentes estratos encontrados.

Se aplicó el método mecánico para tamizar, haciendo uso de la abertura de tamices presentados en Das (2015), los cuales se muestran en la Tabla 27.

Tabla 29. Abertura de Tamices

Tamiz	Abertura (mm)
2"	76.2
1 ½"	38.1
1"	25.4
¾"	19.05
½"	12.7
3/8"	9.525
No 4	4.75
No 10	2
No 40	0.425
No 200	0.075

Fuente: Das (2015)

Los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría para cada uno de los sondeos manuales se muestran en la Tabla 29, Pág. 42.

Tabla 30. Resultados de Estudios de Suelos “Granulometría”

Estación	Desviación (m)	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	Granulometría									
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
0+000	Derecha	1	1	0-105						100	99	92	72	42
0+500	Derecha	2	2	0-50		100	93	92	91	87	77	63	40	16
			3	50-110					100	99	98	94	81	67
1+000	Derecha	3	4	0-30					100	99	94	85	70	45
			5	30-100							100	99	75	60
1+500	Derecha	4	6	0-40					100	99	94	85	70	45
			7	40-80			100	97	96	94	90	77	65	55
			8	80-105						100	93	80	75	63
2+000	Derecha	5	9	0-40					100	99	88	79	54	41
			10	40-100						100	99	94	71	52

Fuente: Elaboración propia

4.4. Estados de consistencia de los sondeos de línea

Además del análisis granulométrico, para la correcta caracterización del suelo, se tiene que realizar el ensayo de Atterberg para conocer las características de los granos de menor dimensión, dichos ensayos se realizaron en la sub-rasante y en los bancos de material.

Los Límites de Atterberg establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente. (Ver Tabla 29)

Tomando como referencia a Lambe & Whitman (2004) los límites líquido y plástico se definen de la siguiente manera:

El límite líquido se determina midiendo la humedad y el número de golpes necesarios para cerrar en una determinada longitud una ranura de un determinado ancho mediante un aparato normalizado.

Los índices son magnitudes obtenidas a partir de los límites de Atterberg

$$IL = \frac{w - LP}{LL - LP} \times 100\%$$

Donde:

IL= Índice de liquidez o fluidez

w= Humedad natural del suelo

LP= Limite Plástico

LL= Limite liquido

El límite plástico se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a desmoronarse pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP= Índice de plasticidad

LL= Limite liquido

LP= Limite plástico

El límite de retracción se define como la humedad presente al haber añadido agua suficiente para llenar todos los huecos de una pastilla de suelo seca.

$$IS = LP - LC$$

Donde:

IP= Índice de retracción

LP= Limite liquido

LC= Limite de retracción (pág. 45)

Tabla 31. Clasificación de suelo según Índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos
IP = 0	No plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual De Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento.

Los resultados obtenidos en los ensayos de Límites de Consistencia se muestran en la Tabla 31.

Tabla 32. Resultados de Estudios de Suelos “Límites de Consistencia”

Estación	Desviación (m)	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	Límite	
					LL	IP
0+000	Derecha	1	1	0-105	35	8
0+500	Derecha	2	2	0-50	-	NP
			3	50-110	42	4
1+000	Derecha	3	4	0-30	28	4
			5	30-100	34	5
1+500	Derecha	4	6	0-40	28	4
			7	40-80	50	17
			8	80-105	52	14
2+000	Derecha	5	9	0-40	38	8
			10	40-100	33	9

Fuente: Elaboración propia

4.5. Clasificación de suelos de los sondeos de línea

Existen diversos sistemas para clasificar los tipos de suelo, sin embargo, en el presente estudio se realizó en base al sistema AASHTO M – 145 por ser de los más utilizados para este tipo de estudio, el cual se aprecia en la Tabla 32.

Tabla 33. Resultados de Estudios de Suelos “Clasificación H.R.B.”

Estación	Desviación (m)	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	Clasificación H.R.B. (IG)
0+000	Derecha	1	1	0-105	A-4(0)
0+500	Derecha	2	2	0-50	A-1-b(0)
			3	50-110	A-5(7)
1+000	Derecha	3	4	0-30	A-4(2)
			5	30-100	A-4(5)
1+500	Derecha	4	6	0-40	A-4(2)
			7	40-80	A-7-5(8)
			8	80-105	A-7-5(9)
2+000	Derecha	5	9	0-40	A-4(1)
			10	40-100	A-4(3)

Fuente: Elaboración propia

4.6. Estratigrafía

Los resultados obtenidos a partir del análisis de cada una de las muestras de suelo de los sondeos manuales, los cuales se muestran en las Tablas 28, 30 y 31, se interpretan a continuación, detallando cada una de las características correspondientes de su estratigrafía:

En el sondeo manual de la Estación 0+000, se logró encontrar un estrato uniforme en toda la profundidad de 1.05 metros, clasificándolo de acuerdo a AASHTO como suelo A-4, el cual se categoriza como suelo limoso. El índice de plasticidad es de 8% y límite líquido de 35%.

En el sondeo manual de la Estación 0+500, se encontraron dos estratos a diferentes profundidades las cuales se detallan sus características a continuación:

- ✓ En la profundidad de 0.0 – 0.5 metros, se clasifica el suelo como A-1-b(0), el cual corresponde a una Grava arcillosa. Se determinó un índice de plasticidad No plástico y el límite líquido de 00. Este suelo se encuentra en el rango de excelente a bueno para usarlo como subrasante.
- ✓ El estrado final, localizado de 0.5 – 1.1 metros, se encontró un material arcilloso, el cual se clasifica como un suelo A-5(7), de alta plasticidad 4 % y con un límite líquido de 42 %. Este tipo de material se encuentra en el rango de regular a malo para subrasante.

En el caso de la Estación 1+000, se lograron encontrar dos estratos de suelos, los que se muestran sus especificaciones a continuación:

- ✓ En el estrato superior, de 0 a 0.3 metros, se observa un material granular, clasificándose como un suelo A-4(2), el cual es suelo limoso. Además, presentó un límite líquido de 28 % y un índice de plasticidad de 4 %. Este suelo es considerado de excelente a bueno para usar como subrasante.

- ✓ En el estrato intermedio, de 0.3 a 1.0 metro, se localiza un material fino, el cual se clasifica como un suelo A-4(5), denominado suelo limoso, de media plasticidad. Posee un límite líquido del 34 % y el índice de plasticidad de 5 %.

El resultado obtenido en el sondeo de la Estación 1+500, se encontraron tres estratos de suelo, los cuales se muestran a continuación:

- ✓ En el primer estrato, desde el nivel superficial hasta 0.4 metros de profundidad, se encontró un material limoso, el cual se clasifica como un suelo A-4(2), Posee un límite líquido del 28 % y el índice de plasticidad de 4 %. clasificado como una grava limosa de baja plasticidad. Este material se clasifica de regular a malo para usar como subrasante.
- ✓ En el estrato intermedio, de 0.4 a 0.8 metros se encuentra un material fino, el cual se clasifica como un suelo A-7-5(8), denominado suelo limoso, de media plasticidad. Posee un límite líquido del 50 % y el índice de plasticidad de 17 %. considera como un suelo limoso, de media plasticidad.
- ✓ En el último estrato, de 0.8 a 1.05 metro, se localiza un material fino, el cual se clasifica como un suelo A-7-5(9), denominado suelo arcilloso, de media plasticidad. Posee un límite líquido del 52 % y el índice de plasticidad de 14 %.

En el caso de la Estación 2+000, se lograron encontrar dos estratos de suelos, de los cuales se muestran sus características a continuación:

- ✓ En el estrato intermedio, de 0 a 0.40 metro, se localiza un material fino, el cual se clasifica como un suelo A-4(1), denominado suelo limoso, de media plasticidad. Posee un límite líquido del 38 % y el índice de plasticidad de 8 %.
- ✓ En el estrato intermedio, de 0.4 a 1.0 metro, se localiza un material fino, el cual se clasifica como un suelo A-4(3), denominado suelo limoso, de

media plasticidad. Posee un límite líquido del 33 % y el índice de plasticidad de 9 %.

En general los materiales que componen la superficie de rodamiento de la carretera son materiales gravosos y arenosos con arcillas de media a alta plasticidad se nota la presencia de suelos tipo A-4 hasta A-7-5.

4.8. CBR de los sondeos de línea

De acuerdo con Juárez Badillo & Rico Rodríguez (1973), este método está basado en la prueba de valor relativo de soporte y posee un carácter puramente empírico. Probablemente es el más ampliamente difundido en el mundo, lo cual no quiere decir que sea el mejor.

Los CBR obtenidos, especialmente en los suelos, tipo A-4 hasta A-7-5, son bajos con valores que oscilan entre 9 % y 30 % para el 95% de compactación lo cual nos permite recomendar que sean sustituidos por material de banco. (Ver tabla 33)

Tabla 34. Resultados de Estudios de Suelos “C.B.R. a Compactación”

Estación	Desviación (m)	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	C.B.R. a Compact.		
					90%	95%	100%
0+000	Derecha	1	1	0-105	10	15	23
0+500	Derecha	2	2	0-50			
			3	50-110	9	12	16
1+000	Derecha	3	4	0-30			
			5	30-100	12	18	21
1+500	Derecha	4	6	0-40			
			7	40-80	6	9	11
			8	80-105			
2+000	Derecha	5	9	0-40			
			10	40-100	25	30	37

Fuente: Elaboración propia

4.9. Resultado del estudio de suelos del banco de materiales

En los estudios de suelos realizados de los bancos de materiales, se analizaron dos fuentes de materiales, los cuales se encuentran en las cercanías del tramo en estudio.

Los dos bancos de materiales pertenecen a Sr. José Alberto Jarquín Escalante y el Sr. Martín Antonio Castillo Mendieta, las especificaciones de cada uno se explican en los siguientes acápite.

- **Banco de Materiales No 1:**

Los predios del Sr. José Alberto Jarquín Escalante, se encuentran ubicados en la Estación 0+750 del tramo de carretera Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, el cual se encuentra conformado por materiales granulares, clasificado de acuerdo a AASHTO como un suelo A-1-b, correspondiente a gravas, roca y arena. La fracción fina de este material es de baja compresibilidad y de media plasticidad. El valor de su CBR es de 48 %, su densidad seca máxima es de 1636 kg/m³ y su humedad óptima es de 14.6 %. (Ver Tabla 34, Pág. 52).

- **Banco de Materiales No 2:**

Los predios del Sr. Martín Antonio Castillo Mendieta, se encuentran ubicados en la Estación 1+300 del tramo de carretera Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, el cual se encuentra conformado por materiales granulares, clasificado de acuerdo a AASHTO como un suelo A-1-a, correspondiente a gravas, roca y arena. La fracción fina de este material es de baja compresibilidad y de media plasticidad. El valor de su CBR es de 82.2 %, su densidad seca máxima es de 1579 kg/m³ y su humedad óptima es de 19.8 %. (Ver Tabla 35, Pág. 52).

Tabla 35. Resultados de ensayos de bancos de materiales

Banco No	Granulometría										Límites		Clasificación	C.B.R (95%)	Peso Vol. Seco máx. (kg/m³)	Hum. Op.
	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200	LL	IP				
1				100	99	97	80	65	37	25	-	NP	A-1-b	48	1636	14.6 %
2					100	98	90	71	43	21	-	NP	A-1-a	81.3	1579	19.8 %

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6. Ubicación de bancos de material



Fuente: Elaboración propia

4.10. Análisis de resultados del estudio de suelos del banco de materiales

El banco de material seleccionado para emplear en la base y sub base de la estructura de pavimento, debe cumplir con los requerimientos de las normas NIC 2019, dichos requerimientos se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36. Especificaciones de los materiales para base y sub base granular

Límite Líquido	AASHTO T 89	25 máx.
Índice de Plasticidad	AASHTO T 90	
	Subbase	6 máx.
	Base	0 máx.
CBR	AASHTO T 190	
95% Proctor Modificado (AASHTO T 180) Y 4 días de saturación	Subbase	30% mín.
	Base	80% mín.

Fuente: NIC 2019 Sección 1003.8 (a y b, pág. 809)

El resultado obtenido a partir de los ensayos realizados en el banco de material N° 1 y 2, se presentan a continuación en la Tabla 37 y 38, en la cual se comparan dichos resultados con los requisitos de la norma NIC 2019.

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla anterior, se logra observar que todos los parámetros cumplen con respecto a lo requerido en la norma NIC 2019, el banco de materiales No 1 puede ser utilizado como subbase de la estructura de pavimento.

El banco de materiales No 2, se analizó de igual manera que el No 1, comparando los resultados obtenidos con los requisitos de la norma NIC 2019, los cuales en todos los casos cumplen y que se pueden usar como base o subbase en la estructura de pavimento.

Tabla 37. Evaluación Banco de Materiales No 1

Ensayo		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite líquido		AASHTO T 89	25 máx.	-	Cumple
Índice de Plasticidad		AASHTO T 90	6 máx.	NP	Cumple
CBR	Base	AASHTO T 190	80% mín.	48%	Cumple
	Subbase		30% mín.		Cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Evaluación Banco de Materiales No 2

Ensayo		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite líquido		AASHTO T 89	25 máx.	-	Cumple
Índice de Plasticidad		AASHTO T 90	6 máx.	NP	Cumple
CBR	Base	AASHTO T 190	80% mín.	81.3%	Cumple
	Subbase		30% mín.		Cumple

Fuente: Elaboración propia

4.10.1. Elección del banco de materiales

En base a las propiedades de los materiales de los bancos de préstamo estudiados para el tramo, ambos cumplen con los requisitos establecidos de CBR al 95% Proctor modificado están por encima de lo permitido tanto en la base como en la subbase, de acuerdo a la norma NIC 2019.

Para la capa subbase se debe usar el banco de materiales No 1 perteneciente al Sr. José Alberto Jarquín Escalante, posee un CBR 48 %, posee un valor que sobrepasa el valor mínimo de 30 % que establece la NIC 2019.

El banco de materiales No 2 perteneciente al Sr. José Alberto Jarquín Escalante, se ha seleccionado para usarlo como base granular, el cual posee un CBR de 81.3 % sobrepasando el 80 % requerido en la NIC 2019.

4.11. CBR de la subrasante

Los valores del CBR del tramo deben cumplir con lo establecido en la norma NIC 2019, las cuales se anidan en la Tabla 38. El valor del CBR se tomó a una profundidad de subrasante de 0.30 metros.

Tabla 39. Especificaciones de Terraplén y Subrasante

Ensayo	Norma	Terraplén	Subrasante
		Valor requerido	Valor requerido
Límite Líquido	AASHTO T 89	40 máx.	30 máx.
Índice de Plasticidad	AASHTO T 90	25 máx.	10 máx.
CBR al 95% Proctor Modificado	AASHTO T 190	5% mín.	15% mín.

Fuente: NIC 2019

La Metodología para la determinación del CBR de Diseño consiste en:

- ✓ 1) Identificar los Valores utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la Subrasante.
- ✓ 2) Ordenar los Valores de Menor a Mayor, se determina la frecuencia de cada uno de ellos y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.
- ✓ 3) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR con el percentil que corresponda, dependiendo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

- **Identificación de la subrasante**

El espesor de la carpeta de rodamiento actual, correspondiente a terracería, es aproximadamente de 0.30 m en la mayoría de los estacionamientos, por lo que la subrasante se estudia a la profundidad antes mencionada.

Los tipos de suelo identificados a partir de los ensayos realizados a las muestras extraídas de los sondeos manuales, corresponden a suelos del tipo A-1-b, A-4, A-5 y A-7-5, los cuales se clasifican como grava, gravas limosas, limos y arcillas. De los cuales en su mayoría de acuerdo a lo establecido por la AASHTO son considerados en la escala de regular a malos para usar en la Subrasante.

Los valores de CBR obtenidos en los ensayos de suelo realizados a las muestras extraídas de los sondeos a lo largo del tramo, corresponden a los que se muestran en Tabla 33, pág. 50.

A partir del valor de CBR de la subrasante, se determinan otros parámetros de diseño de la estructura de pavimento, como el Módulo de Resiliencia (MR).

El valor del percentil para determinar el CBR de diseño de la subrasante, se logra obtener a partir de la Tabla 39.

Tabla 40. Percentil de diseño para subrasante

Nivel de Tránsito	Valor de percentil para diseño de subrasante
< de 10000 ESAL	60
Entre 10000 y 1000000 ESAL	75
> De 1000000	87.5

Fuente: Instituto de Asfalto, (MS-1) 1991

Tabla 41. CBR subrasante

Estación	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	Clasificación H.R.B. (IG)	C.B.R. (95%)
0+000	1	1	0-105	A-4(0)	15
0+500	2	2	0-50	A-1-b(0)	32
		3	50-110	A-5(7)	12
1+000	3	4	0-30	A-4(2)	8
		5	30-100	A-4(5)	18
1+500	4	6	0-40	A-4(2)	10
		7	40-80	A-7-5(8)	9
		8	80-105	A-7-5(9)	9
2+000	5	9	0-40	A-4(1)	10
		10	40-100	A-4(3)	30

Fuente: Elaboración propia

Los valores de CBR se han acumulado, para la determinación del valor de CBR de diseño de la subrasante de acuerdo al tipo de suelo existente en el tramo actualmente, el cual se muestra en la Tabla 40.

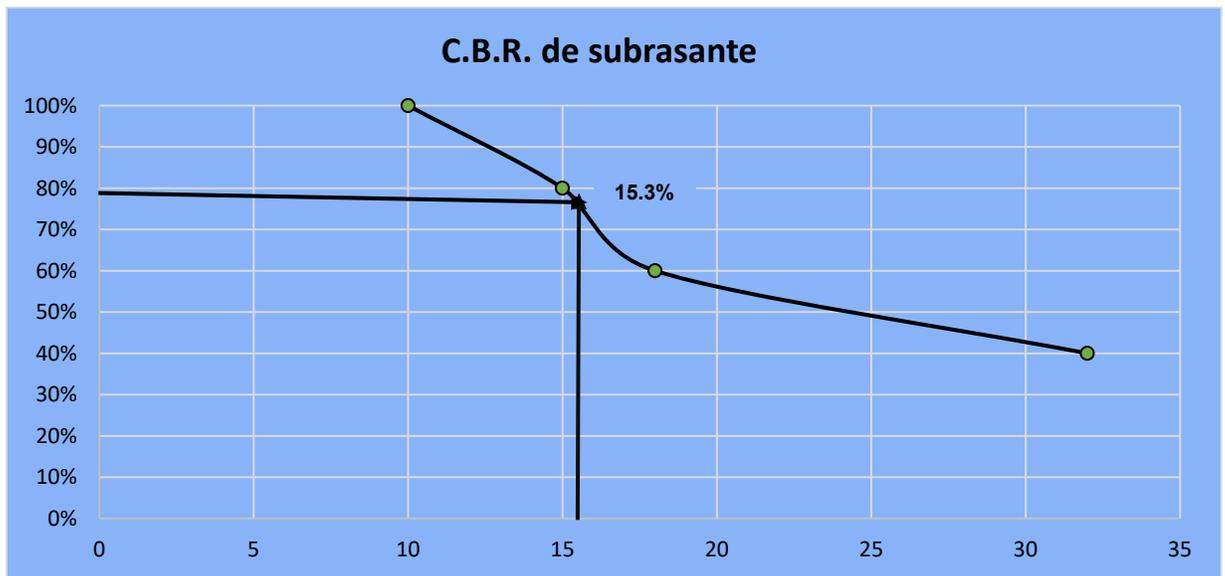
En base a la Tabla 38 y sabiendo que el ESAL de diseño es de 33,263.43 psi (Ver Tabla 25, pág. 36), el cual se toma en consideración el valor del percentil, 75% del porcentaje de los valores mayores o iguales, y el CBR del tramo actual, interceptando en la curva del Gráfico 4, se obtiene un CBR de diseño para la subrasante de 15.3%.

Tabla 42. Selección de CBR de diseño para la subrasante

Clasificación AASHTO	CBR	Frecuencia	Cantidades Mayores o Iguales	%
A-4(2)	10	2	5	100
A-4(0)	15	1	4	80
A-4(5)	18	1	3	60
A-1-b(0)	32	1	2	40
Total		5		

Fuente: Elaboración propia

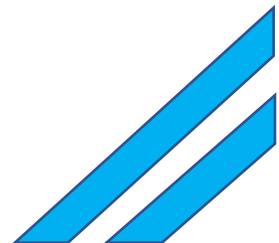
Gráfico 4. C.B.R. de Diseño Subrasante



Fuente: Elaboración propia



CAPITULO V
DISEÑO DE
ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO



5.1. Aspectos generales

En un pavimento rígido, debido a la rigidez de la losa de hormigón se produce una buena distribución de las cargas de las ruedas de los vehículos, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. En un pavimento flexible, el concreto asfáltico, al tener menor rigidez, se deforma y transmite tensiones mayores en la subrasante. Debido a la rigidez y alto módulo de elasticidad del hormigón, los pavimentos rígidos basan su capacidad portante en la losa de hormigón más que en la capacidad de la subrasante. (AASHTO-93, 2006, pág. 2)

En el presente capítulo, se muestran los aspectos relativos al diseño de pavimento articulado del tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, el cual se ha realizado tomando como referencia lo establecido en la Norma SIECA 2002, aplicando el método de diseño AASHTO – 93.

5.2. Método AASHTO – 93

El diseño para el pavimento flexible según la AASHTO está basado en la determinación del Número Estructural “SN” que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto. Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40000 psi (280MPa). (AASHTO 93, 2001)

El método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles de acuerdo con la Ecuación 7.

$$\text{Log}(W) = ZR \cdot So + 9,36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \text{Log}(MR) - 8,07$$

Ec - 7. Tomada de SIECA (2002)

Dónde:

Wt18: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 KN acumuladas en el período de diseño (n).

ZR: Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

So: Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida deservicio.

Δ PSI: Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la plenitud (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción (Serviciabilidad Inicial, **po**) y su plenitud al final del periodo de diseño (Serviciabilidad *Final*, **pt**).

MR: Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y subbases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

SN: Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

5.3. Variables de Diseño

En esta sección se detallan cada uno de los parámetros de diseño de la estructura de pavimento articulado.

- **Periodo de Diseño**

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente. (SIECA , 2002, pág. 289)

Los periodos de diseño recomendados son los que se muestran en la Tabla 20, pág. 31. En base al tipo de carretera del tramo en estudio, correspondiente a una colectora rural, se selecciona un valor de periodo de diseño de **15 años**.

- **ESAL**

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 libras) y se presentará en el carril de diseño. Se considera que el “eje estándar” tiene un factor de daño $F = 1$. (SIECA, 2002)

De acuerdo al estudio de tránsito desarrollado en el Capítulo III, el valor del ESAL es de 33,263.43 psi. (Ver Tabla 25, pág. 36)

- **Confiabilidad**

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones. (SIECA, 2002)

Los valores de confiabilidad sugeridos se especifican en la Tabla 42, acorde a los tipos de carreteras.

Tabla 43. Niveles de Confiabilidad

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
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: Diseño de Pavimentos, AASHTO 93, 2001. Pág. 137

El valor de confiabilidad R seleccionado, de acuerdo al tipo de carretera $R = 75$ %, se busca el valor de desviación normal estándar (ZR) en dependencia de la confiabilidad.

- **Desviación Estándar**

El valor de la desviación estándar **So** se obtiene mediante los valores recomendados por la SIECA (2002). Para el caso en estudio, se tomará un valor

de 0.40 ya que se encuentra en el intervalo de los valores requeridos para pavimentos flexibles. Los valores sugeridos se muestran en la Tabla 43.

Tabla 44. Desviación Estándar

Condición	So
Pavimentos flexibles	0.4 – 0.5
Construcción nueva	0.35 – 0.4
Sobre – capas	0.5

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

- **Serviciabilidad**

El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto). (SIECA, 2002)

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final.

La inicial (P_o), es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal (P_t) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador.

Los valores de serviciabilidad se muestran en la Tabla 44.

Tabla 45. Valores de Serviciabilidad

Serviciabilidad inicial P_o	Pavimentos rígidos	Pavimentos flexibles
	4.5	4.2
Serviciabilidad final P_t	Caminos Principales	Caminos de tránsito menor
	2.5	2

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA (2002), Capítulo 7, pág. 4

El valor de la pérdida por serviciabilidad determinado por la Ecuación 10:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad Ec - 10 \text{ Tomado de SIECA} \\ (2002)$$

Seleccionando como valor de $P_o = 4.2$ y $P_t = 2$ entonces la pérdida por serviciabilidad es:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2 \\ \Delta PSI = 2.2$$

- **Módulo de resiliencia de la subrasante**

Es la variable que se usa para caracterizar las propiedades de los suelos, está en función de la subrasante para cuantificar la capacidad de soporte de los pavimentos flexibles, la guía de diseño establece la correlación para determinar el MR usando el CBR. (AASHTO 93, 2001)

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

- Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 10 %

$$Mr = 1500 * CBR \quad Ec - 11. \text{ Tomado (Montejo Fonseca, 2002)}$$

- Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 10%, se deberán emplear otras formas de correlación:

$$Mr = 4.326 * \ln(CBR) + 241 \quad Ec - 12. \text{ Tomado (Montejo Fonseca, 2002)}$$

En el Capítulo IV se determinó el CBR promedio de la línea principal del tramo de carretera, de acuerdo al Gráfico 8 (pág. 57), resultando un valor de 15.3 %.

El módulo de resiliencia para la subrasante se calcula usando la Ecuación 12, porque es la que más se aproxima, dando como resultado lo siguiente:

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

$$Mr = 4326 * \ln(15.3) + 241$$

$$Mr = 12,041.691 \text{ Psi}$$

- **Coefficiente de drenaje**

No se puede omitir considerar el drenaje de agua en los pavimentos, ya que este influye de forma significativa en el desempeño de la estructura. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a las estructuras del pavimento.

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con

frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje.

La AASHTO 93, recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de diseño, los cuales se aprecian en la Tabla 45, pág. 64.

La calidad del drenaje es expresada en la fórmula del número estructural, dado que se asume una capacidad buena para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento, el coeficiente de drenaje a utilizar en este diseño es $m_i = 1$ (Ver Tabla 46)

El coeficiente de drenaje, es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento en su vida útil, así también en el diseño del mismo (Ver Tabla 45). (AASHTO 93, 2001)

Tabla 46. Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad

Capacidad del drenaje para remover la humedad		
Calidad del drenaje	Aguas removidas en:	
	50% de saturación	85% de 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
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, Capítulo 7. Pág. 148.

Tabla 47. Coeficiente de Drenaje

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de saturación.			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.2
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.8
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.6
Muy Pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.4

Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001, Capítulo 7. Pág. 148.

- **Coeficientes estructurales de capa**

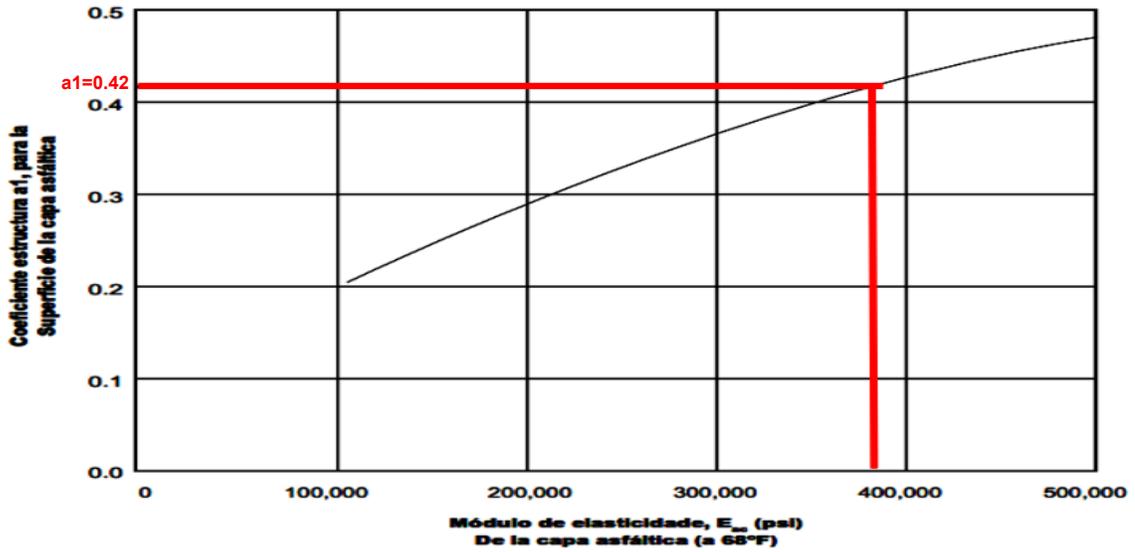
El cálculo de los coeficientes estructurales de capa, son necesarios para la determinación de los espesores de la estructura de pavimento, para poder determinar dichos coeficientes es necesario el uso de gráficos de la norma SIECA para el diseño de pavimentos.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN, siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento. (AASHTO 93, 2001)

El valor de a_1 corresponde al coeficiente de la estructura de pavimento, a_2 corresponde el valor de la base y a_3 al valor de la subbase.

Para la determinación del coeficiente de capa a_1 , se hace uso del nomograma que se muestra en la Grafico 5, dando como resultado un $a_1=0.42$.

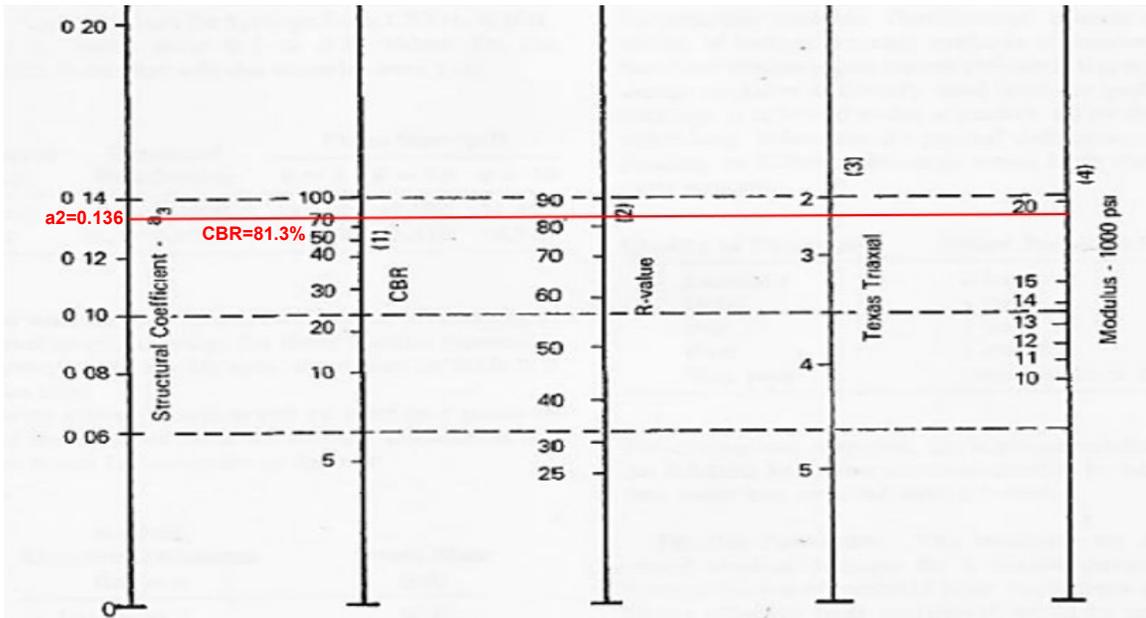
Gráfico 5. Coeficientes estructurales de capas asfálticas



Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO, 1993.

Para la determinación del valor de coeficiente de capa base a_2 , se interpola el CBR del banco de materiales No 2 correspondiente a 81.3%, generando un valor de $a_2=0.136$, tal como se muestra en Ilustración 7.

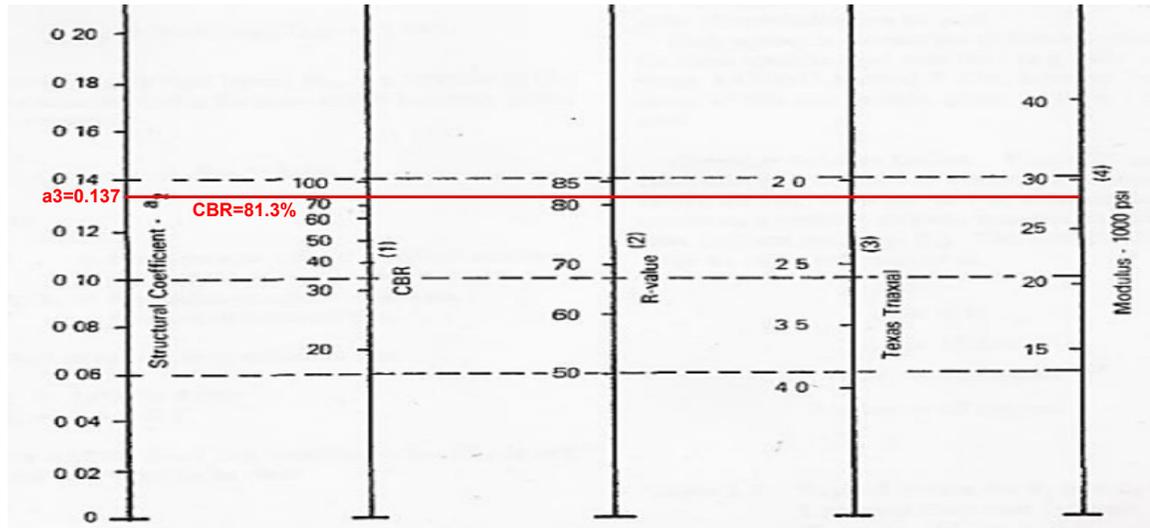
Ilustración 7. Coeficiente de capa base granular



Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001.

El valor de a_3 , es el coeficiente de la capa subbase, se interpola igualmente con el CBR del banco de materiales No 2, con un valor de 81.3%, generándose un valor de 0.137 según se observa en la Ilustración 8.

Ilustración 8. Coeficiente de capa de subbase granular



Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001

- **Módulo de resiliencia de la subrasante**

El módulo de resiliencia a utilizar en la base y en la subbase de la estructura de pavimento, se determina mediante el uso de los nomogramas mostrados en la Ilustración 7, e Ilustración 8. De acuerdo a los ensayos de CBR realizados al material granular de subbase que se empleará en la construcción de esta vía, se obtuvo un valor de CBR de 81.3%.

Con respecto a dicha interpolación el valor resultante del módulo de resiliencia para la base es de 18.5 Ksi y para la subbase corresponde a 27 Ksi.

- **Número estructural**

Para la determinación del coeficiente de aporte estructural de la mezcla asfáltica, necesitamos conocer el módulo de la mezcla y así poder determinar dicho coeficiente. (AASHTO 93, 2001)

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18, se debe de asumir un valor inicial de SN. Asumido por la Ecuación 13:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \quad \text{EC - 13. Tomado de (AASHTO 93, 2001)}$$

Donde:

a1, 2,3: Coeficientes estructurales de capa.

D1, 2,3: Espesores de capa.

m1, 2,3: Coeficientes de drenaje de capas.

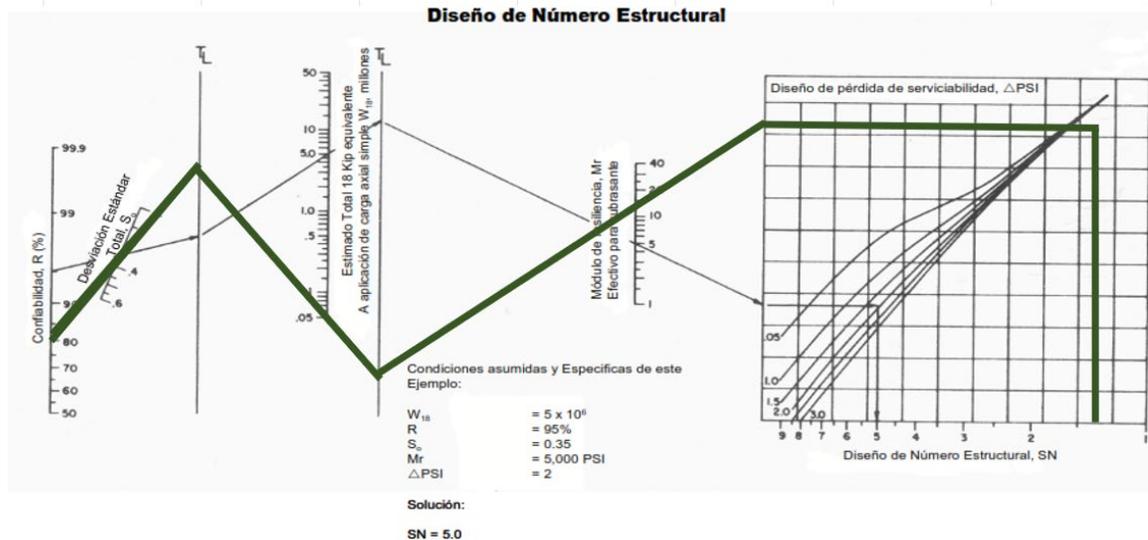
Para la determinación del número estructural de la subrasante SN₃, SN₂, SN₁ se toman los datos mostrados en la Tabla 47 y mediante la interpolación en los nomogramas mostrados en los gráficos 6, 7 y 8.

Tabla 48. Datos para determinación de SN₃; SN₂ y SN₁

	SN₃	SN₂	SN₁
Periodo de Diseño	15 años	15 años	15 años
ESAL(W18)	33263	33263	33263
Confiabilidad	75	75	75
Serviciabilidad			
Serviciabilidad inicial (Po)	4.2	4.2	4.2
Serviciabilidad final (Pt)	2	2	2
PSI	2.2	2.2	2.2
Desviaciones estándar (So)	0.4	0.4	0.4
CRB Promedio	81.3	81.3	15.3
Módulo de Resiliencia (Mr)	18.5ksi	27ksi	12.04ksi
	18,500psi	27,000psi	12,041psi

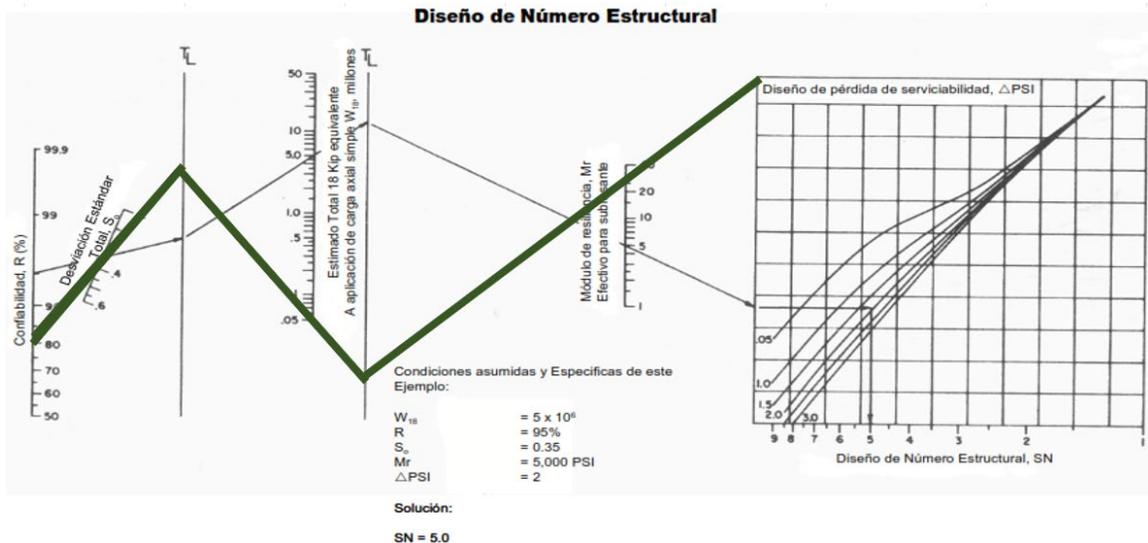
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Determinación de SN₃ (Sub Base)



Fuente: Elaboración propia, en base a la Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Gráfico 7. Determinación de SN₂ (Base)



Fuente: Elaboración propia, en base a la Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Dado que, el valor de Módulo de resiliencia para la obtención del SN₂ es alto y no permite interceptar un valor de SN como se muestra en el gráfico 7, se procedió a realizar el cálculo correspondiente utilizando el software AASHTO 93, obteniendo como resultado un SN de 0.96 como se aprecia en la ilustración 10.

Ilustración 9. Determinación de SN₂ (Base)

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 75 % Zr=-0.674 So 0.4

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 27000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

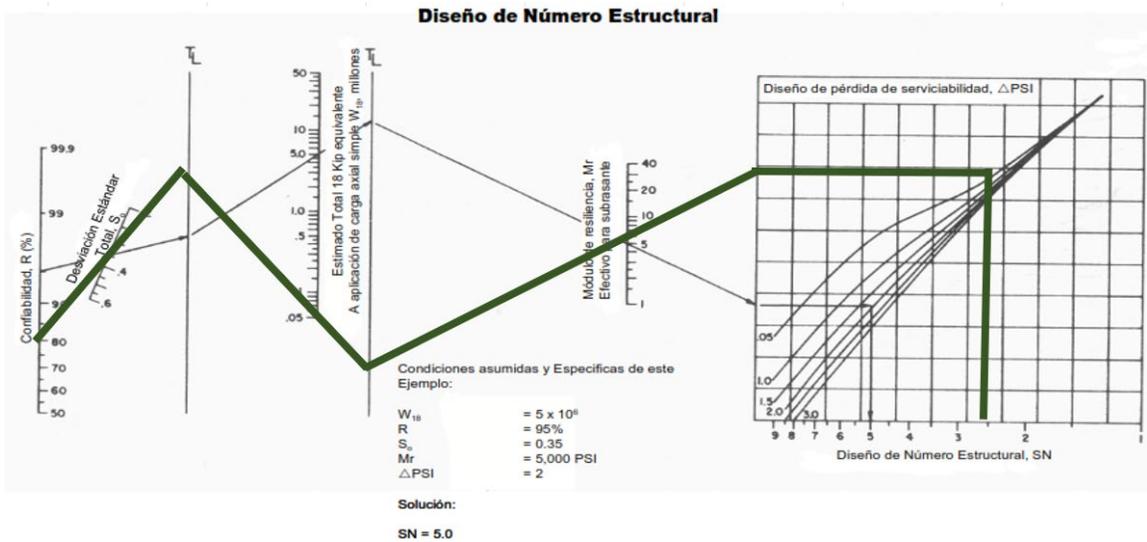
Tipo de Análisis
 Calcular SN **W₁₈ = 29444**
 Calcular W₁₈

Número Estructural
SN = 0.96

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia, asistido por software AASHTO 93.

Gráfico 8. Determinación de SN₁ (Carpeta de rodamiento)

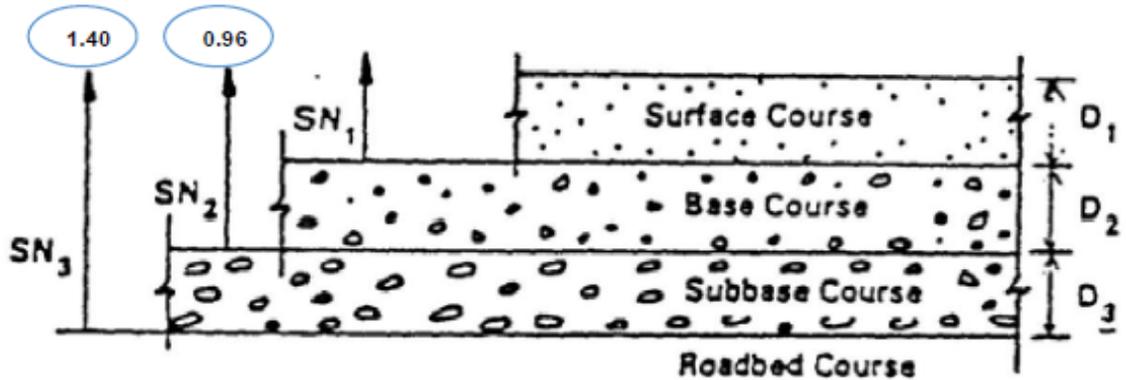


Fuente: Elaboración propia, en base a la Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Todos estos valores son necesarios para la determinación de los espesores de capa de la estructura de pavimento

En la Ilustración 11, se muestra un consolidado de los valores correspondientes para los números estructurales para cada una de las capas de la estructura de pavimento.

Ilustración 10. Resumen de SN determinados



Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93

5.4. Cálculo de espesores

Contando con las variables de diseño ya determinadas en las secciones anteriores, se procede al cálculo de los espesores de la estructura de pavimento, tomando en consideración cada una de las fórmulas propuestas en la guía de pavimentos SIECA 2002.

- **Espesor de carpeta de rodamiento**

Para nuestro estudio proponemos utilizar una carpeta de rodamiento de bloques de adoquín, por lo tanto, el espesor de la carpeta de rodamiento ya se encuentra determinada como medida estándar de 4 pulgadas. El valor de a_1 es igual 0.42. (Ver ilustración 10, pág. 64)

Se recalcula el valor de SN_1 , aplicando la Ecuación 14:

$$SN_1 * = D_1 * a_1 \quad \text{Ec - 14 Tomada de SIECA (2002)}$$

$$SN_1 = (4) * (0.42)$$

$$SN_1 = 1.68$$

- **Espesor de base**

El valor del número estructural $SN_2 = 0.96$ determinado con el uso del software. El valor de $a_2 = 0.136$ y $m_2 = 1$, se procede a la aplicación de la siguiente ecuación, demostrando el resultado a continuación:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$D_2 = \frac{0.96 - 1.68}{(0.136) * 1}$$

$$D_2 = -5.29$$

“No cumple con espesor mínimo, usar 4 pulgadas.” (Ver Tabla 48)

Tabla 49. Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular

Numero de ESAL's	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	1	4
50,000 - 150,000	2	4
150,000 – 500,000	2.6	4
500,000 - 2,000,000	3	6
2,000,000 - 7,000,000	3.6	6
Más de 7,000,000	4	6

Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001.

Se vuelve a calcular el valor de SN_2^* , aplicando la Ecuación 15, se obtiene un resultado de $SN_2^* = 0.544$, demostrándose a continuación:

$$SN_2^* = a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ec – 15 Tomada de SIECA (2002)}$$

$$SN_2^* = (0.136) * (4 \text{ pulg}) * (1)$$

$$SN_2^* = 0.544$$

En base a la Tabla 49, de acuerdo al ESAL de diseño del tramo correspondiente a 33,263.43 psi (Ver Tabla 25, pág. 36), el valor mínimo de la base granular para el tramo en estudio es de 4 pulgadas, ya que el ESAL se encuentra en el rango de menos de 50,000 Psi.

- **Cálculo de espesor de subbase**

Para determinar el espesor de la subbase, se toma en consideración los valores del SN_1 * y SN_2 * calculados anteriormente, así como el valor del coeficiente de capa $a_3=0.137$ y el coeficiente de drenaje $m_3 = 1$.

El cálculo se determina aplicando la siguiente Ecuación 16:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2 + SN_1)}{a_3 * m_3} \quad \text{Ec - 16 Tomada de SIECA (2002)}$$

$$D_3 = \frac{1.4 - (0.544 + 1.68)}{(0.137) * 1}$$

$$D_3 = -6.0146 \text{ pulg}$$

“dado que el valor es negativo no se necesita subbase para la estructura de pavimento”

Ya que obtuvimos un valor negativo tomaremos en consideración como valor para SN requerido el mismo valor de SN_3 , el cual corresponde a $SN_3= 1.40$.

La verificación de que el proceso esté correcto se encuentra comparando la sumatoria de los SN corregidos, con el SN requerido. tal como se muestra a continuación:

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN_{requerido}$$

$$1.68 + 0.544 \geq 1.40$$

$$2.224 \geq 1.40 \text{ Cumple}$$

- **Consolidado de espesores**

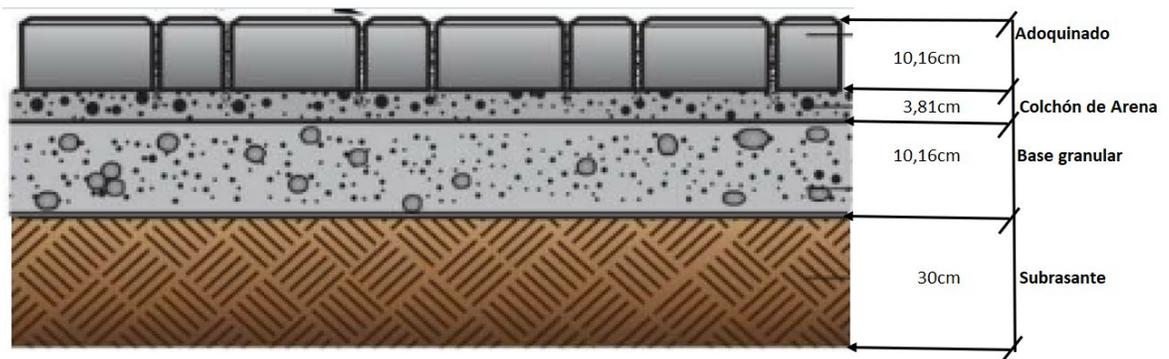
Después de haber realizado los cálculos pertinentes para el diseño de espesores de la estructura de pavimento del tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 49.

Tabla 50. Consolidado de espesores de pavimento

Capa	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Pulgadas	Centímetros
Adoquín	4	10.16
Base Granular	4	10.16
Colchón de arena	1.5	3.81
Espesor Total	9.50	24.130

Fuente: Elaboración propia

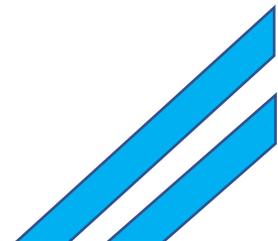
Ilustración 11. Estructura de pavimento articulado



Fuente: Elaboración propia



CAPITULO VI
DISEÑO
GEOMÉTRICO



6.1. Aspectos generales

Como señala Grisales (2013), en el proyecto integral de una carretera, el diseño geométrico es la parte más importante ya que a través de él se establece su configuración geométrica tridimensional, con el fin de que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

En el capítulo mostrado a continuación, se muestran cada uno de los criterios utilizados para realizar el diseño geométrico del tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, el cual se ha realizado de acuerdo a la normativa SIECA 2011.

6.2. Metodología

Tomando como referencia los datos del TPDA y el tipo de terreno, se toman las características de la calzada y tipo de carretera según establecen las normas SIECA 2004 y 2011, y se configuran en el software Civil 3D 2023.

Con los datos del estudio topográfico previamente importados en el software Civil 3D 2023 sobre la superficie generada, se trazará el alineamiento horizontal, cumpliendo con los parámetros que se establecen en la SIECA 2004 y 2011, en cuanto a los elementos de las curvas horizontales, sobreelevaciones y peraltes.

Posteriormente, en el perfil longitudinal se dibujará el alineamiento vertical, cumpliendo con los valores de pendiente, tomando en consideración las normas SIECA 2004 y 2011, ajustando a la rasante más económica y a las condiciones más favorables del suelo.

Se elaborarán los planos haciendo uso del software Civil 3D 2023, presentando planos de planta – perfil y secciones transversales, con la información requerida para la fácil ejecución del proyecto.

6.3. Parámetros de diseño

En este apartado se desglosan los criterios considerados para el diseño geométrico del tramo en estudio.

- **Velocidad de diseño**

La velocidad de diseño, también conocida como velocidad directriz, es la máxima velocidad que, en condiciones de seguridad, puede ser mantenida en una determinada sección de una carretera, cuando las condiciones son tan favorables como para hacer prevalecer las características del diseño utilizado. (SIECA, 2004)

El valor de velocidad de diseño seleccionado de acuerdo a la clasificación del tipo de carretera de la normativa SIECA, según el tipo de carretera que presenta el tramo en estudio corresponde a 50 km/h, por clasificarse esta como Colectora Rural Montañosa. No obstante, debido a la accidentalidad que presenta el terreno del tramo en estudio se asumió una velocidad de diseño de 20 km/h.

- **Vehículo de diseño**

Como plantea SIECA (2004), los vehículos de diseño son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por las carreteras regionales, por lo que, al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación de cada uno de ellos, se brinda al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños para posibilitar y facilitar su circulación irrestricta. De cada tipo de vehículo utilizado para diseño, se seleccionan a propósito para adoptar las condiciones más desfavorables, aquellos de mayores dimensiones físicas y de radios de giro mayores dentro de su clasificación tipológica. (Pág. 2-1. Capítulo II).

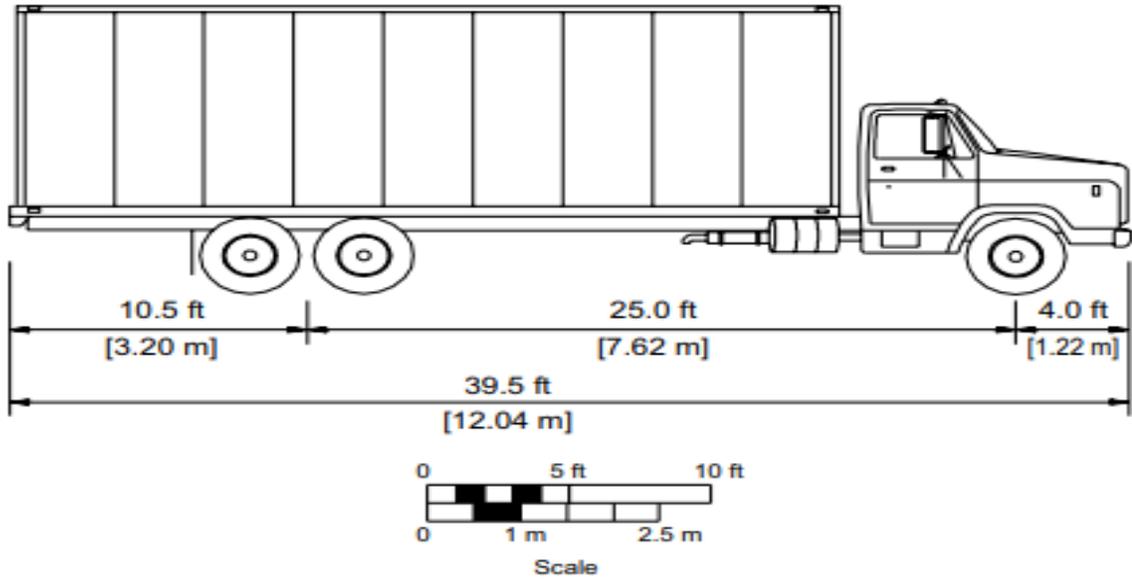
El vehículo de diseño utilizado es el SU, por ser similar al vehículo de mayor tamaño contenido en el aforo de tráfico realizado, el cual se muestra en la Ilustración 13, Pág. 80.

Tabla 51. Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales

No	Descripción	Autopistas regionales	Troncales		Colectoras	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
1	TPDA	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500
2	VHD	>2,000	2,000-1.000	1.500-450	300-50	450-75
3	FPH	0.92	0.92	0.95 – 0.91	0.92	0.85
4	Vehículo de Diseño	WB – 20	WB – 20	WB – 20	WB – 15	WB – 15
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M
6	Velocidad de Diseño (kph)	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
7	No de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2
8	Ancho de carril (m)	3.6	3.6	3.3 – 3-6	3.3 – 3.6	3.3
9	Ancho de hombros / espaldones (m)	Int 1 – 1-5 Ext. 1.8-2.5	Int 1 – 1-5 Ext. 1.8-2.5	Int. 0.5-1.0 Ext. 1.2-1.8	Ext. 1.2– 1.5	Ext. 1.2 – 1.5
10	Tipo de superficie de rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav - Grava
11	Dist. De Visibilidad de parada (m)	110- 245	110-170	85- 140	65- 110	65- 110
12	Dist. de Visibilidad adelantamiento (m)	480- 670	480 – 600	410-540	350 - 480	350 - 480
13	Radio mín. curva, peralte 6% (m)	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195
14	Máximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' -5°53'	12°44' -5°53'
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5 – 3	1.5 – 3	1.5 - 3	1.5 - 3
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS 20-44+25%	HS 20-44+25%	HS20-44	HS20-44
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6	-	-
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras. SIECA (2004)

Ilustración 12. Vehículo de Diseño (SU)



Fuente: AASHTO, A policy on Geometric Design of highways and Streets, 2018. Pág. 2-66

Tabla 52. Dimensiones de vehículos de diseño (metros)

Descripción	P	BUS	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
Ancho	2.1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Longitud	5.8	12.1	9.1 (9.2)	16.7 (16.8)	21	22.5
Voladizo delantero	0.9	2.1	1.2	0.9	1.2	1.2
Voladizo Trasero	1.5	2.4	1.8	0.6	0.9	0.9
Distancia entre ejes extremos WB1	3.4	7.6	6.1	6.1	6.1	6.1
Distancia entre ejes extremos WB2				9.1	12.8	14.3

Fuente: Elaboración propia

6.4. Características de la sección transversal

En el siguiente apartado se muestran los distintos elementos que componen la sección transversal de la vía.

- **Diseño geométrico horizontal**

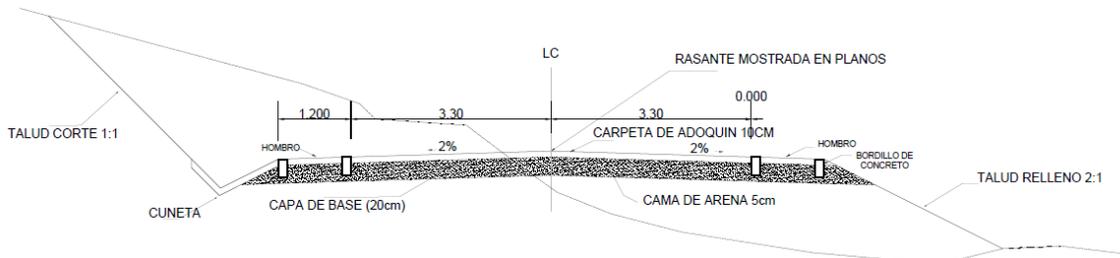
El diseño de carreteras se basa en principios geométricos para lograr trazados eficientes y seguros. Además, incluye la definición de curvas, pendientes y radios de giro, elementos en los cuales la optimización del flujo vehicular, la seguridad y los costos son objetivos clave.

- **Carril**

El carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de la calzada o superficie de rodamiento, la sumatoria de los carriles, a la que también se hace referencia en la clasificación de las carreteras. SIECA (2011)

Al igual que la velocidad de diseño, el ancho de carril se selecciona en base al tipo de carretera, obteniendo un valor de 3.3 m haciendo uso de la Tabla 50, pág. 79. Así mismo, contará con 2 carriles para distribuir el tráfico en dos direcciones. (Ver Ilustración 14)

Ilustración 13. Elementos de la Sección Transversal de la Vía



Fuente: Elaboración propia

- **Hombros o espaldones**

Los hombros o espaldones, que son las franjas de carretera ubicadas contiguo a los carriles de circulación y que, en conjunto con éstos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes. SIECA (2004)

Nuevamente haciendo uso de Tabla 50, Pág. 75, los valores del ancho de los hombros se debe elegir un valor entre 1.2 a 1.5 m, para lo cual se seleccionó el valor de 1.2 m. (Ver Ilustración 14)

- **Longitud máxima de rectas**

Tomando en consideración el criterio establecido por SIECA (2011) que establece, lo descrito en la Ecuación 15:

$$L = 20 * V \quad \text{Ec - 15. Tomado de SIECA (2011).}$$

Donde

L= Longitud de la recta, m

V= Velocidad de diseño, Km/h

En el caso del tramo en estudio, la longitud máxima en recta, se calcula implementando la Ecuación 15:

$$L = 20 V$$

$$L = 20 * 20 \text{ Km/h}$$

$$L = 400 \text{ m}$$

6.5. Diseño geométrico horizontal

Las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal son: categoría de la carretera, topografía del área, velocidad de proyecto, distancias de visibilidad, coordinación con el perfil, costos de construcción, operación y mantenimiento. Todos estos elementos deben conjugarse de tal manera que el diseño resultante sea el más seguro y económico, en armonía con el contorno natural y al mismo tiempo adecuado a su categoría, según la Clasificación Funcional para diseño (SIECA , 2011, pág. 81).

- **Peralte**

Es la inclinación que se le da a la corona de una carretera en los tramos en curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrípeta que actúa sobre un vehículo en movimiento (SIECA , 2011, pág. 139).

SIECA (2004), establece los valores de peralte en base a los tipos de zona y de terreno donde se encuentra la carretera.

En concordancia con el tipo de terreno y zona, el tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, se clasifica como un área rural montañosa, por lo tanto, el valor del peralte es de 10%. (Ver Tabla 51)

Tabla 53. Tasas de peralte (e)

Tasa de sobreelevación e en (%)	Tipo de área
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2004)

Los valores de peralte máximos obtenidos en el Diseño Geométrico del tramo en estudio se muestran en la Tabla 50, los cuales se calcularon en el software Civil 3D.

- **Radio Mínimo**

“El radio mínimo es un valor limitante de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relaciona con el peralte máximo y la máxima fricción latera seleccionada para el diseño” (SIECA, 2011, pág. 87).

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127(e_{\max} + f_{\max})} \quad \text{Ec – 17 Tomado de SIECA (2011).}$$

Donde:

R_{mín} = Radio mínimo de la curva, m

V = Velocidad de diseño, KPH

e_{máx} = Tasa de sobreelevación en fracción decimal

f_{máx} = Factor de fricción lateral

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

$$R_{\min} = \frac{20^2}{127(0.10 + 0.35)}$$

$$R_{\min} = 6.99 \approx 7$$

En la Tabla 75, (Ver Anexos, pág. XXXVIII), se muestra el radio de curvatura recomendado de acuerdo a la velocidad de diseño y al peralte seleccionado, obteniéndose un valor de 7 m.

- **Grado de curvatura**

Es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definición “arco” como el ángulo central subtendido por un “arco” de 20 metros. (SIECA, 2011)

A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión:

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R} \quad \text{Ec - 17 Tomada de SIECA (2011)}$$

D₂₀ = Grado de curvatura o ángulo en el centro de la curva, para un arco de 20 m.

R = Radio de la curva, m

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R}$$

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{7}$$

$$D_{20} = 163^{\circ} 42'$$

Al comparar estos datos con los propuestos en la Tabla 75 (Ver anexos, pág. XXXVII), concuerdan con los calculados anteriormente. En el caso del radio de curvatura de 68 m el grado de curvatura es de 163° 42’.

- **Bombeo normal**

Es la pendiente que se le da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal, con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente. (SIECA, 2011, pág. 139)

En la Tabla 53, se muestran los valores del bombeo para los tipos de superficie de pavimento.

Tabla 54. Bombeo normal

Tipo de Superficie	Rango de Pendiente Transversal
Alto	1.5 - 2.0
Bajo	2.0 - 6.0

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA (2011). Capítulo 4. Pág. 139

SIECA (2011) define los tipos de pavimento de la siguiente manera:

Los pavimentos de tipo alto son aquellos que mantienen superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima, y que, sometidos a cargas de altos volúmenes de tráfico pesado, requieren poco mantenimiento.

Los pavimentos de tipo bajo son los que están formados por superficies de terracería, sin tratar o tratadas mediante la inclusión de agregados pétreos. (Pág. 139).

El valor del bombeo seleccionado en el tramo en estudio, es del 2%, tomando en consideración que el tipo de superficie es alta.

- **Sobreancho**

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. En carreteras con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía (SIECA , 2011, pág. 108).

En la Tabla 53 y 54, se muestran los sobre anchos del tramo en estudio en dos sentidos banda izquierda y banda derecha, utilizando el software Civil 3D.

Tabla 55. Sobreanchos, banda derecha del Tramo Quebrada el Zapote – Cuesta el Cascabel

Sobreanchos de la banda izquierda	
N de curva	Valor del sobre ancho
1	2.40 m
4	1.00 m
5	1.00 m
6	2.30 m
11	1.00 m
12	1.00 m
14	1.30 m

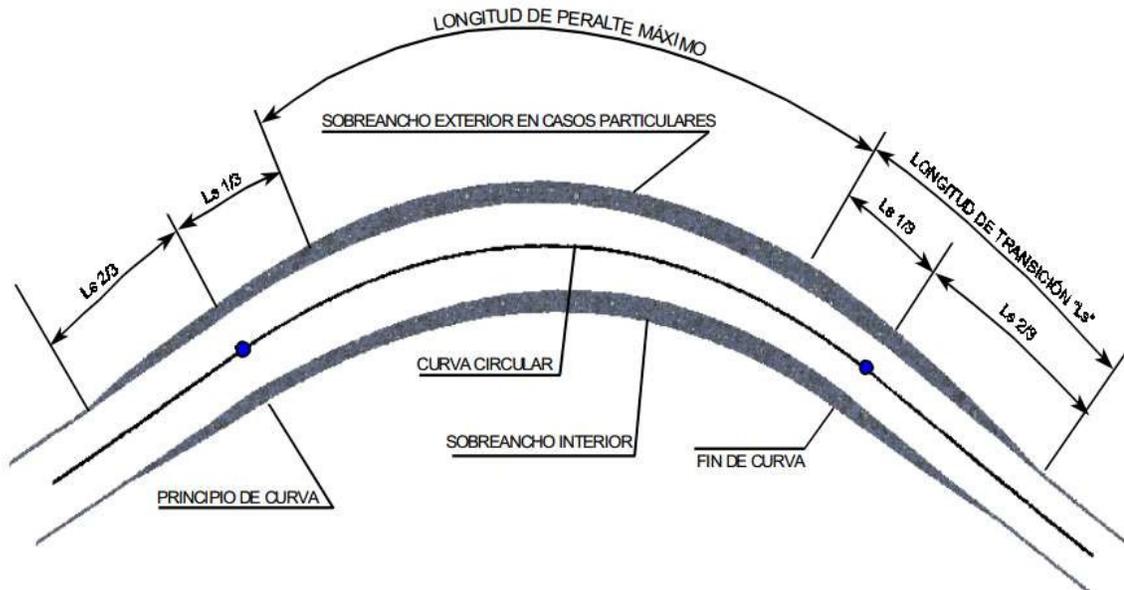
Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Sobreanchos, banda derecha del Tramo Quebrada el Zapote – Cuesta el Cascabel

Sobreanchos de la banda derecha	
N de curva	Valor del sobre ancho
2	1.20 m
3	1.80 m
7	1.60 m
8	2.40 m
9	1.00 m
10	1.60 m
13	1.00 m
15	1.30 m

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14. Sobreebanco de curvas



Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2004). Cap4.pag.5

- **Curvas horizontales simples**

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Por lo tanto, las curvas reales del espacio no necesariamente son circulares (Grisales, 2013, pág. 38).

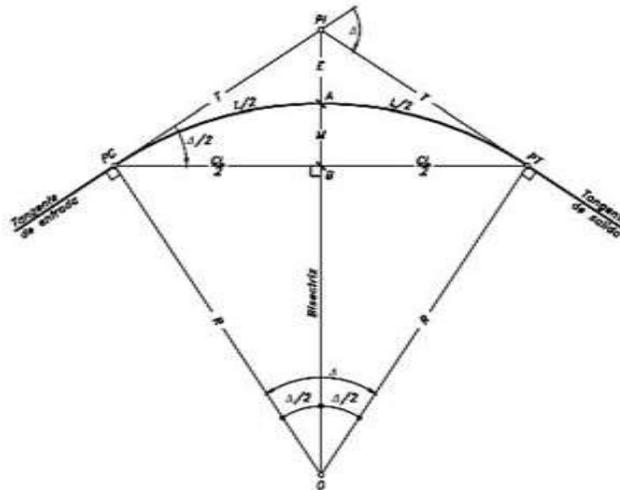
Acorde con Lambe & Whitman (2016) los elementos de curvas horizontales son los siguientes:

- PI: Punto de intersección
- PC: Punto de curvatura
- PT: Punto de tangencia
- TC: Tangente de la curva
- R: Radio de curvatura
- CP: Cuerda principal
- L: Longitud de la cuerda
- M: La ordenada central o medida

PEC: Punto en la curva

PET: Punto en una tangente y G: Grado de la curva. (Pág. 710)

Ilustración 15. Elementos geométricos de curvas horizontales



Fuente: Diseño Geométrico de Carreteras, Cárdenas Grisales, 2013

El cálculo de los elementos geométricos de la curva a manera de ejemplo se muestra a continuación:

Tomando como ejemplo, la curva No 5 del tramo, la cual se encuentra en la estación:

$$PC = 0 + 678.476$$

$$R = 20.29 \text{ m}$$

$$\Delta = 151^{\circ}12'13''$$

✓ Tangente

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

Ec - 18 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$T = 20.29 * \tan \frac{151^{\circ}12'13''}{2}$$

$$T = 79.03 \text{ m}$$

✓ Cuerda Larga

$$CL = 2R \text{sen} \Delta/2$$

Ec - 19 Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$CL = 2(20.29) * \text{Sen} \frac{151^{\circ}12'13''}{2}$$

$$CL = 39.30 \text{ m}$$

✓ **Externa**

$$E = R * \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right) \quad Ec - 20 \text{ Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$E = (20.29) * \left(\frac{1}{\cos 151^{\circ}12'13''/2} - 1 \right)$$

$$E = 61.31 \text{ m}$$

✓ **Ordenada media**

$$M = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right) \quad Ec - 21 \text{ Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$M = (20.29) * \left(1 - \cos \frac{151^{\circ}12'13''}{2} \right)$$

$$M = 15.24 \text{ m}$$

✓ **Grado de curvatura**

$$G^{\circ}c = 2 * \text{sen}^{-1} * \frac{c}{2R} \quad Ec - 22 \text{ Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$c = 5 \text{ m}$ porque el radio es menor de 50

$$G^{\circ}c = 2 * \text{sen}^{-1} * \frac{(5)}{2*(20.29)}$$

$$G^{\circ}c = 11^{\circ}56'52.8''$$

✓ **Longitud de curva**

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} \quad Ec - 23 \text{ Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$Lc = \frac{\pi * (20.29) * (151^{\circ}12'13'')}{180}$$

$$Lc = 53.30 \text{ m}$$

✓ **Estación PT**

$$PT = PC + Lc \quad Ec - 24 \text{ Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$PT = 0 + 678.476 + 53.30$$

$$PT = 0 + 731.776$$

✓ **Estación PI**

$$PI = PC + T \quad Ec - 25 \text{ Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$PI = 0 + 678.476 + 79.03 \text{ m}$$

$$PI = 0 + 757.506$$

✓ **Deflexión por metro**

$$\delta = \frac{G^{\circ}c}{2c} \quad Ec - 26 \text{ Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$\delta = \frac{11^{\circ}56'52.8''}{2 * 5}$$

$$\delta = 1^{\circ}11'41.28''$$

✓ **Deflexión por cuerda unitaria**

$$\delta = \frac{G^{\circ}c}{2} \quad Ec - 27 \text{ Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)}$$

$$\delta = \frac{11^{\circ}56'52.8''}{2}$$

$$\delta = 5^{\circ}58'26.40''$$

Las curvas horizontales del Diseño Geométrico del Tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote, obtenidos mediante el software Civil 3D; se muestran en la Tabla 55, pág. 91.

Tabla 55. Curvas horizontales del tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote

Curvas Horizontales													
No de Curva	Dirección	Deflexión	Radio	Tangente	L	LC	E	M	EST. PC	EST. PI	EST. PT	PI Norte	PI Este
1	S18°33' .49"W	27°04'23"	73.00	17.575	34.49	34.49	2.086	8.824	0+153.469	0+171.044	0+187.963	1403508.27	594845.36
2	S03° 29' 14.37"W	15°22'20"	73.00	9.852	19.59	19.59	0.662	8.824	0+385.494	0+395.346	0+405.080	1403291.12	594904.13
3	S15° 11' 36.92"W	38°14'50"	73.00	25.312	48.73	48.73	4.264	8.824	0+478.649	0+503.961	0+527.379	1403182.39	594903.69
4	S24° 46' 24.03 W	16°25'34"	73.00	10.536	20.93	20.93	0.756	8.824	0+597.530	0+608.066	0+618.458	1403098.88	594968.97
5	S21° 07' 31.06"E	151°12'13"	20.29	79.050	53.56	53.56	61.319	7.33	0+678.476	0+757.526	0+732.032	1403011.88	595090.68
6	522° 53' 10.15"W	35°23'26"	50.96	16.258	31.47	31.47	2.531	9.091	0+777.216	0+793.474	0+808.691	1403028.42	594951.17
7	S23° 15' 33.45"W	67°25'54"	52.09	34.763	61.31	61.31	10.534	0	0+808.691	0+843.454	0+870.001	1403062.66	594913.34
8	S03° 39' 26.50"W	67°12'26"	45.00	29.902	52.78	52.78	9.029	9.130	0+870.001	0+899.903	0+922.785	1403035.05	594854.87
9	S01° 02' 08.16"W	72°39'23"	41.00	30.149	51.99	51.99	9.891	9.167	0+973.577	1+003.726	1+025.569	1403109.11	594772.4
10	S26°24'27.49"W	15°11'53"	308.50	41.157	81.83	81.83	2.733	-	1+235.743	1+276.901	1+317.575	1402965.27	594530.45
11	S05° 29' 14.37"W	43°48'37"	86.29	34.697	65.98	65.98	6.715	9.33	1+391.295	1+425.992	1+457.274	1402857.81	594426.41
12	S19° 11' 36.92"W	44°36'28"	148.53	60.930	115.64	115.64	12.011	11	1+457.274	1+518.204	1+572.916	1402762.18	594425.97
13	S14° 36' 24.03 W	47°01'24"	41.00	17.837	33.65	33.65	3.712	9.167	1+621.207	1+639.044	1+654.856	1402671.32	594514.78
14	S25° 25' 31.03"W	34°19'24"	41.00	12.662	24.56	24.56	1.911	9.167	1+705.445	1+718.106	1+730.006	1402590.32	594511
15	522° 23' 17.15"W	57°23'23"	41.00	22.442	41.07	41.07	5.740	9.167	1+801.604	1+824.046	1+842.671	1402499.49	594566.98

6.5. Diseño geométrico vertical

Es aquel elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, de tal forma que facilite una operación vehicular segura y confortable, que sea de apariencia agradable y que permita un drenaje adecuado. Se ha comprobado que la curva que mejor se ajusta a estas condiciones es la parábola de eje vertical (Grisales, 2013, pág. 313).

▪ Pendientes de diseño

Las pendientes de las carreteras ya construidas tienen una influencia relevante en la operación de los vehículos que operan por ellas. En automóviles, las pendientes de subida de hasta 5% no tienen influencia apreciable en la velocidad, cuando se compara con la correspondiente en terreno plano. (SIECA, 2011)

El valor de las pendientes máximas de acuerdo al tipo de terreno se muestra en la Tabla 57.

El tramo en estudio posee un terreno montañoso, por lo tanto, en la Tabla 57 del manual AASHTO, se define que la pendiente máxima para una carretera colectora rural con una velocidad de diseño de 20 km/h es de 17%.

Tabla 57. Pendiente máxima para carreteras colectoras 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: Fuente: AASHTO, (2004), Pág. 382

El valor de acuerdo al tipo de terreno, clasificado anteriormente como montañoso y la velocidad de diseño seleccionada de 20 km/h, corresponde a una pendiente máxima de 17 %.

En la estación 1+726 – 1+855 del diseño, se muestra una pendiente que sobrepasa el valor recomendado por la normativa que es de 19.90 %. Se ha justificado debido a que no sobrepasa mucho a la pendiente máxima recomendada y se ha tratado de seguir la línea actual del camino.

- **Curvas verticales**

Según R. Wolf & D. Ghilani (2016), existen dos tipos básicos de curvas verticales, las cuales se definen a continuación:

Curvas verticales en cresta: La curva de tipo cresta, la que por definición sufre un cambio negativo de pendiente, o sea, la curva tiene su concavidad dirigida hacia abajo.

Curvas verticales en columpio: La curva de tipo columpio, cuyo cambio de pendiente es positivo y su concavidad está dirigida hacia arriba. (pág. 748)

A Continuación, se muestra un ejemplo de una curva vertical, los datos son los siguientes:

- **Est. PIV:** 0 + 116.33
- **Cota PIV:** 660.039 m
- **Pendiente de entrada:** -2.27%
- **Pendiente de salida:** 2.49%
- **Comprobación de longitud de curva vertical**

$$L_{min} = K_{min} * a$$

$$L_{min} = 3(-2.27\% - 2.49\%) = 14.28 \text{ m}$$

$$LCV = K * a = 8.408(-2.27\% - 2.49\%) = 40 \text{ m}$$

$$LCV \geq LCV_{min}$$

- ✓ **Cálculo de Estación PCV**

$$Est. PCV = Est. PIV - \frac{LCV}{2}$$

$$Est. PCV = 0 + 166.33 - \frac{40}{2}$$

$$Est. PCV = 0 + 146.33$$

✓ **Cálculo de Estación PTV**

$$Est. PTV = Est. PIV + \frac{LCV}{2}$$

$$Est. PTV = 0 + 166.33 + \frac{40}{2}$$

$$Est. PTV = 0 + 186.33$$

✓ **Determinación de la cota PCV**

$$Cota PCV = Cota PIV - m \frac{LCV}{2}$$

$$Cota PCV = 166.33 - (-0.0227) \frac{40}{2}$$

$$Cota PCV = 165.876$$

✓ **Determinación de la cota PTV**

$$Cota PTV = Cota PIV - n \frac{LCV}{2}$$

$$Cota PTV = 166.33 - (0.0249) \frac{40}{2}$$

$$Cota PTV = 165.832$$

✓ **Determinación de las cotas a lo largo de las tangentes considerando que los estacionamientos son a cada 20 m.**

$$Cota 1 = 165.876 + (-0.0227)(20) = 165.422$$

$$Cota 2 = 165.876 + (-0.0227)(40) = 164.968$$

$$Cota 3 = 165.876 + (-0.0227)(60) = 164.514$$

$$Cota 4 = 165.876 + (-0.0227)(80) = 164.06$$

$$Cota 5 = 165.876 + (-0.0227)(100) = 163.606$$

$$Cota 6 = 165.876 + (-0.0227)(120) = 163.152$$

$$Cota 7 = 166.33 + (0.0249)(20) = 166.374$$

$$Cota 8 = 166.33 + (0.0249)(40) = 166.872$$

$$Cota 9 = 166.33 + (0.0249)(60) = 167.37$$

$$Cota\ 10 = 166.33 + (0.0249)(80) = 167.868$$

$$Cota\ 11 = 166.33 + (0.0249)(100) = 168.366$$

- **Tasa de curvatura K**

El valor de la tasa de curvatura, de acuerdo a las velocidades de diseño, en el caso de las curvas en cresta, la velocidad de diseño es de 20 km/h, para lo cual el valor de K es de 1, tomando como referencia a la Tabla 72. (Ver anexos, pág. 95II)

Para las curvas en columpio, el valor de la tasa de curvatura K es de 3, considerando la velocidad de diseño de 20 km/h. Dicho valor se toma a partir de la Tabla 73. (Ver anexos, pág. XXXVIII)

Tabla 58. Curvas verticales del Diseño Geométrico del Tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote

No de curva	Est. PCV	Elev. PCV (m)	Est. PIV	Elev. PIV (m)	Est. PTV	Elev. PTV (m)	Valor de K	K mínimo	Lon. Cv (m)	Pendiente	Tipo de Curva
1	0+76.36	665.90	0+116.33	660.04	0+156.55	656.03	8.408	3.00	70	4.76%	Columpio
2	0+234.23	661.35	0+280.87	664.13	0+328.70	668.20	18.237	1.00	1	5.48%	Cresta
3	0+426.74	661.04	0+456.07	658.88	0+481.71	655.31	17.792	1.00	145.23	13.49%	Cresta
4	0+559.71	632.41	0+598.78	635.36	0+627.37	636.55	44.138	1.00	120	0.45%	Cresta
5	0+874.37	582.63	0+926.67	579.82	1+968.36	578.15	4.193	3.00	120	14.31%	Columpio
6	1+064.36	573.88	1+108.83	575.03	1+153.49	577.96	18.857	1.00	130	13.79%	Cresta
7	1+261.49	537.25	1+325.12	539.53	1+358.79	540.50	9.571	3.00	120	2.09%	Columpio
8	1+386.74	528.67	1+414.56	526.72	1+446.88	524.06	30.533	1.00	140	2.62%	Cresta
9	1+591.88	488.33	1+644.82	487.70	1+693.06	490.70	25.809	3.00	129.48	0.77%	Columpio
10	1+697.06	473.38	1+726.55	474.48	1+693.07	474.94	54.683	1.00	140	0.73%	Cresta
11	1+811.36	451.50	1+855.83	452.63	1+898.04	453.24	6.03	3.00	130	19.90%	Columpio

Fuente: Elaboración propia

6.6. Resumen de parámetros de diseño

En la Tabla 59, se presenta un consolidado de los criterios utilizados en el diseño geométrico del tramo Cuesta el Cascabel – Quebrada el Zapote.

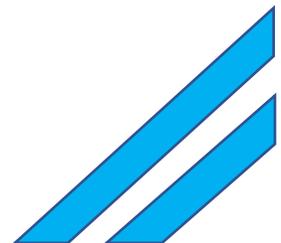
Tabla 59. Consolidado de criterios de diseño

Descripción/Criterio	Forma	Unidad	Valores
Clasificación Funcional	Colectora Rural Montañosa		
Velocidad de Diseño	Vd	KMH	20
Vehículo de Diseño	Veh.	Tipo	SU
Radio de curvatura Mínimo	R	m	7
Grado de Curvatura	Gc	G. Min. Seg.	163°42'
Número de carriles de Rodamiento	Nc	Unid.	2
Ancho de Carril	Ac	m	3.3
Ancho total de Rodamiento	Ar	m	6.6
Ancho de Hombros	Hm	m	1.2
Ancho de Corona	Ac	m	9
Bombeo Normal	B	%	2
Bombeo de Hombros	Hm%	%	4
Peralte o sobreelevación	e _{máx.}	%	10
Pendiente Máxima	Pend%	%	17
Sobreancho	Sa	m	2.5
Curvas verticales Cresta	DVP	M	6
Curvas verticales Columpio	DVA	M	5
Superficie carpeta de Rodamiento	Srod.	Tipo	Adoquín

Fuente: Elaboración propia



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



7.1. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos inicialmente planteados se ha concluido:

- ✓ Al revisar el levantamiento topográfico proporcionado por topografía Mendoza, se analizaron los datos necesarios para la elaboración del diseño geométrico y se determinó por las pendientes encontradas que el tipo de terreno es **Montañoso**. El levantamiento Topográfico cumple los criterios establecidos por el Manual de Revisión del MTI, dicho estudio posee el levantamiento de detalles, establecimiento de BM, lo cual ha permitido caracterizar planimétrica y altiméricamente el terreno del tramo.
- ✓ El volumen de tránsito promedio diario semanal del tramo de carretera en estudio es de 88 vpd incluyendo las bicicletas y el tráfico promedio diario anual TPDA es de 117 vpd y un periodo de diseño de 15 años.
- ✓ En relación a las cargas que actuarán en la estructura de pavimento se obtuvo un valor total de ESAL's de: 33,263.43 repeticiones valor que será necesario para el diseño de las capas estructurales.
- ✓ En el Estudio Geotécnico se realizaron un total de 5 sondeos manuales a lo largo del tramo con profundidades máximas de 1.10 metros, los cuales arrojaron resultados de material no apto para ser utilizado en el tramo por lo que se requirió del análisis y proposición de material de bancos disponibles como se detalla en el capítulo IV para ser Utilizado en la conformación de la estructura de pavimento.
- ✓ En el diseño de estructura de pavimento articulado, se utilizó el método de AASHTO-93, obteniendo como resultado una carpeta de rodamiento de adoquín de 4plg de espesor, utilizando el banco de materiales No 1 y 2 para la conformación de la base granular.
- ✓ Utilizando los datos del levantamiento topográfico del tramo en estudio, proporcionados por topografía Mendoza, se realizó con ayuda del software Civil 3D; el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y sus secciones transversales, basándose en los

parámetros de diseño de la norma SIECA 2011 y AASHTO 93. Se determinaron los siguientes datos, Velocidad de Diseño = 20 km/hrs. Radio de curvatura mínimo = 7 m; Peralte de Diseño = 10%; Grado de curvatura máxima = 11°56'52.8". Además, se diseñaron curvas horizontales simples y 11 curvas verticales, de las cuales 6 son en cresta y 5 en columpio.

7.2. Recomendaciones

- ✓ Garantizar el cumplimiento de las especificaciones NIC 2019 y especificaciones complementarias abordadas en este documento

para la construcción de las capas de la estructura de pavimento que se soliciten.

- ✓ Observar la cantidad de vehículos que circulan en la vía y así poder determinar el tipo de mantenimiento que tendrá ésta, ya sea a corto o largo plazo, de forma preventiva o permanente.
- ✓ Se enfatiza que, durante el proceso de ejecución de la obra se cumpla con una adecuada supervisión tanto del control severo de la calidad de los materiales, así como del proceso de construcción a realizar.
- ✓ Visitar el sitio del proyecto para visualizar si existen cauces naturales o artificiales hacia donde puedan drenar las aguas y así prevenir futuros daños a la construcción de la vía.

7.3. Bibliografía

AASHTO 93. (2001). *Diseño de Pavimentos Método AASHTO 1993*. Washington: Instituto Nacional de Carreteras de los Estados Unidos.

AASHTO-93. (2006). *Manual de Diseño de Pavimentos (AASHTO-93)*. La Paz: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos (NHI).

- Aráuz, J. (14 de Octubre de 2022). Recopilación de antecedentes de la comunidad Los Encuentros, Ciudad Darío. (E. Valenzuela , E. Valle, & H. Olivas, Entrevistadores)
- Grisales, J. C. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras 2da Edición*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Hurtado, D. J. (2009). *Puntos Geodesicos*. Chilca: IGN.
- Jiménez Cleves , G. (2007). *TOPOGRAFIA PARA INGENIEROS CIVILES*. Armenia: Facultad de Ingenieria Programa de Ingenieria Civil.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de Suelos*. México D.F.: Editorial Limusa.
- Kraemer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M. G., Sánchez Blanco, V., & del Val, M. Á. (2003). *INGENIERÍA DE CARRETERAS (Vol I)*. Aravaca: Concepción Fernández Madrid.
- Lambe, T., & Whitman, R. (2004). *Mecanica de Suelos*. Mexico D.F.: Editorial Limusa, S.A. de C.V.
- McCormack, J. (s.f.). *Topografía McCormack*. Limusa Wiley.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2021). *Red Vial de Nicaragua 2020*. Managua: Oficina - Inventario de la Infraestructura de Transporte.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2015). *MANUAL DE CARRETERAS SECCION SUELOS Y PAVIMENTOS*. LIMA: Editorial MACRO.
- R. Wolf, P., & D. Ghilani, C. (2016). *Topografía 14a Edicion*. Mexico D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- SIECA . (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. SIECA.
- SIECA . (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*. Granada: SIECA.
- SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos* . SIECA .

Wirshing, J., & Wirshing, R. (1987). *Introduccion a la Topografia*. Mexico D.F.:
McGRAW-HILL.

Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). *Topografia 14a edicion*. Mexico: Alfaomega.



ANEXOS

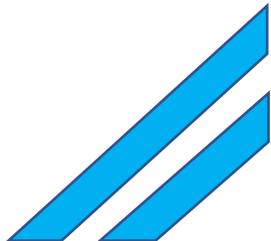


Ilustración 16. Problemas de drenaje



Fuente: Propia

**Ilustración 17. Condiciones actuales del tramo Cuesta el Cascabel –
Quebrada el Zapote**



Fuente: Propia

Tabla 60. Levantamiento de detalles

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
250	594584.94	1402234.1	481.527
251	594895.71	1402657.6	485.021
252	595092.07	1402936	524.651
253	595126.25	1403222.6	601.045
254	595057.42	1403415.1	666.649
255	594839.43	1403849.9	672.749
256	594536.29	1403866.4	678
257	594325.8	1403746.3	682.581
258	594142.72	1403165.8	667.758
259	594180.31	1402684.3	564.945
260	594584.94	1402234.1	481.527
261	594546.48	1402414	472.725
262	594543.04	1402478.7	475.273
263	594542.32	1402536.7	476.42
264	594514.41	1402565.8	483.246
265	594486.36	1402586.4	492.594
266	594478.63	1402647.3	494.581
267	594459.07	1402696.8	502.023
268	594401.39	1402732.5	522.596
269	594370.41	1402764.9	531.108
270	594367.52	1402833.8	538.887
271	594407.14	1402906.3	551.991
272	594466.11	1402965	559.236
273	594543.21	1403027.2	574.439
274	594604.51	1403078	590.279
275	594638.3	1403101.9	598.666
276	594639.25	1403104.2	599.577
277	594655.72	1403140.7	614.189
278	594686.48	1403141.2	613.188
279	594714.95	1403110.3	598.806
280	594715.63	1403108.9	597.963
281	594746.03	1403080.2	589.351
282	594785.89	1403074.3	594.204
283	594828.13	1403092.5	617.824
284	594873.5	1403087.4	618.774
285	594942.11	1403085.9	627.233
286	594948.49	1403109.4	639.85
287	594902.02	1403130.1	649.61
288	594859.39	1403152.5	646.127
289	594819.22	1403173.3	651.731

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
290	594794.97	1403197.3	656.804
291	594785.09	1403226.5	660.73
292	594790.75	1403268.1	666.955
293	594793.13	1403303.3	669.379
294	594773.18	1403360.4	671.274
295	594754.18	1403426.5	673.917
296	594750.53	1403470.1	671.755
297	594712.79	1403533.9	673.846
298	594685.63	1403593.1	672.196
299	594649.15	1403663.2	674.357
300	594623.82	1403715.3	679.407
301	595067.07	1402520.5	460
302	595052.36	1402523.7	460
303	595051.3	1402519.4	460
304	595067.07	1402520.5	460
305	595436.83	1402500.7	460
306	595412.46	1402554.2	460
307	595384.53	1402583.7	460
308	595323.23	1402621.3	460
309	595239.7	1402643.8	460
310	595210.75	1402642.7	460
311	595204.17	1402633.7	460
312	595183.56	1402576.6	460
313	595155.33	1402522.9	460
314	595165.5	1402483	460
315	595204.44	1402495.6	460
316	595237.92	1402492.3	460
317	595284.15	1402445.5	460
318	595343.99	1402430.3	460
319	595399.1	1402386.2	460
320	595436.83	1402375.4	460
321	594370.34	1402101.7	480
322	594396.78	1402118.1	480
323	594417.83	1402119.9	480
324	594470.12	1402101.7	480
325	595436.83	1402659.5	480
326	595401.4	1402659.9	480
327	595308.39	1402699.7	480
328	595289.42	1402719	480
329	595244.96	1402787.6	480
330	595203.25	1402803.7	480

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
331	595170.16	1402795.3	480
332	595159.9	1402784.4	480
333	595150.08	1402751.1	480
334	595149.76	1402672.6	480
335	595136.54	1402638.2	480
336	595113.53	1402625.9	480
337	595086.48	1402630.7	480
338	595069.55	1402652.8	480
339	595064.27	1402670.2	480
340	595079.01	1402735.7	480
341	595076.24	1402767.2	480
342	595060.88	1402763.1	480
343	595029.48	1402714.1	480
344	595011.84	1402698.5	480
345	594936.06	1402652.9	480
346	594866.86	1402631.4	480
347	594846.04	1402639.2	480
348	594812.49	1402677.2	480
349	594740.99	1402707.7	480
350	594684.99	1402748.1	480
351	594643.04	1402759.8	480
352	594604.79	1402755.5	480
353	594588.06	1402745.3	480
354	594573.63	1402712	480
355	594550.92	1402616.6	480
356	594518.38	1402534.7	480
357	594434.55	1402405.9	480
358	594423.36	1402371.6	480
359	594425.72	1402354.8	480
360	594436.35	1402342.2	480
361	594504.38	1402323.9	480
362	594554.86	1402287.4	480
363	594570.8	1402311.8	480
364	594584.97	1402357.1	480
365	594584.08	1402468.6	480
366	594595.55	1402489.4	480
367	594608.87	1402496.2	480
368	594628.46	1402503.3	480
369	594817.91	1402530.3	480
370	594893.23	1402518.7	480
371	594990.67	1402494.3	480

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
372	595015.79	1402484.5	480
373	595067.47	1402443.1	480
374	595164.68	1402404.7	480
375	595242.58	1402384.4	480
376	595314.31	1402338.2	480
377	595326.61	1402321.5	480
378	595358.24	1402231.2	480
379	595397.73	1402155.3	480
380	595434.65	1402101.7	480
381	595436.83	1402695.9	500
382	595400.65	1402696.4	500
383	595362.67	1402713.1	500
384	595331.33	1402742.7	500
385	595250.94	1402854.7	500
386	595234.22	1402866.4	500
387	595169.34	1402887.4	500
388	595127.57	1402879	500
389	595052.32	1402846.2	500
390	594964.12	1402743.4	500
391	594920.9	1402714.1	500
392	594885.61	1402705	500
393	594856.53	1402708.5	500
394	594758.8	1402746.9	500
395	594700.56	1402820.6	500
396	594635.09	1402865.3	500
397	594610.93	1402858.5	500
398	594554.78	1402801.6	500
399	594457.91	1402671.9	500
400	594451.27	1402650.4	500
401	594446.74	1402574.3	500
402	594399.85	1402482.7	500
403	594359.98	1402443.6	500
404	594260.22	1402415.5	500
405	594240.1	1402401.8	500
406	594234.85	1402390.8	500
407	594230.12	1402373.5	500
408	594245.06	1402348.2	500
409	594317.81	1402307.1	500
410	594361.71	1402257.8	500
411	594355.38	1402234.6	500
412	594286	1402164.8	500

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
413	594270.05	1402101.7	500
414	594592.32	1402101.7	500
415	594625.79	1402137.3	500
416	594650.04	1402177.1	500
417	594661.13	1402221	500
418	594657.82	1402296.4	500
419	594662.79	1402331.9	500
420	594696.89	1402404.9	500
421	594729.01	1402436.9	500
422	594759.83	1402453	500
423	594821.91	1402465.2	500
424	594860.86	1402466	500
425	595004.09	1402447.4	500
426	595059.25	1402397.7	500
427	595173.01	1402359.9	500
428	595202.36	1402343.9	500
429	595221	1402325.6	500
430	595290.51	1402224.2	500
431	595339.89	1402175.6	500
432	595378.73	1402101.7	500
433	595436.83	1402727.1	520
434	595399.09	1402729.8	520
435	595374.06	1402747	520
436	595300.96	1402860.8	520
437	595212.21	1402928.7	520
438	595203.02	1402948.9	520
439	595215.72	1403030	520
440	595208.07	1403054.7	520
441	595180.67	1403056.6	520
442	595162.2	1403048.6	520
443	595130.33	1402999.5	520
444	595089.78	1402917.6	520
445	595074.39	1402904.5	520
446	594990.77	1402862.2	520
447	594913.69	1402794.2	520
448	594883.52	1402777.6	520
449	594827.16	1402778.4	520
450	594778.67	1402798.2	520
451	594741.11	1402836.1	520
452	594701.07	1402910.9	520
453	594682.43	1402934.7	520

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
454	594660.08	1402945.2	520
455	594628.53	1402942.1	520
456	594593.37	1402917	520
457	594475.92	1402805.2	520
458	594400.07	1402711	520
459	594385.58	1402676.6	520
460	594367.93	1402573.1	520
461	594351.3	1402547	520
462	594322.43	1402524.9	520
463	594205.53	1402463.7	520
464	594091.56	1402419.8	520
465	594075.42	1402404.8	520
466	594073.84	1402371.3	520
467	594081.58	1402358.6	520
468	594153.81	1402295	520
469	594179.95	1402266.5	520
470	594195.39	1402239.5	520
471	594199.2	1402145.7	520
472	594211.09	1402101.7	520
473	594634.23	1402101.7	520
474	594671.97	1402140.7	520
475	594701.6	1402198.7	520
476	594709.57	1402228.2	520
477	594719.31	1402328.3	520
478	594736.23	1402367.1	520
479	594770.02	1402395	520
480	594827.54	1402407.4	520
481	594973.8	1402383.3	520
482	595005.31	1402373.9	520
483	595090.26	1402330.1	520
484	595167.28	1402316.6	520
485	595184.79	1402291	520
486	595207.25	1402217	520
487	595251.14	1402183.9	520
488	595310.05	1402101.7	520
489	593821.75	1402367.8	540
490	593934.64	1402345.3	540
491	594074.74	1402277.3	540
492	594113.52	1402237.4	540
493	594127.49	1402212.7	540
494	594139.03	1402173.5	540

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
495	594141.09	1402101.7	540
496	593821.75	1402475.7	540
497	593845.65	1402472.3	540
498	593928.32	1402485	540
499	593982.47	1402477	540
500	594015.3	1402478.5	540
501	594150.42	1402507.6	540
502	594240.79	1402551.6	540
503	594257.64	1402576	540
504	594289.91	1402689.8	540
505	594339.06	1402787.9	540
506	594369.83	1402831.6	540
507	594402.25	1402864.7	540
508	594495.35	1402904.5	540
509	594587.33	1402969.3	540
510	594627.18	1402990.5	540
511	594669.23	1402999.6	540
512	594703.47	1402994.8	540
513	594724	1402975.2	540
514	594752.91	1402911.3	540
515	594780.59	1402877.3	540
516	594824.56	1402847.5	540
517	594860.97	1402848.2	540
518	595012.01	1402919.9	540
519	595051.37	1402961.7	540
520	595133.03	1403069.2	540
521	595220.37	1403131.6	540
522	595269.57	1403155.9	540
523	595285.56	1403156.7	540
524	595299.19	1403147.8	540
525	595314.97	1403057.9	540
526	595303.93	1403016.9	540
527	595282.84	1402978.5	540
528	595285.47	1402942.2	540
529	595344.05	1402885	540
530	595371.66	1402821.3	540
531	595395.22	1402783.2	540
532	595417.49	1402769.1	540
533	595436.83	1402765.7	540
534	594679.16	1402101.7	540
535	594707.2	1402139.4	540

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
536	594730.05	1402218	540
537	594748.39	1402315.7	540
538	594782.48	1402347.6	540
539	594803.96	1402352.8	540
540	594822.45	1402352.1	540
541	594902.16	1402318.2	540
542	594993.61	1402308.8	540
543	595115.33	1402282	540
544	595144.35	1402268.1	540
545	595204.96	1402175.9	540
546	595243.29	1402101.7	540
547	593821.75	1402315.6	560
548	593906.04	1402297.1	560
549	594019.8	1402258.3	560
550	594054.03	1402238.6	560
551	594083.93	1402207.9	560
552	594099.56	1402172	560
553	594099.25	1402136.4	560
554	594084.36	1402101.7	560
555	593821.75	1402537.7	560
556	593861.42	1402539.8	560
557	593950.67	1402564.6	560
558	594070.23	1402574.8	560
559	594129.78	1402598.1	560
560	594199.27	1402616.2	560
561	594215.11	1402648.4	560
562	594237.4	1402788.1	560
563	594262.45	1402842	560
564	594286.58	1402871.4	560
565	594349.41	1402900.9	560
566	594413.39	1402947.6	560
567	594528.76	1402987.4	560
568	594631.22	1403043.9	560
569	594678.93	1403054.8	560
570	594706.34	1403053	560
571	594788.38	1403003.4	560
572	594890.16	1402970.7	560
573	594960.04	1402964.6	560
574	594999.48	1402971	560
575	595017.67	1402981.1	560
576	595068.03	1403055.8	560

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
577	595107.29	1403093.5	560
578	595210.32	1403180.3	560
579	595317.85	1403248.2	560
580	595330.41	1403248.6	560
581	595340.99	1403241.2	560
582	595356.02	1403214.8	560
583	595362.76	1403085.5	560
584	595379.29	1402995.8	560
585	595397.47	1402942.1	560
586	595394.52	1402871.9	560
587	595402.56	1402848.9	560
588	595436.83	1402819.4	560
589	594716.93	1402101.7	560
590	594740.42	1402179.5	560
591	594773.98	1402254.1	560
592	594787.01	1402269.3	560
593	594822.31	1402276	560
594	595010.43	1402264	560
595	595096.19	1402246.1	560
596	595124.49	1402229.6	560
597	595173.76	1402184.2	560
598	595194.59	1402142.5	560
599	595203.63	1402101.7	560
600	595398.2	1403974.5	560
601	595392.65	1403965.6	560
602	595380.33	1403930.3	560
603	595376.06	1403889.9	560
604	595379.13	1403853	560
605	595390.67	1403822.6	560
606	595436.83	1403792.9	560
607	593821.75	1402280.4	580
608	593993.93	1402233.2	580
609	594030.52	1402213	580
610	594054.8	1402180.7	580
611	594057.75	1402153.1	580
612	594057.15	1402139.2	580
613	594027.91	1402101.7	580
614	593821.75	1402667.9	580
615	593862.62	1402659.5	580
616	593901	1402665.1	580
617	593975.57	1402710.1	580

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
618	594047.48	1402733.5	580
619	594136.45	1402918.7	580
620	594190.29	1403013.2	580
621	594222.99	1403048.1	580
622	594256.39	1403057.8	580
623	594353.5	1403058.8	580
624	594382.06	1403053.1	580
625	594434.89	1403029.1	580
626	594471.73	1403025.1	580
627	594532.96	1403037.2	580
628	594629.08	1403072.2	580
629	594691.35	1403080.1	580
630	594926.97	1403017.9	580
631	594975.89	1403016	580
632	595009.7	1403035.4	580
633	595084.66	1403119.8	580
634	595202.76	1403229.5	580
635	595293.1	1403287.3	580
636	595325.54	1403342.3	580
637	595352.57	1403360.2	580
638	595366.37	1403350.2	580
639	595391.3	1403286.7	580
640	595390.17	1403096.6	580
641	595436.83	1402941.4	580
642	594740.67	1402101.7	580
643	594757.83	1402155.8	580
644	594788.11	1402196.7	580
645	594822.48	1402214.7	580
646	594957.89	1402238.5	580
647	595032.03	1402232.5	580
648	595127.61	1402197	580
649	595166.48	1402157.6	580
650	595185.52	1402101.7	580
651	595077.99	1403974.5	580
652	595131.44	1403931.2	580
653	595148.21	1403910.8	580
654	595188.24	1403834.8	580
655	595204.91	1403814.1	580
656	595352.65	1403772.4	580
657	595436.83	1403723.1	580
658	593821.75	1402244.7	600

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
659	593939.45	1402217.1	600
660	593992.7	1402192.8	600
661	594004.29	1402179.8	600
662	594002.22	1402141.5	600
663	593977.24	1402115.6	600
664	593951.75	1402101.7	600
665	593821.75	1402726.3	600
666	593899.94	1402732	600
667	593937.21	1402745.3	600
668	593973.9	1402768.8	600
669	594024.58	1402826.4	600
670	594096.7	1402956.1	600
671	594141.07	1403020.7	600
672	594179.41	1403054.3	600
673	594203.54	1403066.3	600
674	594269.24	1403080.7	600
675	594326.01	1403083.4	600
676	594449.98	1403061.5	600
677	594510.14	1403063.5	600
678	594686.15	1403110.5	600
679	594821.99	1403074	600
680	594910.8	1403060.4	600
681	594970.1	1403059.7	600
682	595011.2	1403076.2	600
683	595075.87	1403164.8	600
684	595111.96	1403204.2	600
685	595228.44	1403281.3	600
686	595243.79	1403297.6	600
687	595254.79	1403317.5	600
688	595277.04	1403420.2	600
689	595287.05	1403438.5	600
690	595337.44	1403449.2	600
691	595367.27	1403440.8	600
692	595385.98	1403418.9	600
693	595436.83	1403329.9	600
694	594767.09	1402101.7	600
695	594777.79	1402140.7	600
696	594821.36	1402177.5	600
697	594902.15	1402204.7	600
698	594966.42	1402213.9	600
699	595018.54	1402210.2	600

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
700	595115.88	1402179.8	600
701	595131.97	1402164.9	600
702	595167.03	1402101.7	600
703	595031.18	1403974.5	600
704	595100.39	1403901.1	600
705	595151.54	1403819.1	600
706	595171.71	1403800.2	600
707	595215.55	1403773.2	600
708	595325.77	1403741.8	600
709	595401.48	1403691	600
710	595436.83	1403676.2	600
711	595436.83	1403241.1	600
712	595423.71	1403095.1	600
713	595427.2	1403056.9	600
714	595436.83	1403032.4	600
715	593821.75	1402129.5	620
716	593881.45	1402145.5	620
717	593906.34	1402170.1	620
718	593892.51	1402184.6	620
719	593858.8	1402195.9	620
720	593821.75	1402196	620
721	593821.75	1402794.3	620
722	593885.59	1402778.2	620
723	593923.98	1402782.6	620
724	593949.99	1402795.9	620
725	593997.68	1402846	620
726	594073.89	1402996	620
727	594099.02	1403028.4	620
728	594129.6	1403054.6	620
729	594167.48	1403074.4	620
730	594284.71	1403114.7	620
731	594343.78	1403116	620
732	594425.1	1403084.9	620
733	594501.57	1403083	620
734	594552.6	1403092.9	620
735	594630.83	1403144	620
736	594669.92	1403155.9	620
737	594705.45	1403149.4	620
738	594752.37	1403123.3	620
739	594859.27	1403091.3	620
740	594939.82	1403079.5	620

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
741	594979.2	1403083.8	620
742	595013.73	1403106.7	620
743	595054.66	1403190.6	620
744	595085.8	1403231.1	620
745	595176.36	1403286.8	620
746	595210.96	1403357.5	620
747	595245.26	1403458.7	620
748	595275	1403504.2	620
749	595285.06	1403511.2	620
750	595314.23	1403515.7	620
751	595354.66	1403507.2	620
752	595436.83	1403435.5	620
753	594805.51	1402101.7	620
754	594832.55	1402142.3	620
755	594880.57	1402171.5	620
756	594911.79	1402183.3	620
757	594972.7	1402190.4	620
758	595010.38	1402187.8	620
759	595062.83	1402173.2	620
760	595106.79	1402137.7	620
761	595116.28	1402101.7	620
762	594985.28	1403974.5	620
763	595036.83	1403930.3	620
764	595113.28	1403818.8	620
765	595143.93	1403789.9	620
766	595202.72	1403751.5	620
767	595320.9	1403700	620
768	595385.95	1403652.1	620
769	595436.83	1403637.1	620
770	593821.75	1402837.9	640
771	593893.84	1402831.7	640
772	593936.29	1402844.1	640
773	593975.84	1402879.8	640
774	594046.37	1403014.8	640
775	594095.08	1403068.9	640
776	594144.29	1403098.9	640
777	594304.95	1403166.5	640
778	594363.89	1403170.4	640
779	594444.63	1403122.5	640
780	594500.39	1403123.7	640
781	594552.7	1403145.7	640

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
782	594630.67	1403217.7	640
783	594669.18	1403228.6	640
784	594701.2	1403219.2	640
785	594770.87	1403157.4	640
786	594852.92	1403137.2	640
787	594901.75	1403116.2	640
788	594957.26	1403114.5	640
789	594992.36	1403134.4	640
790	595015.86	1403166.8	640
791	595046.6	1403240.8	640
792	595111.84	1403283.8	640
793	595171.46	1403357.6	640
794	595185.9	1403395.1	640
795	595191.66	1403436.1	640
796	595175.85	1403506.9	640
797	595178.9	1403523.4	640
798	595189.27	1403544.1	640
799	595254.72	1403592	640
800	595268.4	1403625.2	640
801	595266.43	1403643.9	640
802	595261.34	1403659.3	640
803	595236.33	1403691.8	640
804	595069.92	1403815.4	640
805	595004.73	1403919.1	640
806	594934.63	1403974.5	640
807	593821.75	1402889.8	660
808	593864.14	1402889	660
809	593918.44	1402905.5	660
810	593971.21	1402958.1	660
811	594029.06	1403055.7	660
812	594065.37	1403096.4	660
813	594088.43	1403115.1	660
814	594208.38	1403184.2	660
815	594305.12	1403229.4	660
816	594363.95	1403234.5	660
817	594442.03	1403195	660
818	594515.6	1403203.7	660
819	594552.26	1403220.8	660
820	594628.33	1403305.2	660
821	594644.91	1403316.5	660
822	594674.47	1403321.8	660

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
823	594708.42	1403308.8	660
824	594735.12	1403272.2	660
825	594799.01	1403217.6	660
826	594913.02	1403177.2	660
827	594935.24	1403180.3	660
828	594971.49	1403199.9	660
829	595041.39	1403275.8	660
830	595130.1	1403396.7	660
831	595140.75	1403426.7	660
832	595124.81	1403446.9	660
833	594905.01	1403539.9	660
834	594887.83	1403553.7	660
835	594879.97	1403606.1	660
836	594897.03	1403773	660
837	594898.57	1403777	660
838	594942.02	1403745.1	660
839	594974.09	1403680	660
840	594989.34	1403660.6	660
841	595014.96	1403644.3	660
842	595095.2	1403624.4	660
843	595162.54	1403649.8	660
844	595171.99	1403660.5	660
845	595171.77	1403670.1	660
846	595152.48	1403701.9	660
847	595113.63	1403739.6	660
848	595031.44	1403794.7	660
849	594960.18	1403874.3	660
850	594936.27	1403928.2	660
851	594844.07	1403974.5	660
852	593821.75	1403415.8	680
853	593846.55	1403397.5	680
854	593868.45	1403351.9	680
855	593899.85	1403340.5	680
856	593974.56	1403337.2	680
857	594010.16	1403319.7	680
858	594095	1403348.2	680
859	594128.47	1403341	680
860	594163.85	1403317.4	680
861	594211.6	1403315.3	680
862	594250.96	1403331.5	680
863	594283.25	1403356.8	680

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
864	594314.17	1403362.8	680
865	594341.96	1403357.8	680
866	594387.67	1403325.4	680
867	594408.56	1403317.9	680
868	594424.99	1403317.4	680
869	594452.34	1403330.2	680
870	594474.54	1403358	680
871	594506.12	1403429.9	680
872	594550.43	1403455	680
873	594567.88	1403472.6	680
874	594570.68	1403507.6	680
875	594548.83	1403525.2	680
876	594511.74	1403525.4	680
877	594473.75	1403515.8	680
878	594404.11	1403485.4	680
879	594381.42	1403487.5	680
880	594362.04	1403492	680
881	594315.7	1403519.2	680
882	594304.67	1403550.8	680
883	594342.81	1403661.1	680
884	594356.09	1403672.3	680
885	594367.19	1403670.5	680
886	594385.14	1403650.9	680
887	594417.8	1403645.5	680
888	594460.95	1403662.5	680
889	594514.24	1403702.8	680
890	594528.59	1403707.6	680
891	594560.46	1403706.4	680
892	594583.45	1403698.2	680
893	594598.91	1403705.2	680
894	594609.7	1403737.6	680
895	594600.57	1403770.4	680
896	594520.31	1403820.8	680
897	594506.33	1403840.7	680
898	594514.31	1403873.7	680
899	594571.03	1403974.5	680
900	593821.75	1403811.5	680
901	593858.82	1403775.8	680
902	593885.04	1403767.3	680
903	593902.08	1403769.7	680
904	593920.57	1403781.9	680

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)
905	593928.37	1403802.3	680
906	593927.99	1403891.3	680
907	593955.76	1403946.4	680
908	593977.49	1403970.5	680
909	594013.82	1403974.5	680
910	594057.98	1403974.5	680
911	594059.74	1403973.9	680
912	594076.72	1403951.7	680
913	594101.97	1403934.7	680
914	594162.73	1403936.6	680
915	594206.25	1403953.9	680
916	594233.55	1403974.5	680
917	594074.93	1403776.8	680
918	594053.56	1403761.7	680
919	594020.37	1403767.7	680
920	594007.22	1403785	680
921	594009.82	1403811.9	680
922	594017.82	1403820.5	680
923	594045.02	1403825.2	680
924	594061.5	1403811.1	680
925	594074.93	1403776.8	680
926	594713.71	1403929	680
927	594703.47	1403967.3	680
928	594697.64	1403952.6	680
929	594698.05	1403921.9	680
930	594713.71	1403929	680

Fuente: Topografía Mendoza

Tabla 61. Formato para control de aforo vehicular

Tramo:		Est:															
Sentido:		Fecha:															
Hora	Bici	Moto	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga				Equipos Pesados		Otros	Vol.	
			Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	T2S1/ T2S2/ T3S1	T2S3/ T2S2/ T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C.			
6:00	7:00																
7:00	8:00																
8:00	9:00																
9:00	10:00																
10:00	11:00																
11:00	12:00																
12:00	1:00																
1:00	2:00																
2:00	3:00																
3:00	4:00																
4:00	5:00																
5:00	6:00																
Volumen (12 horas diurnas)																	

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico Año 2020

Tabla 62. Aforo Vehicular (lunes)

Ubicación: La Quesera		Día: 01-05-2023							
Tramo: Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote		Conteo #: 1							
HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
6:00 - 6:15				1					
6:15 - 6:30	1								
6:30 - 6:45					1				
6:45 - 7:00		1							
7:00 - 7:15									
7:15 - 7:30	1								
7:30 - 7:45				2					
7:45 - 8:00	1	1							
8:00 - 8:15									
8:15 - 8:30	3	2							
8:30 - 8:45				2					
8:45 - 9:00					1				
9:00 - 9:15	2			1					
9:15 - 9:30									
9:30 - 9:45		2							
9:45 - 10:00									
10:00 - 10:15	1			1					
10:15 - 10:30									
10:30 - 10:45	3	2							
10:45 - 11:00	1								
11:00 - 11:15	2								
11:15 - 11:30				1					

HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
						Liv			
11:30 - 11:45									
11:45 - 12:00	2	1		2					
12:00 - 12:15									
12:15 - 12:30	1	2							
12:30 - 12:45									
12:45 - 1:00	3								
1:00 - 1:15	3			2					
1:15 - 1:30	6	2							
1:30 - 1:45					1				
1:45 - 2:00				2					
2:00 - 2:15		2							
2:15 - 2:30	6			2					
2:30 - 2:45	3			1					
2:45 - 3:00		1							
3:00 - 3:15	1			1					
3:15 - 3:30	2	1							
3:30 - 3:45				1					
3:45 - 4:00		1		1					
4:00 - 4:15	1								
4:15 - 4:30	2				1				
4:30 - 4:45				2					
4:45 - 5:00	1	1							
5:00 - 5:15									
5:15 - 5:30	2								
5:30 - 5:45		2							
5:45 - 6:00									
TOTAL	48	21	0	22	4	0	0	0	0
Volumen total de 12 horas		95							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Aforo Vehicular (martes)

Ubicación: La Quesera		Dia: 02-05-2023							
Tramo: Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote		Conteo #: 2							
HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 <i>Liv</i>	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
6:00 - 6:15	1			1					
6:15 - 6:30	1								
6:30 - 6:45	1				1				
6:45 - 7:00		1							
7:00 - 7:15				2					
7:15 - 7:30	1	2							
7:30 - 7:45									
7:45 - 8:00	1								
8:00 - 8:15	1	1		2					
8:15 - 8:30	3								
8:30 - 8:45									
8:45 - 9:00		1			1				
9:00 - 9:15				1					
9:15 - 9:30									
9:30 - 9:45		1							
9:45 - 10:00				2					
10:00 - 10:15	1			3					
10:15 - 10:30	1								
10:30 - 10:45	3								
10:45 - 11:00	1								
11:00 - 11:15	1	2							
11:15 - 11:30				1					

HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
						Liv			
11:30 - 11:45	2								
11:45 - 12:00	1	1		2					
12:00 - 12:15									
12:15 - 12:30	3	1							
12:30 - 12:45									
12:45 - 1:00	3								
1:00 - 1:15				2					
1:15 - 1:30	3								
1:30 - 1:45					1				
1:45 - 2:00	2			2					
2:00 - 2:15									
2:15 - 2:30	6			1					
2:30 - 2:45	3	1		1					
2:45 - 3:00									
3:00 - 3:15	1			2					
3:15 - 3:30	2	1							
3:30 - 3:45				3					
3:45 - 4:00	2	1		1					
4:00 - 4:15	1								
4:15 - 4:30	1	1			1				
4:30 - 4:45				2					
4:45 - 5:00	1								
5:00 - 5:15				3					
5:15 - 5:30									
5:30 - 5:45									
5:45 - 6:00									
TOTAL	47	14	0	31	4	0	0	0	0
Volumen total de 12 horas		96							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64. Aforo Vehicular (miércoles)

Ubicación: La Quesera		Día: 03-05-2023							
Tramo: Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote		Conteo #: 3							
HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 <i>Liv</i>	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
6:00 - 6:15									
6:15 - 6:30	2	1							
6:30 - 6:45	3			1					
6:45 - 7:00	1								
7:00 - 7:15									
7:15 - 7:30				2					
7:30 - 7:45	3								
7:45 - 8:00	1	1							
8:00 - 8:15				2					
8:15 - 8:30									
8:30 - 8:45									
8:45 - 9:00		2				2			
9:00 - 9:15				3					
9:15 - 9:30									
9:30 - 9:45									
9:45 - 10:00	1								
10:00 - 10:15				2					
10:15 - 10:30		1							
10:30 - 10:45			1	2					
10:45 - 11:00	3								
11:00 - 11:15									
11:15 - 11:30		2		4					
11:30 - 11:45									
11:45 - 12:00	1								

HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
						Liv			
11:30 - 11:45									
11:45 - 12:00	1								
12:00 - 12:15									
12:15 - 12:30	1			2					
12:30 - 12:45									
12:45 - 1:00	1								
1:00 - 1:15	1	1							
1:15 - 1:30			1						
1:30 - 1:45	3	1							
1:45 - 2:00				3					
2:00 - 2:15				1					
2:15 - 2:30									
2:30 - 2:45	2								
2:45 - 3:00									
3:00 - 3:15									
3:15 - 3:30	1								
3:30 - 3:45	1	2							
3:45 - 4:00		1		2					
4:00 - 4:15									
4:15 - 4:30	3			2					
4:30 - 4:45			1						
4:45 - 5:00		2							
5:00 - 5:15				2					
5:15 - 5:30	2								
5:30 - 5:45	3								
5:45 - 6:00	2								
TOTAL	35	14	3	28	0	2	0	0	0
Volumen total de 12 horas		82							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65. Aforo Vehicular (jueves)

Ubicación: La Quesera		Dia: 04-05-2023							
Tramo: Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote		Conteo #: 4							
HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
6:00 - 6:15	4	1							
6:15 - 6:30									
6:30 - 6:45					1				
6:45 - 7:00	3								
7:00 - 7:15	2								
7:15 - 7:30	2								
7:30 - 7:45	1			1				1	
7:45 - 8:00									
8:00 - 8:15	1			1					
8:15 - 8:30									
8:30 - 8:45	1			1	1				
8:45 - 9:00	2	1							
9:00 - 9:15	2								
9:15 - 9:30	3								
9:30 - 9:45	1								
9:45 - 10:00	2								
10:00 - 10:15	2	1		2					
10:15 - 10:30	1								
10:30 - 10:45	1								
10:45 - 11:00	2			1					
11:00 - 11:15	1								
11:15 - 11:30	1	1							
11:30 - 11:45									
11:45 - 12:00				1					

HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
						Liv			
11:30 - 11:45									
11:45 - 12:00				1					
12:00 - 12:15	5			1				1	
12:15 - 12:30	3			1					
12:30 - 12:45		1		1					
12:45 - 1:00		1		5					
1:00 - 1:15	1								
1:15 - 1:30	2	1		1					
1:30 - 1:45					1				
1:45 - 2:00		1							
2:00 - 2:15	4								
2:15 - 2:30	4	1							
2:30 - 2:45									
2:45 - 3:00	3			1					
3:00 - 3:15								1	
3:15 - 3:30	1	1		2					
3:30 - 3:45	1								
3:45 - 4:00									
4:00 - 4:15	4			1	1			1	
4:15 - 4:30	3			1					
4:30 - 4:45	1								
4:45 - 5:00	1							1	
5:00 - 5:15	4								
5:15 - 5:30	2			1					
5:30 - 5:45	2								
5:45 - 6:00									
TOTAL	73	12	0	22	4	0	0	5	0
Volumen total de 12 horas		116							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66. Aforo Vehicular (viernes)

Ubicación: La Quesera		Día: 05-05-2023							
Tramo: Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote		Conteo #: 5							
HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
6:00 - 6:15	2								
6:15 - 6:30	2								
6:30 - 6:45	2	1							
6:45 - 7:00	2			2		1			
7:00 - 7:15									
7:15 - 7:30	1			1					
7:30 - 7:45	3	2							
7:45 - 8:00									
8:00 - 8:15	1								
8:15 - 8:30									
8:30 - 8:45						1			
8:45 - 9:00									
9:00 - 9:15		2							
9:15 - 9:30									
9:30 - 9:45									
9:45 - 10:00	1			1					
10:00 - 10:15	6								
10:15 - 10:30	2								
10:30 - 10:45	1			1					
10:45 - 11:00	1								
11:00 - 11:15	1								
11:15 - 11:30		1		1					

HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
						Liv			
11:30 - 11:45	4			1					
11:45 - 12:00	2	2				1			
12:00 - 12:15		1		1					
12:15 - 12:30									
12:30 - 12:45		1		2					
12:45 - 1:00									
1:00 - 1:15		1							
1:15 - 1:30	1			2					
1:30 - 1:45		1							
1:45 - 2:00									
2:00 - 2:15		1		3					
2:15 - 2:30	1					1			
2:30 - 2:45		1		1					
2:45 - 3:00									
3:00 - 3:15	1	1		1					
3:15 - 3:30	2			3					
3:30 - 3:45									
3:45 - 4:00		1							
4:00 - 4:15									
4:15 - 4:30									
4:30 - 4:45		1		1					
4:45 - 5:00	1								
5:00 - 5:15	2			2					
5:15 - 5:30	2								
5:30 - 5:45									
5:45 - 6:00									
TOTAL	41	17	0	23	0	4	0	0	0
Volumen total de 12 horas		85							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67. Aforo Vehicular (sábado)

Ubicación: La Quesera		Dia: 06-05-2023							
Tramo: Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote		Conteo #: 6							
HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
6:00 - 6:15									
6:15 - 6:30									
6:30 - 6:45	2	1							
6:45 - 7:00				2					
7:00 - 7:15									
7:15 - 7:30	1			1					
7:30 - 7:45		1							
7:45 - 8:00	3					1			
8:00 - 8:15									
8:15 - 8:30									
8:30 - 8:45		1							
8:45 - 9:00	1								
9:00 - 9:15	1								
9:15 - 9:30									
9:30 - 9:45	3								
9:45 - 10:00				1		1			
10:00 - 10:15									
10:15 - 10:30	3	2							
10:30 - 10:45				1					
10:45 - 11:00									
11:00 - 11:15	1								
11:15 - 11:30		1		1					

HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
						Liv			
11:30 - 11:45				1					
11:45 - 12:00		2				1			
12:00 - 12:15		1		1					
12:15 - 12:30	2								
12:30 - 12:45	1	1		2					
12:45 - 1:00									
1:00 - 1:15	2								
1:15 - 1:30				1					
1:30 - 1:45	1	2							
1:45 - 2:00									
2:00 - 2:15	2			2					
2:15 - 2:30						1			
2:30 - 2:45	1	1		1					
2:45 - 3:00									
3:00 - 3:15	3								
3:15 - 3:30				1					
3:30 - 3:45	2								
3:45 - 4:00				1					
4:00 - 4:15		2							
4:15 - 4:30	2								
4:30 - 4:45				1					
4:45 - 5:00	1								
5:00 - 5:15		2		2					
5:15 - 5:30	2								
5:30 - 5:45									
5:45 - 6:00									
TOTAL	34	17	0	19	0	4	0	0	0
Volumen total de 12 horas		74							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68. Aforo Vehicular (domingo)

Ubicación: La Quesera		Día: 07-05-2023							
Tramo: Cuesta el Cascabel - Quebrada el Zapote		Conteo #: 7							
HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
6:00 - 6:15	1								
6:15 - 6:30				1					
6:30 - 6:45		2							
6:45 - 7:00				1					
7:00 - 7:15	2	2				1			
7:15 - 7:30									
7:30 - 7:45				2					
7:45 - 8:00	1	1							
8:00 - 8:15	1								
8:15 - 8:30	1			1					
8:30 - 8:45									
8:45 - 9:00				1		1			
9:00 - 9:15	1	1							
9:15 - 9:30									
9:30 - 9:45				3					
9:45 - 10:00	2	2							
10:00 - 10:15	1								
10:15 - 10:30		1		2					
10:30 - 10:45	2								
10:45 - 11:00									
11:00 - 11:15	1					1			
11:15 - 11:30		1							

HORA	Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
		Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
						Liv			
11:30 - 11:45	1								
11:45 - 12:00									
12:00 - 12:15		1		1					
12:15 - 12:30	2								
12:30 - 12:45		1							
12:45 - 1:00									
1:00 - 1:15	1								
1:15 - 1:30		1							
1:30 - 1:45		1		2					
1:45 - 2:00	2								
2:00 - 2:15	1								
2:15 - 2:30		1		2					
2:30 - 2:45	1								
2:45 - 3:00	1	1							
3:00 - 3:15									
3:15 - 3:30									
3:30 - 3:45	1	1		2					
3:45 - 4:00	1								
4:00 - 4:15									
4:15 - 4:30				1					
4:30 - 4:45	2								
4:45 - 5:00									
5:00 - 5:15									
5:15 - 5:30									
5:30 - 5:45									
5:45 - 6:00									
TOTAL	26	17	0	19	0	3	0	0	0
Volumen total de 12 horas		65							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Registro histórico ECD Las Calabazas - Ciudad Darío

Nº	Cód.	EST	Año	MOTOS	AUTOS	JEEP	Cmta.	Mc Bus	Mn Bus	BUS	Liv < 5T	C2 >5T	C3	TPDA
398	NN-78	105A	2011	29	7	13	74	2		139	38	35	3	340
Nombre del tramo			2009	30	70	29	136	2	1	364	58	71	6	767
Las Calabazas-Ciudad Darío			2006	12	37	40	164	2		139	54	59	6	513
Tipo	EMC	Dpto.	2003	11	43	32	101	11		116	30	39	3	386
ECD	700	Matagalpa												
Tasa de crecimiento		2.76%	2020	37	22	17	95	3		178	69	45	4	470
				Liv. 171				Pasaj. 181			Pesado 118			
				37%				39%			24%			

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 250

Tabla 70. Registro histórico ECS Valle El Cuá - Emp. San José de Bocay (La Chata)

Nº	Cód.	EST	Año	MOTOS	AUTOS	JEEP	Cmta.	Mc Bus	Mn Bus	BUS	Liv < 5T	C2 >5T	C3	TPDA
295	NIC-5710	5710	2019	2204	90	37	312	8	15	62	37	22	1	2773
Nombre del tramo			1999	19		19	43	2	1	31	5	1		121
Valle el Cuá-Emp San José de bocay (La Chata)														
Tipo	EMC	Dpto.												
ECS	1802	Matagalpa												
Tasa de crecimiento		6.74%	2020	2353	96	39	333	9	16	66	39	23	1	2975
				Liv. 2821				Pasaj. 75			Pesado 63			
				95%				3%			2%			

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020, pág. 217

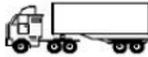
Tabla 71. Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos – Masatepe

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos - Masatepe	NIC-57	5706	ECS	El Pindongo - Pavona Central
	NIC-57	5708	ECS	Pavona Central - Valle El Cuá
	NIC-57	5710	ECS	Valle El Cuá - Emp. San José de Bocay (La Chata)
	NIC-58	5801	ECS	Emp. Jiquilillo - Los Zorros
	NIC-59	8301	ECS	El Papaturre - Santa Lucia
	NIC-59	8302	ECS	Santa Lucía - Boaco
	NIC-60	3001	ECS	Emp. Salinas Grandes - Salinas Grandes
	NIC-61	6101	ECS	Boaco - La Aurora
	NIC-61	6105	ECS	La Aurora - El Lunal
	NIC-61	6106	ECS	El Lunal - El Barro
	NIC-62	6201	ECD	Rivas - Tolas
	NIC-62	6202	ECD	Tolas - Las Salinas

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020

Ilustración 18. Diagrama de cargas permisibles.

PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2 11		4.50	9.00					13.50
C3 12		5.00	16.00				21.00	
			8.00	8.00				
C4 Tx-Sx<4		5.00	20.00				25.00	
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1 Tx-Sx<4		5.00	9.00	9.00			23.00	
T2-S2 Tx-Sx<4		5.00	9.00	16.00			30.00	
				8.00	8.00			
T2-S3 Tx-Sx>5		5.00	9.00	20.00			34.00	
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1 Tx-Sx<4		5.00	16.00		9.00		30.00	
			8.00	8.00				
T3-S2 Cx-Rx<4		5.00	16.00		16.00		37.00	
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2 Cx-Rx<4		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a		21.50	
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b		26.50	
C3-R2 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a	29.00	
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b	34.00	
C3-R3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

a : Eje sencillo llanta sencilla.

b : Eje sencillo llanta doble.

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)

Tabla 72. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de visibilidad de parada (m)	Tasa de Curvatura vertical K	
		Calculada	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

Fuente Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011) Capítulo 3. Pág. 125

Tabla 73. Control de Diseño para Curva Vertical Cóncava o 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	12.2	13
60	85	17.3	18
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 Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011) Capítulo 3. Pág. 125

Tabla 74. Radio y grado de curvatura recomendados

Velocidad de Diseño (KPH)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo= 4%		Grado de Curvatura	Peralte máximo= 6%		Grado de Curvatura
		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	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	280	04°06'	252	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'
Velocidad de Diseño (KPH)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo= 8%		Grado de Curvatura	Peralte máximo= 10%		Grado de Curvatura
		Radio (m)			Radio (m)		
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7	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	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	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	667	01°43'	596.8	597	01°55'

Fuente: Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011) Capítulo 3.

Ilustración 19. Sondeo manual



Fuente: Propia

Ilustración 20. Realización de aforo vehicular



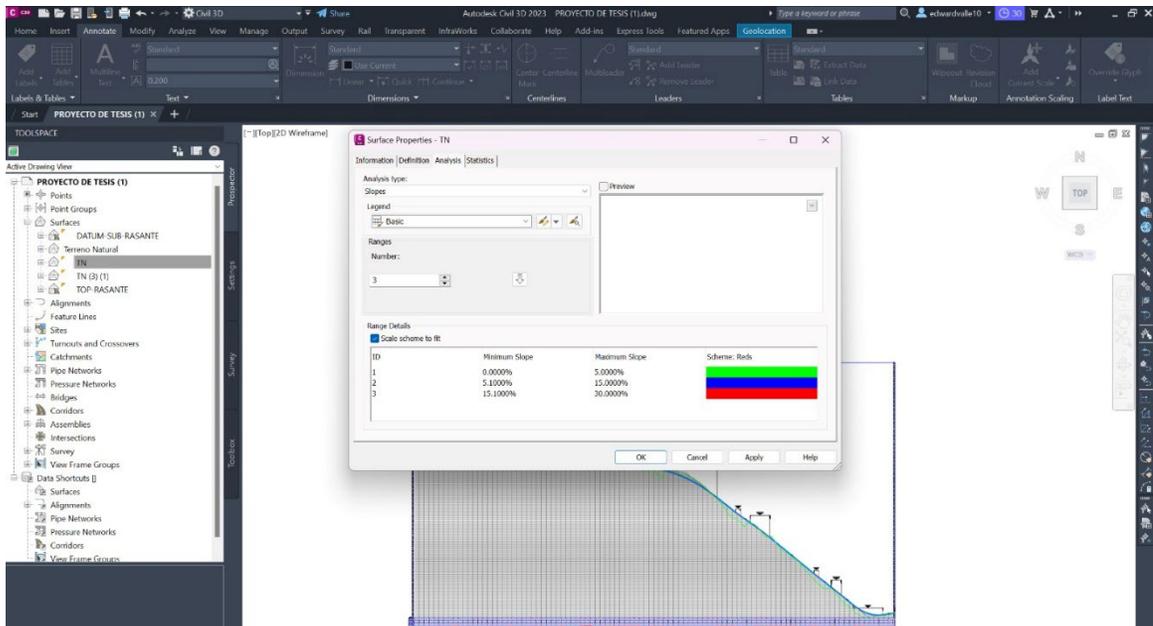
Fuente: Propia

Ilustración 21. Recolección de muestras en los sondeos



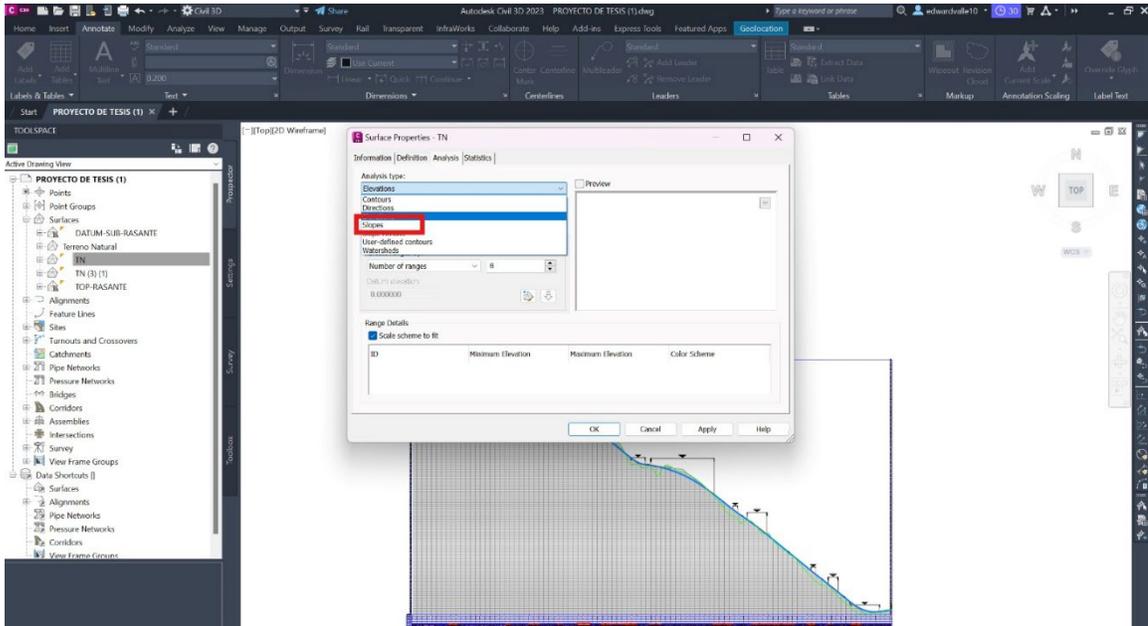
Fuente: Propia

Ilustración 22. Obtención de tabla de pendientes en Civil 3D



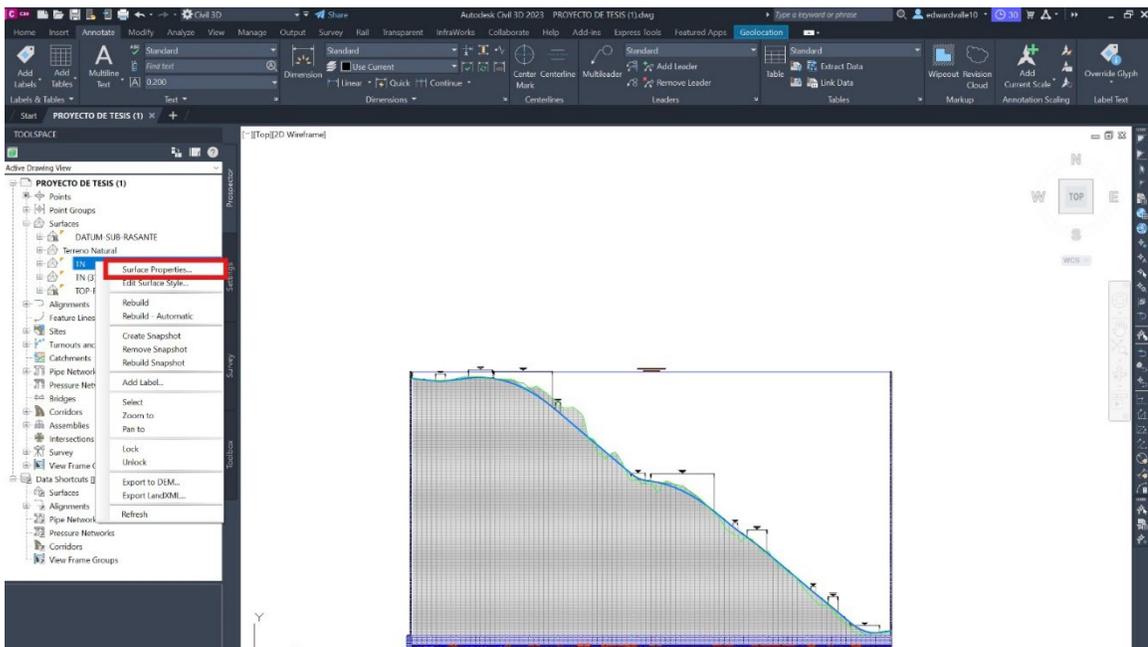
Fuente: Propia, asistido por Civil 3D

Ilustración 23. Obtención de tabla de pendientes en Civil 3D



Fuente: Propia, asistido por Civil 3D

Ilustración 24. Obtención de tabla de pendientes en Civil 3D



Fuente: Propia, asistido por Civil 3D