Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

“DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE 3 KM COMUNIDAD EL PORVENIR – EMPALME EL ACEITUNO, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ”.

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Civil.

Elaborado por:

Br. Jeysson Josué Escobar Martínez Carnet: 2019-0256N	Br. Pedrojose Valdivia Gutiérrez Carnet: 2019-0259N	Br. Wilder Eduardo García Peralta Carnet: 2018-0329N	Ing. Oliver Josué Rivera Gutiérrez

Tutor:

27 de noviembre de 2024
Estelí, Nicaragua

Contra portada

Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos profundamente a Dios, por darnos la fortaleza, la sabiduría y la inspiración necesarias para completar este proyecto. Sin Su guía y bendición, este logro no habría sido posible.

A nuestros padres y familiares, por su amor incondicional, su sacrificio y su constante aliento. Su fe en nosotros nos ha dado la confianza para superar cualquier obstáculo y alcanzar nuestras metas. Su amor y dedicación son nuestra mayor motivación.

A nuestro tutor de tesis, Ing. Oliver Rivera, por su invaluable orientación, paciencia y apoyo durante todo el proceso de investigación. Sus consejos y su experiencia han sido cruciales para la realización de este trabajo. Su compromiso con nuestra formación académica y su disposición para guiarnos han sido invaluables.

A nuestro amigo y compañero, Álvaro Roberto Bayer Valdivia, por su camaradería, su apoyo constante y su colaboración a lo largo de este proceso. Su ayuda en los momentos de mayor duda y complicación fue fundamental para superar los desafíos que enfrentamos. Su entusiasmo y dedicación han sido una fuente de inspiración y su amistad ha hecho este camino mucho más llevadero. Gracias, Álvaro, por estar siempre dispuesto a ayudar y por compartir esta experiencia con nosotros.

A todos ustedes, les extendemos nuestro más profundo agradecimiento por su apoyo y contribuciones a este trabajo monográfico. Su presencia y apoyo han sido esenciales para alcanzar este logro.

Br. Jeysson Josué Escobar Martínez

Br. Pedrojose Valdivia Gutiérrez

Br. Wilder Eduardo García Peralta

Dedicatoria

Este trabajo monográfico es dedicado primeramente a Dios, por brindarme la sabiduría y el conocimiento para llegar hasta esta etapa, por ser mi amparo y mi fortaleza en mis momentos débiles y de angustia, así mismo le agradezco por llevarme en el camino correcto y poder vivir todas estas experiencias que me han traído hasta este momento.

A mis padres Alba Martínez Castro y Cesar Escobar Sarantes por brindarme su apoyo incondicional, por su amor hacia mí y por su crianza, por enseñarme a no rendirme y siempre dar lo mejor de uno, siempre recordando de dónde vengo y mantenerme humilde. A mi abuela Luz Armenia Sarantes Marín por sus cuidados y sus consejos que son muy valiosos y denotan toda la experiencia que en ella reside. A mis tíos, tías y demás familiares por hacerme ver y estar consciente de lo importante que es el valor de unidad familiar que es un pilar fundamental para el crecimiento en todas las áreas de la vida.

Finalmente, este trabajo va dedicado a los maestros y amigos con los que he tenido el honor y placer de interactuar y recibir conocimientos, gracias por su incansable lucha por transmitir conocimiento y formación de calidad, gracias por el apoyo y los buenos momentos que hemos pasado.

Con mucho cariño, a todos ustedes está dirigida esta dedicatoria.

Br. Jeysson Josué Escobar Martínez

Dedicatoria

Primero, quiero agradecer a Dios por otorgarme la sabiduría para seguir la hermosa carrera de Ingeniería Civil, la fortaleza para avanzar, y por las oportunidades que ha puesto en mi camino junto a mi familia y amigos, así como por la salud.

A mis padres, María Auxiliadora Gutiérrez y José Alberto Valdivia, les agradezco profundamente por su amor incondicional y su apoyo constante, algo que nunca podré retribuirles por completo. Su esfuerzo para educarme y los valores que me inculcaron me han formado como una persona de principios. No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud, y me siento inmensamente afortunado de poder amarlos como ellos me aman a mí.

A mi hermana Maricruz Ruiz Gutiérrez, le agradezco por su apoyo en todos los aspectos de mi vida y ambiciones, por inspirarme a seguir adelante en mis trabajos y proyectos, y por enseñarme a trabajar con inteligencia.

A mi tío, el Padre Francisco Valdivia Q.E.P.D., le agradezco por ser parte de mi educación, por los momentos en que me apoyó, sus consejos y por enseñarme a trabajar por mis sueños.

A mis queridos amigos, les agradezco por las amistades sinceras que hemos formado, por los momentos difíciles que hemos superado juntos, por las grandes aventuras que hemos vivido, sus palabras de motivación, y por la ambición de llevar con excelencia nuestros proyectos y emprendimientos. Su competitividad me inspira a mejorar cada día más. A aquellas personas que siempre me han apoyado emocionalmente, siempre los llevaré en mi corazón.

Esta tesis es el resultado de años de dedicación y aprendizaje. Estoy profundamente agradecido con cada uno de ustedes y espero que sigamos siendo seres en constante cambio.

Br. Pedrojosé Valdivia Gutiérrez

Dedicatoria

Dedico este trabajo monográfico, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la inspiración necesarias para completar este proyecto. Sin Su guía y bendición, este logro no habría sido posible. Gracias, Dios, por darme la luz en los momentos de oscuridad y por ser mi refugio en los tiempos difíciles. Tu amor incondicional y Tu presencia constante me han sostenido a lo largo de este camino.

A mi querida abuela, **María Félix Jarquín Peralta**, cuya sabiduría, amor y ejemplo han sido una fuente constante de motivación y apoyo. Su fortaleza y perseverancia me han enseñado el valor del trabajo duro y la importancia de nunca rendirse. Sus historias, sus abrazos y sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi vida, y su espíritu siempre me acompaña.

A mi mamá, **Neysi Carolina Peralta Jarquín**, por su amor incondicional, su sacrificio y su constante aliento. Gracias, mamá, por creer en mí cuando yo dudaba, por tus innumerables sacrificios y por ser mi roca y mi inspiración. Tu fe en mí me ha dado la confianza para superar cualquier obstáculo y alcanzar mis metas. Eres mi ejemplo de amor, fortaleza y dedicación, y todo lo que he logrado es en gran medida gracias a ti. A mis hermanos, por su compañía, su cariño y su apoyo inquebrantable. Su presencia en mi vida me ha brindado fuerza y alegría en cada paso del camino.

A mis tíos, por sus consejos, su apoyo y su cariño. Sus palabras de aliento y su presencia en mi vida han sido fundamentales para mi desarrollo personal y académico. A mi abuelo, por su ejemplo de integridad y esfuerzo. Su vida es un testimonio de dedicación y trabajo duro, y su legado me inspira a dar lo mejor de mí en todo lo que hago.

A todos ustedes, les dedico con gratitud y cariño este trabajo monográfico.

Br. Wilder Eduardo García Peralta

RESUMEN DEL TEMA

El presente estudio titulado **"DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE 3 KM COMUNIDAD EL PORVENIR – EMPALME EL ACEITUNO, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ"** ofrece la información esencial y los criterios fundamentales para el diseño de una estructura de pavimento con adoquín, aplicando el método AASHTO-93.

Este documento se compone de tres capítulos que abarcan los aspectos generales, el marco teórico y los resultados obtenidos de cada uno de los estudios llevados a cabo:

CAPITULO I GERENERALIDADES

Aborda las generalidades del tema, tales como la introducción, la macro y micro localización, los objetivos y la justificación de la importancia de la construcción de los 3 km de pavimento adoquinado.

CAPITULO II MARCO TEORICO

Se presenta el marco teórico que abarca los estudios necesarios para el desarrollo integral de este proyecto. Estos estudios comprenden un análisis detallado de diversas áreas clave: en primer lugar, el estudio topográfico, que proporciona información precisa sobre las características del terreno. En segundo lugar, el estudio de tránsito, que evalúa los volúmenes y patrones de tráfico para determinar las demandas que se impondrán sobre el pavimento. En tercer lugar, el estudio de suelos, esencial para comprender las propiedades y condiciones del subsuelo y su capacidad para soportar la estructura del pavimento. Además, se incluye el diseño de la estructura del pavimento, que define los materiales y espesores adecuados para garantizar la durabilidad y funcionalidad del camino. Finalmente, se aborda el diseño geométrico, que asegura que la configuración del pavimento cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia requeridos.

CAPITULO III PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos de los cinco estudios realizados para este trabajo, los cuales son fundamentales para el diseño y construcción del proyecto.

1. Estudio topográfico: proporciona una representación detallada de la superficie terrestre, identificando las características físicas del terreno y facilitando la planificación precisa del trazado del pavimento.
2. Estudio de tránsito: analiza los flujos vehiculares, determinando los volúmenes y patrones de tráfico actuales y futuros. Esta información es crucial para dimensionar adecuadamente la estructura del pavimento y garantizar que pueda soportar las cargas previstas.
3. Estudio de suelos: investiga las propiedades del subsuelo, como la composición, resistencia y capacidad de soporte. Estos datos son esenciales para diseñar una base sólida y estable para el pavimento, asegurando su durabilidad y funcionalidad a largo plazo.
4. Diseño de la estructura del pavimento: Este análisis define los materiales y espesores necesarios para cada capa del pavimento, optimizando su resistencia y desempeño frente a las cargas vehiculares y las condiciones ambientales.
5. Diseño geométrico del pavimento: Este aspecto asegura que el trazado del pavimento cumpla con los estándares de seguridad, eficiencia y comodidad, considerando factores como las pendientes, curvas y anchos de vía necesarios para un tráfico fluido y seguro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones ofrecen una síntesis de los resultados obtenidos de los estudios llevados a cabo para el diseño del tramo "Comunidad El Porvenir - Empalme El Aceituno". Estas conclusiones no solo son cruciales para la futura construcción del tramo en cuestión, sino que también deben ser consideradas para el desarrollo de otros diseños de infraestructura vial similares.

ÍNDICE

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 Introducción 1

1.1.1 Macro localización 2

1.2.1 Objetivo general 4

1.2.2 Objetivo específicos 4

1.3 Justificación 5

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Levantamientos topográficos 6

2.1.1 Planimetría 6

2.1.2 Altimetría 6

2.1.3 Banco maestro (BM) 6

2.1.4 Pendiente 6

2.1.5 Perfil longitudinal y transversal 6

2.1.6 Curvas de nivel 7

2.2 Estudio de tránsito 7

2.2.1 Aforos 7

2.2.2 Clasificación de vehículos 7

2.2.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) 8

2.2.4Vectores de correspondencia 8

2.2.5Factores de expansión 10

2.2.6 Proyección del TPDA 11

2.2.7 Tránsito de diseño 12

2.2.8 Periodo de diseño 12

2.2.9 Factor distribución por dirección. 13
2.2.10 Esals 14
2.3 Estudio geotécnico 14
2.3.1 California Bearing Ratio (CBR) 14
2.3.2 Límite líquido 14
2.3.3 Límite plástico 15
2.3.4 Clasificación de los suelos 15
2.3.5 Granulometría 15
2.3.6 Clasificación de los suelos AASHTO 15
2.4 Diseño y estructura de pavimento 16
2.4.1 Adoquín 16
2.4.2 Período de diseño 16
2.4.3 Elementos de pavimiento 16
2.4.3.1 Base 17
2.4.3.2 Subbase 17
2.4.3.3 Capa de arena 17
2.4.5. Método AASHTO-93 18
2.4.6 Confiabilidad 18
2.4.7 Modulo de resiliencia 18
2.4.8 CBR de Diseño 19
2.4.9 Coeficiente estructural 19
2.4.10 Números estructurales 19
2.4.11 Coeficiente de capa 19
2.5 Diseño geométrico 20

2.5.1 Diseño geométrico 20
2.5.2 Vehículo de diseño 20
2.5.3 Alineamiento horizontal 20
2.5.4 Distancia máxima en tangente 20
2.5.5 Curvas circulares simple 21
2.5.6 Radio mínimo 21
2.5.7 Peralte 21
2.5.8 Grado de curvatura máximo 21
2.5.9 Alineamiento vertical 22
2.5.10 Rasante 22
2.5.11 Pendientes 22
2.5.12 Curvas verticales 23
2.5.13 Sección transversal 23
2.5.14 Ancho de carril 23
2.5.15 Bombeo 23
2.5.16 Drenaje superficial 23
CAPÍTULO III: ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS
3.1. Estudio topográfico 24
3.1.1. Metodología 24
3.1.2. Levantamiento topográfico 24
3.1.3. Establecimiento de puntos de control 28
3.1.4. Establecimiento de BM 28
3.1.5. Seccionamiento del tramo 30
3.1.6. Análisis de datos del levantamiento topográfico 31

3.2 Estudio de tránsito. 36
3.2.1 Generalidades 36
3.2.2 Metodología 36
3.2.3. Aforo vehicular 37
3.2.4. Tránsito Promedio Diurno Semanal 40
3.2.5. Composición vehicular del TPDiS 42
3.2.6. Tránsito Promedio Diario Anual 43
3.2.6.6. Cálculo del TPDA 48
3.2.8. Tasas de crecimiento 50
3.2.9. Tránsito de diseño 52
3.3 Estudio de suelos 60
3.3.1 Generalidades 60
3.3.2 Metodología 60
.3.3.3. Análisis granulométrico de los sondeos manuales 62
3.3.4. Límites de atterberg 66
3.3.5 Estratigrafía de suelos 67
3.3.6. Resultado del estudio de suelos del banco de materiales. 77
3.3.7 CBR de diseño 81
3.4 Diseño de estructura de pavimento 85
3.4.1. generalidades 85
3.4.2 Metodología. 85
3.4.3 Variables de diseño. 86
3.4.4. Espesores de capa 93
3.5 Diseño geométrico. 100

3.5.1 Generalidades 100
3.5.2 Clasificación de la carretera 100
3.5.3 Velocidad de diseño 101
3.5.4 Vehículo de diseño 101
3.5.5 Elementos de la sección transversal 104
3.5.7 Alineamiento horizontal 105
3.5.8 Curvas horizontales simples 106
3.5.9 Curvas espirales 110
3.5.9 Alineamiento vertical 116
3.5.10 Curvas verticales 116
3.5.11 Diseño geométrico en civil 3D 121
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
4.1 Conclusiones 128
4.2 Recomendaciones 130
BIBLIOGRAFÍA 131
ANEXOS I

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factor distribución por dirección 13
Tabla 2 Factor de dirección por carril 13
Tabla 3 Niveles de confiabilidad aconsejados por AASHTO 18
Tabla 4 Coordenadas cartográficas de estación, del levantamiento topográfico. 25
Tabla 5 Equipos utilizados en levantamiento topográfico. 26
Tabla 6 Lista de bancos de nivel 30
Tabla 7 Tabla de pendientes en función de la distancia. 34
Tabla 8 Tabla de pendientes 34
Tabla 9 Clasificación de pendientes 35
Tabla 10: Resultados de aforo vehicular para ambos sentidos, tramo Comunidad El Porvenir-Empalme El Aceituno 38
Tabla 11: Transito Promedio Diurno Semanal 41
Tabla 12: Vectores geográficos 43
Tabla 13: ECS 4902A, La Aceituna-Estelí (Inter NIC-1) 45
Tabla 14: Factores del tercer cuatrimestre del año septiembre-diciembre. 47
Tabla 15: Tránsito Promedio Diario Anual 49
Tabla 16: Tasa de crecimiento 52
Tabla 17: Periodos de diseño 53
Tabla 18: Factor crecimiento 54
Tabla 19: Factor de distribución por carril 54
Tabla 20: Factor de distribución por dirección 55
Tabla 21: Tránsito de diseño 56
Tabla 22: Diagrama de cargas permisibles 57
Tabla 23: ESAL´S de diseño 59
Tabla 24Ensayos de suelo de acuerdo con las normas AASHTO. 61
Tabla 25 Referencias de sondeos manuales del tramo en estudio (Banda Derecha, Izquierda y Línea Central) 62

Tabla 26 Aberturas de tamices 63
Tabla 27 Análisis granulométrico para cada sondeo manual del tramo Aceituno – El Sauce 64
Tabla 28 Limites de consistencia 66
Tabla 29 Resultado de análisis de suelos 70
Tabla 30 Resultados de análisis de suelos 71
Tabla 31 Distribución de suelos por grupo 72
Tabla 32 Estudio de suelos de bancos de material 77
Tabla 33 Especificaciones de los materiales para base y subbase granular 78
Tabla 34 Evaluación de banco de material Rosa Mendoza 78
Tabla 35 Evaluación de banco de materia Alejo Peralta 79
Tabla 36 Uso y volumen aproximado de banco de material 80
Tabla 37 Especificaciones de terraplén y subrasante 81
Tabla 38 Percentil de diseño para subrasante. 82
Tabla 39 CBR de subrasante 83
Tabla 40 Selección de CBR para diseño de subrasante 83
Tabla 41 Niveles de confiabilidad 86
Tabla 42 Desviación normal estándar, ZR 87
Tabla 43 Desviación estándar 88
Tabla 44 Valores de serviciabilidad 88
Tabla 45 Capacidad de drenaje para remover la humedad 90
Tabla 46 Coeficiente de drenaje 90
Tabla 47 Parámetros para la determinación de los números estructurales 94
Tabla 48 Espesores mínimos de concreto asfaltico y base granular. 98
Tabla 49 Espesores de pavimento articulado 99
Tabla 50 Clasificación de la carretera. 101
Tabla 51 Características del camión de diseño WB-15 102
Tabla 52 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales. 103
Tabla 53 Tasas de peralte (e %) 105

Tabla 54 Valores de bombeo normal..... 106
Tabla 55 Cuadro de elementos de curva horizontal 109
Tabla 56 Curvas en espirales..... 113
Tabla 57 Curvas circular compuestas por espirales. 115
Tabla 58 Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales..... 116
Tabla 59 Replanteo 118
Tabla 60 Tabla de curvas verticales..... 120
Tabla 61 Aforo vehicular lunes (conteo 1).....XII
Tabla 62 Aforo vehicular martes (conteo 2).....XIII
Tabla 63 Aforo vehicular miércoles (conteo 3) XIV
Tabla 64 Aforo vehicular jueves (conteo 4) XV
Tabla 65 Aforo vehicular viernes (conteo 5)..... XVI
Tabla 66 Aforo vehicular sábado (conteo 6)..... XVII
Tabla 67 Aforo vehicular domingo (conteo 7)..... XVIII
Tabla 68 Formato de conteo de tránsito vehicular..... XIX

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Macro localización del tramo en estudio. Municipio de Estelí; Departamento de Estelí 2
Figura 2 Micro localización del tramo en estudio. Tramo Comunidad el porvenir-Empalme El Aceituno 3
Figura 3 Mapa satelital de estaciones 25
Figura 4 Mapa satelital, ubicación de BM 29
Figura 5 Datos importados de Civil 3D 31
Figura 6 Detalles de planimetría 32
Figura 7 Curvas de nivel del tramo en estudio 33
Figura 8 Distribución de pendientes del tramo en estudio 34
Figura 9 Perfil longitudinal del tramo en estudio 35
Figura 10 Composición vehicular del Transito promedio diurno semanal. 42
Figura 11 Distribución vehicular del TPDA 48
Figura 12 Espesores mínimos de estructuras de pavimento. 61
Figura 13 Curva granulométrica para SM – 1 (0-25cm) 65
Figura 14 Distribución de suelo 74
Figura 15 Ubicación satelital de sondeos manuales 74
Figura 16 Columnas estratigráficas 76
Figura 17 CBR de diseño de subrasante 84
Figura 18 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes. 91
Figura 19 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes. 92
Figura 20: Procedimiento para determinar espesores 93
Figura 21: Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles (Subbase), SN_3 95
Figura 22: Ábaco de diseño AASTHO para pavimentos flexibles (Base), SN_2 96
Figura 23 Vehículo de diseño (WB-15) 102

Figura 24 Sección transversal típica en tangente en carretera en dos direcciones. 104
Figura 25 *Curva vertical en columpio* 119
Figura 26 Importación de datos de Civil 3D 121
Figura 27 Creación de superficies 122
Figura 28 Importación de norma SIECA 2011 en software Civil 3D 123
Figura 29 Alineamiento horizontal. 124
Figura 30 Creación de perfil longitudinal. 125
Figura 31 Configuración de secciones. 126
Figura 32 Configuración de secciones. 127
Figura 33 Condiciones del tramo I
Figura 34 Realización de ensayos de granulometría II
Figura 35 Realización de aforo vehicular II
Figura 36 realización de aforo parte 2 III
Figura 37 Curva granulométrica para SM – 1 (25 cm-150cm) IV
Figura 38 Curva granulométrica para S2(0 - 0.35 cm) V
Figura 39 Curva granulométrica para S2 (35 - 1.50cm) V
Figura 40 Curva granulométrica para S3 (0 - 27cm) VI
Figura 41 Curva granulométrica para S3 (27- 150cm) VII
Figura 42 Curva granulométrica para S4 (0- 40cm) VII
Figura 43 Curva granulométrica para S4 (40- 150cm) VIII
Figura 44 Curva granulométrica para S5 (0- 10cm) VIII
Figura 45 Curva granulométrica para S5 (10- 35cm) IX
Figura 46 Curva granulométrica para S5 (35- 150cm) IX
Figura 47 Curva granulométrica para S6 (0- 40m) X
Figura 48 Curva granulométrica para S6 (40- 150cm) X
Figura 49 Curva granulométrica para S7 (0- 40cm) XI
Figura 50 Curva granulométrica para S7 (0.4- 1.50m) XI

Figura 51 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes. XX
Figura 52 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes XXI
Figura 53 Abaco de diseño AASHTO para pavimento flexible XXII
Figura 54 Comprobación de SN2 XXIII
Figura 55 Comprobación de SN3 XXIV
Figura 56 Clasificación vehicular. XXV

CAPÍTULO I GENERALIDADES.

1.1 Introducción

En Nicaragua, al igual que en el resto del mundo, las carreteras han sido una de las formas más antiguas de comunicación. Como parte integral de la sociedad humana, el acceso a las carreteras es imprescindible para el progreso. El mejoramiento de las carreteras que conectan a los pueblos nicaragüenses ha enriquecido significativamente la calidad de vida de los habitantes. Para lograr este objetivo, es fundamental tener en cuenta las necesidades de la población y enfocarse en la función de la ingeniería civil como modelo de modernización. La ciencia y las diversas ramas de la ingeniería civil deben proporcionar las soluciones necesarias para abordar los problemas presentes.

La metodología que se utilizara es AASTHO-93 realizando previamente un estudio de tránsito, que ayudará a determinar las cargas sobre la estructura de pavimento a la cual estará sometida, debido al tráfico que transitará sobre ella, para esto será necesario estudios básicos de ensayos que determinaran las características físicas mecánicas del suelo y correcto diseño de espesores garantizando que la vía presente una mayor funcionabilidad, así como el objetivo principal de diseñar geométricamente el tramo en estudio, haciendo uso del software Civil 3D

El tramo de carretera Estelí – El Aceituno está ubicado entre los departamentos de Estelí y León, este se encuentra en las coordenadas 557394.00 m E, 1443966.00 N y finaliza en las coordenadas 557367.00 m E, 1441640.00 m N. (ver figura 2, pág. 3).

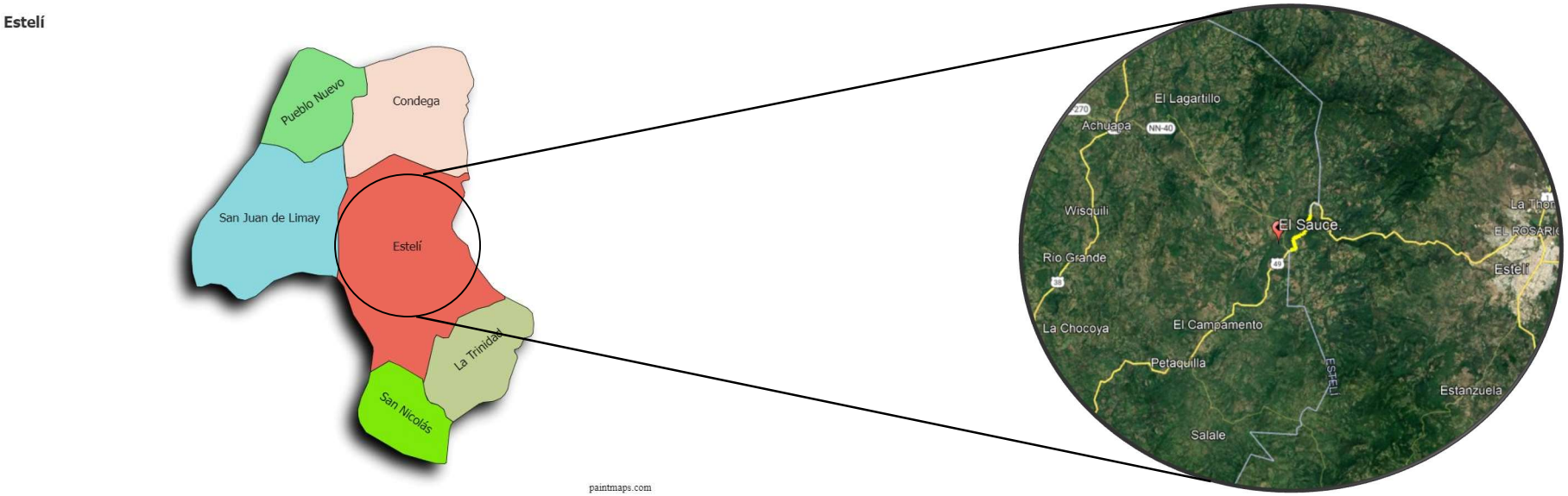
Es una ruta que tiene relevancia significativa ya que es una vía que conecta una serie de departamentos, conectará el norte del país con occidente, la comunicación de comunidades importantes como fincas ganaderas alrededor de la comunidad El Porvenir, promoviendo el turismo y comercio; su elaboración traerá consigo, principalmente la circulación segura de los vehículos.

.

1.1.1 Macro localización

El proyecto se encuentra localizado en la Región Central del Pacífico del país y comunica a los municipios de El Sauce del departamento de León y al municipio de Estelí del departamento de Estelí.

Figura 1 Macro localización del tramo en estudio. Municipio de Estelí; Departamento de Estelí



Fuente: https://www.ineter.gob.ni/mapa/pub/Departamentos.html

1.1.2 Micro localización

El inicio del tramo en estudio se encuentra localizado en la parte oeste de la ciudad de Estelí, a 16 km del centro de la ciudad, este colinda entre el departamento de León y Estelí, tiene como comunidades cercanas la comunidad del Porvenir y el empalme de la comunidad El Aceituno donde finaliza el tramo.

Figura 2 Micro localización del tramo en estudio. Tramo Comunidad el porvenir-Empalme El Aceituno

Fuente: ***https://www.google.com/maps/@13.05614,86.46575,6694m/data=!3m1!1e3?entry=ttu***

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar el diseño geométrico y estructura de pavimento articulado por el Método AASHTO-93 del tramo de 3 km Comunidad El Porvenir – Empalme El Aceituno, departamento de Estelí.

1.2.2 Objetivo específicos

- Realizar levantamiento topográfico del tramo comunidad El Porvenir – Empalme El Aceituno, para la determinación de las características altiplanimétricas y la definición de la rasante óptima del tramo.
- Ejecutar estudio de tránsito para la determinación del TPDA que circula en el tramo y la cantidad de ejes equivalentes (ESAL´S) para el periodo de diseño, tomando los criterios establecidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)
- Efectuar estudios de suelos en el tramo y en los bancos de materiales para la identificación de las propiedades físico-mecánicas, mediante ensayos de laboratorio que permita su idoneidad para la construcción de la estructura de pavimento.
- Determinar los espesores óptimos considerando estructura de pavimento articulado, la cual soportará las cargas de diseño calculadas en el estudio de tránsito, aplicando el Método AASHTO -93.
- Elaborar el diseño geométrico del tramo en estudio utilizando el software Civil 3D 2023, y siguiendo las directrices del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carretera (SIECA) de 2011.

1.3 Justificación

Un buen desarrollo socioeconómico depende en gran parte de sus vías de transporte, contar con una red vial en buenas condiciones que proporcione un nivel de servicio satisfactorio para la población, será la prioridad de la más esencial para la elaboración del proyecto.

La Alcaldía de Estelí junto con el MTI (Ministerio de transporte e infraestructura), ha dado la oportunidad para poder diseñar y calcular las características principales del tramo que de 3 km de pavimento articulado que cubre Estelí-El Aceituno-El Sauce.

La población que se encuentran alrededor se beneficiará significativamente porque la carretera conectará el departamento de Estelí-León, ya que esta no cuenta con una carpeta de rodamiento.

Habrá una reducción de costos para el transporte público y privado ya que al contar con una carpeta de rodamiento existente evitará mayor desgaste en el vehículo y una mejor circulación ya que esta tendrá características uniformes, brindará un buen acceso vehicular, la oportunidad de llegar a otro departamento por una ruta más corta será una de las ventajas dentro del transporte nacional, así como el turismo para la población en general.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

2.1 Levantamientos topográficos

Los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre. En un levantamiento topográfico se toman los datos necesarios para la representación gráfica o elaboración del mapa del área en estudio. (Matera, 2002, pág. 201)

2.1.1 Planimetría

El fin de la planimetría es estudiar los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo. (Márquez, 1994, pág. 3)

2.1.2 Altimetría

En altimetría el fin es determinar las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia; generalmente correspondiente al nivel medio del mar. (Márquez, 1994, pág. 3)

2.1.3 Banco maestro (BM)

El banco maestro es uno o más Puntos de referencia cuya elevación con respecto a un plano es conocido. Se usa como punto de arranque o punto de cierre de una nivelación. En un levantamiento para hacer las traslaciones del equipo topográfico. (Cleves, 2007, pág. 98)

2.1.4 Pendiente

La pendiente en topografía se define como la inclinación del terreno (de una línea) con respecto a la horizontal, esta se indica en porcentaje (%) o como una magnitud angular. (Cleves, 2007, pág. 100)

2.1.5 Perfil longitudinal y transversal

Los perfiles longitudinales y transversales constituyen el punto de partida para la planeación detallada y el replanteo de vías de comunicación (Caminos), así como para el cálculo de rellenos y su trazo óptimo de las rutas con respecto a la topografía. (Cleves, 2007, pág. 142)

2.1.6 Curvas de nivel

Las curvas de nivel ofrecen la máxima posible información del terreno en el área del plano y no opacan a otros detalles esenciales el plano. Muestran también la elevación y configuración del terreno. La elevación de cualquier punto que no se encuentre sobre la curva de nivel puede encontrarse interpolando entre las dos curvas de nivel que estén a ambos lados del punto. (James R Wirshing, 1987, pág. 175)

2.2 Estudio de tránsito

Los Ingenieros de tránsito han podido demostrar la conveniencia de emplear simultáneamente la vigilancia, la educación y la ingeniería en el logro de la meta de una circulación eficiente y segura. De allí que, la mejor manera de utilizar la Ingeniería de Tránsito consiste en estructurar planes adecuados, prácticos y bien sustentados para mejorar la movilidad y la seguridad de los flujos vehiculares, sobre todo en áreas críticas, donde la interacción con otras disciplinas es fundamental. (Cal y Mayor Reyes Spíndola, 2018, pág. 6).

2.2.1 Aforos

El objetivo primordial del aforo vehicular es cuantificar el flujo de tráfico de diferentes dimensiones en áreas específicas generalmente los datos de tránsito para un camino o sección de camino están disponibles o pueden obtenerse mediante conteos ya sean manuales o electrónicos. Los datos colectados por las instituciones estatales o locales incluyen los volúmenes de tránsito por día del año y hora del día, así como también la distribución de los vehículos por tipos y por pesos. (SIECA, 2011, pág. 48).

2.2.2 Clasificación de vehículos

En la planeación de transporte como parte de los aforos vehiculares se debe tomar en cuenta su tipo y determinar que cargas proporcionaran sobre sus ejes, por ende, en el anuario (Anuario Estadistico Sector Transporte, 2020), plantea una hoja de clasificación vehicular usada en campo, está compuesta por 17 tipos de vehículos, (ver anexos Figura 7, página 29), es importante diferenciar uno de otro, ya que contienen diferencias en sus características, algunas de su clasificación son las siguientes:

- Motocicleta
- Automóviles
- Jeep
- Camioneta
- Microbús
- Minibús
- Bus
- Liviano de carga
- Camión rígido sencillo, 2 ejes
- Camión rígido sencillo, 3 ejes
- Camión de carga Tx –Sx-<4
- Camión de carga Tx –Sx->5
- Camión combinado Cx –Rx-<4
- Camión combinado Cx –Rx->5
- Vehículo agrícola (tractor)
- Vehículo de construcción (niveladora)
- Otro (remolque halado por un vehículo liviano)

2.2.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

La unidad general de medida del tránsito sobre una carretera es el volumen del tránsito promedio diario anual (TPDA). El TPDA se define como el volumen total durante un período determinado de tiempo (en general días), mayor que un día y menor o igual que un año, divido por el número de días comprendido en ese período de tiempo. (SIECA, 2011, pág. 49)

2.2.4Vectores de correspondencia

Se adoptó el término “vector de correspondencia”, para designar la potencialidad con la cual se manifieste la afinidad que puede existir entre una estación de conteo largo con una estación de conteo corto. (Ministerio de Transporte e infraestructura , 2020, pág. 6)

2.2.4.1Vector geográfico-R

Se dividió el país en 5 regiones físicas/económicas de grandes rasgos:

- La región de la costa del pacifico que fue subdividida en dos por consideración de una cierta diferencia en la concentración de actividades industriales en el norte con relación al sur.
- La región central norte se diferencia por sus características topográficas la que tiene influencia sobre el carácter de la producción agrícola e industrias agropecuarios asociados.
- La región atlántica, presenta sus propias características de topografía, clima, vegetación natural, densidad de ocupación y actividad humana, definiéndose las categorías R4 y R5.

R1 – Pacifico Sur

R2 – Pacifico Norte

R3 – Región Central Norte

R4 – Costa Caribe Sur

R5 – Costa Caribe Norte.

2.2.4.2 Vector volumen del tráfico – V.

El rango de volúmenes de TPDA en las estaciones cubiertas por el sistema varia desde menores de 300 hasta más de 50,000 vehículos por día, considerándose los siguientes intervalos:

V1 – TPDA mayor de 5000

V2 – TPDA de 300 a 5000

V3 – TPDA menores de 300.

2.2.4.3Clasificación de estaciones por las categorías de vectores.

Definido los vectores y sus rangos se realiza una clasificación de las estaciones de conteo en base a la tipología y función, siendo la nomenclatura:

1. Estaciones de Mayor Cobertura (EMC): se define como estaciones de conteo continuos en los 365 días al año con conteos clasificados de 24 horas por día, sin embargo, en los últimos años por razón de una mejor distribución en la logística se dividió el periodo en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 veces al año. Por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico

Promedio Diario Anual (TPDA) que no es más que el promedio de los periodos.

2. Estación de Corta Duración (ECD): se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA.
3. Estación de Conteo Sumaria (ECS): son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA

2.2.5Factores de expansión

Para estimar el calor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en las estaciones de corta duración o de conteo sumaria, se aplicarán los factores correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura. Partiendo de la dependencia de las estaciones de corta duración o conteo sumaria. (Ministerio de Transporte e infraestructura , 2020, pág. 9)

Los factores para el cálculo del TPDA en las estaciones de corta duración (ECD) y estaciones de conteo sumaria (ECS), dependiendo de los días que se realice los aforos se utilizan los siguientes:

- **Factor día:** Corresponde a expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas, se obtiene mediante los resultados correspondientes de las estaciones de mayor cobertura de 24 horas siendo la fórmula para calcular:

$$Factor\ Día = 1 + \frac{Trafico\ Nocturno}{Trafico\ Diurno}$$ Ec1. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico año 2019)

- **Factor semana:** el factor para expandir el resultado obtenido para un periodo corto de tres días de la semana (martes a jueves) a los promedios semanales 7 días (lunes a domingo), siendo la fórmula para calcular:

$$Factor\ Semana = \frac{(Tlab*5+tfs*2)}{7*Tlab}$$ Ec2. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico año 2019)

Donde:

Tlab: Corresponde al tráfico levantado durante la semana lunes a viernes.

Tfs: Corresponde al tráfico levantado durante el fin de semana sábado – domingo.

- **Factor fin de semana:** es el factor para expandir un conteo realizado durante el fin de semana a los 7 días de la semana siendo la fórmula para calcular:

$$Factor\ Laboral = \frac{(Tlab*5+Tf\ *2)}{7*Tfs}$$ Ec3. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico año 2019)

- **Factor de expansión:** es el factor para expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual (TPDA) por tipo de vehículo, el que se obtiene de los conteos realizados en las estaciones de mayor cobertura.

$$Factor\ Expansión = \left(\frac{Tps\ 1er.conteoEMC + TPS\ 2do.conteoEMC + TPS\ 3er.conteoEMC}{3 * TPS\ Trabajado}\right)$$

Ec4. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico año 2019)

2.2.6 Proyección del TPDA

Resultado del registro de volúmenes de tránsito en un punto, el TPDA obtenido tiende a ser representativo de un segmento de carretera, por lo que la escogencia del punto adecuado para localizar la estación requiere sumo cuidado y es fundamental para que los estudios sean válidos y no resulten distorsionados por factores locales de generación de tránsito.

El método más común para la Proyección de Tráfico es la ecuación siguiente:

2.2.6.1Tasa de crecimiento.

Siendo que el primer paso para realizar investigaciones sobre volúmenes de tránsito es conocer el TPDA y sus tendencias de crecimiento, no es sino con el volumen horario critico previamente seleccionado critico previamente seleccionado que se pueden fijar las normas de diseño, dándose relaciones porcentuales que son habitualmente consistentes entre dichos volúmenes horarios que reflejan la capacidad de un tramo de carretera. (Ministerio de Transporte e infraestructura , 2020, pág. 14)

Ecuación para calcular la tasa de crecimiento con datos discontinuos:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0}\right)^{1/n}\right] - 1$$ Ec5. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico año 2019, pág. 14)

Ecuación para calcular la tasa de crecimiento con datos continuos:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0}\right)^{1/n}\right]$$ Ec6. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico año 2019, pág. 14)

Ecuación para el cálculo de la media geométrica:

$$Tf = \left[(Tc_1 * Tc_2 * \dots * Tc_n)^{1/n} - 1\right]$$ Ec7. Tomada de (Anuario de Aforos de Tráfico año 2019)

Dónde:

TC =Tasa de Crecimiento

$TPDA_i$ =Tráfico Promedio Diario Actual

$TPDA_0$ =Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base.

n= La diferencia de años.

2.2.7 Tránsito de diseño

Es una proyección que se lleva a cabo para el periodo de diseño, esta proyección se realiza utilizando información histórica de tráfico, lo que permite prever el tráfico futuro. Para llevar a cabo este proceso, es necesario considerar la siguiente ecuación:

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365$$ Ec8. Tomada de (Cal y Mayor Reyes Spíndola, 2018)

2.2.8 Periodo de diseño.

El 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 que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionalmente. (Coronado Iturbide, Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002)

La vida útil del pavimento es aquel tiempo que transcurre entre la construcción de este y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad.

2.2.9 Factor distribución por dirección.

Es el factor total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es igual a 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado. (Coronado Iturbide, Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002)

Lo más importante de esto, será la diferencia de peso entre los vehículos que van en una y en otra dirección; como puede suceder por la cercanía de una fábrica, puerto, etc.

Tabla 1 Factor distribución por dirección

Número de carriles en una sola dirección	LC[11]
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimento, SIECA 2002

2.2.9.1 Factor de dirección por carril.

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL´S. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el diseño será externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril. (Coronado Iturbide, 2002)

Tabla 2 Factor de dirección por carril

Número de carriles en ambas direcciones	LD[10]
2	**50**
4	**45**
6 o más	**40**

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimento, SIECA 2002

2.2.10 Esals

En el método AASHTO 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. Se los denominará de aquí en adelante ESAL, que es la sigla en inglés de “Carga de Eje Equivalente Simple” “Equivalent Single Axle Load". (AASTHO-93, 1998, pág. 21)

2.3 Estudio geotécnico

El estudio de suelo en el contexto de una carretera es esencial para el diseño de la superficie de rodamiento. Estos estudios son de vital importancia, ya que proporcionan información crucial sobre las propiedades del suelo. La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra. (Das, 2013, pág. 1)

2.3.1 California Bearing Ratio (CBR)

Este método usa las características de carga - deformación de la subrasante, subbase y base y en forma empírica los relaciona con los espesores totales del pavimento, capa de rodadura, base y capas subyacentes. El CBR es la relación existente entre una carga que produce una deformación de 0.1 pulg (2.5 mm) en el material en cuestión y la carga que produce esa misma deformación en una muestra patrón que es un material granular de excelente calidad que se asume como 100%. (AASTHO-93, 1998, pág. 3)

2.3.2 Límite líquido

El límite liquido es un valor muy importante a la hora de definir la resistencia de corte al suelo, simplemente es saber cuándo un suelo alcanza su mayor contenido de humedad, sin pasar de su estado plástico a líquido. Este se realiza haciendo un surco que se cierra tras dejar caer la cuchara de Casagrande 25 veces de una altura de 1cm.

El contenido de humedad del suelo en porcentaje y el correspondiente número de golpes se representan gráficamente en papel. La relación entre el contenido de humedad y log N es casi como una línea recta. Esto se conoce como curva de flujo. El contenido de humedad correspondiente a N=25, determinado a partir de la curva de flujo, da el límite líquido del suelo. (Das, 2013, pág. 65)

2.3.3 Límite plástico

El límite plástico se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. El límite plástico es el límite inferior del escenario plástico del suelo. La prueba es simple y se realiza mediante rodados repetidos por parte de una masa de tierra de tamaño elipsoidal sobre una placa de vidrio esmerilado (. El índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo, o PI =LL-PL. (Das, 2013, pág. 65)

2.3.4 Clasificación de los suelos

Los suelos con propiedades similares pueden ser clasificados en grupos y subgrupos según sus características mecánicas y su comportamiento en ingeniería. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar de manera concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas y no requieren descripciones detalladas. (AASTHO-93, 1998, pág. 78).

2.3.5 Granulometría

El análisis granulométrico según (Gayarre, 2002) consiste en determinar cómo se distribuyen por tamaños las partículas que lo integran. La clasificación de suelos es un indicador universalmente aceptado de las propiedades físicas de los suelos. La clasificación que mejor se adapta para reflejar las propiedades de un suelo como subrasante es la de la AASHTO. Sus variables de entrada son la granulometría y plasticidad. (AASHTO-93, 2006, pág. 61)

2.3.6 Clasificación de los suelos AASHTO

La clasificación de suelos es un indicador universalmente aceptado de las propiedades físicas de los suelos. La clasificación que mejor se adapta para

reflejar las propiedades de un suelo como subrasante es la de la AASHTO. Sus variables de entrada son la granulometría y plasticidad.

En general un suelo, de acuerdo a su granulometría, se divide en:

- Grava: tamaño < 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2 mm),
- Arena gruesa: tamaño < 2 mm, tamiz No. 10 hasta tamiz No. 40 (0.425 mm),
- Arena fina: tamaño < 0.425 mm tamiz No. 40 hasta tamiz No. 200 (0.075 mm),
- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm (pasa tamiz 200).

Según AASHTO, un suelo fino es aquel que tiene más del 35 % que pasa el tamiz No. 200 y se denominan comúnmente: A-4; A-5; A-6 o A-7. (AASTHO-93, 1998, pág. 78)

2.4 Diseño y estructura de pavimento

2.4.1 Adoquín

Según la (Real Academia Española, 2023) significa Piedra labrada, concreto u otro material en forma de un prisma para uso en pavimentos.

2.4.2 Período de diseño

El período de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de las proyecciones del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente o se alteren de una manera diferente a la que fueron consideradas inicialmente.

Se recomienda adoptar un período de proyección de veinte años como base para el diseño. Usualmente, la estimación del tránsito más allá de este período sobre una vía específica no se justifica debido a que no pueden preverse con ningún grado de precisión los cambios en la economía regional, población y desarrollo de la tierra a lo largo de la carretera. (SIECA, 2011, pág. 52)

2.4.3 Elementos de pavimiento

Los elementos de un pavimento pueden estar constituida por; Adoquines de concreto, capa de arena, Subbase, base. Cabe mencionar que no siempre será

así, esto lo definirá su tipo de suelo, factores de tránsito y diseño. (Manual Para la Revición de Diseño de Pavimentos, 2008)

2.4.3.1 Base

Es la capa colocada entre la sub rasante y la capa de rodadura, su principal función es aumentar la capacidad de la estructura del pavimento, puede estar compuesta por dos o más materiales seleccionados, en la cual se podrán utilizar material granular, suelo estabilizado o concreto pobre. El espesor de la base depende del material con que se construya, del tránsito y de la calidad del suelo. (AASTHO-93, 1998)

2.4.3.2 Subbase

La función principal de la subbase es distribuir las cargas de tráfico de manera uniforme, reducir la deformación y el asentamiento del pavimento, y proporcionar un soporte estable para la capa de base y el pavimento superior.

La subbase, según (AASTHO-93, 1998), es una capa de material colocado debajo de la base de pavimento para proporcionar soporte estructural y mejorar la capacidad de carga de la carretera o área pavimentada. La AASHTO establece recomendaciones y estándares para la construcción de carreteras y pavimentos.

2.4.3.3 Capa de arena

La función principal de esta cama de arena es absorber las irregularidades que pueda tener la base, permitiendo un ajuste adecuado de los adoquines y ofreciendo un soporte uniforme en toda su superficie. Además, la cama de arena también sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando así daños en la base.

La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos. (MTI, 2019, pág. 397)

2.4.3.4 Sello de arena

Consiste en cero o arena natural, usado para rellenar las juntas de adoquines. Este material debe estar libre de impurezas y materia orgánica. Para el caso específico de la actividad de sello de adoquín con arena, el que se aplicará para eliminar vacíos existentes entre las juntas, dando mejor soporte a los adoquines,

evitando que estos se desprendan de su sitio o que se fracturen, producto del tráfico vehicular. (MTI, 2019, pág. 397)

2.4.5. Método AASHTO-93

En el método AASHTO 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. Se los denominará de aquí en adelante ESAL, que es la sigla en inglés de “Carga de Eje Equivalente Simple” “Equivalent Single Axle Load" (AASHTO-93, 2006, pág. 21)

2.4.6 Confiabilidad

Confiabilidad es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones (medio ambiente) que tiene lugar en ese lapso. (AASHTO-93, 2006, pág. 131)

Tabla 3 Niveles de confiabilidad aconsejados por AASHTO

Tipo de Camino	Confiabilidad Recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

. Fuente: (AASHTO-93, 2006, pág. 131)

2.4.7 Modulo de resiliencia

En la Guía de diseño AASHTO 1993, el módulo resiliente reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. En el método AASHTO deben usarse valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio dado que las incertidumbres son tomadas en cuenta en la confiabilidad R. Es importante utilizar valores a la densidad y contenido de humedad que los suelos desarrollarán cuando se encuentren en servicio. (AASHTO-93, 2006, pág. 76)

A fin de determinar este módulo, se han desarrollado ecuaciones de correlación utilizando datos de ensayos que vinculan el módulo resiliente con el CBR. A continuación, se presentan dichas ecuaciones.

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

MR=1500 * CBR Ecuación 9 Tomado de (Coronado Iturbide, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, 2002) Para materiales de subrasante con valores de CBR superiores al 10%, se requerirá utilizar métodos alternativos de correlación

MR=4326 *Ln (CBR)+241 Ec10 Tomado de (Coronado Iturbide, Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002)

2.4.8 CBR de Diseño

El método "CBR" para diseño de pavimentos fue uno de los primeros en usarse. Se basa en que a menor valor de CBR de subrasante, se requieren mayores espesores de pavimento para protegerlo de las solicitaciones de tránsito. (AASHTO-93, 2006)

2.4.9 Coeficiente estructural

Estos coeficientes son una medida de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material. No obstante, ello estos coeficientes están correlacionados con distintos parámetros resistentes (AASHTO-93, 2006, pág. 109)

2.4.10 Números estructurales

La expresión que liga el número estructural con los espesores de capa es:

SN = a1D1 + a2m2D2 + a3m3D3 Ec.11 tomada de (AASHTO-93, 2006, pág. 173))

Donde:

a1, a2, a3 son los coeficientes estructurales o de capa, adimensionales.

m1, m2, m3 son los coeficientes de drenaje.

D1, D2, D3 son los espesores de capas, en pulg o mm, en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

2.4.11 Coeficiente de capa

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (an), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos articulados.

Mediante el uso de nomogramas que se presentan en la guía AASHTO-93, se determinarán los coeficientes estructurales, de acuerdo con el tipo y función de la capa considerada; carpeta de rodamiento (a1), base (a2) y subbase (a3). (AASTHO-93, 1998)

2.5 Diseño geométrico

2.5.1 Diseño geométrico

El diseño geométrico de carreteras es solo una parte del proceso completo de planificación de un proyecto. Por lo general, el diseño detallado ocurre en la etapa intermedia del proceso, conectando las fases preliminares de planificación y desarrollo del proyecto con las siguientes fases de adquisición de derechos de vía, licitación, construcción y mantenimiento. Aunque cada una de estas actividades es diferente, existe una superposición en términos de coordinación entre varias disciplinas que deben desarrollarse de manera conjunta, involucrando a todos los diseñadores a lo largo de todo el proceso. (SIECA, 2011, pág. 15)

2.5.2 Vehículo de diseño

Debido a las dimensiones tan variables de los vehículos que circulan por la red de carreteras, es necesario examinarlos, agruparlos en clases similares y establecer un vehículo representativo para cada clase para su uso en el diseño geométrico. (SIECA, 2011, pág. 37)

2.5.3 Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal se refiere a la proyección del eje de una carretera o camino sobre un plano horizontal, Esta forma de diseño se prefiere debido a que largos tramos rectos inducen a velocidades mayores que la velocidad de proyecto, aumentando el peligro de deslumbramiento por las luces del vehículo que viaja. (SIECA, 2011, pág. 82)

2.5.4 Distancia máxima en tangente

Los nuevos diseños se han vuelto práctica común intercalar una curva de transición, que facilite a los conductores el recorrido seguro y cómodo de la curva, manteniendo el vehículo inscrito dentro de su carril y sin experimentar la violencia de la fuerza centrípeta que es propia de la circulación por dicha curva. (SIECA, 2011, pág. 92)

2.5.5 Curvas circulares simple

Parte de los alineamientos horizontales están compuestos por curvas circulares simples, estas pueden ser deflexiones hacia la derecha o izquierda acorde de la necesidad de la curva en la vía y es un arco que une dos tangentes consecutivas, formando la proyección horizontal, esta es una curva de las más utilizadas

2.5.6 Radio mínimo

El radio mínimo es un valor límite para la curvatura cuando se diseña una velocidad específica. Este valor está relacionado con el peralte máximo y la fricción lateral máxima seleccionada para el diseño. (SIECA, 2011, pág. 87)

Una vez establecido el máximo factor de peralte, los radios mínimos de curvatura se calculan con la siguiente formula:

En donde:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(e\ max + f\mathrm{m}\quad)}$$ Ec 12 tomada de (SIECA, 2011)

Donde:

R mín. = Radio mínimo de curva, m

e máx. = Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f máx. = Factor de fricción lateral

V = Velocidad de diseño, en KPH.

2.5.7 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. 82)

2.5.8 Grado de curvatura máximo

El 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. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión:

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R}$$ Ec 13 tomada de (SIECA, 2011)

En donde:

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

R = Radio de la curva, m

2.5.9 Alineamiento vertical

Al proyectar las diferentes elevaciones del eje de la carretera sobre un plano vertical, se obtiene lo que se conoce como alineamiento vertical o perfil del eje de la carretera según. Este alineamiento muestra tanto el perfil del terreno natural como el perfil final del eje de la carretera, también conocido como rasante. También se puede representar el perfil final del eje de la terracería, que se conoce como subrasante. (SIECA, 2011, pág. 115)

El alineamiento vertical de una carretera está controlado principalmente por la: Clasificación Funcional del Camino y Composición del Tránsito

- Topografía del área que atraviesa
- Diseño del alineamiento horizontal y su velocidad de diseño correspondiente
- Distancias de Visibilidad
- Drenaje
- Valores Estéticos y Ambientales
- Costos de Construcción

2.5.10 Rasante

Es la elevación del pavimento en el eje o línea central en carreteras bidireccionales; al proyectar sobre un plano vertical sus distintas elevaciones, se obtendrá el desarrollo de la plataforma o corona del camino, el cual estará formado por pendientes, ascendentes o descendentes y curvas verticales que las enlazan. (SIECA, 2011, pág. 139)

2.5.11 Pendientes

Las pendientes en las carreteras existentes desempeñan un papel importante en la operación de los vehículos que transitan por ellas. En el caso de los automóviles, las pendientes ascendentes de hasta un 5% generalmente no afectan significativamente la velocidad en comparación con el terreno plano. Por lo tanto, las restricciones de velocidad en estas situaciones se imponen principalmente por consideraciones de seguridad y comodidad. (SIECA, 2011, pág. 117)

2.5.12 Curvas verticales

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. (SIECA, 2011, pág. 123)

2.5.13 Sección transversal

El ancho de las secciones de las autopistas elevadas varía considerablemente, a como sucede en el ancho del derecho de vía, según se trate de viaductos o de construcciones en terraplén, pueden proyectarse como estructuras en voladizo sobre las carreteras o aceras, así como ya se mencionó que las carreteras marginales también pueden proyectarse en voladizo sobre las autopistas en trincheras. (SIECA, 2011, pág. 281)

2.5.14 Ancho de carril

El ancho de carril es para determinar capacidad, que es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito (SIECA, 2011, pág. 57)

2.5.15 Bombeo

Es la pendiente que se le da a la plataforma o 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 para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad (SIECA, 2011, pág. 139)

2.5.16 Drenaje superficial

El drenaje superficial debe ser muy efectivo para evacuar rápidamente las aguas de la superficie del pavimento y evitar que éstas se infiltren dentro de la estructura de este, ocasionándole daños que pueden ser considerables y de efectos inmediatos o a corto plazo (SIECA, 2011, pág. 145)

CAPÍTULO III: ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

3.1. Estudio topográfico

Durante el levantamiento topográfico realizado, se aclaró la importancia de este proceso como un pilar fundamental. Información necesaria para analizar minuciosamente las particularidades del terreno, obteniendo así una adaptación precisa del diseño geométrico a la topografía natural del terreno.

Durante el levantamiento, la recolección de datos adquirió un papel destacado, destacándose la generación de una nube de puntos que ofreció una representación detallada de objetos y elevaciones en el tramo en cuestión. Esta representación tridimensional del terreno, para la toma de decisiones informadas, es crucial en el diseño final se ajustará de manera óptima a las condiciones específicas del terreno

La representación detallada de la topografía, obtenida a través de la nube de puntos, facilitó la interpretación precisa del terreno, respaldando así la integración armoniosa y funcional del diseño geométrico en el entorno natural estudiado.

3.1.1. Metodología

En la fase de Levantamiento Topográfico, se emplearon equipos especializados, como una estación total, prismas con bastones, GPS de mano, y otros accesorios detallados en la tabla 5, pág. 26. El proceso permitió la identificación de la configuración del terreno desde la estación 0+000 hasta el destino final 3+000, presentando las coordenadas UTM WGS84 en la tabla 4, pág.25 y en la figura 3, pág. 25 del mapa satelital de estaciones obtenido de Google Earth Pro. Este procedimiento significó un valioso aprendizaje para el equipo de trabajo.

Se aborda el "Establecimiento de puntos de control" donde se resalta la importancia de los puntos de control (GPS). Se establecieron tres monumentos pequeños. Posteriormente, se describe el "Establecimiento de BM" para lograr precisión topográfica, ubicándolos estratégicamente a lo largo del tramo.

3.1.2. Levantamiento topográfico

La laboriosa tarea de levantamiento se llevó a cabo con la ayuda de una estación total y sus accesorios, detallados en la tabla 5, pág. 26. Este proceso nos permitió descubrir la configuración en el terreno, desde el punto de partida en la estación 0+000 hasta el destino final 3+000. Las coordenadas UTM WGS84, información

fundamental, se presentan en la tabla 4 y se muestra en mapa en la figura 3 se adjunta a continuación.

Tabla 4 Coordenadas cartográficas de estación, del levantamiento topográfico.

Coordenadas cartográficas (UTM-ZONA 16P)			
Estación	**Este m (X)**	**Norte m (Y)**	**Elevación m (Z)**
0+000	557352.4	1441644.8	548.6
3+000	557343.5	1444047.5	774.6

Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Mapa satelital de estaciones

Fuente: Google Earth Pro

Tabla 5 Equipos utilizados en levantamiento topográfico.

Equipos Utilizados para levantamiento.	
Descripción	**Ilustraciones**
1) Estación Total con trípode Modelo: Sokkia 650 RX de 5 segundos de precisión.	
2) Prismas con bastones modelo Sokkia.	
3) GPS de mano	
4) Laptop para verificación de puntos. Con programa civil 3D.	

5) Radios de comunicación alcance medio marca boafeng .	
6) Cinta de 30 m (Marcar distancias entre secciones)	
7) Cinta de mano de 8 m.	

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Establecimiento de puntos de control

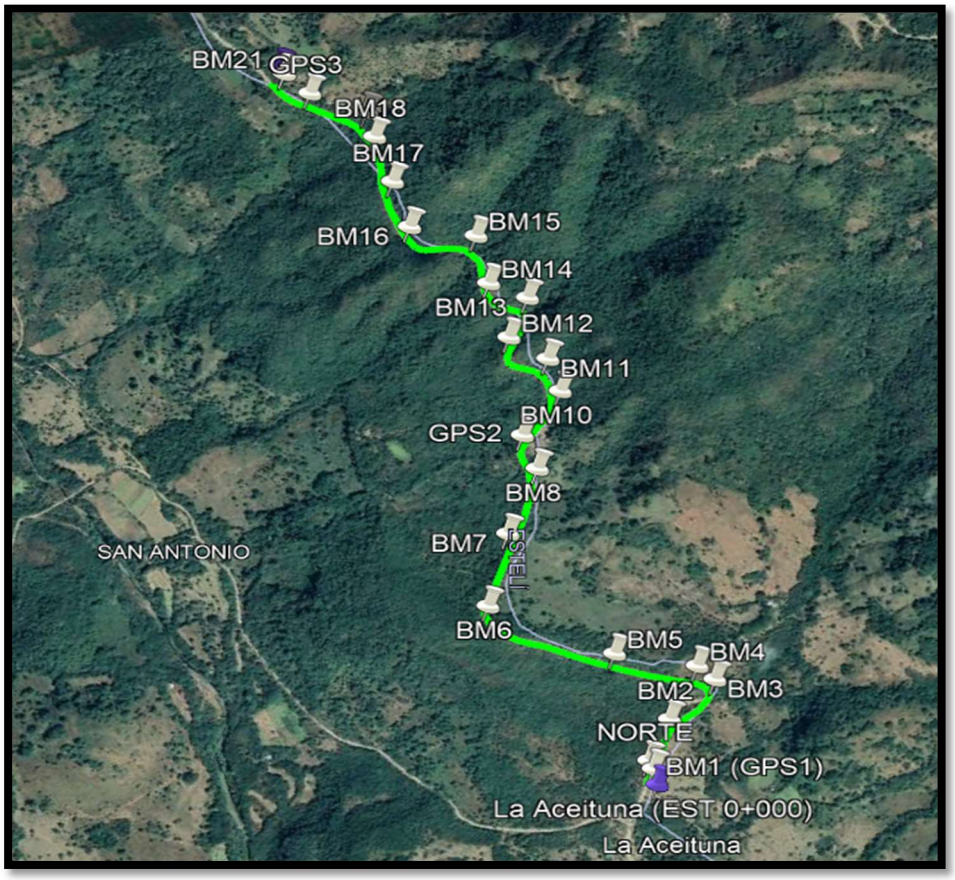
Los puntos de control (GPS) son elementos esenciales que establecimos para poder fijarnos, se tomaron los puntos utilizando un GPS de mano como se aprecia en tabla 5, pág. 26 para lograr tener más precisión, para luego ingresar coordenadas iniciales de punto en el equipo de precisión estación total, de este modo toda la nube de puntos y BM estarán sujetos a al ráster del programa, según (Manual para la Revisión de Estudios Topográficos, 2008, pág. 33).

Se deben establecer GPS con monumentos de concreto cada 200 m, pero por razones económicas establecimos dos, al inicio y al final monumentos como se aprecia en la figura 4, pág. 29 al inicio y final de tramo. Dichos puntos con coordenadas cartográficas se aprecian en tabla 6, pág.30, los BM auxiliares se establecieron con señalización con chapas y clavos metálicos.

3.1.4. Establecimiento de BM

Antes de desentrañar el terreno y dividirlo en secciones, se asignaron los Bancos de Nivel (BM). BM de posicionamiento para lograr precisión topográfica y trazo la poligonal base, basados en conocimientos de campo, considerando el tipo el terreno con visibilidad optima, se situaron los BM estratégicamente.

Figura 4 Mapa satelital, ubicación de BM



Fuente: Google Earth Pro.

Ubicados con una distancia promedio de 250 metros, según indica (Manual para la Revisión de Estudios Topográficos, 2008, pág. 28), la línea de puntos se aprecia en Figura 4, donde refleja un vistazo de su ubicación en curvas y visibilidades, cuyos BM con coordenadas cartográficas se observan a continuación, en tabla 6.

Tabla 6 Lista de bancos de nivel

Coordenadas cartográficas (UTM-ZONA 16P)				
Puntos	**Este m (X)**	**Norte m (Y)**	**Elevación m (Z)**	**Descripción**
1	557352.434	1441644.8	548.617	BM1 (GPS)
2	557352.2	1441672.89	549.464	NORTE
3	557456.015	1441770.35	555.898	BM2
4	557618.299	1441836.55	575.684	BM3
5	557592.203	1441894.77	580.543	BM4
6	557405.965	1442018.98	595.974	BM5
7	557157.399	1442292.29	635.788	BM6
8	557298.761	1442479.97	630.779	BM7
9	557454.543	1442635.51	653.948	BM8
10	557461.093	1442747.94	669.849	GPS2
11	557610.336	1442834.92	688.645	BM10
12	557621.852	1442941.74	699.499	BM11
13	557554.169	1443044.92	718.977	BM12
14	557650.229	1443139.55	728.073	BM13
15	557574.061	1443222.9	740.219	BM14
16	557604.243	1443373.73	751.743	BM15
17	557452.899	1443470.82	761.147	BM16
18	557469.38	1443619.96	769.385	BM17
19	557483.207	1443768.23	761.98	BM18
20	557495.704	1443848.87	766.409	BM19
21	557380.638	1443963.67	771.621	GPS3
22	557343.473	1444047.49	774.597	BM21

Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Seccionamiento del tramo

El seccionamiento del tramo se creó después de haber establecido los puntos esenciales de la poligonal base y lograr cerrarla, esto con el fin de evitar desplazamientos de tramo al momento de analizarlas. El procedimiento de toma de datos en campo fue el siguiente:

- ✓ Centro de camino
- ✓ Borde de camino
- ✓ Cuneta izquierda y derecha
- ✓ Nube de puntos para borde de camino (derecho de vía)
- ✓ Cercos privados

- ✓ Puntos de postes de alumbrado
- ✓ Infraestructura existente

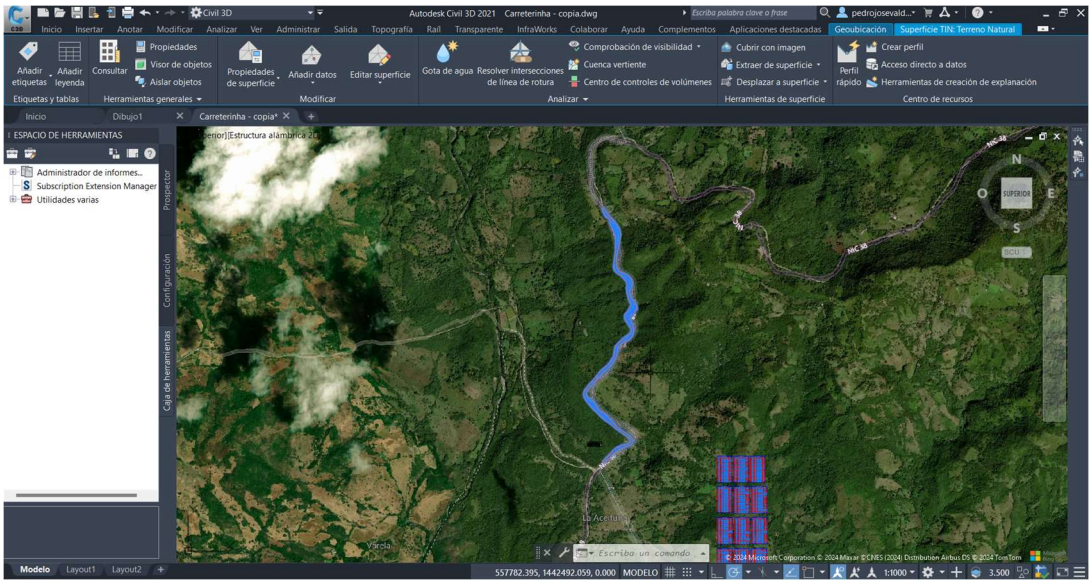
Las estaciones creadas en campo se establecieron a 20 metros en terreno recto y de 5 a 10 metros como lo indica (Manual para la Revisión de Estudios Topográficos, 2008, p. 38) en curvas en terreno sinuoso. Con cinta métrica se fueron marcando las secciones para posteriormente colocar el prisma y tomar las medidas, el cual se muestra en el siguiente enlace (https://docs.google.com/spreadsheets/d/1SB3MzA11Qf37417U3ESU9rzOhbsa9FqY/edit?usp=sharing&ouid=118181858854230726128&rtpof=true&sd=true)

3.1.6. Análisis de datos del levantamiento topográfico

3.1.6.1. Importación de datos en el software Civil 3D

Para una apreciación más clara y poder analizar la calidad del levantamiento, se importaron en el software Civil 3D los datos en crudo. Previamente, se bajaron los datos de la estación total, los cuales contienen información sobre descripciones y coordenadas cartográficas. Al momento de georreferenciar en el programa, podemos observar en figura 5, que los datos en crudo están correctos en el caso de la geodesia.

Figura 5 Datos importados de Civil 3D

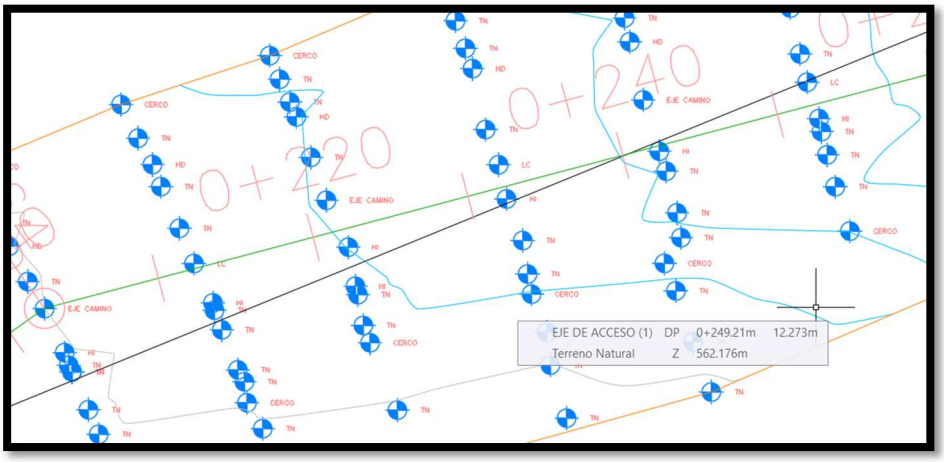


Fuente: Elaboración propia.

3.1.6.1.1 Planimetría

Dentro de la planimetría sobre el plano horizontal en el levantamiento se analiza un terreno sinuoso, por lo que se levanta en campo el ancho del tramo. El cual los datos levantados se encuentran descritos y sus detalles que se aprecian en la figura 6.

Figura 6 Detalles de planimetría



Fuente: Elaboración propia

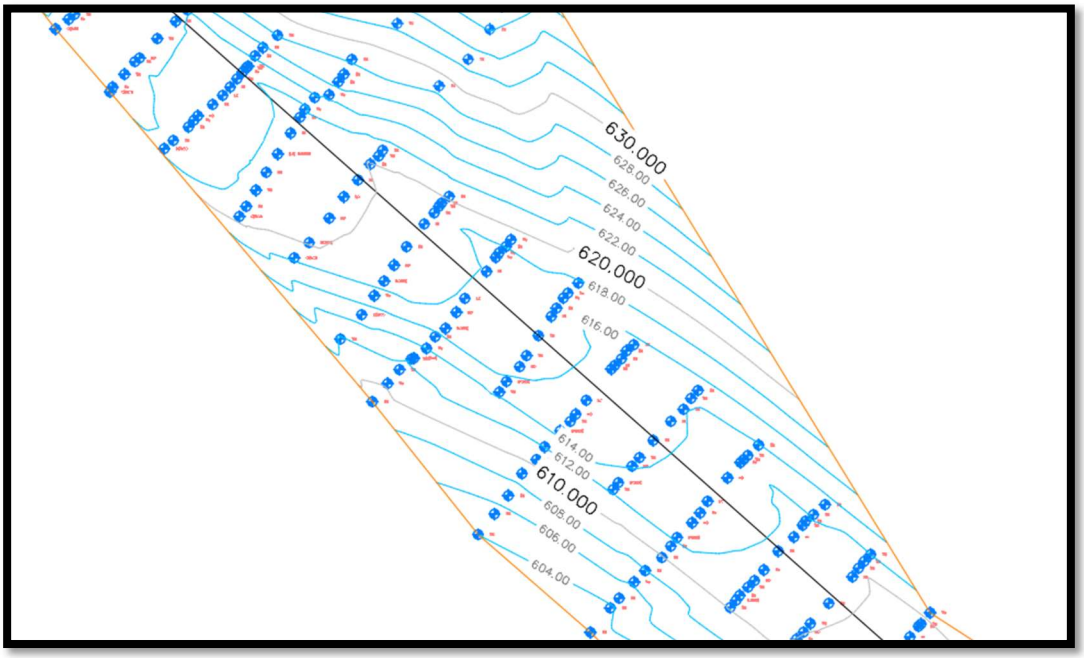
3.1.6.1.2 Altimetría

Las diferencias de alturas con respecto al inicio, ha sido un poco elevadas, por las cuales en el software Civil 3D se genera curvas de nivel, perfil longitudinal y análisis de pendientes para poder apreciar fácilmente el terreno previamente levantado como se aprecia en la figura 7, pág. 33.

3.1.6.1.3 Curvas de nivel

Respecto a las curvas de nivel las generamos para tener una apreciación del comportamiento del terreno, permite ver sobre las líneas de curva la elevación con respecto distancia entre las mismas.

Figura 7 Curvas de nivel del tramo en estudio

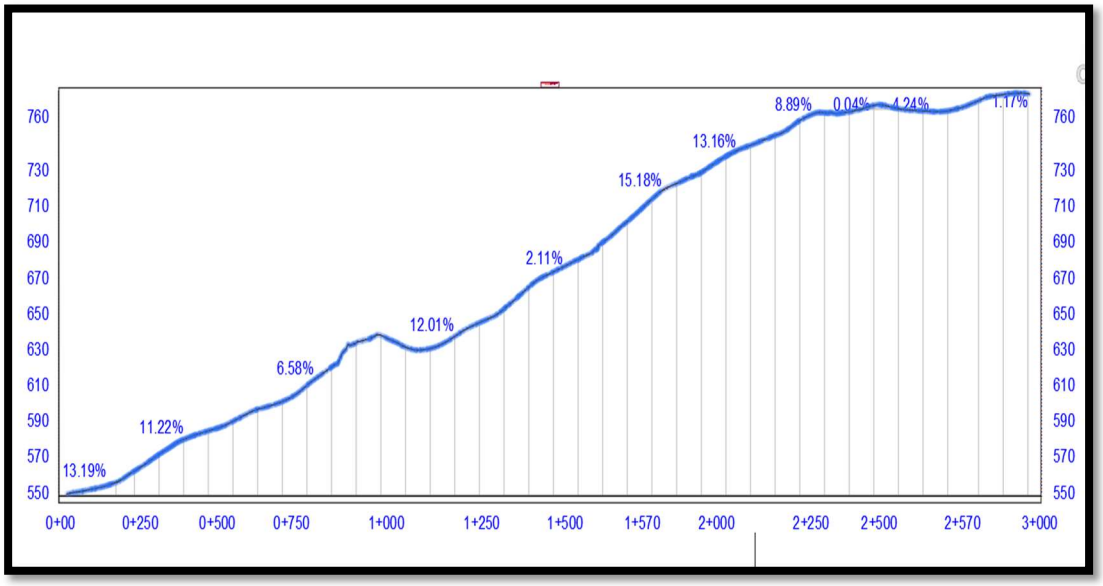


Fuente: Elaboración propia

3.1.6.1.4 Pendiente del terreno natural

Para realizar el análisis de pendientes en función de la distancia, se creó el perfil en el software Civil 3D (figura 8, pág. 34) y se etiquetaron las pendientes a lo largo del mismo. Luego, estas pendientes se organizaron en una tabla separada como se aprecia en la tabla 7, pág. 34. A partir de esta tabla, se clasificaron las pendientes según las distancias utilizadas, dividiéndolas en los rangos de pendientes especificados la tabla 8, pág. 34. podemos determinar que las pendientes del tramo rondan entre un 5 a 15%.

Figura 8 Distribución de pendientes del tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Tabla de pendientes en función de la distancia.

Estación		Pendiente %	Distancia m
0+00	0+137.62	3.19%	137.62
0+137.62	0+306.87	11.22%	169.25
0+306.87	0+588.36	6.58%	281.49
0+588.36	0+918.22	12.01%	329.86
0+918.22	1+347.45	2.11%	429.23
1+347.45	1+523.86	15.18%	176.41
1+523.86	1+892.13	13.16%	368.27
1+892.13	2+448.53	8.89%	556.4
2+448.53	2+872.53	0.04%	424
2+872.53	3+034.39	4.23%	161.86
3+034.39	3+125.37	1.17%	90.98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8 Tabla de pendientes

Tabla de Pendientes Predominante			
Número	**Pendiente Mínima**	**Pendiente Máxima**	**Distancia**
1	0.00%	5.00%	1243.69
2	**5.10%**	**15.00%**	**1705.27**
3	15.10%	30.00%	176.41

Fuente: Elaboración propia

La clasificación del terreno con respecto a mayor distancia en función de pendiente, se plantea un terreno ondulado, como se observa en tabla 9

Tabla 9 Clasificación de pendientes

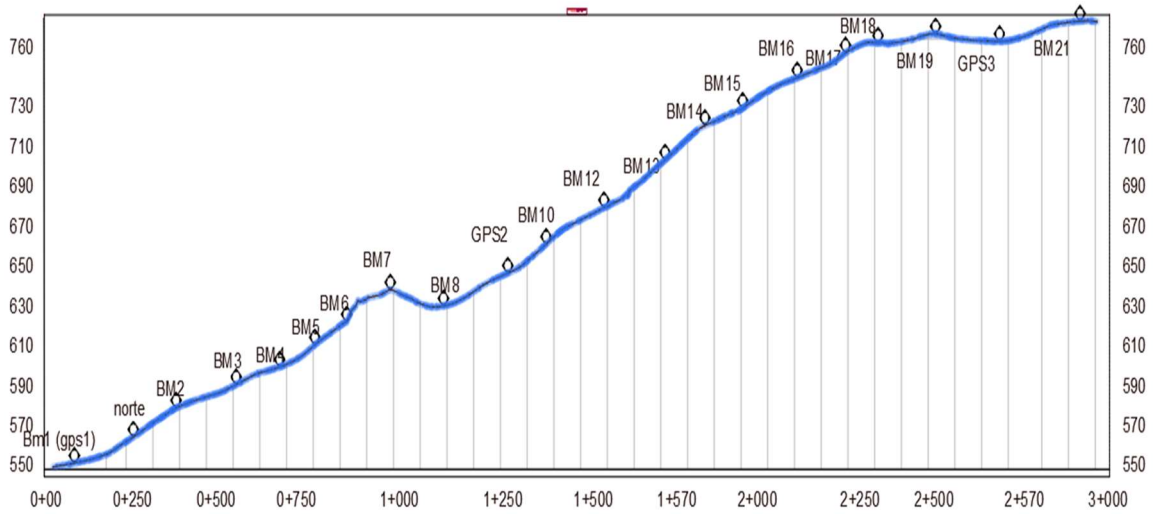
Tipo de Terreno	Rango de Pendientes P (%)
Llano o Plano	P > 5
Ondulado	**5> P ≤ 15**
Montañoso	15 >P ≥ 30

Fuente: SIECA 2011 pág. 116

3.1.6.1.4 Perfil longitudinal

De manera breve se muestra el perfil longitudinal, el cual fue procesado en el software civil 3D, en este se marcaron los puntos conocidos para poder apreciar de manera general la lista de puntos en el perfil. Como se puede observar en la figura 9

Figura 9 Perfil longitudinal del tramo en estudio



Fuente: Civil 3D

3.2 Estudio de tránsito.

3.2.1 Generalidades

En la presente sección se trabajará el procesamiento de datos de aforo de tránsito para posterior estudio y análisis de resultados.

Dentro del procesamiento de datos se abordó el cálculo de los volúmenes del Transito Promedio Diario Anual (TPDA), Transito Promedio Diurno Semanal (TPDiS), determinación de los vectores geográficos y de volumen, así como la clasificación funcional de la carretera. Todo esto servirá para hacer una proyección de la tasa de crecimiento con los factores de distribución para posteriormente determinar el tránsito de diseño y ESALS

3.2.2 Metodología

Para obtener una comprensión detallada del flujo vehicular en el tramo específico de carretera en evaluación, se llevó a cabo un meticuloso proceso de aforo vehicular a lo largo de un período de siete días consecutivos, comprendidos entre el 9 y el 15 de octubre de 2023. Durante esta semana, se dedicaron doce horas diarias, desde las seis de la mañana hasta las seis de la tarde, para realizar observaciones exhaustivas y registrar el paso de vehículos con precisión. Este enfoque amplio en cuanto a tiempo y duración permitió capturar no solo los patrones de tráfico diurno, sino también las variaciones en el flujo vehicular a lo largo de diferentes días de la semana.

Para asegurar la coherencia y la fiabilidad de los datos recopilados, se optó por adaptar el formato de aforo de tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) del año 2020, (Ver anexos, Tabla 68, pág. XIX). Este formato estandarizado proporcionó una estructura organizada para registrar la información pertinente, incluyendo el tipo de vehículo, la dirección del movimiento y otros detalles relevantes. Además, este enfoque permitió una comparación más fácil con datos anteriores y una evaluación más precisa de las tendencias de tráfico a lo largo del tiempo.

3.2.3. Aforo vehicular

Para realizar el aforo se tomaron las siguientes consideraciones: el conteo se realizó en los dos sentidos (sur-norte, norte-sur).

El conteo vehicular se realizó en la estación 14+000 con las coordenadas 557394.00 m E, 1443966.00 N. Se seleccionó esta estación debido a que puede captar por completo el tráfico vehicular que circula sobre el tramo en estudio en ambos sentidos de la vía. En la tabla10, pág. 38, se muestran de manera resumida los datos recopilados durante el aforo vehicular, también en anexos (tabla 61-67, pág. XII-XVIII) se pueden apreciar los conteos diarios realizados.

Tabla 10: Resultados de aforo vehicular para ambos sentidos, tramo Comunidad El Porvenir-Empalme El Aceituno.

Día / Fecha	Moto	Autos	Jeep	Camionetas	Mcbus <15pas.	Mn 15-30 s.	Bus	C2 Liv 2-5 ton	C2 > 5 Ton	C3	Tx-Sx <=4e	Cx-Rx >=5e	Total
Lunes 9/10/2023	112	10	3	102	7	0	12	6	8	9	0	4	273
Martes 10/10/2023	178	17	14	112	7	2	15	7	5	4	4	5	370
Miércoles 11/10/2023	197	15	18	101	6	1	13	6	2	1	1	1	362
Jueves 12/10/2023	193	14	16	124	1	1	9	5	6	3	3	0	375
Viernes 13/10/2023	212	17	21	129	7	1	13	5	5	6	0	2	418
Sábado 14/10/2023	179	18	16	131	6	1	11	6	5	1	4	3	381
Domingo 15/10/2023	183	18	18	128	5	1	13	9	5	5	1	0	386
Total	1254	109	106	827	39	7	86	44	36	29	13	15	2565
Total, Veh	2296				132			137					
% Clasificación vehicular	90%				5%			5%					
	Veh. Liviano				**Veh. Pasajeros**			**Veh. Pesados**					

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.1. Clasificación vehicular

En la planeación de transporte como parte de los aforos vehiculares se debe tomar en cuenta su tipo y determinar que cargas proporcionaran sobre sus ejes, por ende, en el anuario (Anuario Estadístico Sector Transporte, 2020), plantea una hoja de clasificación vehicular usada en campo, está compuesta por 17 tipos de vehículos, (ver anexos Figura 56, página XXV), es importante diferenciar uno de otro, ya que contienen diferencias en sus características, algunas de su clasificación son las siguientes:

- Motocicleta
- Automóviles
- Jeep
- Camioneta
- Microbús
- Minibús
- Bus
- Liviano de carga
- Camión rígido sencillo, 2 ejes
- Camión rígido sencillo, 3 ejes
- Camión de carga Tx –Sx-<4
- Camión de carga Tx –Sx->5
- Camión combinado Cx –Rx-<4
- Camión combinado Cx –Rx->5
- Vehículo agrícola (tractor)
- Vehículo de construcción (niveladora)
- Otro (remolque halado por un vehículo liviano)

3.2.4. Tránsito Promedio Diurno Semanal

Utilizando los datos recopilados del aforo vehicular entre el 9 y el 15 de octubre de 2023, se llevó a cabo el cálculo para determinar el tránsito promedio diurno semanal en el tramo específico. Este valor representativo proporciona información clave sobre la cantidad de vehículos que transitan semanalmente por la zona de estudio. Esta métrica resultará fundamental para comprender y analizar los patrones de tráfico en el tramo. Estos resultados están plasmados en la tabla 11, pág. 41.

$$TPDiS_{moto} = \frac{112 + 178 + 197 + 193 + 212 + 179 + 183}{7} = 179\ Veh/día$$

Tabla 11: Transito Promedio Diurno Semanal

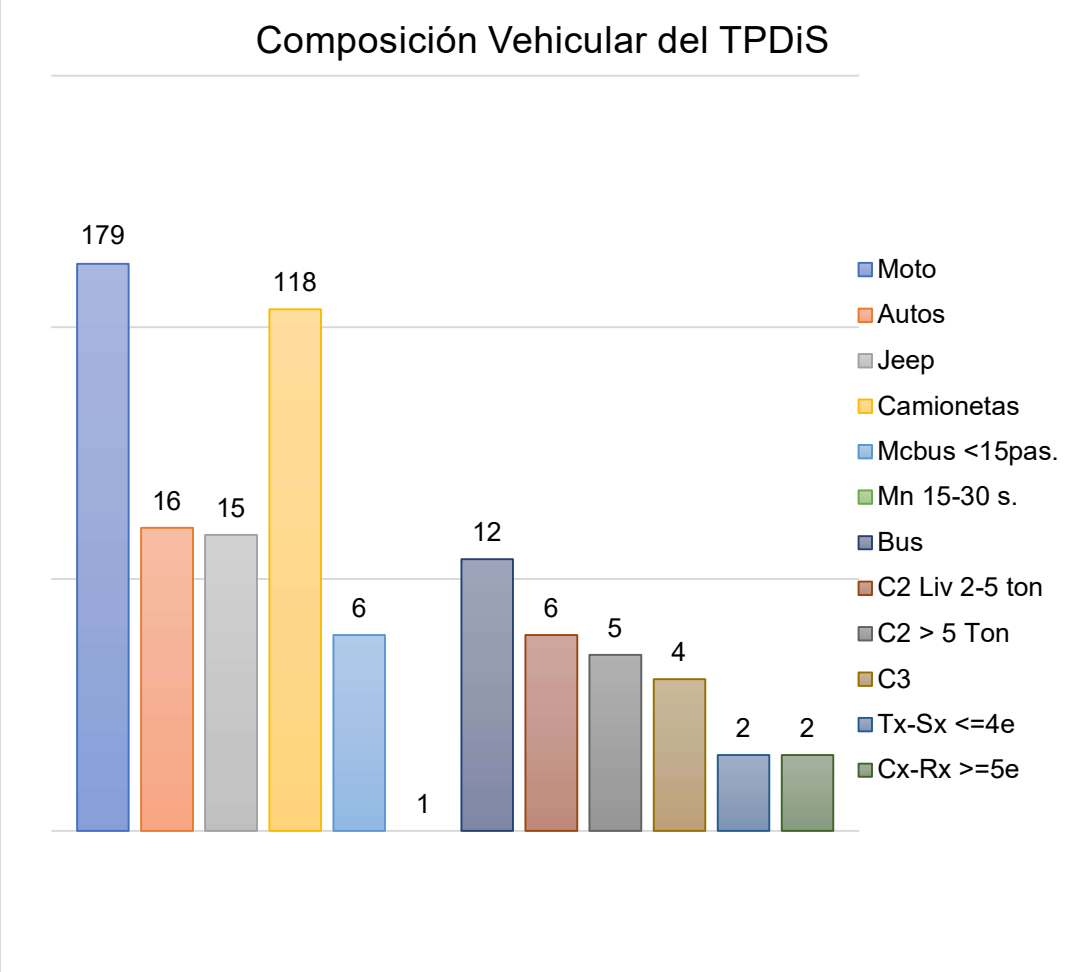
Tramo: Comunidad El Porvenir- Empalme El Aceituno								EMC: 1802: San Marcos-Masatepe ECS: 4902A: La Aceituna-Estelí (Inter NIC-1)					
Día / Fecha	Moto	Autos	Jeep	Camionetas	Mcbus <15pas.	Mn 15-30 s.	Bus	C2 Liv 2-5 ton	C2 > 5 Ton	C3	Tx-Sx <=4e	Cx-Rx >=5e	Total
Lunes 9/10/2023	112	10	3	102	7	0	12	6	8	9	0	4	
Martes 10/10/2023	178	17	14	112	7	2	15	7	5	4	4	5	
Miércoles 11/10/2023	197	15	18	101	6	1	13	6	2	1	1	1	
Jueves 12/10/2023	193	14	16	124	1	1	9	5	6	3	3	0	
Viernes 13/10/2023	212	17	21	129	7	1	13	5	5	6	0	2	
Sábado 14/10/2023	179	18	16	131	6	1	11	6	5	1	4	3	
Domingo 15/10/2023	183	18	18	128	5	1	13	9	5	5	1	0	
TPDiS	179	16	15	118	6	1	12	6	5	4	2	2	366
Total	328				19			19					
% TPDiS	90%				5%			5%					
	Veh. Liviano				Veh. Pasajeros			Veh. Pesados					

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Composición vehicular del TPDiS

En la figura 10, podemos apreciar una instantánea visual de la composición vehicular del Transito Promedio Diurno Semanal, en el cual podemos inferir que las motos son el medio de transporte más utilizado en las distintas comunidades que hacen uso de esta vía de transporte, así mismo las camionetas son el segundo medio de transporte que más se observa en la zona.

Figura 10 Composición vehicular del Transito promedio diurno semanal.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.6. Tránsito Promedio Diario Anual

Para calcular el TPDA, es necesario conocer el tránsito promedio diario semanal para cada tipo de vehículo, los factores de expansión correspondientes basados en la estación de mayor cobertura, y al periodo del año correspondiente, para conocer estos factores es necesario conocer el vector geográfico y el vector volumen para conocer la estación de la cual se tomarán los factores.

3.2.6.1. Vector geográfico

Tabla 12: Vectores geográficos

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

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico. (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020, pág. 7)

La elección del vector geográfico "R3" para el estudio se sustenta en la región Central Norte, específicamente en la localidad de Estelí, la cual abarca completamente la zona de estudio que nos concierne, se delimita claramente el ámbito geográfico de la investigación, brindando un marco territorial con límites definidos que facilita la organización y análisis de datos. Este enfoque geográfico es esencial para contextualizar los fenómenos naturales, tales como las características topográficas, climáticas y ambientales que influyen directamente en la zona de estudio.

3.2.6.2 Vector volumen

El vector de volumen seleccionado fue el vector V2 este comprende un TPDA desde 300 a 5000 según el Anuario de Aforos de Trafico (2020, pág. 7) , teniendo en el tramo un flujo vehicular de 366 (TPDiS, Tabla 11, pág. 41).

3.2.6.3. Estación de referencia

Tabla 13: ECS 4902A, La Aceituna-Estelí (Inter NIC-1)

N°	Código NIC	Est.	Tipo	Tramo	Año	Moto	Autos	Jeep	Camionetas	Mcbus <15pas.	Bus	Liv 2-5 ton	C2 > 5 Ton	C3	Tx-Sx >=5e	Otros	TPDA
269	NIC-49A	4902A	ECS	La Aceituna-Estelí (Inter NIC-1)	2020	237	3	11	100	3	16	13	7	1			391
					2015	97		3	52		9	5	4				170
					2011	64	3	8	60		10	18	20	2	5		190
					2009	29		9	55		10	9	8	4	4		130
					2004	12	5	8	48		11	6	12	2			105
					2002	18	2	11	54		13	8	5			3	113
					2000	11		11	43		11	1	6	4			88
				EMC: 1802													
				Tasa de crecimiento: 6.74%	2020	237	3	11	100	3	16	13	7	1			391
						Liv. 351				Pasaj. 19		Pesado 21					
						90%				5%		5%					

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

Comparando los porcentajes de composición vehicular de nuestro cálculo de TPDS Tabla 11 (pág. 41), y la estación de referencia la cual es la estación de conteo sumario 4902A Tabla 13 (pág.45), podemos observar que tienen una composición vehicular igual siendo esta del 90% de vehículos livianos, 5% de vehículos de pasajeros y 5% de vehículos de carga.

3.2.6.4. Asociación de estaciones

La estación seleccionada con la cual se trabajó la determinación del tránsito promedio diario anual (TPDA), fue la estación 4902A Tabla 13, pág. 45, ya que esta es la que esta geográficamente más cercana al tramo en estudio, teniendo unos porcentajes de composición vehicular igual que el cálculo del TPDiS, esta estación de conteo sumario pertenece a la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos-Masatepe

3.2.6.5. Factores de expansión

Estos factores son empleados para el cálculo del TPDA, en este estudio se implementarán el factor día y el factor expansión, el factor semana y factor fin de semana no serán empleados debido a que el aforo vehicular se realizó en el transcurso de toda la semana.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura 2020, indica los siguientes factores:

- Factor Día: Este corresponde a expandir el tráfico diurno de 12 horas a un tráfico diario de 24 horas.
- Factor Semana: Es el factor para expandir un conteo realizado durante 3 días de la semana, siendo estos martes a jueves, a los promedios semanales.
- Factor Fin de Semana: Es el factor utilizado para expandir un conteo realizado durante el fin de semana a los 7 días de la semana.
- Factor de Expansión: Es empleado para expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual (TPDA) por tipo de vehículo.

Tabla 14: Factores del tercer cuatrimestre del año septiembre-diciembre.

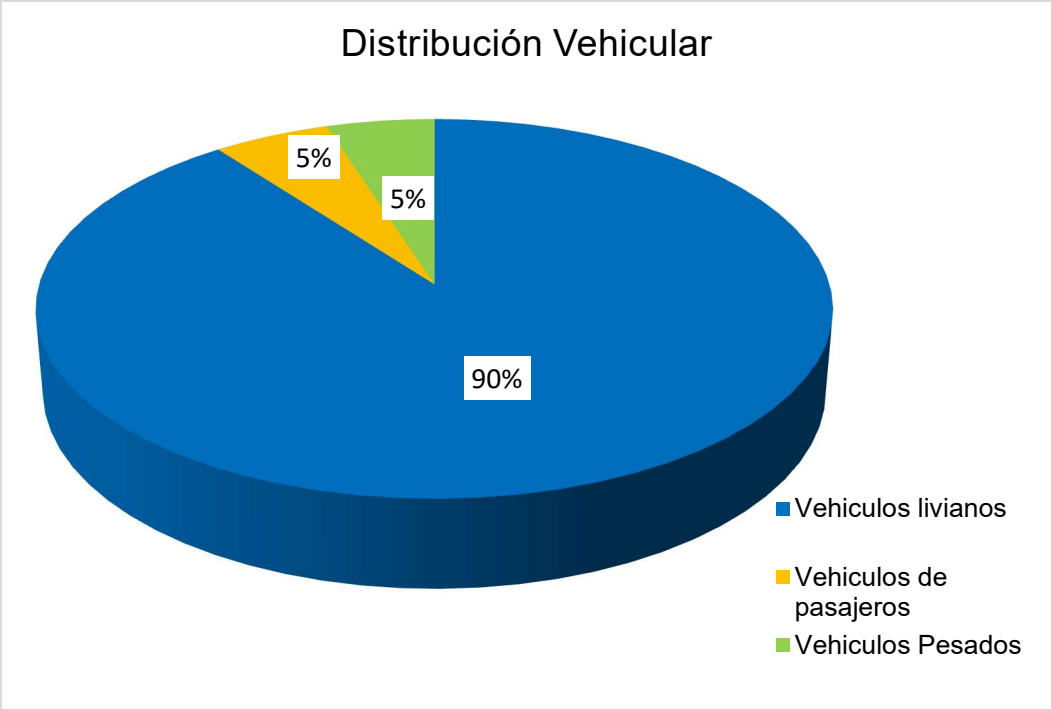
Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx<=4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.37	1.34	1.24	1.29	1.38	1.24	1.43	1.23	1.31	1.18	1.00	1.26	1.00	1.00	1.00	1.00	1.17
Factor Semana	0.94	1.03	1.08	1.01	0.95	0.92	0.90	0.90	0.86	0.89	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.12
Factor Fin de Semana	1.19	0.93	0.84	0.97	1.17	1.27	1.36	1.36	1.74	1.46	1.00	1.77	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79
Factor Expansión a TPDA	0.87	0.89	0.83	0.90	0.84	0.94	0.87	0.91	0.95	0.82	1.00	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.06

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

3.2.6.6. Cálculo del TPDA

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), se calculó haciendo uso de la Ecuación 14; pág. 49, la cual considera el tránsito promedio diurno semanal el factor día y factor ajuste, encontrados en el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI 2020. Debido a que el aforo vehicular fue realizado en la segunda semana del mes de octubre, los factores a usar pertenecen al tercer cuatrimestre del año el cual comprende desde el mes de septiembre al mes de diciembre, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 15, pág. 49.

Figura 11 Distribución vehicular del TPDA



Fuente: Elaboración propia

La composición vehicular obtenida del tránsito promedio diario anual mostrados en la figura 11, muestra igualdad a la distribución vehicular de la estación de conteo sumaria 4902A La Aceituna-Estelí (Inter NIC-1), como podemos observar en la Tabla 13, pág. 45, la distribución vehicular muestra que un 90% son vehículos livianos, 5% vehículos de pasajeros y 5% vehículos de carga al igual que en nuestro cálculo del TPDA.

$$TPDA = TPDiS * Factor\ día * Factor\ expansión$$ Ec14

$$TPDA_{moto} = 179 * 1.37 * 0.87 = 213\ veh/día$$

Tabla 15: Tránsito Promedio Diario Anual

Ubicación: Est.14+000											**EMC: 1802: San Marcos-Masatepe**		
Tramo: Comunidad El Porvenir- Empalme El Aceituno											**ECS: 4902A: La Aceituna-Estelí (Inter NIC-1)**		
	Moto	**Autos**	**Jeep**	**Camionetas**	**Mcbus <15pas.**	**Mn 15-30 s.**	**Bus**	**C2 Liv 2-5 ton**	**C2 > 5 Ton**	**C3**	**Tx-Sx <=4e**	**Cx-Rx >=5e**	**TOTAL**
TPDS	179	16	15	118	6	1	12	6	5	4	2	2	366
Factor día	1.37	1.34	1.24	1.29	1.38	1.24	1.43	1.23	1.31	1.18	1	1	
Factor Expansión	0.87	0.89	0.83	0.9	0.84	0.94	0.87	0.91	0.95	0.82	1	1	
TPDA	213	19	15	137	7	1	15	7	6	4	2	2	428
	49.77 %	4.44 %	3.50 %	32.01%	1.64%	0.23 %	3.50 %	1.64 %	1.40 %	0.93 %	0.47 %	0.47 %	
	384				23			21					
	90%				5%			5.00%					
	Vehículos Livianos				**Vehículos de Pasajeros**			**Vehículos Pesados**					

Fuente: Elaboración propia.

3.2.8. Tasas de crecimiento

3.2.8.1. Análisis de datos de PIB

Para conocer la tasa de crecimiento del producto interno bruto del país, se usaron los datos históricos obtenidos del Anuario de Estadísticas Macroeconómicas (Banco Central de Nicaragua, 2022, pág. 10). A partir de los datos históricos se procedió a calcular la tasa de crecimiento de los distintos periodos, haciendo uso de la Ecuación 6, pág. 12. Este análisis proporciona una visión más profunda sobre cómo la variable ha evolucionado a lo largo del tiempo.

$$TC_{PIB} = \left[\frac{196{,}432.5}{189{,}331.10}\right]^{1/_{2022-2021}} = 1.04$$

3.2.8.2. Análisis de datos históricos de la población.

El Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), por medio de la publicación del Anuario Estadístico (2021); se seleccionaron datos históricos poblacionales desde el año 2000 al año 2022. A partir de estos datos se procedió a calcular la tasa de crecimiento para cada año haciendo uso de la Ecuación 6 pág.12

$$TC_{POB} = \left[\frac{6{,}733{,}763}{6{,}664{,}364}\right]^{1/_{2022-2021}} = 1.01$$

3.2.8.3 Análisis de datos históricos del consumo de combustible

A partir del Anuario de Estadísticas Macroeconómicas (Banco Central de Nicaragua, 2022); se obtuvo los datos históricos del consumo de combustibles con datos desde 2006 hasta el año 2022, estos datos son tanto del consumo de gasolina, así como del consumo de Diesel por cada año, en base a la obtención de datos se calculó la tasa de crecimiento haciendo uso de la Ecuación 6, pág. 12

$$TC_{Comb} = \left[\frac{8077.5}{8072.6}\right]^{1/_{2022-202}} = 1.00$$

3.2.8.4. Análisis de datos históricos del TPDA de la ECS

Con la obtención de los datos históricos del TPDA para la estación de conteo sumario 4902A, obtenidos en el Anuario de Aforos de Tráfico (2020), se procedió a calcular la tasa de crecimiento para cada periodo, posteriormente se sacó un promedio de las tasas de crecimiento menores al 10% y que fueran positivas.

Debido a que los datos históricos del TPDA no eran continuos se calculó su tasa de crecimiento empleando la Ecuación 5, pág. 12

$$TC_{TPDA} = \left(\left[\frac{391}{366}\right]^{1/2020-2019}\right) - 1 = 7\%$$

3.2.8.5. Cálculo de tasa de crecimiento

Para calcular la tasa de crecimiento vehicular, se realiza un análisis detallado que abarca diversos aspectos como el crecimiento histórico del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), el aumento en el Producto Interno Bruto (PIB), el incremento poblacional y el consumo de combustible. Estos indicadores son cruciales para comprender cómo los cambios en la economía y la demografía afectan la demanda y el uso de vehículos en una región determinada. Al promediar estas tasas de crecimiento, se obtiene una estimación global del aumento esperado en la cantidad de vehículos en circulación en el futuro.

$$TC_{veh} = \frac{5.6\% + 5.28\% + 1.4\% + 5.5\%}{4} = 4.4\%$$

Tabla 16: Tasa de crecimiento

Año	TPDA	TC	PIB	TC	POB	TC	Combustible	TC
2000	88				4,956,964.00			
2001					5,058,643.00	1.02		
2002	113	13%			5,162,275.00	1.02		
2003					5,267,714.00	1.02		
2004	105	-4%			5,374,820.00	1.02		
2005					5,483,447.00	1.02		
2006			118837.7		5,522,606.00	1.01	4702.6	
2007			124870.3	1.05	5,595,541.00	1.01	5221.6	1.11
2008			129160.5	1.03	5,668,876.00	1.01	4858.8	0.93
2009	130	4%	124907.7	0.97	5,742,310.00	1.01	4918	1.01
2010			130416.3	1.04	5,815,524.00	1.01	5143.1	1.05
2011	190	21%	138654.2	1.06	5,996,619.00	1.03	5388	1.05
2012			147661.4	1.06	6,071,045.00	1.01	5615.8	1.04
2013			154936.8	1.05	6,134,270.00	1.01	5929.4	1.06
2014			162351.3	1.05	6,198,154.00	1.01	6127.1	1.03
2015	170	-3%	170131.6	1.05	6,262,703.00	1.01	6813.7	1.11
2016			177894.9	1.05	6,327,927.00	1.01	7287.5	1.07
2017			186,133.60	1.05	6,393,824.00	1.01	7596.4	1.04
2018			179,873.30	0.97	6,460,411.00	1.01	7060.3	0.93
2019	366	21%	174,662.60	0.97	6,527,691.00	1.01	7267.1	1.03
2020	391	7%	171,577.60	0.98	6,595,674.00	1.01	7210.1	0.99
2021			189,331.10	1.10	6,664,364.00	1.01	8072.6	1.12
2022			196,432.50	1.04	6,733,763.00	1.01	8077.5	1.00
Promedio	**5.6%**		**5.28%**		**1.4%**		**5.5%**	
Tasa de Crecimiento	**4.4%**							

Fuente: Elaboración propia.

3.2.9. Tránsito de diseño

Para el cálculo del tránsito de diseño será necesario conocer el periodo de diseño, el factor crecimiento el factor carril, el factor dirección y el TPDA. Se calculará un

TPDA acumulado para ello será necesario multiplicar el TPDA calculado por el factor crecimiento, una vez hemos obtenido este TPDA se procede a calcular el tránsito de diseño empleando los factores antes mencionados.

3.2.9.1. Periodo de diseño

Debido a las características y volumen de tráfico que circula por el tramo en estudio, la carretera se puede clasificar de acuerdo a su funcionalidad como una local rural, esto se debe a que se encuentra en una zona rural y el transito promedio diario anual es de 428 vehículos por día. Basado en lo especificado en el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (Coronado Iturbide, 2002), debido a que no se conocen periodos de diseño para las carreteras locales rural, se seleccionó un periodo de diseño de 15 años perteneciente a las colectoras rurales.

Tabla 17: Periodos de diseño

Tipo de Carretera	Período de Diseño
Urbana de alto volumen de tráfico	20 - 40 años
Troncales suburbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20 años
Colectoras Rurales	

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

3.2.9.2. Factor de crecimiento

Es uno de los factores usados en el cálculo de tránsito de diseño a un periodo de diseño, para el cálculo del factor de crecimiento se hace uso de la tasa de crecimiento y el periodo de diseño a como es mostrado en la siguiente formula.

$Fc = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right)$ Ec15, ecuación tomada de (Coronado Iturbide, 2002)

Siendo:

i= Tasa de crecimiento

n= Periodo de diseño

$$Fc = \frac{(1 + 4.4\%)^{15} - 1}{4.4\%} = 20.69$$

Tabla 18: Factor crecimiento

Tasa crecimiento vehicular	4.4%
Factor Crecimiento	20.69

Fuente: Elaboración propia

3.2.9.3. Factor carril

En base a que nuestro tramo en estudio solo presenta un carril por cada dirección y a lo establecido en el Manual centroamericano para el Diseño de Pavimentos (Coronado Iturbide, 2002). Nuestro factor carril tiene el valor de 1, esto lo podemos apreciar en la Tabla 19.

Tabla 19: Factor de distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección	**LC[11]**
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: **Fuente especificada no válida.**

3.2.9.4. Factor dirección

Tabla 20: Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	LD[10]
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: **Fuente especificada no válida.**

En el capítulo 3 del Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimento (Coronado Iturbide, 2002), se nos presenta la Tabla 20, en la cual se nos indica el factor de distribución por dirección basándose en el número de carriles que tenemos en ambas direcciones, teniendo nuestro tramo dos carriles, por consiguiente, nuestro factor dirección tendrá un valor de 0.50.

3.2.9.5. Cálculo del tránsito de diseño

Con la recopilación del periodo de diseño, el factor crecimiento, el factor de distribución por carril, el factor de distribución por dirección y el TPDA calculado en la etapa anterior, se realizó el calculó del tránsito de diseño mediante la Ecuación 8, pág. 12. En la Tabla 21, pág.56, se muestra el cálculo de TD, teniendo un total de 1,616,288 vehículos para el periodo de diseño de 15 años.

$$TD_{C3} = 4 * 1 * 0.5 * 20.69 * 365 = 15105\ Veh$$

Tabla 21: Tránsito de diseño

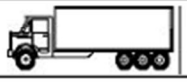
Grupo	Moto	Autos	Jeep	Camionetas	Mcbus <15pas.	Mn 15-30 s.	Bus	C2 Liv 2-5 ton	C2 > 5 Ton	C3	Tx-Sx <=4e	Cx-Rx >=5e
TPDA	213	19	15	137	7	1	15	7	6	4	2	2
Factor Carril	20.69	20.69	20.69	20.69	20.69	20.69	20.69	20.69	20.69	20.69	20.69	20.69
Factor Carril	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor Dirección	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Días del año proyectados	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
Tránsito de diseño	804367	71751	56646	517363	26435	3776	56646	26435	22658	15105	7553	7553

Fuente: Elaboración propia.

3.2.10. ESAL

Para el cálculo de los ESAL´S se debe tener el factor de equivalencia FESAL, para ello es necesario de conocer los pesos de vehículos por ejes, para conocer estos pesos se basó en la Tabla 22, donde se nos indica el peso por cada tipo de eje.

Tabla 22: Diagrama de cargas permisibles

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Basado en el capítulo 3 del Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimento, es necesario conocer el índice de serviciabilidad en nuestro caso el índice de serviciabilidad inicial tendrá un valor de 4.2 y un índice de serviciabilidad final de 2, esto debido a que nuestro tramo contara con pavimento flexible y tiene un tránsito menor.

También debe de tomarse en cuenta el número estructural (SN), esto en dependencia del tipo importancia de la vía, se seleccionó un SN= 3. Conociendo el peso vehicular por eje, el índice de serviciabilidad final y el valor SN, podremos conocer el valor FESAL, mediante las tablas que aparecen en el Manual Centroamericano Para el Diseño de Pavimento 2002, (Capitulo 3, pág., 6-14).

Para conocer el valor del FESAL, tendremos casos donde habrá que interpolar ciertos valores no definidos en él (Coronado Iturbide, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, 2002), para la realización de la interpolación se hará uso de la Ecuación 12.

$$\boldsymbol{y} = \frac{(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{x_1})\boldsymbol{y_2}+(\boldsymbol{x_2}-\boldsymbol{x})\boldsymbol{y_1}}{(\boldsymbol{x_2}-\boldsymbol{x_1})}$$ Ec.16 Obtenida de (Spiegel & Stephens, 2009)

A continuación, un ejemplo del cálculo del FESAL, haciendo uso de la interpolación.

$$FESAL_{2.2\ kip} = \frac{(2.2\ kip - 2\ kip) * 0.002 + (4\ kip - 2.2\ kip) * 0.0002}{4\ kip - 2\ kip} = 0.00038$$

Con el cálculo de cada uno de los FESAL, se procede a calcular el valor de ESAL para cada tipo de eje, para ello se multiplicará el tránsito de diseño de cada vehículo por el factor FESAL en dependencia de sus ejes, con el cálculo del ESAL por eje se realiza la sumatoria para conocer el ESAL total por vehículo.

Como forma de demostración se calculará el ESAL de un C3.

$ESAL_1 = 15105 * 0.1395 = 2107.15$

$ESAL_2 = 15105 * 1.4325 = 21637.91$

$ESAL_{Total} = 2107.15 + 21637.91 = 23745$

Así se obtiene el valor del ESAL para un vehículo C3. En la Tabla 23, Pág. 59, se muestran los resultados por cada vehículo teniendo un ESAL total de 292,532 PSI.

Tabla 23: ESAL´S de diseño

		Tránsito de Diseño	Peso por eje (KIP)	Tipo de eje	FESAL	ESALS de diseño	ESAL´S Total por vehículo
Vehículos Livianos	Moto	804367					
	Automóvil	71751	2.2	Simple	0.00038	27.26538	55
			2.2	Simple	0.00038	27.26538	
	Jeep	56646	2.2	Simple	0.00038	21.52548	43
			2.2	Simple	0.00038	21.52548	
	Camioneta	517363	2.2	Simple	0.00038	196.59794	2163
			4.4	Simple	0.0038	1965.9794	
Vehículos de Pasajeros	Micro bus	26435	4.4	Simple	0.0038	100.453	1623
			8.8	Simple	0.0576	1522.656	
	Minibús	3776	8.8	Simple	0.0576	217.4976	3701
			17.6	Simple	0.9226	3483.7376	
	Bus	56646	11	Simple	0.1395	7902.117	141020
			22	Simple	2.35	133118.1	
Vehículos pesados de carga	Liviano	26435	8.8	Simple	0.0576	1522.656	25912
			17.6	Simple	0.9226	24388.931	
	C2	22658	11	Simple	0.1395	3160.791	56407
			22	Simple	2.35	53246.3	
	C3	15105	11	Simple	0.1395	2107.1475	23745
			36.3	Doble	1.4325	21637.9125	
	Tx-Sx<=4e	7553	11	Simple	0.1395	1053.6435	21930
			19.8	Simple	1.504	11359.712	
			35.2	Doble	1.26	9516.78	
	Cx-Rx>=5e	7553	11	Simple	0.1395	1053.6435	15933
			35.2	Doble	1.26	9516.78	
			44	Triple	0.71	5362.63	
		ESAL´S de Diseño					**292,532**

Fuente: Elaboración propia

3.3 Estudio de suelos

3.3.1 Generalidades

Los análisis de suelos desempeñan un papel crucial en la planificación de una vía, ya que influyen en muchos de los parámetros necesarios para llevar a cabo el diseño de las estructuras de pavimento.

Siguiendo la definición de (Das, 2013), la ingeniería geotécnica se entra en examinar las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en la superficie como en el subsuelo, incorporando los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en la planificación de cimientos, estructuras de contención y obras de tierra.

En este acápite, se presentan los resultados derivados del estudio de suelos realizado en la sección Aceituno–Estelí, ubicada en el municipio del Estelí, departamento de Estelí. Estos estudios se llevaron a cabo mediante sondeos manuales realizados a intervalos de 500 metros a lo largo de la sección, esto debido a situaciones económicas."

3.3.2 Metodología

El presente estudio de suelos se llevó a cabo a través de sondeos manuales de 1.5 metros de profundidad, distribuidas en intervalos de 500 metros a lo largo del tramo. Se tomaron muestras de cada estrato identificado durante los sondeos, las cuales posteriormente fueron analizadas en el laboratorio.

Se revisaron los resultados derivados del análisis de suelos del depósito de materiales, los cuales deben cumplir con las reglas establecidas en la norma NIC - 2019.

En la Tabla 24, pág. 61, se muestra cada uno de los ensayes realizados en base a las normas AASHTO.

El proceso de clasificación de los suelos se realizó por medio del método AASHTO que es el que se sugiere para proyectos viales.

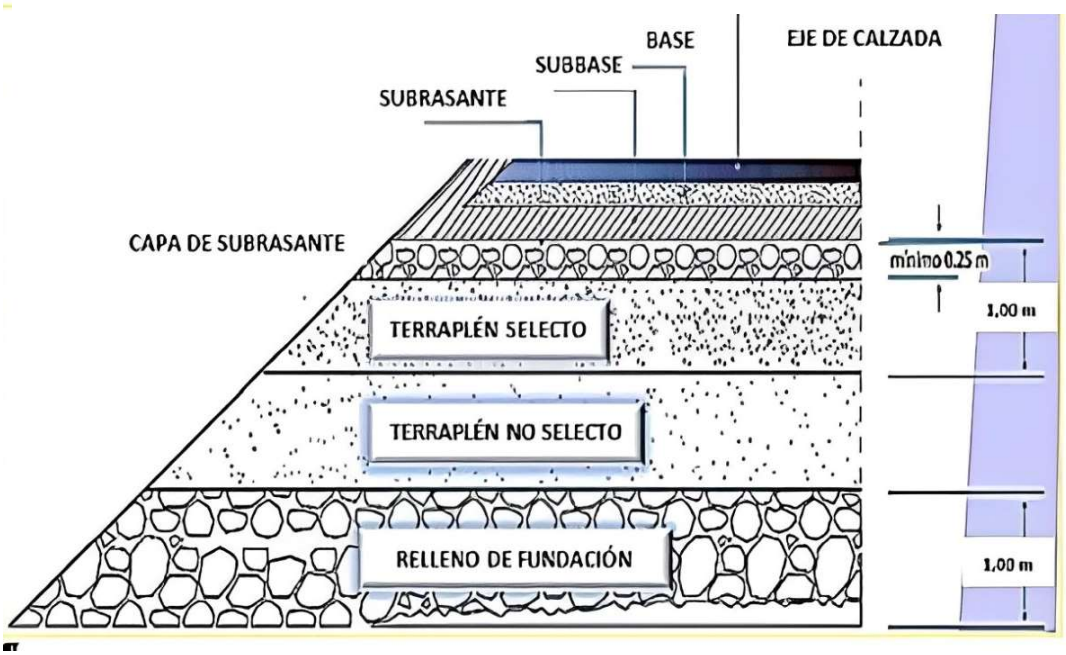
En relación con la estratigrafía, se define la subrasante de la carretera; asimismo, es crucial considerar lo establecido por la norma NIC - 2019, que establece el requisito mínimo en 25 cm, como se muestra en la figura 12, pág. 61.

Tabla 24Ensayos de suelo de acuerdo con las normas AASHTO

Ensayo	Norma
Granulometría	AASHTO T 27 - 88
Límite Líquido	AASHTO T89
Índice de plasticidad	AASHTO T 90
CBR	AASHTO T 180

Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Espesores mínimos de estructuras de pavimento.



Fuente: Normas NIC – 2019

Los sondeos manuales que se realizaron a lo largo del tramo, alternando entre la banda derecha, banda izquierda y línea central. Estos se encuentran ubicados en las estaciones que se muestran a continuación en la Tabla25. pág. 62.

Tabla 25 Referencias de sondeos manuales del tramo en estudio (Banda Derecha, Izquierda y Línea Central)

N° Sondeo	Banda	Referencia
1	Izquierda	14+000
2	L.C	14+500
3	Derecha	15+000
4	Izquierda	15+500
5	L.C	16+000
6	Derecha	16+500
7	Izquierda	17+000

Fuente: Elaboración propia

.3.3.3. Análisis granulométrico de los sondeos manuales

Siguiendo las pautas establecidas en la norma AASHTO T 27-88, se examinaron las muestras de suelo recolectadas durante los sondeos, abordando cada estrato identificado de manera individual.

Se ajustó el método mecánico de tamizado utilizando las aberturas de tamices especificadas en (Das, 2013), las cuales se detallan en la tabla 26, pág. 63.

El procedimiento para seguir fue el siguiente:

- Por medio de cuarteos se saca una muestra representativa aproximadamente de unos 200gr.
- Se pasa dicha muestra por las mallas desde 2” hasta la No.4, y se pesa el retenido en cada una de las mallas
- Del material que pasa la malla No.4 se toma una cierta cantidad y se coloca en un vaso con agua, dejando que el material se remoje unas 12 horas.
- Con un agitador metálico se agita el contenido del vaso y se vacía luego sobre la malla No.200, se vacía nuevamente el material al vaso lavando la malla en posición invertida y se repite este paso hasta que el agua no salga turbia.
- Se elimina el agua y se pone la muestra a secar en un horno a temperatura constante, se pesa y la diferencia de la muestra tomada será el porcentaje que pasa la malla No.200

- Se vacía el material que pasó la malla No.4 y se retuvo en la 200 para que pase lo correspondiente por las demás mallas No. 10 y 40, pesando el material retenido.
- Una vez teniendo los pesos retenidos se pueden obtener los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulados y los porcentajes que pasan

Tabla 26 Aberturas de tamices

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

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Cuarta Edición (Das 2013, pág. 34)

Los resultados del análisis granulométrico de cada uno de los sondeos manuales se presentan en la Tabla 27

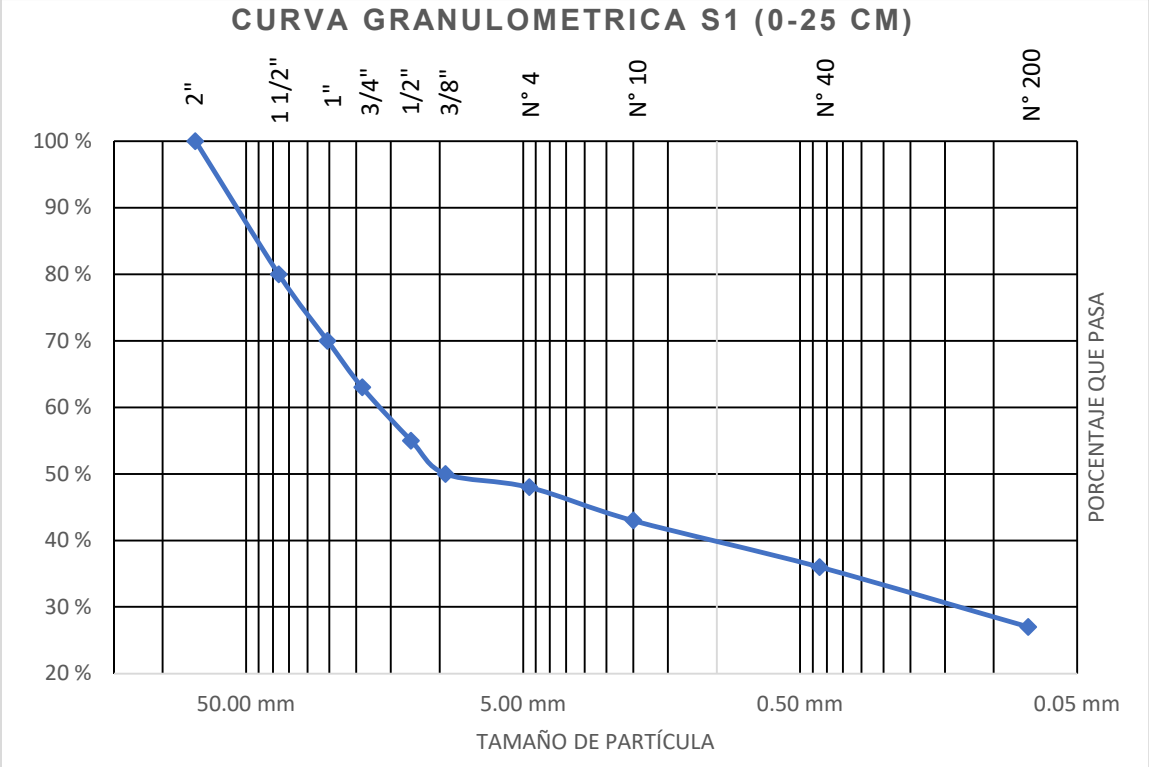
Tabla 27 Análisis granulométrico para cada sondeo manual del tramo Aceituno – El Sauce

N° Sondeo	Banda	N° muestra	Prof (cm)	% pasa por el tamiz									
				2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
S1	Izquierda	1	0-25	100	80	70	63	55	50	48	43	36	27
			25-150	100	100	100	100	91	83	79	75	69	34
S2	L.C	2	0-35	100	100	100	96	77	60	55	50	44	33
			35-150	100	100	100	100	93	88	84	75	61	22
S3	Derecha	3	0-27	100	80	75	66	57	56	50	47	41	35
			27-150	100	100	100	100	87	80	75	69	55	29
S4	Izquierda	4	0-40	100	100	98	90	79	71	64	60	42	30
			40-150	100	100	100	100	86	80	76	73	52	32
S5	L.C	5	0-10	100	90	71	68	54	45	40	38	33	25
			10-35	100	95	77	70	61	55	52	50	48	37
			35-150	100	100	100	100	87	85	81	77	71	65
S6	Derecha	6	0-40	100	100	91	87	50	48	44	38	27	15
			40-150	100	100	100	100	95	91	80	60	49	30
S7	Izquierda	7	0-40	100	100	100	96	86	83	77	58	44	28
			40-150	100	100	100	100	90	87	70	65	48	35

Fuente: Elaboración propia

Además, se muestran las curvas granulométricas de cada uno de los análisis realizados de los distintos sondeos manuales del tramo en estudio. (Ver Figura 12 S – 1; (Ver Anexos, figura 37– 50, pág. IV – XI), para sondeos manuales restantes.

Figura 13 Curva granulométrica para SM – 1 (0-25cm)



Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Límites de atterberg

En los sondeos manuales que se analizaron del tramo en estudio, se realizaron los ensayos de límite líquido y límite plástico, posteriormente se determinó el índice de plasticidad, que son utilizados para la clasificación del suelo. Para la determinación del límite líquido se tomaron en cuenta las normas AASHTO T89 y para el límite de plástico las normas AASHTO T90. Para cada análisis, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28 Limites de consistencia

N° Sondeo	N° Muestra	Banda	Profundidad (cm)	Limite Liquido %	Limite Plástico %	Índice de Plasticidad %
S1	1	Izquierda	0-25	28.0	16.0	12.0
			25-150	45.0	28.0	17.0
S2	2	L.C	0-35	38.0	24.0	14.0
			35-150	42.0	28.0	14.0
S3	3	Derecha	0-27	34.0	24.0	10.0
			27-150	49.0	34.0	15.0
S4	4	Izquierda	0-40	28.0	18.0	10.0
			40-150	35.0	26.0	9.0
S5	5	L.C	0-10	39.0	31.0	8.0
			10-35	48.0	39.0	9.0
			35-150	49.0	41.0	8.0
S6	6	Derecha	0-40	37.0	34.0	3.0
			40-150	28.0	16.0	12.0
S7	7	Izquierda	0-40	40.0	29.0	11.0
			40-150	33.0	25.0	8.0

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Estratigrafía de suelos

3.3.5.1. Resultados de los sondeos sobre la línea

. Se empleó el Método AASHTO para categorizar los suelos, ya que es comúnmente utilizado en los proyectos de carreteras

A continuación, se presentan los resultados derivados del análisis de cada muestra de suelo recopilada durante los sondeos manuales, detallando minuciosamente las características correspondientes de su estratigrafía.

Durante la realización del primer sondeo (S1) se apreciaron dos estratos diferentes que predominaban en las profundidades descritas a continuación:

- En la primera profundidad comprendida en 0-25 cm, se identificó un suelo con limos o grava arcillosa y arena, y su nomenclatura según la ASSHTO es un suelo A-2-6(0) en el cual se denotas las siguientes características:
    - El porcentaje que pasa el tamiz numero 200 es de un 27%
    - Posee un límite liquido de 28% y un índice de plasticidad de 12%
- En la segunda profundidad comprendida en el rango de 25- 150 cm, se identificó un tipo de suelo A-2-7(0) según AASHTO el cual se considera como limo o grava arcillosa. Este cuenta con un límite liquido de 45% y un índice plástico de 17%. Este suelo es clasificado como excelente a bueno en la clasificación general de la subrasante.

En el sondeo número dos (S-2), se encontraron los siguientes estratos:

- En la primera capa comprendida entre la profundidad de 0 – 35 cm se encontró un suelo con grava arcillosa clasificado como A-2-6(0) en el cual se determinó un límite liquido de 38% y un índice de plasticidad de 14%. Este tipo de suelos es clasificado como excelente a bueno en subrasantes.
- En la segunda capa comprendida entre la profundidad de 35 – 150 cm se encontró con un suelo tipo A-2-7(1) el cual es clasificado como suelo con limo o grava arcillosa y arena. Este posee un límite líquido de 42% y un índice de plasticidad de 14%, además este tiene un índice de grupo igual a 1 lo que indica presencia de plasticidad en el suelo.

En el sondeo número tres (S-3), se encontraron dos tipos de estratos con las siguientes características:

- En la primera capa a una profundidad de 0 – 27 cm se encontró un suelo tipo A-2-4(0), posee un límite liquido de 34% y un índice de plasticidad de 10%. Este grupo es clasificado como bueno para subrasante
- En la segunda capa comprendida entre 27 – 150 cm de profundidad se clasificó como un suelo con limo o grava arcillosa y arena el cual tiene la nomenclatura de A-2-7(1), este posee un límite liquido de 49%, un índice de plasticidad de 15% y un índice de grupo de 1 lo que indica que contiene plasticidad en el suelo.

En el sondeo número tres (S-4), se encontraron dos tipos de estratos con las siguientes características:

- En la primera capa a una profundidad de 0 – 40 cm se encontró un suelo tipo A-2-4(0), posee un límite liquido de 28% y un índice de plasticidad de 10%. Este grupo es clasificado como bueno para subrasante
- En la segunda capa a una profundidad de 40 – 150 cm se encontró un suelo tipo A-2-4(0), posee un límite liquido de 35% y un índice de plasticidad de 9%. Este grupo es clasificado como bueno para subrasante

En el sondeo número dos (S-5), se encontraron los siguientes estratos:

- En la primera capa a una profundidad de 0 – 10 cm se encontró un suelo tipo A-2-4(0), posee un límite liquido de 39% y un índice de plasticidad de 8%. Este grupo es clasificado como bueno para subrasante
- En la segunda capa a una profundidad de 10 – 35 cm se encontró un suelo tipo A-5(4), el cual es denominado según AASHTO como un suelo regular a malo posee un límite liquido de 48% y un índice de plasticidad de 9%, además denota un índice de grupo de 4 lo que indica presencia considerable de plasticidad en ese estrato.
- En la tercera capa comprendida a una profundidad de 35 – 150 cm se encontró un suelo tipo A-5(1), el cual es denominado según AASHTO como un suelo regular a malo posee un límite liquido de 49% y un índice de

plasticidad de 8%, además denota un índice de grupo de 1 lo que indica presencia de plasticidad en ese estrato.

En el sondeo número tres (S-6), se encontraron dos tipos de estratos con las siguientes características:

- En la primera capa a una profundidad de 0 – 40 cm se encontró un suelo tipo A-1-a(0), lo cual indica unos fragmentos de roca, arena y grava, posee un límite liquido de 37% y un índice de plasticidad de 3%. Este grupo es clasificado como bueno para subrasante
- En la segunda capa a una profundidad de 40 – 150 cm se encontró un suelo tipo A-2-6(0), posee un límite liquido de 28% y un índice de plasticidad de 12%. Este grupo es clasificado como bueno para subrasante

En el sondeo número tres (S-7), se encontraron dos tipos de estratos con las siguientes características:

- En la primera capa a una profundidad de 0 – 40 cm se encontró un suelo tipo A-2-6(0), posee un límite liquido de 40% y un índice de plasticidad de 11%. Este grupo es clasificado como bueno para subrasante
- En la segunda capa a una profundidad de 40– 150 cm se encontró un suelo tipo A-2-4(0), posee un límite liquido de 33% y un índice de plasticidad de 8%. Este grupo es clasificado como bueno para subrasante

Se presenta un resumen de los resultados obtenidos de las muestras a lo largo del tramo en las tablas 29-30 pág.70-71.

Tabla 29 Resultado de análisis de suelos

N° Sondeo	Banda	N° muestra	Prof (cm)	Clasificación AASHTO	% pasa por el tamiz			Límites de consistencia		CBR 95%
					N° 10	N° 40	N° 200	Limite Liquido %	Índice de Plasticidad %	
S1	Izquierda	1	0-25	A-2-6(0) Grava y arena limosa	43	36	27	28.0	12.0	12.00
			25-150	A-2-7(0) Grava y arena arcillosa	75	69	34	45.0	17.0	12.00
S2	L.C	2	0-35	A-2-6(0) Grava y arena limosa	50	44	33	38.0	14.0	12.00
			35-150	A-2-7(1) Grava y arena limosa	75	61	22	42.0	14.0	12.00
S3	Derecha	3	0-27	A-2-4(0) Grava y arena limosa	47	41	35	34.0	10.0	37.00
			27-150	A-2-7(1) Grava y arena limosa	69	55	29	49.0	15.0	12.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30 Resultados de análisis de suelos

N° Sondeo	Banda	N° muestra	Prof (cm)	Clasificación AASHTO	% pasa por el tamiz			Límites de consistencia		CBR 95%
					N° 10	N° 40	N° 200	Limite Liquido %	Índice de Plasticidad %	
S4	Izquierda	4	0-40	A-2-4(0) Grava y arena limosa	60	42	30	28.0	10.0	37.00
			40-150	A-2-4(0) Grava y arena limosa	73	52	32	35.0	9.0	37.00
S5	L.C	5	0-10	A-2-4(0) Grava y arena limosa	38	33	25	39.0	8.0	37.00
			10-35	A-5(4) Suelos limosos	50	48	37	48.0	9.0	7.00
			35-150	A-5(1) Suelos limosos	77	71	65	49.0	8.0	7.00
S6	Derecha	6	0-40	A-1-a(0) Fragmentos de roca, grava y arena	38	27	15	37.0	3.0	55.00
			40-150	A-2-6(0) Grava y arena limosa	60	49	30	28.0	12.0	12.00
S7	Izquierda	7	0-40	A-2-6(0) Grava y arena limosa	58	44	28	40.0	11.0	12.00
			40-150	A-2-4(0) Grava y arena limosa	65	48	35	33.0	8.0	37.0

Fuente: Elaboración propia.

Los suelos encontrados a lo largo de los 3 kilómetros., aquí reportados, están representados, por 5 Grupos, según la tabla de clasificaciones de la AASHTO. Cada grupo o tipo de suelo, se encuentra formando parte de zonas, con características físico-mecánicas similares, a lo largo de la longitud del tramo

A continuación, en la tabla 31, se describe la distribución de cada tipo de suelo, dentro de su zona, en la profundidad explorada.

Tabla 31 Distribución de suelos por grupo

N° de grupo	Clasificación	N° de muestra	% Representación
1	A-1-a	1	7%
4	A-2-4	5	33%
6	A-2-6	4	27%
7	A-2-7	3	20%
9	A-5	2	13%
Total		**15**	**100%**

Fuente: Elaboración propia.

Grupo A-1-a

. Este grupo está representado en el tramo en estudio por suelos granulares conteniendo grava y arena, distribuida de forma parcial a lo largo del tramo, este grupo presenta 1 muestra, el cual representa 7 % el total de muestras (15 muestras), la profundidad de deposición de estos, oscilo entre 0.0 y 0.4m.

El valor de limite liquido fue de 37%, el Índice de Plasticidad oscila entre no plástico (0) y 6%.

Grupo A-2-4.

Este grupo está representado en el tramo en estudio por suelos gravo arenosos, limosos, están ubicados de forma parcial a lo largo del tramo con una cantidad de muestras de 5 que representan el 33% de las 15 muestras extraídas, la profundidad de deposición de estos, oscilo entre 0.20 y 01.50m.

Los valores de Limite Liquido oscila entre 28 y 34%, el Índice de Plasticidad oscila entre 8 y 10%.

Grupo A-2-6.

Este grupo está representado en el tramo de estudio por suelos gravo arenosos arcillosos, ubicados de forma parcial a lo largo del tramo con un total de 4

muestras que representan el 27% del total de muestras extraídas, la profundidad de deposición de estos, oscilo entre 0.25 y 1.50m. Los valores de Limite Liquido oscila entre 28 y 40%, el Índice de Plasticidad oscila entre 11 y 14%.

Grupo A-2-7.

Este grupo está representado en el tramo en estudio por areno arcillosos, ubicados de forma parcial a lo largo del tramo con un total de 3 muestras que representan el 20% de las muestras extraídas, la profundidad de deposición de estos, oscilo entre 0.0 y 1.50m.

Los valores de Limite Liquido oscila entre 42 y 49%, el Índice de Plasticidad oscila entre 14 y 17%.

Grupo A-5.

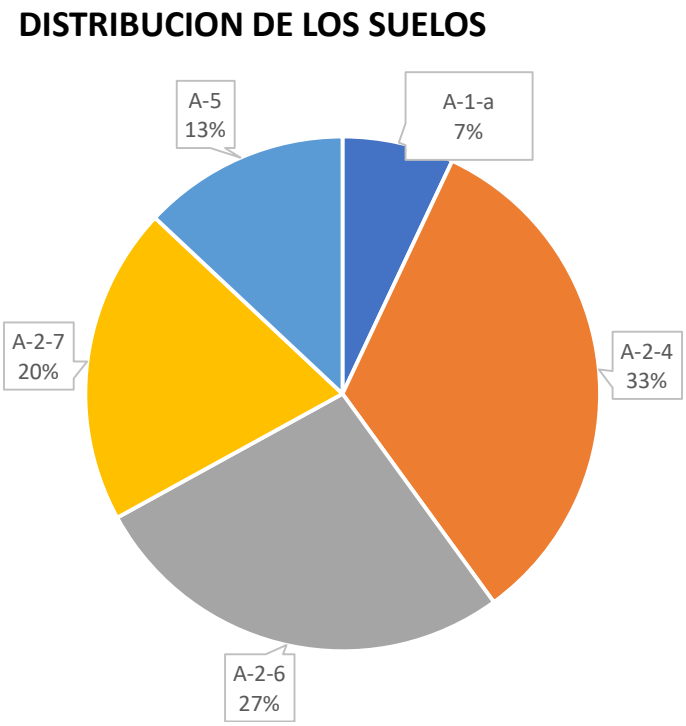
Este grupo está representado en el tramo en estudio por suelos limosos, la profundidad de deposición de estos, oscilo entre 0.60 y 1.50m.

En esta sección del tramo los valores de Limite Liquido oscila entre 39 y 49%, el Índice de Plasticidad oscila entre 8 y 9%.

El número de muestras encontradas a lo largo del tramo es mínimo (2 muestras) que equivale al 13% del total de muestras extraídas.

En la figura 14 pág. 74 se puede observar la distribución de los tipos de suelos de acuerdo con su clasificación.

Figura 14 Distribución de suelo



Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 se muestra la ubicación de los sondeos manuales los cuales fueron tomados a lo largo del tramo de tres kilómetros.

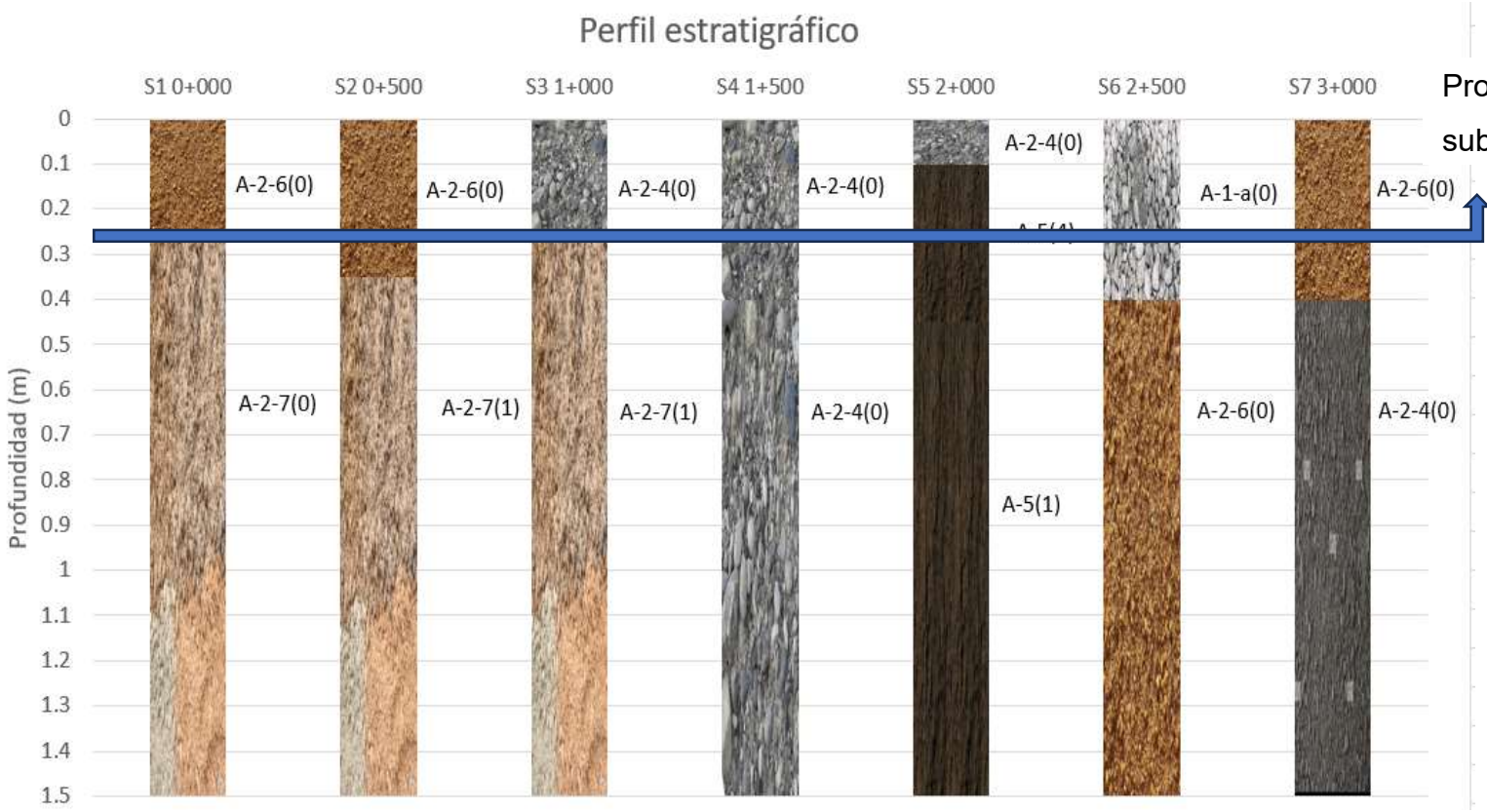
Figura 15 Ubicación satelital de sondeos manuales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 16, pág. 76 se observa detenidamente la clasificación y distribución de las columnas estratigraficas.

El corte de la subrasante se definió a los 25 cm tomando como referencia lo establecido en la norma NIC – 2019, (ver figura 12, pág. 61) y porque a esa profundidad los suelos predominantes son los grupos A-2-4 y A-2-6 y que según la tabla de clasificación de suelos AASHTO, se consideran de excelentes a buenos para ser utilizados en la subrasante. Además,

Figura 16 Columnas estratigráficas



Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Resultado del estudio de suelos del banco de materiales.

Los trabajos geotécnicos de campo corresponden a la realización de muestreos en bancos, una vez tomadas las muestras de los bancos de materiales, estas fueron resguardadas y llevadas al laboratorio en donde se analizaron y los resultados se detallan en la tabla 32.

Tabla 32 Estudio de suelos de bancos de material

Nombre del Banco	Estación	Banda	Calicata	Muestras por calicata	N° de muestras	Profundidad (cm)	Límite		Clasificación	CBR
			N°	N°			L.L	I.P	AASHTO	%
Rosa Mendoza	11+200	Izquierda	1	1	1	10-80	29	9	A-2-4(0)	80
			2	2	2	10-50	31	7	A-2-4(0)	79
				2	3	50-90	28	7	A-2-4(0)	81
			3	3	4	0-70	29	9	A-2-4(0)	80
Banco Alejo Peralta-2	12+200	Izquierda	4	1	5	10-70	31	8	A-2-4(0)	79
			5	2	6	15-120	0	0	A-1-b(0)	60
				3	7	120-200	0	0	A-1-b(0)	55
			6	4	8	10-30	0	0	A-1-b(0)	58

Fuente: Elaboración propia

En cada fuente de préstamo se realizaron 3 calicatas, a cielo abierto, ensayándose de forma individual, clasificando la muestra predominante como: A-2-4(0), A-1-b (0).

Los materiales clasificados según la AASHTO como son, A-1-b (0), A-2-4(0), A-2-6(0), A-2-7(0) estos materiales índice grupo “cero” presentan una plasticidad variable entre nula a poca y media, corresponden a materiales gravosos con alto contenido de arena los cuales pueden ser utilizados como material de subrasante y subbase, presentando una excelente calidad y en el caso de las ultimas clasificaciones, baja plasticidad.

3.3.6.1 Análisis del banco de material.

El banco de materia propuesto en la estructura de pavimento que serán utilizados como base y subbase de esta, deberán cumplir con las normas establecidas en la NIC 2019, las cuales se aprecian en la Tabla 33.

Tabla 33 Especificaciones de los materiales para base y subbase granular

Limite liquido	AASHTO T89		25 Max
Índice de Plasticidad	AASHTO T90	Subbase	6 Max
		Base	0 Max
CBR	AASHTO T190		
95% Proctor modificado y 4 días de saturación	AASHTO T180	Subbase	30% min
		Base	80% min

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

Después de revisar el banco de material, se han extraído los resultados que se muestran en la Tabla 34. Estos resultados comparan los datos finales con los criterios establecidos por la norma NIC 2019.

Tabla 34 Evaluación de banco de material Rosa Mendoza

Ensayo		Norma	Requisito	Valor obtenido	Condición
Límite líquido		AASHTO T 89	25% máx.	25%	Cumple
Índice de plasticidad		AASHTO T 90	6% máx.	5%	Cumple
CBR	**Base**	AASHTO T 190	80% min	80%	Cumple
	Subbase		30% min		Cumple

Fuente: Elaboración propia

Según lo estipulado en la norma NIC 2019 y considerando los datos previamente presentados, se observa que este banco de material es adecuado tanto para la base como para la subbase de la estructura de pavimentos, ya que cumple con los estándares requeridos.

Tabla 35 Evaluación de banco de materia Alejo Peralta

Ensayo		Norma	Requisito	Valor obtenido	Condición
Límite líquido		AASHTO T 89	25% máx.	31%	No cumple
Índice de plasticidad		AASHTO T 90	6% máx.	8%	No cumple
CBR	**Base**	AASHTO T 190	80% min	80%	Cumple
	Subbase		30% min		Cumple

Fuente: Elaboración propia

Según lo estipulado en la norma NIC 2019 y considerando los datos previamente presentados en la tabla 35, se observa que este banco de material no cumple del todo con los estándares requerido, teniendo como requisito aceptable el valor de CBR.

Por lo tanto, basándose en las características de los materiales encontrados en los bancos de material analizados para el tramo y su cumplimiento con los requisitos de CBR, donde el mínimo requerido es del 80% según la norma NIC 2019, se concluye que este banco de material Rosa Mendoza es adecuado para ser utilizado como base granular. Además, también satisface el requisito establecido por la norma, que exige un mínimo del 30% para su uso como subbase, ya que alcanza un 80% de cumplimiento en este aspecto.

3.3.6.2 Capacidad de explotación de bancos de material

Se analizó la capacidad de explotación de los bancos de material para determinar el volumen de extracción de material posible los cuales se detallan en la tabla 36.

Tabla 36 Uso y volumen aproximado de banco de material

N°	Nombre del banco	Ubicación	Clasificación del material del banco	Estado	Tipo de material	Uso del banco	Área del banco (m2)	Volumen aproximado m3
1	Rosa Mendoza	Estación 11+200 banda izquierda	A-2-4	Previamente explotado	Selecto	Subbase y terracería	15,940.76	266,500.00
2	Banco Alejo Peralta-2	Estación 12+200 banda izquierda	A-1-b, A-2-4	Previamente explotado	Selecto	Sub- Base y terracería	14,249.71	166,700.00

Fuente: Elaboración propia

3.3.7 CBR de diseño

Según lo mencionado por Crespo Villalaz (Crespo Villalaz, 2004), el CBR representa un indicador de la resistencia al esfuerzo cortante bajo condiciones específicas de compactación y humedad. Este parámetro permite evaluar la calidad del terreno para diversos propósitos, como la construcción de subrasantes, así como para determinar la subbase y la base del pavimento.

Los valores del CBR analizados en el tramo bajo estudio deben cumplir con los criterios establecidos en la norma NIC 2019, los cuales se detallan en la tabla 37. La medición del CBR en el tramo se realizó a una profundidad de subrasante de 0.25 metros, siguiendo el requisito mínimo estipulado por la norma NIC 2019.

Tabla 37 Especificaciones de terraplén y subrasante

Ensayo	Norma	Terraplén	Subrasante
		Valor requerido	Valor requerido
Limite liquido	AASHTO T89	40 máx.	30 máx.
Índice de Plasticidad	AASHTO T90	25 máx.	10 máx.
CBR al 95% Proctor modificado y 4 días de saturación	AASHTO T190	5% min	15% min

Fuente: Normas NIC-2019

Para realizar la determinación del CBR de Diseño, se debe seguir la siguiente metodología:

a. Examinar todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la subrasante para así, emplearlos en el diseño del CBR.

b. Ordenar los valores de manera ascendente, determinando la continuidad de cada uno de ellos. Así mismo, el porcentaje de valores que sean iguales o mayores de cada uno.

c. Por último, se realiza un gráfico que simbolice los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determinará el CBR con el percentil que sea correspondiente, dependiendo del número de ejes equivalente en el carril de diseño.

3.3.7.1 Identificación de subrasante

En la actualidad, la capa de rodamiento sobre terracería tiene un grosor aproximado de 0.25 metros en la mayoría de los estacionamientos. Por lo tanto, la profundidad a la que se evalúa la subrasante se ajusta a este valor. De acuerdo con los sondeos manuales previamente realizados, se identificaron diferentes tipos de suelo, tales como gravas, gravas limosas y arcillosas, denominados, A-5, A – 2-6, A – 1 – a, A - 2 – 4, A – 2 – 7.

Estos suelos se clasifican según la AASHTO, donde se considera excelente o bueno para la subrasante. Es esencial determinar el valor de CBR de la subrasante, ya que influye en otros parámetros de diseño de pavimentos, como el Módulo de Resiliencia (MR). Para obtener el percentil en el CBR de Diseño de la subrasante, se puede consultar la tabla 38 como referencia.

Tabla 38 Percentil de diseño para subrasante.

Nivel de Transito	Valor de percentil para diseño de subrasante
10^4 o menos	60
Entre 10^4 y 10^6	**75**
10^6 o mas	87.5

Fuente: Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1)

Usando la información proporcionada en la tabla 39, pág. 83, que muestra los CBR acumulados para determinar el CBR de diseño de la subrasante, y la tabla 40, pág. 83, donde se elige el CBR de diseño, junto con el valor de ESAL de diseño de 292,532 psi (consultar Tabla 23, pág. 59), del cual se considera el 75% como el percentil de los valores iguales o mayores, y el CBR del tramo actual determinado en la figura 17, pág. 84, se calcula un valor de CBR de diseño de la subrasante de 17%.

Tabla 39 CBR de subrasante

Sondeo	N° de muestra	Profundidad (cm)	Clasificación	% de CBR (95%)
SM-1	1	0-25	A-2-6(0)	12
		25-150	A-2-7(0)	12
SM-2	2	0-35	A-2-6(0)	12
		35-150	A-2-7(1)	12
SM-3	3	0-27	A-2-4(0)	37
		27-150	A-2-7(1)	12
SM-4	4	0-40	A-2-4(0)	37
		40-150	A-2-4(0)	37
SM-5	5	0-10	A-2-4(0)	37
		10-35	A-5(4)	7
		35-150	A-5(1)	7
SM-6	6	0-40	A-1-a(0)	55
		40-150	A-2-6(0)	12
SM-7	7	0-40	A-2-6(0)	12
		40-150	A-2-4(0)	37

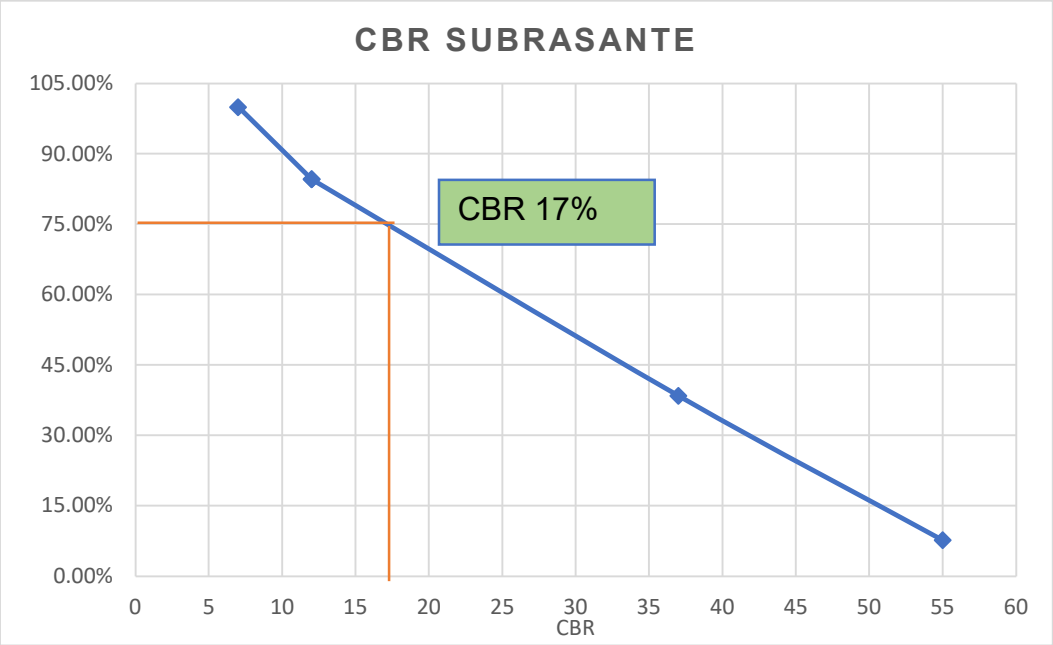
Fuente: Elaboración propia

Tabla 40 Selección de CBR para diseño de subrasante

Clasificación AASHTO	CBR	FRECUENCIA	Cantidades mayores o iguales	%
A-5(4)	7	2	13	100.00%
A-2-7(0)	12	3	11	84.62%
A-2-6(0)	12	3	11	84.62%
A-2-4(0)	37	4	5	38.46%
A-1-a(0)	55	1	1	7.69%
Sumatoria		13		

Fuente: Elaboración propia

Figura 17 CBR de diseño de subrasante



Fuente: Elaboración propia

El valor de CBR de la subrasante, que es del 17%, cumple con el mínimo recomendado por la norma NIC-2019. Según la tabla 37, pág. 81 el valor mínimo establecido es de 15%

3.4 Diseño de estructura de pavimento

3.4.1. generalidades

En el contexto del diseño de estructuras para pavimentos flexibles, es fundamental contar con herramientas que permitan determinar el espesor adecuado del pavimento. En este sentido, se presenta un modelo o ecuación que proporciona un parámetro crucial conocido como número estructural (SN). Este parámetro no solo ofrece una indicación del grosor total requerido del pavimento, sino que también está influenciado por variables como el nivel de tráfico y la confiabilidad, entre otros aspectos relevantes.

Para la obtención del SN, generalmente se usan ábacos en los cuales las escalas no corresponden debido a que han sido reproducidos o fotocopiados muchas veces a tamaños de acuerdo con la necesidad de cada usuario, lo que conlleva a laobtención de valores con desviaciones importantes. (AASHTO-93, 2001)

3.4.2 Metodología.

Se realizaron una serie de cálculos y procedimientos previos para determinar el espesor de las diferentes capas que conformarán el tramo en estudio. Estos cálculos consideraron diversos factores, como el estudio de tráfico, incluyendo el período de diseño y el número de ejes equivalentes (ESAL), así como el análisis de suelos, donde se tuvo en cuenta el CBR de diseño.

Con base en estos valores y consideraciones, se llevarán a cabo los cálculos correspondientes conforme a las metodologías de diseño de pavimentos de la AASHTO 93 y SIECA 2002. Estos cálculos implicarán la determinación de variables como el nivel de confiabilidad, la desviación estándar, la serviciabilidad y otras variables relevantes. Todo ello contribuirá a la determinación de los números estructurales (SN), datos fundamentales para calcular los espesores adecuados de la base, subbase y carpeta de rodamiento del pavimento.

Finalmente, se verifica y ajusta el diseño según sea necesario para garantizar que los espesores calculados cumplan con los criterios de resistencia estructural, deformación y durabilidad establecidos por la AASHTO. Este enfoque meticuloso y científico permite optimizar la inversión en infraestructura vial y asegurar que las carreteras construidas bajo este método puedan resistir las condiciones de tráfico

y climáticas a lo largo de su vida útil, proporcionando una red vial segura y confiable para los usuarios.

3.4.3 Variables de diseño.

Las propiedades de la subrasante, características de los materiales, importancia del tránsito, factores de medio ambiente y otro tipo de variables, son las que intervienen en el diseño de estructuras de pavimento (AASHTO 93, 2001)

3.4.3.1 Periodo de diseño

Los periodos de diseño sugeridos se encuentran detallados en la Tabla 17 , pág. 53. El tramo en estudio se clasifica como local rural pero debido a que no hay valores para estas, se tomaran los datos de una colectora rural por lo cual se opta por un periodo de diseño de 15 años.

3.4.3.2. ESAL

Según el análisis de tráfico presentado en el Capítulo III, se determinó que el ESAL tiene un valor de 292,532psi. (Consultar Tabla 23, pág. 59).

3.4.3.3. Confiabilidad.

Según los criterios definidos por la AASHTO, el valor de este parámetro varía en función de la importancia de la carretera, como se especifica en la Tabla 41.

Tabla 41 Niveles de confiabilidad

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

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93; pág. 137)

Se elige un valor de confiabilidad R según el tipo de carretera, siendo R= 80 %. A continuación, se busca el valor de la desviación normal estándar (ZR) en función de la confiabilidad especificada en la tabla 42, pág. 87

Tabla 42 Desviación normal estándar, ZR

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	**-0.841**
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA 2002 capítulo 7, pág. 55.

3.4.3.4 Desviación estándar

En el presente análisis, se ha optado por utilizar un valor de 0.40, dado que se sitúa dentro del rango de los valores recomendados para pavimentos flexibles. Estos valores sugeridos se detallan en la Tabla 43, pag.88.

Tabla 43 Desviación estándar

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

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA (2002) pág. 56

3.4.3.5. Índice de serviciabilidad.

En el diseño de pavimentos, es necesario considerar tanto la serviciabilidad inicial como la serviciabilidad final.

La inicial (Po), es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal (Pt) 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. (Coronado Iturbide, 2002) capítulo 7, Pág.4

En este diseño, se eligió un valor de 4.2 para la serviciabilidad inicial, y un índice de 2 para la serviciabilidad final, obtenido de la tabla 44. Esta elección se basó en el hecho de que el tramo en cuestión corresponde a un camino de tránsito menor.

Tabla 44 Valores de serviciabilidad

Serviciabilidad inicial Po	**Pavimento rígido**	**Pavimento flexible**
	4.5	4.2
Serviciabilidad final Pt	**Caminos principales**	**Caminos de tránsito menor**
	2.5	2

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de pavimentos, SIECA (2002) capítulo 7, pág. 4

El valor de la pérdida por serviciabilidad está determinado por la ecuación 17:

$\Delta PSI = Po - Pt$ Ec17 Tomado de SIECA (2002)

Tomando los valores de Po=4.2 y Pt=2, la pérdida por serviciabilidad es:

$$\Delta \text{PSI} = 4.2 - 2$$

$$\Delta \text{PSI} = 2.2$$

3.4.3.6 Modulo de resiliencia

En el acápite dedicado al estudio de suelos, se calculó el valor promedio de CBR para la línea principal del tramo de carretera, conforme a la figura 17, pág.84, dando como resultado un valor de 17 %

Utilizado la Ecuación 10, pág. 19, se calcula el módulo de resiliencia para la subrasante, debido a que el CBR es mayor al 10%, obteniendo como resultado lo siguiente:

$Mr = 4326 * \ln(17) + 241$

$Mr = 12497.48\ PSI$

3.4.3.7 Coeficiente de drenaje

El drenaje del agua en los pavimentos es un aspecto fundamental que debe ser cuidadosamente considerado en el diseño de carreteras. La falta de atención a este aspecto puede resultar en la acumulación de agua, especialmente cuando se combina con el aumento del tráfico y las cargas, lo que podría acelerar el deterioro de la estructura del pavimento. Por lo tanto, es crucial realizar un análisis exhaustivo del drenaje para garantizar la durabilidad y la resistencia adecuada del pavimento a lo largo del tiempo.

Para esto, según la AASHTO 93 se recomiendan algunos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de diseño, los cuales se observan en la Tabla 45, pág. 90.

La eficacia del drenaje se refleja en la fórmula del número estructural, ya que implica una capacidad efectiva para evacuar el agua de la vía a través de cada capa que compone la estructura del pavimento.

Debido a que no se realizaron pruebas de permeabilidad el tipo de drenaje se considera como bueno. Para este diseño específico, se ha establecido un coeficiente de drenaje de 1.00, como se detalla en la Tabla 46, pág.90.

Tabla 45 Capacidad de drenaje para remover la humedad

Capacidad de 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 - 5 horas
Regular	1 semana	5 - 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 -15 horas
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93 capitulo 7, pág. 148.

Tabla 46 Coeficiente de drenaje

Calidad del drenaje	**P= 0/0del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de saturación.**			
	< 1%	**1% - 5%**	**5% - 25%**	**> 25%**
Excelente	1.4 - 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	8
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	6
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	4

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

3.4.3.8. Coeficientes estructurales de capa

Una vez que se hayan definido los parámetros y sus valores numéricos, se avanzará con el diseño de una estructura de pavimento flexible utilizando el método AASHTO-93. Este enfoque permitirá una comprensión más profunda de la herramienta de diseño, así como la forma de ingresar los datos requeridos y la interpretación de los resultados obtenidos

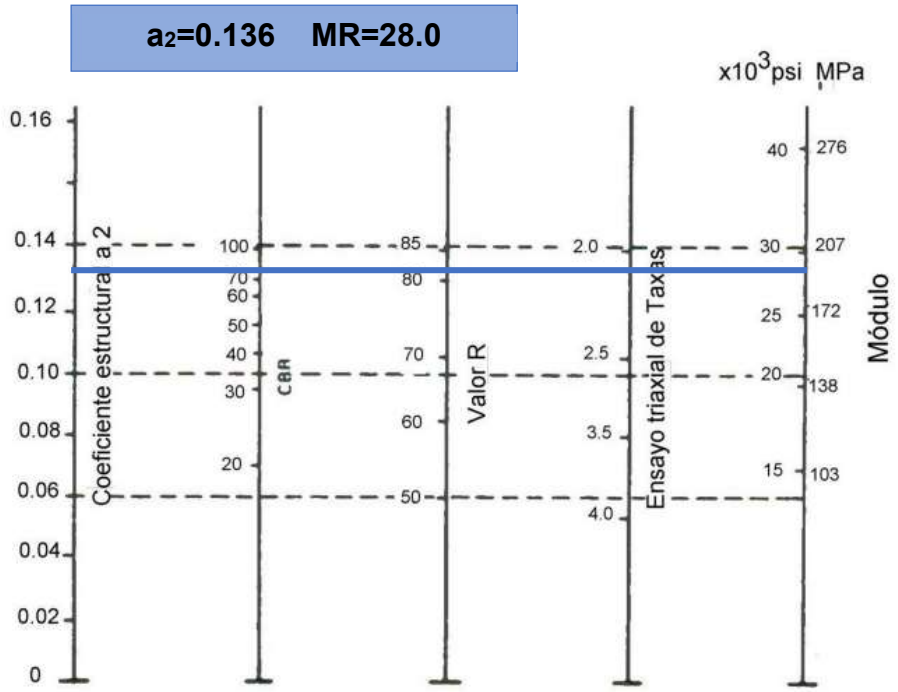
El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (an), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales. (AASHTO-93, 2001)

El empleo de nomogramas ha facilitado su utilización al representar modelos matemáticos de manera gráfica en escalas específicas

El valor del coeficiente para la capa de rodamiento de adoquín se basa en la metodología establecida en el capítulo 7 del Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, elaborado por SIECA. Este manual emplea el Método AASHTO – 93 para determinar dicho coeficiente, resultando en un valor específico de a1 = 0.45.

Para la determinación del valor del Coeficiente estructural a2, interpolamos el CBR del banco de material correspondiente a 80%, obteniendo un valor de a2 = 0.136 y un módulo de resiliencia de 28 KSI. (Ver Figura 18).

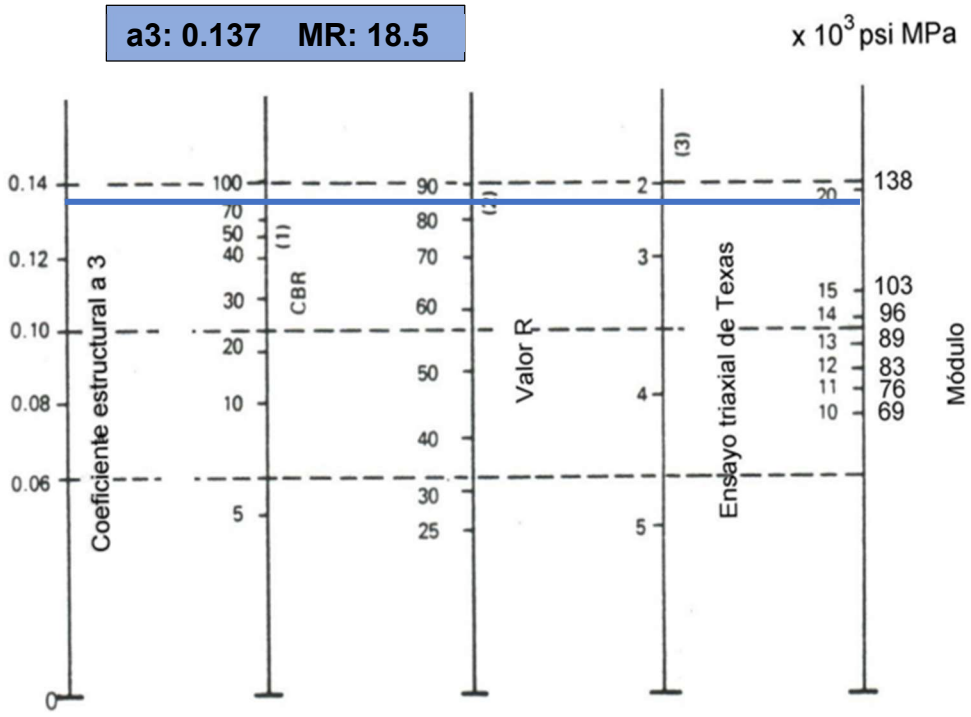
Figura 18 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos (AASHTO-93), capitulo 5, pág. 118.

El parámetro a3 representa el coeficiente para la capa de subbase, y al igual que con a2, se realiza una interpolación utilizando el CBR del banco de materiales, el cual es del 80%. Esto resulta en un valor interpolado de a3 = 0.137 y un módulo de resiliencia de 18.5 KSI, como se muestra en la Figura 19.

Figura 19 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes.



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos (AASHTO-93), capitulo 5, pág. 118.

3.4.3.9 Módulo de resiliencia de la base y subbase

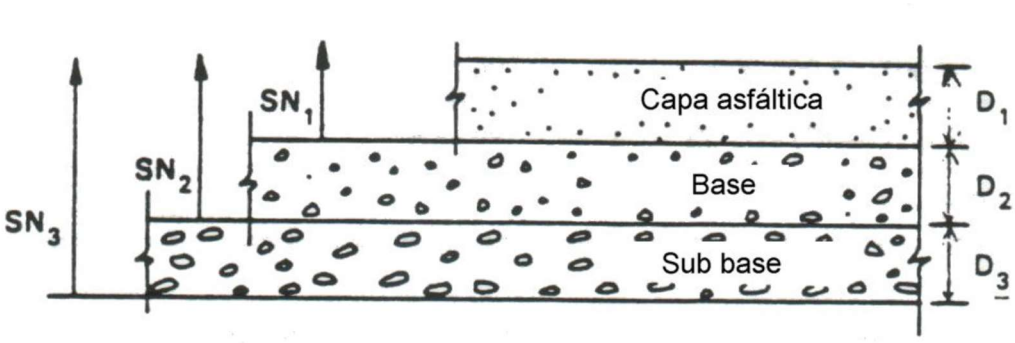
El módulo de resiliencia a emplear tanto en la base como en la subbase de la estructura del pavimento se establece mediante la utilización de los nomogramas presentados en la Figura 18, pág.91 y la Figura 19, pág.92. Basándonos en los ensayos de CBR llevados a cabo en el material granular destinado para la base y subbase de esta vía, se obtuvo un valor de CBR del 80%

En relación con esta interpolación, el valor del módulo de resiliencia para la base es de 28.0 KSI, mientras que para la subbase es de 18.5 KSI.

3.4.4. Espesores de capa

La metodología propuesta por la AASHTO se sustenta en el concepto fundamental de preservar la integridad de las capas granulares no tratadas mediante la prevención de tensiones verticales excesivas que podrían provocar deformaciones permanentes. Esta premisa se deriva de la comprensión de que las capas granulares, al no estar estabilizadas química o mecánicamente, son más susceptibles a sufrir daños y deformaciones bajo cargas verticales significativas. La secuencia de pasos se muestra visualmente en la figura 20 y se detalla a continuación.

Figura 20: Procedimiento para determinar espesores



Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento. (AASHTO-93), capitulo 8, pág. 175

3.4.4.1. Número estructural.

La determinación de los números estructurales SN2 y SN3 se llevó a cabo utilizando la información recopilada en la tabla 47, pag.94, que proporciona un resumen detallado de todos los procedimientos y cálculos realizados en etapas previas del análisis. Una vez recopilados los valores necesarios, se procedió a realizar la interpolación en los ábacos proporcionados por la Guía de Diseño AASHTO-93.

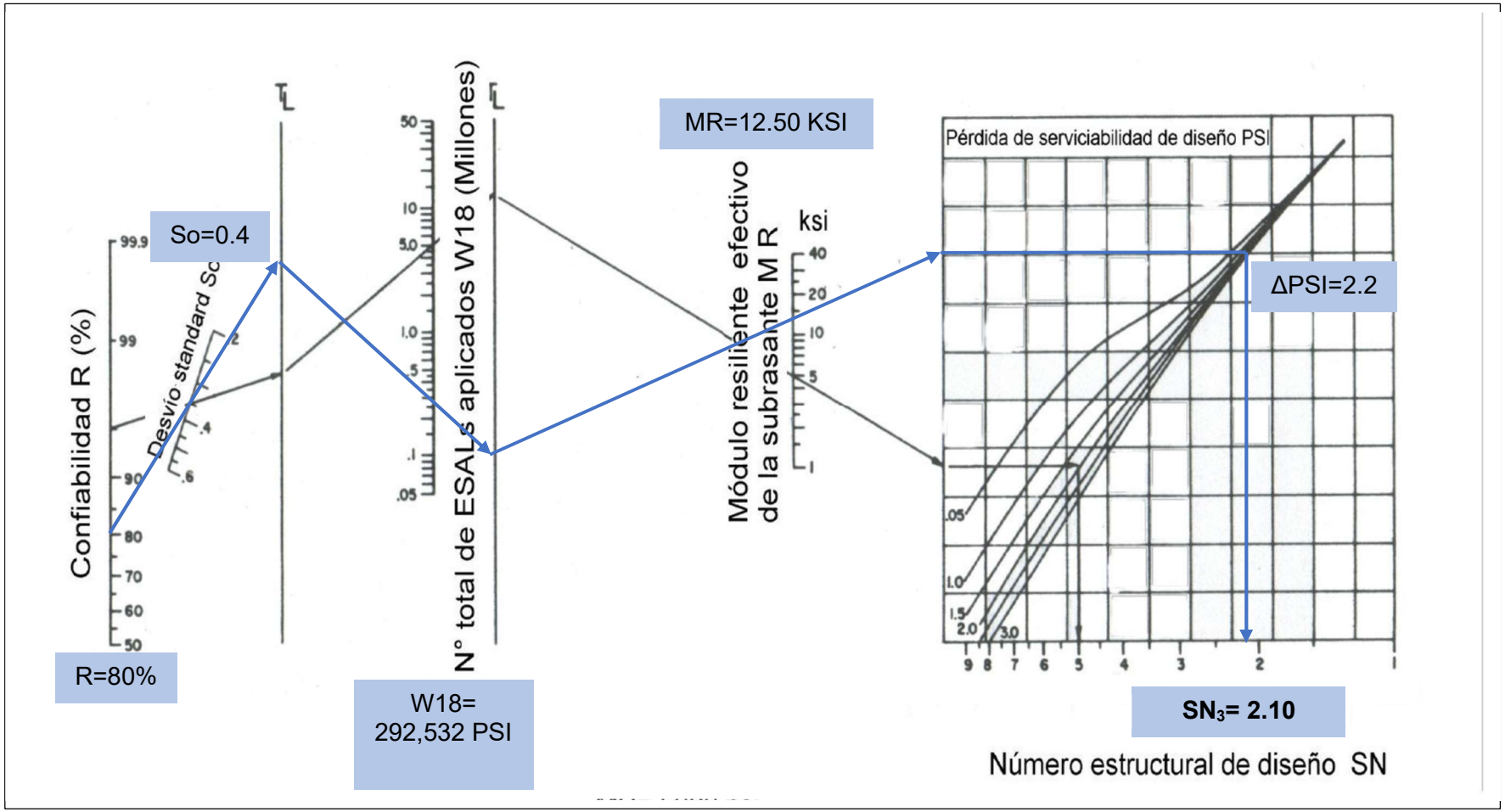
Tabla 47 Parámetros para la determinación de los números estructurales

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor Utilizado
Desviación estándar (s_1)	0.4
Confiabilidad (R)	80%
ESAL de diseño	292,532 PSI
Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)	2.2
Módulo de resiliencia subrasante	12.50 KSI
Módulo de resiliencia subbase	18.50 KSI

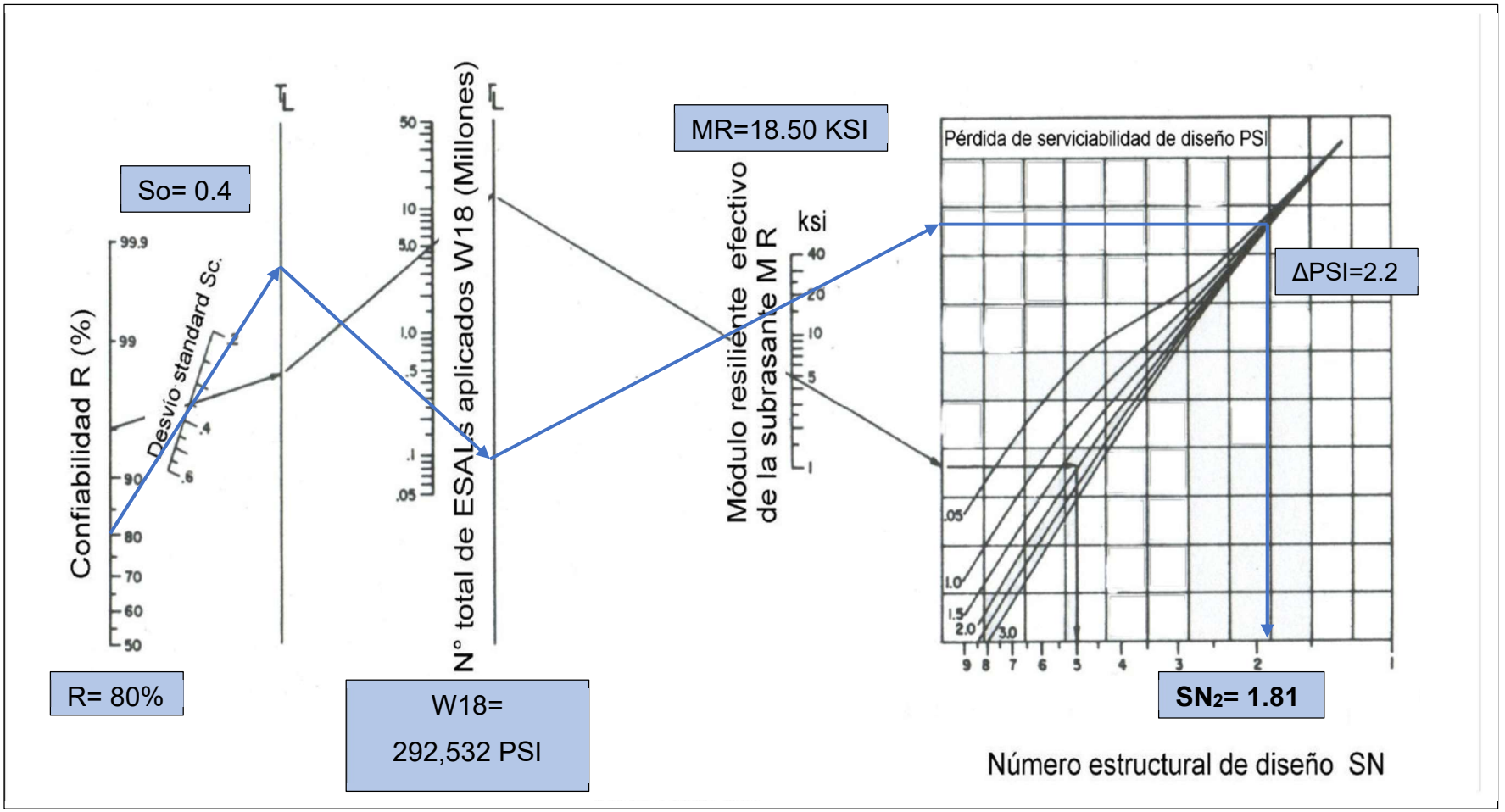
Para conocer los números estructurales SN2 y SN3 se hizo uso del Ábaco para diseño AASHTO para pavimentos flexibles, para obtener el valor SN3= 2.10 se utilizó un módulo de resiliencia de 12.50 KSI, así mismo para el SN2= 1.81 se empleó un módulo de resiliencia de 18.50 KSI.

Figura 21: Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles (Subbase), SN_3



Fuente: Guía para el Diseño de Pavimento (AASHTO-93), capitulo 8, pág. 174

Figura 22: Ábaco de diseño AASTHO para pavimentos flexibles (Base), SN_2



Fuente: Guía para el Diseño de Pavimento (AASHTO-93), capitulo 8, pág. 174

Los valores de los números estructurales (SN) fueron evaluados mediante el empleo del software AASHTO-93, una herramienta diseñada para este propósito. Tras este proceso de verificación, se confirmó que los valores obtenidos mediante el software coinciden de manera satisfactoria con los datos previamente utilizados y presentados en los ábacos. (ver anexos, figura 54-55 pág. XXIII-XXIV)

3.4.4.2. Cálculo de espesores.

Para llevar a cabo este proceso, se utilizan varios parámetros, entre ellos los coeficientes estructurales de capa, la capacidad de drenaje del pavimento, que afecta la resistencia a la humedad y la durabilidad del sistema y los valores del número estructural. Integrando estos parámetros, se realiza un análisis detallado para determinar los espesores óptimos de cada capa del pavimento, asegurando así un diseño robusto y una estructura vial duradera que cumpla con los requisitos de rendimiento y seguridad requeridos.

3.4.4.2.1. Carpeta de rodamiento.

En este caso para la carpeta de rodamiento se hará uso de adoquín por ende el espesor D1 será de 4 pulgadas.

$$D_1 = 4\ pulg$$

Para el cálculo del SN1, será necesario hacer uso de la siguiente ecuación:

$SN1 = a1 * D1$ Ecuación 18, AAHSTO-93, capitulo 8, pág. 176

$$SN1 = 0.45 * 4 = 1.8$$

3.4.4.2.2. Base.

Con la obtención de los valores SN1, SN2, a2 y m2 se procederá a emplear la ecuación 19, obtenida de (AASHTO-93)

$$D2 = \frac{SN2 - SN1}{a_2 m_2}$$

$$D2 = \frac{1.81 - 1.8}{0.136 * 1} = 0.074\ pulg$$

Después de comparar los valores mínimos establecidos por AASHTO-93 con el resultado obtenido para D2, se determinó que este último no cumplían con los estándares requeridos. Como resultado, se decidió adoptar el valor mínimo de 4

pulgadas según lo indicado en la Tabla 46, pag.97. Con este nuevo valor de D2, se calculará el valor de SN2.

Tabla 48 Espesores mínimos de concreto asfaltico y base granular.

Número de ESAL´S	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	1 pulg	4 pulg
50,000-150,000	2 pulg	4 pulg
150,000-500,000	**3 pulg**	**4 pulg**
500,000-2,000,000	3 pulg	6 pulg
2,000,000-7,000,000	4 pulg	6 pulg
Más de 7,000,000	4 pulg	6 pulg

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento. (AASHTO-93), capitulo 8, pág. 175

$SN_2 = a_2 m_2 D_2$ Ec 20, obtenido de (AASHTO-93), capitulo 8, pág. 176.

$$SN_2 = 0.136 * 1 * 4 = 0.544$$

3.4.4.2.3. Subbase

El espesor de la subbase se calcula con la ecuación 21, la cual toma en cuenta los valores de SN1, SN2, a3 y m3.

$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{a_3 m_3}$ Ec 21, Obtenida de (AASHTO-93), capitulo 8, pág. 177

$$D_3 \geq \frac{2.10 - (1.8 + 0.544)}{0.137 * 1} = -1.78\, pulg$$

Dado que el resultado arrojado es negativo, se ha tomado la decisión de prescindir de la subbase en la estructura del pavimento articulado. Esta determinación se basa en los criterios establecidos por la AASHTO, la cual indica que en situaciones donde el resultado de los cálculos es negativo, no se requiere la adición de esta capa.

Se procedió a verificar el número estructural (SN) requerido, utilizando el valor específico de SN3 = 2.10 en este caso. Para ello, se llevó a cabo una suma de los

SN corregidos, aplicando la ecuación 22 según lo establecido en el proceso de análisis.

$SN_1 + SN_2 \geq SN_3$ Ec 22, Obtenida de (AASHTO-93), capitulo 8, pág. 177

$$1.8 + 0.544 \geq 2.10$$

$$2.344 \geq 2.10 \ \therefore Cumple$$

Después de completar estos procesos, se ha alcanzado el diseño final de los espesores, los cuales se detallan y presentan de manera completa en la tabla 49, Este diseño representa el resultado de un análisis exhaustivo y la aplicación de diversas metodologías y criterios para garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del pavimento bajo las condiciones esperadas de carga y tráfico.

Tabla 49 Espesores de pavimento articulado

Capa	Espesor	
	Pulg	**cm**
Adoquín	4	10.16
Colchón de arena	2	5.08
Base	4	10.16
Espesor Total	10	25.4

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Diseño geométrico.

3.5.1 Generalidades

Dentro de este capítulo se abarcará sobre el diseño geométrico que corresponde al tramo de 3 km de la comunidad el Porvenir hacia el empalme el Aceituno, departamento de Estelí, el cual este ha sido creado a la mano del Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras 2011, norma SIECA 2011. Para lograr definir diseños en planta y perfiles adecuadamente, todo esto basado en topografía, estudio de tránsito, estudios de suelos, y diseño de espesores.

Contiene elementos esenciales bidimensionales que se van creando por pasos en el software de civil 3D, aplicando en todo el diseño la norma SIECA 2011, dando así resultados como el alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal.

3.5.2 Clasificación de la carretera

La clasificación de la carretera se realizó luego de obtener los resultados de estudio de tránsito, utilizando el TPDA de 428, tabla 15, pág. 49 el cual según tabla 50 pág. 101(clasificación de las carreteras), corresponde a una local rural, pero en cuestiones de diseño y a falta de datos para este tipo de carretera, se toma a criterio una colectora menor rural para lograr determinar parámetros de diseño.

Tabla 50 Clasificación de la carretera.

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

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

3.5.3 Velocidad de diseño

La velocidad directriz o velocidad de diseño, es la que se seleccionara para asignar parámetros que se utilizan en el diseño geométrico, la cual se toma 40 kilómetros por hora, según tabla 52 pág. 103 elementos de diseño de carreteras regionales, para colectoras rurales, modificando velocidad para adaptar a pendiente según el terreno o longitudes de curvas sean necesarias así cumplir con la norma importada en el software de civil 3d.

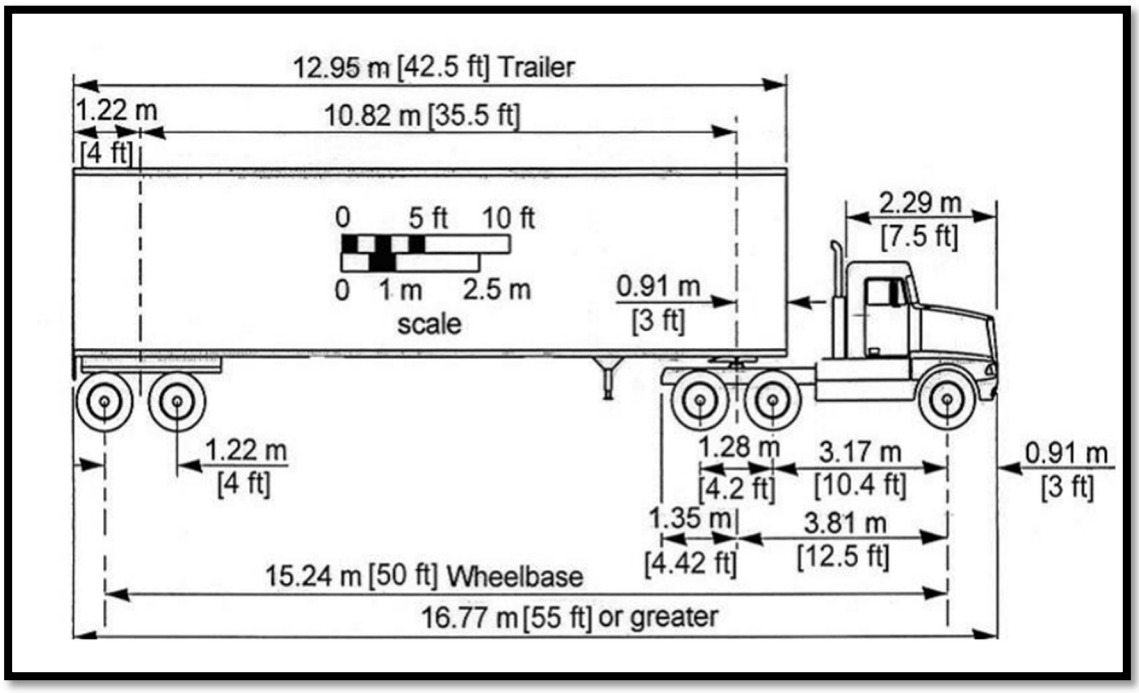
3.5.4 Vehículo de diseño

En el tramo en estudio se ha seleccionado el vehículo de diseño según su clasificación como colectora menor rural la cual se aprecia en tabla 52 pág. 103. Sus características de vehículo de mayor capacidad que circulo sobre el tramo,

de este modo como referencia se ha tomado WB15 (Cabezal con semirremolque), cuyas dimensiones se aprecian en tabla 51 características del camión de diseño como se aprecia en Figura 23 vehículo de diseño WB 15.

En el momento que se selecciona el vehículo en el software de civil 3D, automáticamente asigna sus parámetros para sus dimensiones.

Figura 23 Vehículo de diseño (WB-15)



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

Tabla 51 Características del camión de diseño WB-15

Dimensión (WB-15) (metros)						
Alto	Ancho	Longitud	Voladizo frontal	Voladizo trasero	Distancia entre ejes extremos WB1	Distancia entre ejes extremos WB2
4.1	2.6	16.8	0.9	0.6	6.1	9.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52 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 Carriles	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
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 min. Curva, peralte 6% (m)	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195
14	Máximo Grado de curva	5º53´ - 2º03´	5º53´ - 3º25´	8º29´ - 4º35´	12º44´-5º53´	12º44´-5º53´
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 %	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5
19	Anchos de Puentes entre bordillos (m)	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 (m)	80-90	40-50	40-50	30-30	20-30
22	Ancho de Mediana (m)	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 para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2004)

3.5.5 Elementos de la sección transversal

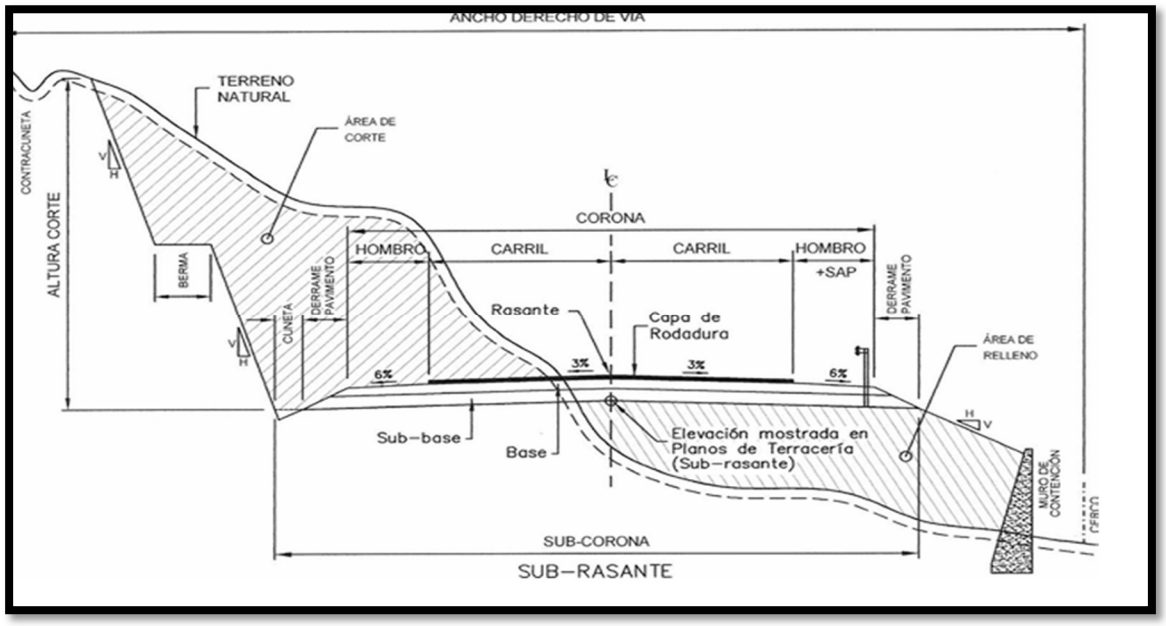
3.5.6.1 Carril

El ancho de carril es de 3.3 m usando tabla 52 pág.103, el cual se selecciona por su tipo que es una colectora rural en ambas direcciones.

3.5.6.2 Ancho de hombros

Los anchos de hombros son los que comprenden los bordes, estos forman parte de los taludes, SIECA 2011, haciendo uso de la tabla 52, pág. 103 donde se muestran los valores de los anchos de hombros los cuales indica que refieren entre 1.20 m y 1.5 m, asumiendo a criterio se toma 1.20m.

Figura 24 Sección transversal típica en tangente en carretera en dos direcciones.



Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011), cap4, pag138.

3.5.7 Alineamiento horizontal

Al momento de trazar el alineamiento horizontal en el software civil 3D, se tiene que configurar radios mínimos, peraltes, sobreanchos, y más parámetros que se mencionan en este acápite.

3.5.7.1 Radio mínimo

El radio mínimo como valor límite de curvatura, se utiliza para una velocidad de diseño dada, en relación con los peraltes o máxima fricción lateral escogida para el diseño.

$$Rmin = \frac{v^2}{127(emax+fmax)}$$

$$Rmi = \frac{40Km/h^2}{127(0.08+0.23)}$$

$$Rmi = 40.64m$$

Ec 23 Tomado de SIECA (2011) página 89.

En donde:

Rmín = *Radio mínimo de la curva, m*

Emáx = *Tasa de sobreelevación en fracción decimal*

V= *Velocidad de diseño, KPH*

Fmáx *= Factor de fricción lateral, (Tomado de SIECA pág. 89)*

3.5.7.2 Peralte

La tasa máxima de peralte está sujetas a condiciones de terreno, tipo de zona y su frecuencia vehicular que reducen su velocidad al ser afectados por las tasas altas de peralte, de este modo por la variabilidad de las tasas de peralte, se opta por utilizar rangos las cuales se muestran en tabla 53.

Tabla 53 Tasas de peralte (e %)

Tasa de sobreelevación e (%)	Tipo de área
10	Rural Montañosa
8	**Rural ondulado**
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011,pág.43).

3.5.7.3 Grado de curvatura

El 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. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión:

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

Ec 24 Tomado de SIECA (2011)

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{40.64m} = 28°11´48.27”$$

En donde:

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

R = *Radio de la curva, m.*

3.5.7.4 Bombeo normal

Para un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje óptimo de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad Sobre ancho de curvas. Entrando en consideración por el tipo de superficies e inclinaciones de toma un bombeo de 3 % como se muestra en la tabla 54.

Tabla 54 Valores de bombeo normal.

Tipo de Superficie	Rango de Pendiente Transversal
Alto	1.5-2.0
Bajo	**2.0-6.8**

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2004), cap4, pag139.

3.5.8 Curvas horizontales simples

Ejemplo del cálculo de curvas número C2 horizontales y elementos geométricos utilizando la curva número tres del tramo, en tabla de curvas horizontales anexos.

$$PC = 0 + 301.97$$

$$R = 43m$$

$$\Delta = 90°25'41"$$

- **Tangente**

$$\mathrm{T} = \mathrm{R} * \mathrm{Tan}\frac{\Delta}{2}$$ *Ec 25 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{T} = 43 * \mathrm{Tan}\frac{90°25'41"}{2}$$

$$T = 43.32m$$

- **Cuerda larga**

$$\mathrm{Cl} = 2\mathrm{R} * \mathrm{Sen}\frac{\Delta}{2}$$ *Ec 26 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)*

$$\mathrm{Cl} = 2 * 43 * \mathrm{Sen}\frac{90°25'41"}{2}$$

$$Cl = 61m$$

- **Externa**

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

Ec 27 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$\mathrm{E} = 43 * \left(\frac{1}{Cos\frac{90°25'41"}{2}} - 1\right)$$

$$E = 18.04m$$

- **Ordenada medida**

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

Ec 28 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$M = 43\left(1 - cos\ \frac{90°25'41"}{2}\right) = 12.71$$

- **Grado de curvatura**

$$Gc = 2 * sen^{-1} * \frac{c}{2 * R}$$

Ec 29 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$C = 5\ por\ el\ radio\ menor\ a\ 50\ m$$

$$Gc = 2 * sen^{-1} * \frac{5}{2 * 43}$$

$$Gc = 6°39´57.8´$$

- **Longitud de curvatura**

$$lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

Ec 30 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$lc = \frac{\pi * 43 * 90°25'41"}{180}$$

$$lc = 67.87\ m$$

- **Estación PT**

$PT = PC + LC$ *Ec 31 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)*

$$PT = 0 + 301.97 + 67.87$$

$$PT = 0 + 369.84$$

- **Estación PI**

$$PI = PC + T$$

Ec 32 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$PI = 0 + 301.97 + 43.32$$

$$PI = 0 + 345.29$$

- **Deflexión por metro**

$$\delta = \frac{Gc}{2 * 5}$$

Ec 33 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$\delta = \frac{6°39´57.78´}{2 * 5}$$

$$\delta = 0°39´59.78´$$

- **Deflexión por cuerda**

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

Ec 34 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$\delta = \frac{6°39´57.78´}{2}$$

$$\delta = 3°19´58.89$$

Tabla 55 Cuadro de elementos de curva horizontal

DATOS DE CURVAS HORIZONTALES													
N CURVA	**DIRECCIÓN**	**DEFLEXIÓN (Δ)**	**RADIO**	**T**	**L**	**LC**	**E**	**M**	**PC**	**PI**	**PT**	**PI NORTE**	**PI ESTE**
C1	N61° 23' 30"E	33°33'44"	100	30.16	58	57.74	4.45	4.26	0+169.28	0+199.44	0+227.86	144179 3	557485.6
C3	N49° 34' 14"W	7°58'56"	100	6.98	13.93	13.92	0.24	0.24	0+620.34	0+627.32	0+634.27	144203 4	557394.9
C4	N42° 11' 43"W	6°46'06"	100	5.91	11.81	11.81	0.17	0.17	0+786.74	0+792.65	0+798.55	144214 9	557394.9
C6	N25° 15' 16"E	32°36'18"	100	29.25	56.91	56.14	4.19	4.02	1+391.43	1+420.67	1+448.33	144263 6	557450.2
C9	N23° 08' 42"W	46°41'05"	105	45.31	83.21	83.21	8.59	8.59	1+757.83	1+803.14	1+843.38	144294 9	557614.3
C15	9° 40' 44"E	9°44'34"	105	8.95	17.85	7.83	0.38	0.38	2+611.73	2+620.68	2+629.59	144362 4	557460.4
C16	N8° 10' 48"E	12°44'26"	105	11.72	3.35	23.3	0.65	0.65	2+721.48	2+733.20	2+744.83	144373 2	557488.7

Fuente: Elaboración propia

3.5.9 Curvas espirales

Cálculo de curvas espirales.

Para realizar este cálculo se siguió el siguió el siguiente procedimiento con los datos siguientes:

$\boldsymbol{emax} = 8\%$

$\boldsymbol{Ancho\ de\ carril} = 3.6\ m$

$\boldsymbol{N°\ carriles} = 2$

$\boldsymbol{Velocidad\ de\ diseño} = 40\ km/h$

$\boldsymbol{Longitud\ de\ cuerda} = 20\ m$

$\boldsymbol{Deflexión\ \Delta c} = \mathbf{20.6531} = 20° 39' 11"$

$\boldsymbol{Grado\ de\ curvatura} = 26° 39' = 26.65$

$\boldsymbol{Longitud\ de\ espiral\ a\ considerar} = 31\ m$

- **Radio de curva mínimo.**

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(e+f)}$$ Ec 35 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$R_{min} = \frac{40^2}{127(8\% + 0.23)} = 40.64\ m$$

- **Radio de curva.**

$$Rc = \frac{1{,}145.92}{Gc}$$ Ec 36 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$Rc = \frac{1{,}145.92}{26.65} = 43\ m$$

- **Parámetro K de la espiral.**

$$K = \sqrt{RcLe}$$ Ec 37 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$K = \sqrt{43 * 31} = 36.510$$

- **Ángulo de deflexión de la espiral.**

$$\theta e = \frac{GcLe}{40}$$ Ec 38 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$\theta e = \frac{43 * 31}{40} = 20.65° = 0.360\ rad$$

- **Coordenadas cartesianas de la curva espiral.**

$X_c = L_e\left(1 - \frac{\theta_e^2}{10} + \frac{\theta_e^4}{216} - \frac{\theta_e^6}{9360} + \cdots\right)$ Ec 39 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$X_c = 31\left(1 - \frac{0.360^2}{10} + \frac{0.360^4}{216} - \frac{0.360^6}{9360} + \cdots\right) = 30.60$ m

$y_c = L_e\left(\frac{\theta_e}{3} - \frac{\theta_e^3}{42} + \frac{\theta_e^5}{1320} - \frac{\theta_e^7}{75600} + \cdots\right)$ Ec 40 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$y_c = 31\left(\frac{31}{3} - \frac{0.360^3}{42} + \frac{0.360^5}{1320} - \frac{0.360^7}{75600} + \cdots\right) = 3.69\ m$$

- **Coordenadas cartesianas K y p.**

$p = disloque = y_c - [R_c(1 - \cos\theta_e)]$ Ec 41 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$p = disloque = 3.69 - [43(1 - \cos 20.65)] = 0.927\ m$

$k = x_c - (R_c \sin\theta_e)$ Ec 42 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$k = 30.60 - (43 * \sin 20.65) = 15.433\ m$

- **Tangente de la curva espiral-circular-espiral (Te).**

$T_e = k + (R_c + p)\tan\frac{\Delta}{2}$ Ec 43 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$T_e = 15.433 + (43 + 0.927)\tan\frac{20.65}{2} = 23.437\ m$$

- **Cuerda larga de espiral.**

$CL_e = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$ Ec 44 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$CL_e = \sqrt{30.60^2 + 3.69^2} = 30.821\ m$

- **Deflexión del EC o ángulo de la cuerda larga.**

$\varphi_c = arctan\frac{y_c}{x_c}$ Ec 45 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$\varphi_c = arctan\frac{3.69}{30.60} = 6.876°$

- **Externa de la curva espiral-circular-espiral (Ee).**

$E_e = (R_c + p)\left[\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}}\right] - R_c$ Ec 46 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$E_e = (43 + 0.927)\left[\frac{1}{\cos\frac{20.65}{2}}\right] - 43 = 1.65\ m$$

- **Tangente larga de la espiral.**

$T_L = x_c - \frac{y_c}{\tan_{\ e}}$ Ec 47 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$T_L = 30.60 - \frac{3.69}{\tan 20.65} = 20.809\ m$$

- **Tangente corta de la espiral.**

$T_c = \frac{y_c}{\sin \theta_e}$ Ec 48 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$T_c = \frac{3.69}{\sin 20.65} = 10.463\ m$$

- **Ángulo central de la curva circular.**

$\Delta_c = \Delta - 2\theta_e$ Ec 49 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$\Delta_c = 20.65 - 2 * 20.65 = -20.6532° = 20°39´11"$$

Tabla 56 Curvas en espirales

DATOS DE CURVAS ESPIRALES							
NS	**ESTACIÓN INICIAL(TS O CS)**	**ESTACIÓN FINAL(SC O ST)**	**L TAN**	**S TAN**	**θ e**	**Le**	**K**
S1	0+270.97 (E557557.34,N1441808.50)	0+301.97 (E557586.53,N1441818.39)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S2	0+369.84 (E557599.54,N1441878.02)	0+400.84 (E557577.11,N1441899.17)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S3	0+935.72 (E557187.13,N1442260.91)	0+966.72 (E557170.83,N1442287.07)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S4	0+996.03 (E557171.52,N1442315.81)	1+027.03 (E557189.06,N1442341.16)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S5	1+506.23 (E557463.74,N1442721.80)	1+537.23 (E557472.15,N1442751.46)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S6	1+541.51 (E557474.45,N1442755.07)	1+572.51 (E557497.74,N1442775.25)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S7	1+674.15 (E557581.96,N1442832.14)	1+705.15 (E557605.25,N1442852.33)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S8	1+716.00 (E557610.34,N1442861.88)	1+747.00 (E557614.14,N1442892.47)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433

S9	1+846.10 (E557579.50,N1442981.67)	1+877.10 (E557559.85,N1443005.42)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S10	1+918.53 (E557561.08,N1443045.25)	1+949.53 (E557582.16,N1443067.74)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S11	1+983.47 (E557608.17,N1443089.53)	2+014.47 (E557629.25,N1443112.02)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S12	2+045.80 (E557633.78,N1443142.32)	2+076.80 (E557620.20,N1443169.99)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S13	2+127.54 (E557592.55,N1443212.54)	2+158.54 (E557578.97,N1443240.20)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S14	2+164.88 (E557578.07,N1443246.47)	2+195.88 (E557583.34,N1443276.83)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S15	2+242.45 (E557596.73,N1443321.44)	2+273.45 (E557602.00,N1443351.81)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S16	2+298.66 (E557593.21,N1443375.05)	2+329.66 (E557569.15,N1443394.32)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S17	2+430.55 (E557483.43,N1443447.52)	2+461.55 (E557459.37,N1443466.79)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433
S18	2+477.82 (E557452.11,N1443481.24)	2+508.82 (E557450.99,N1443512.04)	20.81	10.46	20° 39' 11"	31	5.433

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57 Curvas circular compuestas por espirales.

DATOS DE CURVA CIRCULAR COMPUESTAS POR ESPIRALES													
N CURVA	**DIRECCIÓN**	**DEFLEXIÓN (Δ)**	**RADIO**	**T**	**L**	**LC**	**E**	**M**	**PC**	**PI**	**PT**	**PI NORTE**	**PI ESTE**
C5	N1° 22' 22"E	39°03'42"	43	15.25	29.32	28.75	2.63	2.47	0+966.72	0+981.97	0+996.03	1442302	557154.2
C7	N32° 27' 21"E	5°42'06"	43	2.14	4,28	4.28	0.05	0.05	1+537.23	1+539.38	1+541.51	1442756	557469.1
C8	N28° 04' 43"E	14°27'22"	43	5.45	10.82	10.82	0.34	0.34	1+705.15	1+710.60	1+716.00	1442854	557614
C10	N1°46' 25"E	55°12'54"	43	22.49	41.44	39.85	5.52	4.9	1+877.10	1+899.58	1+918.53	1443026	55753.6
C11	N8° 30' 11"E	41°45'07"	43	16.4	31.33	30.65	3.02	2.85	2+014.47	2+030.87	2+045.80	1443124,43	557649.8
C12	N8° 09' 11"W	8°26'08"	43	3.17	6.33	6.33	0.12	0.12	2+158.54	2+161.72	2+164.88	1443243	557573
C13	N20° 43' 50"W	33°35'25"	43	12.98	25.21	24.85	1.92	1.83	2+273.45	2+286.43	2+298.66	1443368	557610.9
C14	N26° 41' 08"W	21°40'49"	43	8.23	16.27	16.17	0.78	0.77	2+461.55	2+469.79	2+477.82	1443470	557447.5

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla incluye curvas circulares que incorporan espirales como elementos de transición entre curvas simples. Las espirales están etiquetadas por separado para diferenciarlas de las curvas simples que no forman parte de una transición.

3.5.9 Alineamiento vertical

Dentro del alineamiento vertical se ejecutó en el software civil 3D, procediendo después del alineamiento horizontal. Ejecutando perfil de carretera (rasante). De este mismo modo poder realizar diseño y adaptarlo el terreno natural.

3.5.9.1 Pendientes para el control de diseño

El terreno en estudio, según clasificación de pendientes en función de las pendientes naturales, se clasificó como un terreno ondulado, de manual de la SIECA 2011, la pendiente máxima permitida es de 10 %, para una velocidad de 40 kph, tratando de adaptarnos al terreno, así mismo modificando la velocidad para que los porcentajes no superen lo máximo permitido, así se muestra en la tabla 58.

Tabla 58 Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales.

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

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011), cap3, pag119.

3.5.10 Curvas verticales

Para la composición de las curvas en el diseño geométrico, se traza en el software de modo que colabore con estética del trazado, sin dejar de tomar en cuenta su funcionalidad según su clasificación; curvas verticales en cresta y curvas verticales en columpio.

3.5.10.1 Ejemplo del cálculo de curvas verticales

Ejemplo de cálculo de curva vertical número 1, con los datos tomados del reporte de civil 3D.

Datos

Estación PVI = 1+231.52

Cota PIV = 632m

Pendiente de entrada m = -2.45%

Pendiente de salida n = 11.63%

Longitud de curva LCV = 126.744m

- **Estación PCV**

$EST\ PCV: EST\ PIV - \frac{LCV}{2}$ Ec35 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$EST\ PCV: 1 + 231.52 - \frac{126.744}{2}$$

$$EST\ PCV = 1+168.148$$

- **Estación PTV**

$EST\ PTV: EST\ PIV + \frac{LCV}{2}$ Ec36 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$EST\ PTV: 1 + 231.52 + \frac{126.744}{2}$$

$$EST\ PTV = 1+294.892$$

- **Cota PCV**

$COTA\ PCV: COTA\ PIV - m\ \frac{LCV}{2}$ Ec37 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$COTA\ PCV: 632\ - (-2.45\%) * \frac{126.744}{2}$$

$$COTA\ PCV = 633.552\ \text{m}$$

- **Cota PTV**

$COTA\ PTV: COTA\ PIV - n\ \frac{LCV}{2}$ Ec38 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$COTA\ PTV: 632\ \ - (-11.63\%) * \frac{126.744}{2}$$

$$COTA\ PTV = 639.373m$$

- **Factor seguridad**

$A = P2 - P1$ Ec39 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

A = 11.63%− (-2.45%)

14.08%>0.5

Por lo tanto, una curva en cresta según (Cárdenas Grisales, 2013, pág. 321)

• Cálculo de la longitud de la curva (L)

$lmin\ \frac{ADp^2}{120+3.5Dp}$ Ec40 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$Lmin = \frac{(14.08)(50\text{m})^2}{120 + 3.5(50\text{m})} = 119.322m$$

$Lmin = k * A$ Ec41 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$Lmin = 9 * 14.08 = 126.72$$

- **Criterio de drenaje**

$l \leq 45 * A$ Ec42 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$l \leq 45 * 14.08$$

$$126.744 \leq 633.6\, m$$

- **¨Criterio de comodidad**

$L \geq \frac{V^2 A}{395}$ Ec43 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$L \geq \frac{40^2 * 14.08}{395} = 56.603$$

$$126.744 \geq 56.603$$

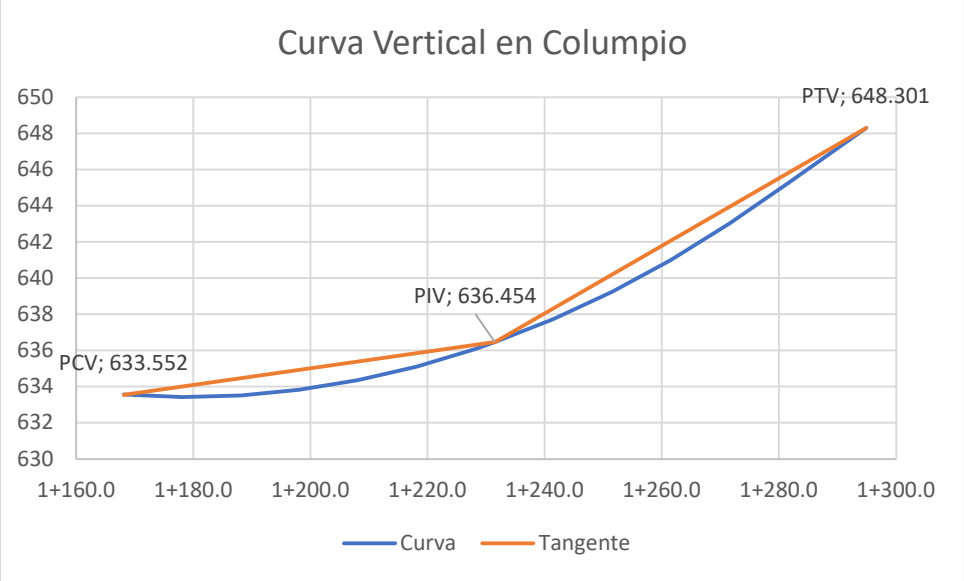
- **Replanteo**

Tabla 59 Replanteo

PTO	EST.	X (m)	ELEV s/t (m)	Y (m)	ELEV s/c (m)
PCV	1+168.2	0	633.552	0	633.552
	1+178.2	10.00	633.363	0.056	633.419
	1+188.2	20.00	633.284	0.222	633.506
	1+198.2	30.00	633.317	0.5	633.817
	1+208.2	40.00	633.46	0.888	634.348
	1+218.2	50.00	633.715	1.388	635.103
	1+228.2	60.00	634.081	1.999	636.08
PIV	1+231.5	63.37	634.226	2.228	636.454
	1+241.5	73.37	634.739	2.987	637.726
	1+251.5	83.37	635.374	3.867	639.241
	1+261.5	93.37	636.13	4.868	640.998
	1+271.5	103.37	637.007	5.99	642.997
	1+281.5	113.37	638.004	7.232	645.236
PTV	1+294.9	126.74	639.373	8.928	648.301

Fuente: Elaboración propia

Figura 25 ***Curva vertical en columpio***



Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo del punto más bajo de la curva en columpio**

$X_m = \left[\frac{P_2 L}{P_1 - P_2}\right]$ Ec44 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$X_m = \left[\frac{0.1163 * 126.744}{-0.0245 - 0.1163}\right] = 101.719m$$

$Est\ PB = Est\ PTV - Xm$ Ec45 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$Est\ PB = 1 + 294.89 - 101.719 = 1 + 193.171$$

$Elev_{s/t} = ElevPTV - (P2)(Xm)$ Ec46 Tomado de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$Elev_{s/t} = 639.373 - (0.1163) * (101.719) = 627.543m$$

Tabla 60 Tabla de curvas verticales

N° Curva	Estación PCV	Elevación PCV	Estación PIV	Elevación PIV	Estación PTV	Elevación PTV	Valor K	Long curva	Pendiente %	Tipo de curva
1	0+129.36	554.186m	0+158.18	555.308m	0+187.00	558.275m	9	57.639m	3.89%	Columpio
2	0+386.67	578.837m	0+422.19	582.495m	0+457.72	585.056m	23	71.049m	7.21%	Cresta
3	0+688.86	601.717m	0+722.45	604.139m	0+756.05	609.069m	9	67.193m	14.67%	Columpio
4	0+761.04	609.802m	0+957.96	638.699m	1+154.88	633.877m	23	393.838m	-2.45%	Cresta
5	**1+168.15**	**633.552m**	**1+231.52**	**632.000m**	**1+294.89**	**1+294.89**	**9**	**126.744m**	**11.63%**	**Columpio**
6	2+200.25	744.700m	2+312.27	757.733m	2+424.30	759.853m	23	224.052m	1.89%	Cresta

Fuente: Elaboración propia.

3.5.11 Diseño geométrico en civil 3D

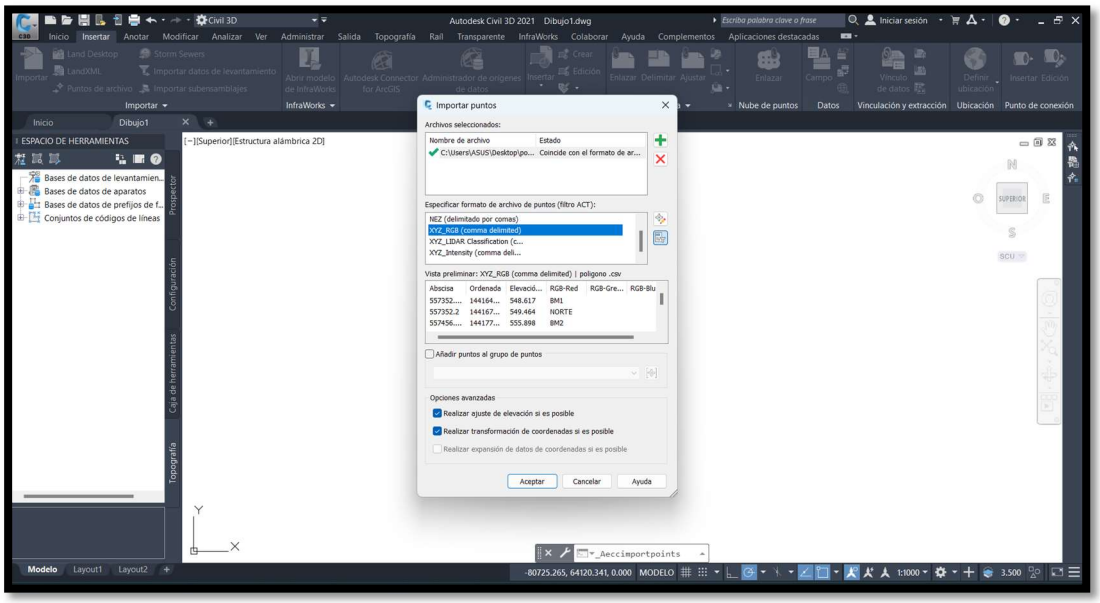
Después de analizar los datos obtenidos, se dio paso a la utilización del software Civil 3D para la creación del diseño geométrico. Es crucial destacar que todos los parámetros de diseño deben estar completamente definidos antes de iniciar el programa.

3.5.11.1 Importación y revisión de datos

Los datos obtenidos del levantamiento topográfico que se cargaron de la estación total a una USB como archivo kml, se importaron desde el software con las características (N X Y Z). Posteriormente se revisa la orientación del levantamiento que este geodésicamente orientado, con la imagen satelital.

Figura 5, página 31(Datos importados de civil 3D).

Figura 26 Importación de datos de Civil 3D



Fuente: Elaboración Propia

De este modo se configuran los puntos, para que solo muestre lo que se ocupara, en el caso de nuestro levantamiento solo dejamos indicadas elevaciones.

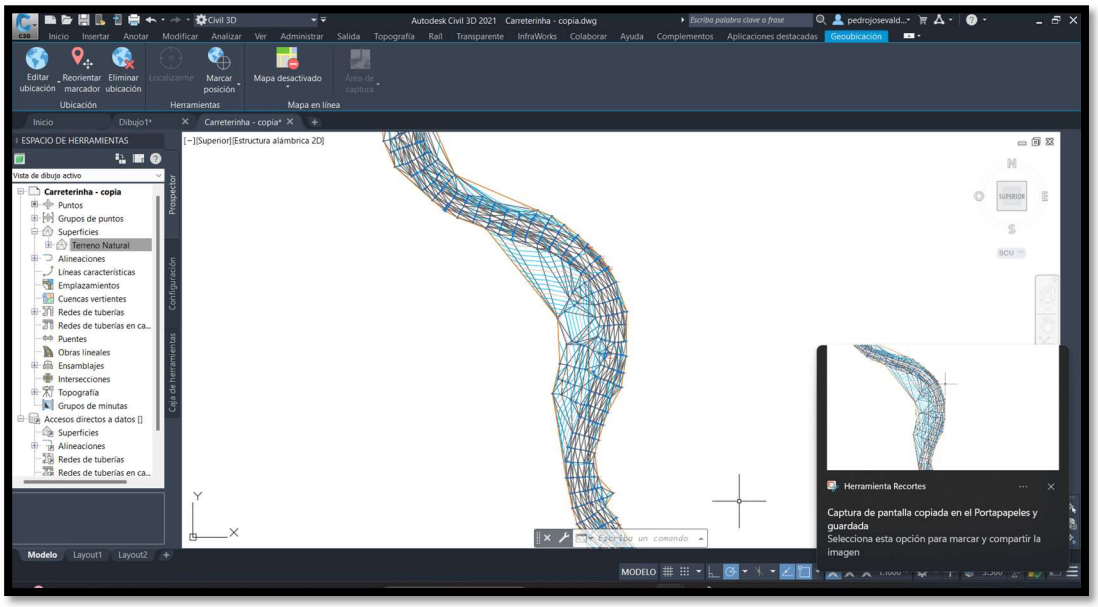
3.5.11.2 Creación de superficies

Una herramienta esencial en Civil 3D es la creación de superficies, concebida con el propósito de reunir todos los puntos de un terreno bajo un único nombre designado, como "Terreno Natural", para mantener coherencia al emplear otras

funciones. Esta consolidación facilita el análisis topográfico, los cálculos de volumen y, en última instancia, el diseño mismo.

Se selecciona la superficie en el prospector, se triangula y luego se crean las curvas a nivel.

Figura 27 Creación de superficies

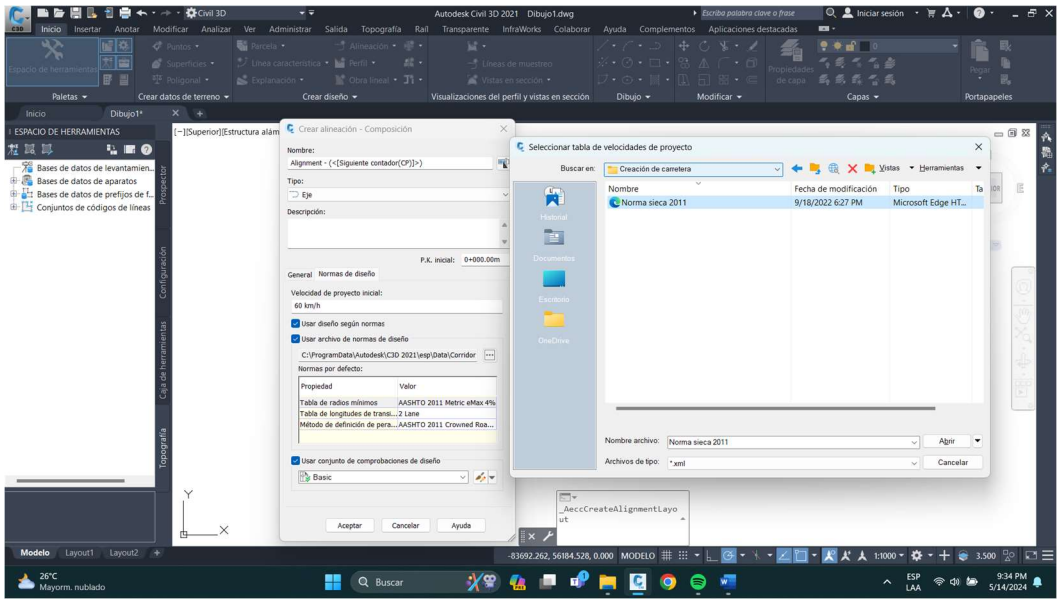


Fuente: Elaboración Propia

3.5.11.3 Importación de norma

La norma (SIECA 2011), no se encuentra en el conjunto de normas que posee el software civil 3d, por lo tanto, se toma a la tarea de importación de norma, dentro de la ventana se establece velocidad de diseño.

Figura 28 Importación de norma SIECA 2011 en software Civil 3D



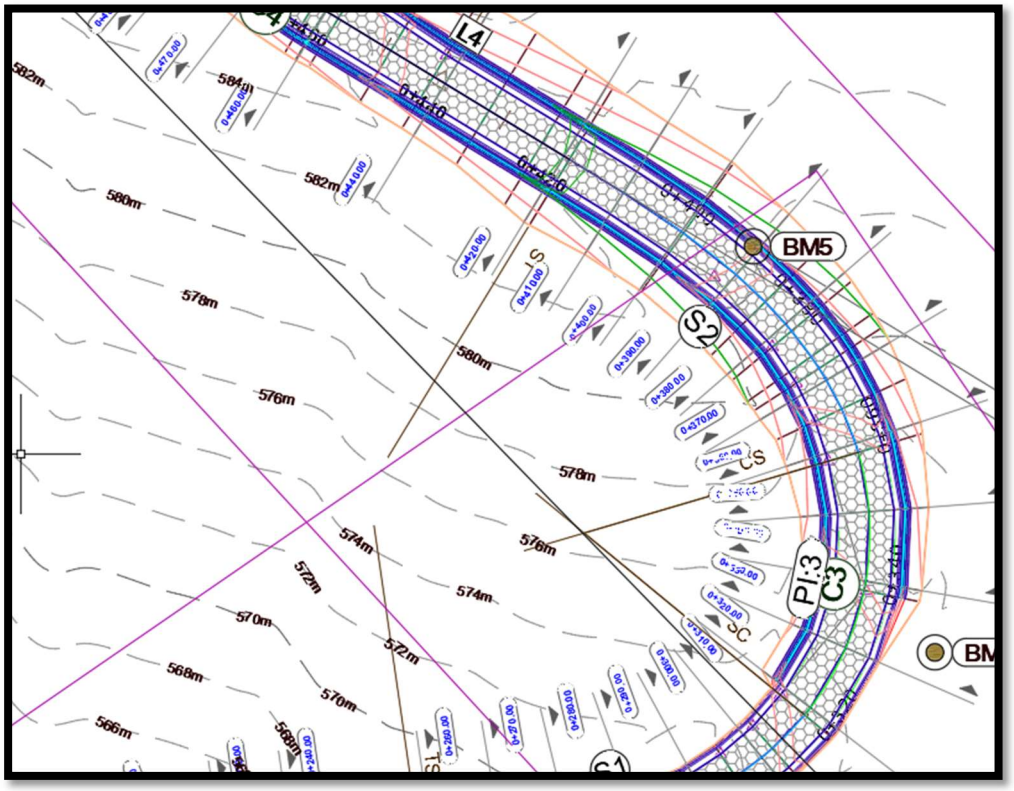
Fuente: Elaboración Propia

3.5.11.4 Creación del alineamiento horizontal y corredor

Posterior a la importación de la norma SIECA 2011 en software, se crean el alineamiento horizontal, sin antes ingresar parámetros de diseño, como lo que viene siendo el radio mínimo, velocidad de diseño y longitudes de tangentes.

Luego al terminar el alineamiento se revisan las advertencias que indican que la norma no se está cumpliendo, advertencias como de que el radio no cumple respecto a la velocidad, solución que se da reduciendo la velocidad de diseño.

Figura 29 Alineamiento horizontal.



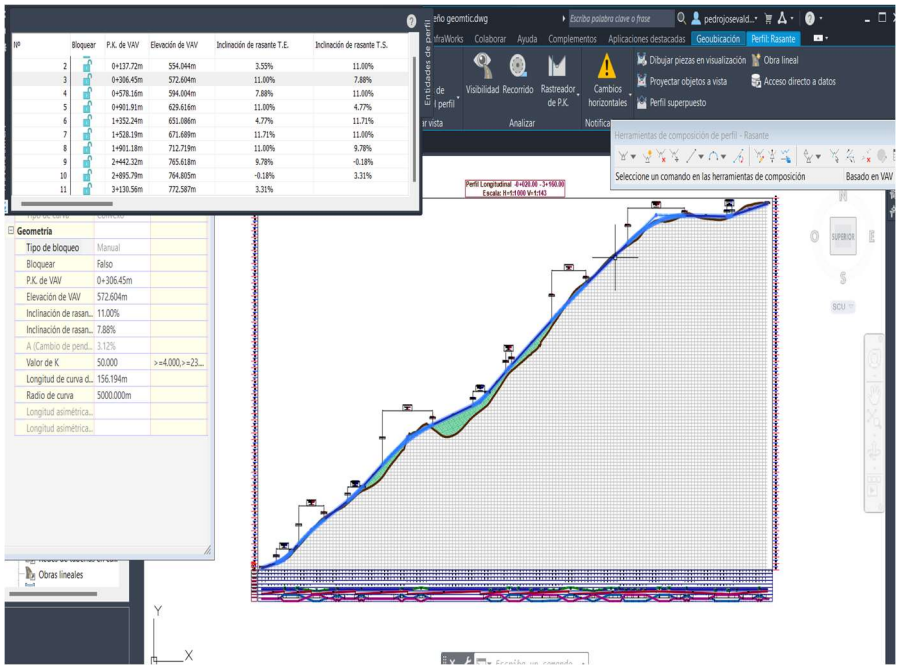
Fuente: Elaboración propia.

3.5.11.5 Creación de perfil longitudinal y rasante

Para el perfil longitudinal se vuelven a cargar los parámetros de la norma y se selecciona el alineamiento horizontal para la creación del perfil con la herramienta; “creación de perfil a partir de alineamiento”, esta herramienta coloca el perfil según los estacionamientos que desee el usuario.

Luego de haber creado el perfil, se procedió con la herramienta de creación de alineamiento se importó la norma, y se asignó el valor de pendiente min para tipos de curvas.

Figura 30 Creación de perfil longitudinal.

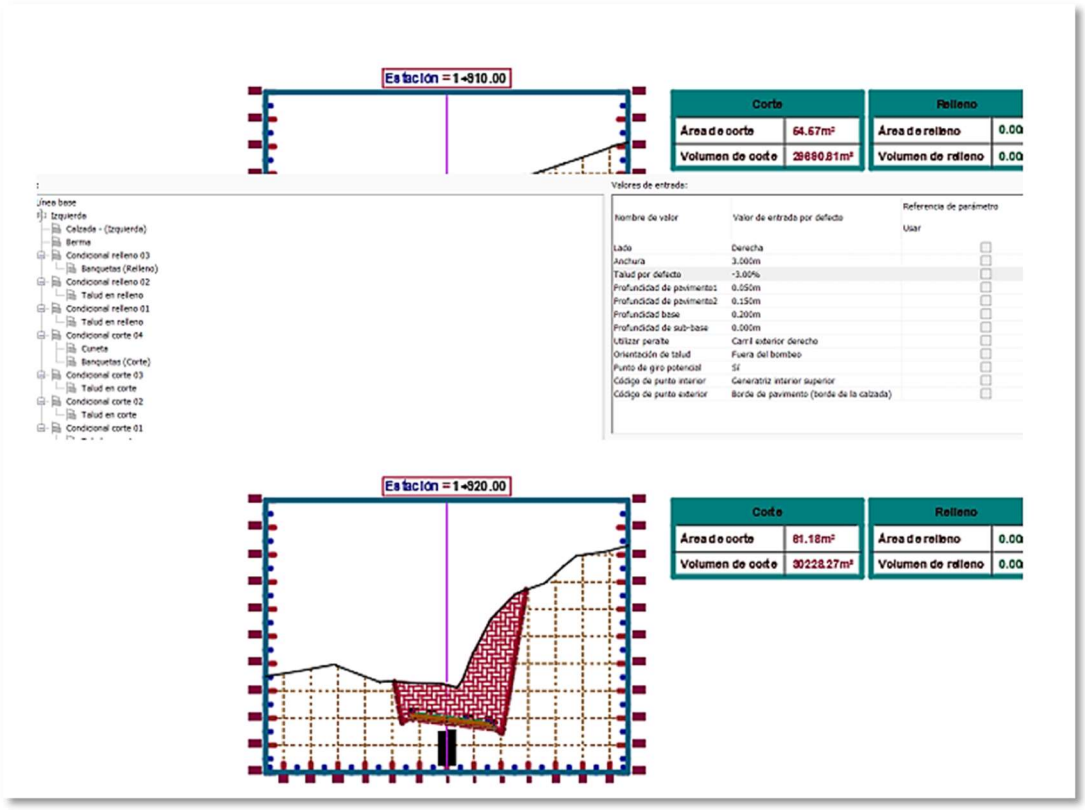


Fuente: Elaboración Propia

3.5.11.6 Creación de secciones

Una herramienta para visualización de las secciones trasversales, como paso fundamental es la creación de secciones, dentro de la configuración se establecen los espesores de capa que se obtuvieron del diseño de espesores, así cuando se crea esta herramienta realiza automáticamente las secciones con las características de bases y carpetas de rodamiento.

Figura 31 Configuración de secciones.



Fuente: Elaboración Propia

3.5.11.7 Creación de planos

Dentro de la creación de planos, primero se agregó la plantilla en formato tabloide, luego dentro de la plantilla se crean dos ventanas, una para el alineamiento horizontal y otra para el vertical, se configuran las acotaciones, en la escala respectiva y por último se exporta en PDF ya sea una por una o un solo archivo de planos

Figura 32 Configuración de secciones.

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Durante la realización del levantamiento topográfico, se analizaron los datos necesarios para la elaboración del diseño geométrico y se determinó, a partir de las pendientes encontradas, que el tipo de terreno es ondulado. El levantamiento topográfico cumple con los criterios establecidos por el Manual de Revisión del MTI, ya que incluye el levantamiento de detalles, el establecimiento de BM, lo cual ha permitido caracterizar tanto planimétrica como altimétricamente el terreno del tramo.
- En el análisis de tráfico, se llevó a cabo un conteo vehicular durante una semana, recopilando los datos necesarios para el cálculo del TPDA y ESAL´S. se obtuvo un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 428 vehículos/día. Además, se emplearon recursos como los registros históricos del producto interno bruto, el tránsito promedio diario anual y el censo poblacional para calcular una tasa de crecimiento del 4.4 %. Con esta tasa de crecimiento, se proyectó el tráfico de diseño para un período de 15 años, resultando en un ESAL de 292,532 psi.
- Se efectuó el estudio de suelos en el cual realizaron un total de 7 sondeos manuales con profundidades máximas de 1.50 metros. Según los sondeos manuales previos, los suelos encontrados pertenecen a los tipos A-1-a, A-2-4, A-2-6, A-2-7, y A-5. Estos suelos son clasificados como gravas, limosas y arcillosas, y arenas finas. De acuerdo con la clasificación AASHTO, estos suelos son considerados de excelentes a buenos para su uso en la subrasante. Se analizo el CBR de subrasante el cual dio un CBR de 17 %.
- Se analizaron dos fuentes de material ubicadas en los terrenos de Rosa Mendoza y Alejo Peralta, situadas en las estaciones 11+200 y 12+200 del tramo de carretera Aceituno – El Sauce. En estos bancos se encontraron suelos de tipo A-2-4(0) y A-1-b (0|), según la clasificación AASHTO, los cuales son gravas limosas recomendadas por la Norma NIC-2019 para ser usadas en la base y subbase de la estructura del pavimento.
- En el diseño de la estructura del pavimento se utilizó el método AASHTO 93. Según los resultados del estudio de pavimento, los espesores

recomendados son: 4 pulgadas para el adoquín, 4 pulgadas para la base y 2 pulgadas para el colchón de arena.

- Basándose en los puntos recolectados de la sección, se utilizó el software Civil 3D para realizar el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y las secciones transversales, siguiendo los parámetros de diseño establecidos por la norma SIECA 2011. Los datos determinados fueron los siguientes: velocidad de diseño de 40 km/h, radio de curvatura mínimo de 43 m, peralte de diseño de 8%, y un grado de curvatura máxima de 20°39′11"; se calcularon 6 curvas verticales las cuales 3 fueron en cresta y 3 en columpio, se calcularon 7 curvas simples y 8 curvas que no cumplían como simples y se aplicaron espirales, los cuales fueron18 espirales de transición.

4.2 Recomendaciones

Con base en el estudio realizado durante el desarrollo de este trabajo monográfico, presentamos algunas recomendaciones para lograr un diseño que se adapte adecuadamente a las condiciones previamente descritas del tramo en estudio.

- El MTI deberá llevar a cabo aforos vehiculares de manera continua en el tramo Aceituno – El Sauce, con el fin de mantener un control más preciso del flujo vehicular y su comportamiento, tal como se ha analizado en el estudio de tránsito para el período de diseño de la carretera.
- El contratista tendrá que cumplir con los parámetros establecidos en el diseño en cuanto a los materiales de construcción a utilizar y sus espesores calculados, para garantizar el funcionamiento exitoso del tramo en estudio.
- Verificar que el material del banco esté completamente libre de sustancias que puedan comprometer la integridad del diseño. Esta comprobación garantiza que el pavimento mantenga su durabilidad y rendimiento a lo largo del tiempo, evitando posibles fallos, asegurando la estabilidad del tramo en estudio.
- El supervisor deberá cumplir rigurosamente con los parámetros mínimos establecidos para la capa base y asegurar que la compactación se realice de acuerdo con los estándares del Proctor Estándar, alcanzando al menos un 95% de densidad. Asegurar que la compactación cumpla con estos requisitos minimizará el riesgo de asentamientos y deformaciones, contribuyendo a la durabilidad y eficiencia del tramo en estudio a lo largo de su vida útil
- Se recomienda implementar una supervisión rigurosa durante la ejecución de la obra, asegurando un estricto control de calidad tanto de los materiales como del proceso de construcción. Esto incluye verificar que todos los componentes cumplan con las especificaciones del diseño, contribuyendo así a la durabilidad y funcionalidad del tramo en estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2020). *Anuario Estadistico Sector Transporte.* Managua: División General De planificación.

AASHTO-93. (2001). *Guía para el DIseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93 (3ra edición).* Washington: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.

AASHTO-93. (2006). *Diseño de Pavimento AASHTO-93.* La Paz: NHI, Instituto Nacional de Carreteras de Carreteras.

AASTHO-93. (1998). *American Association of State Highway and Transportation.*

Banco Central de Nicaragua. (2022). *Anuario de Estadísticas Macroenómicas .* Managua.

Cal y Mayor Reyes Spíndola, R. &. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones.* (9 ed. ed.). Cuauhtémoc, Ciudad de México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Cárdenas Grisales, J. (2013). *Diseño Geometrico de Carreteras.* Bogotá: Ecoe ediciones.

Cleves, G. G. (2007). *Topografiá para Ingenieros Civiles .* Armenia : Universidad de Quindio.

Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA.* Guatemala: USAID/SIECA.

Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, SIECA.* Guatemala: USAID/SIECA.

Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones.* México: Limusa.

Das, B. M. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4 ed.). CENGAGE LEARNING EDITORES, S.A. DE C.V.;.

ESPAÑOLA, R. A. (2023). *Diccionario de la lengua española, 23.ª ed.* Recuperado el 2023, de https://dle.rae.es

Gayarre, F. L. (2002). *Elementos de Toógrafía y Construcción.* España.

infraestructura, M. d. (2008). *Manual Para la Revición de Diseño de Pavimentos.* Managua, Nicaragua,: Corea y Asociados S.A. (CORASCO).

Instituto Nacional de Información de Desarollo . (2021). *Anuario Estadístico.* Managua .

James R Wirshing, R. H. (1987). *INTRODUCCIÓN A LA TOPOGRAFÍA.* MEXICO: McGRAW-HILL.

LA PRENSA. (23 de junio de 2007). *LA PRENSA*. Obtenido de Reanudan reparación de vía Estelí - El Sauce: https://www.laprensani.com/2007/06/23/departamentales/1303584-reanudan-reparacion-de-via-esteli-el-sauce

Márquez, F. G. (1994). *Curso Basíco de Topografía.* MEXICO D.F: Árbol Editorial S.A.

Matera, L. C. (2002). *Topografía Plana.* Mérida : Impreso en Venezuela/Printed in Venezuela Taller de Publicaciones de Ingenieria.

McCormac, J. (s.f.). *Topografía* (1° ra ed.).

Ministerio de Transporte e infraestructura . (2020). *Anuario de Aforos de Tráfico .* Managua : MTI.

MTI. (2008). *Manual para la Revisión de Estudios Topográficos.* Managua, Nicaragua.

MTI. (2019). *Normas NIC 2019.* Managua.

MTI. (2019). *Anuario de Aforos de Tráfico año 2019.* Managua.

Real Academia Española. (2023). Obtenido de https://www.rae.es/tdhle/adoqu%C3%ADn

SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras* (3 ed.).

SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras.* (3° Edición ed.).

Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2009). *Estadística.* México: McGRAW-HILL/INTERAMERICA EDITORES, S.A. DE C.V.

ANEXOS

Figura 33 Condiciones del tramo

Fuente: Elaboración propia

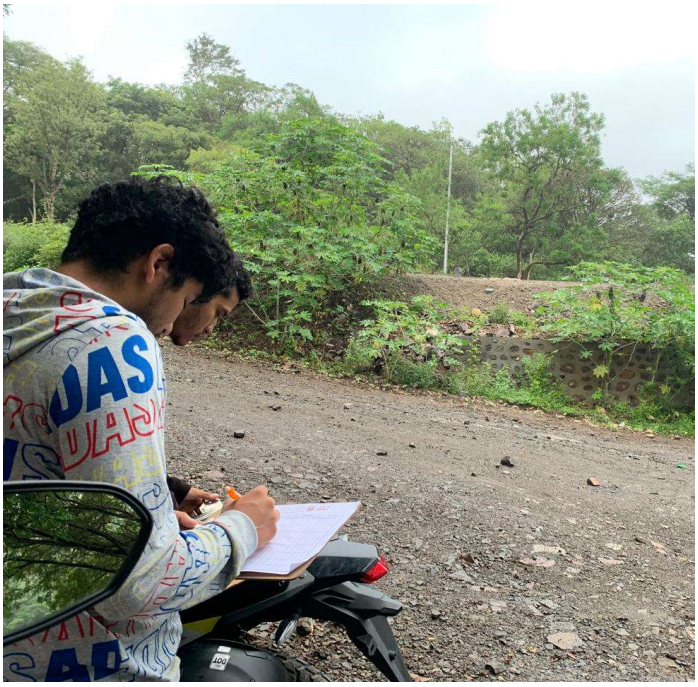
Figura 34 Realización de ensayos de granulometría

Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Realización de aforo vehicular

Fuente: Elaboración propia

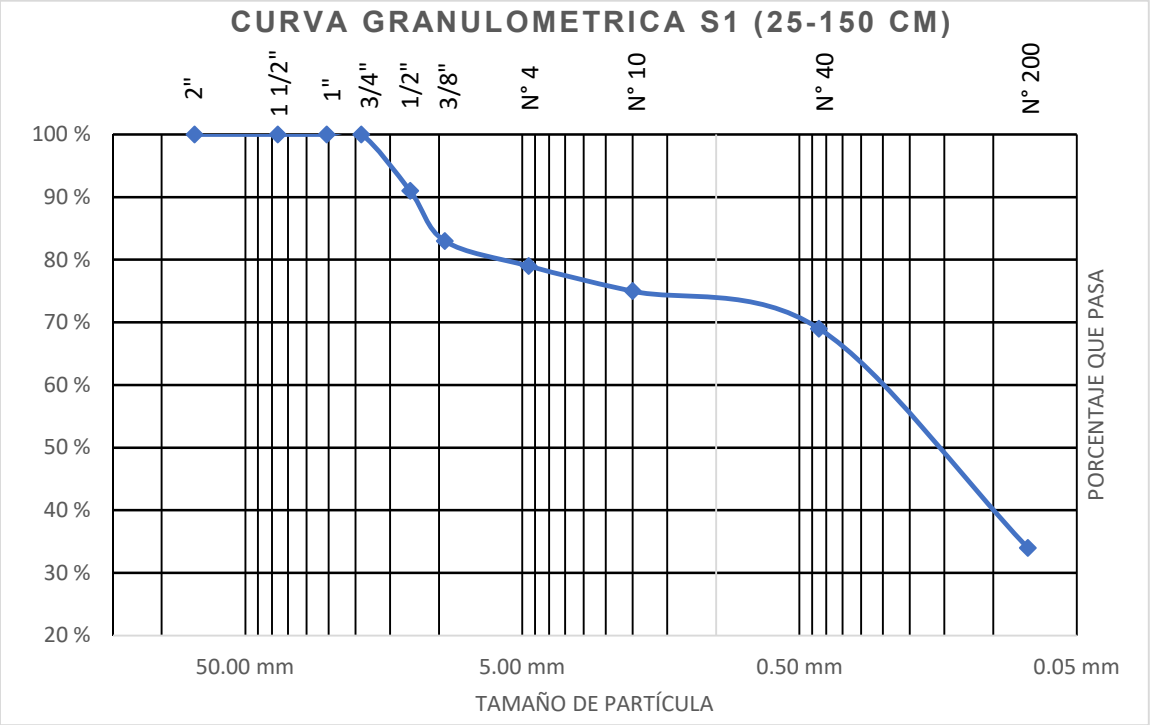
Figura 36 realización de aforo parte 2



Fuente: Elaboración propia

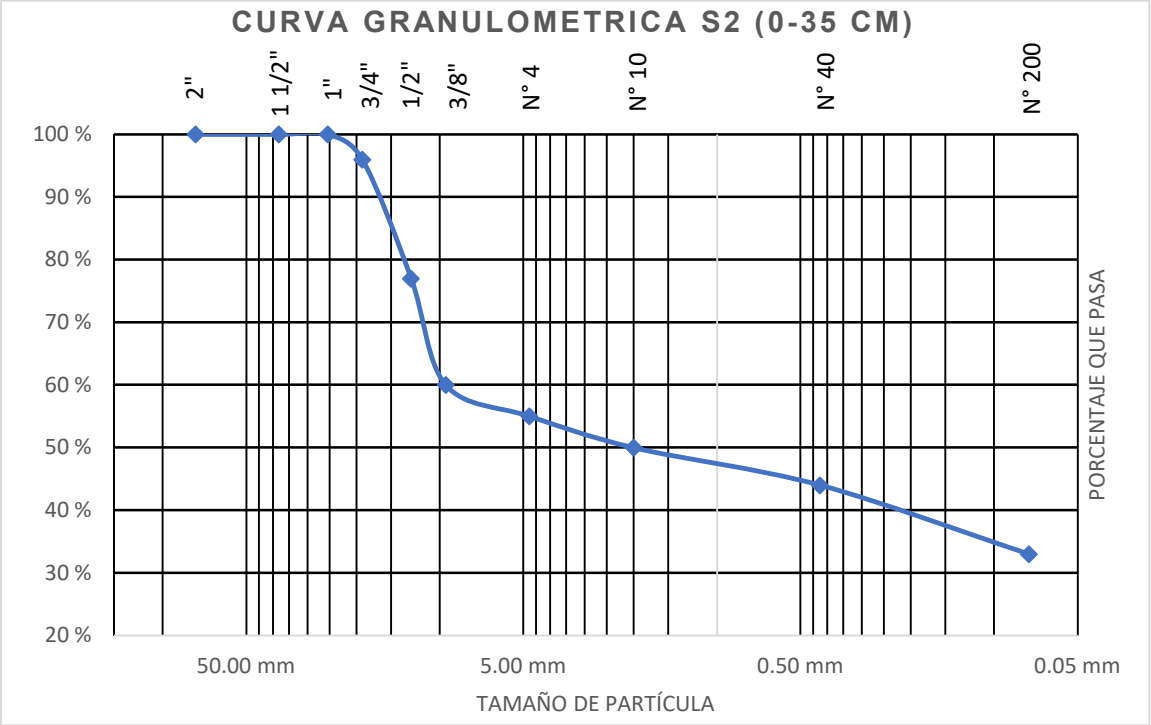
Curvas granulométricas

Figura 37 Curva granulométrica para SM – 1 (25 cm-150cm)



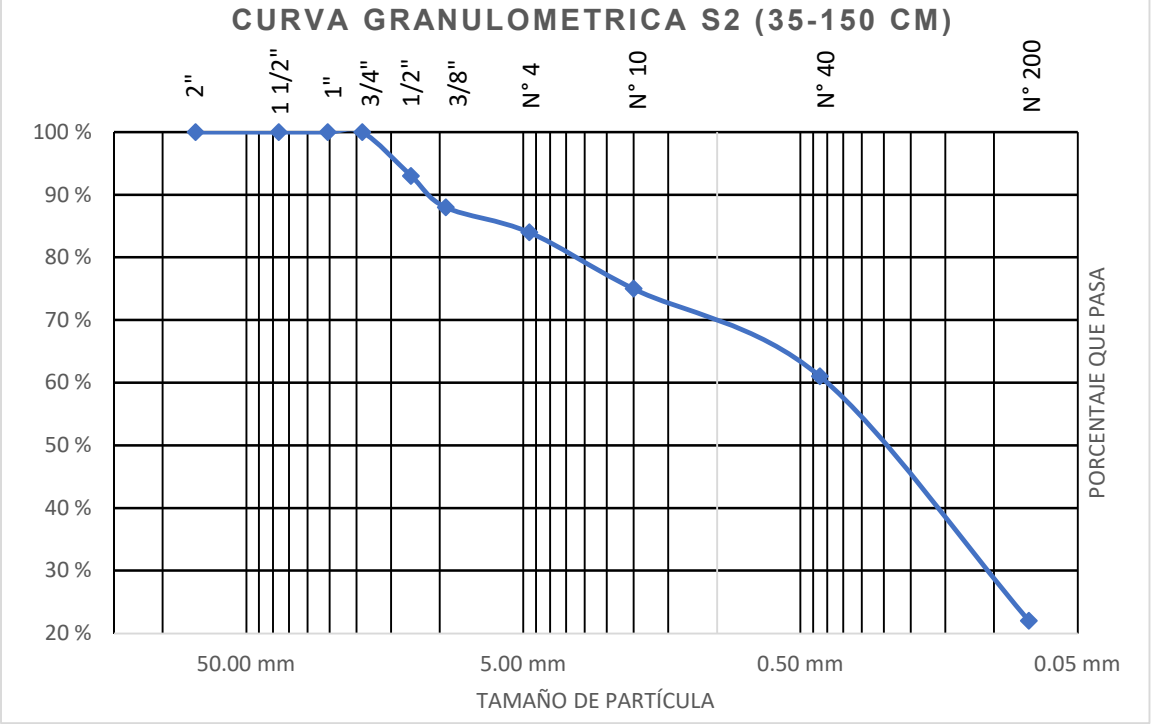
Fuente: elaboración propia

Figura 38 Curva granulométrica para S2(0 - 0.35 cm)



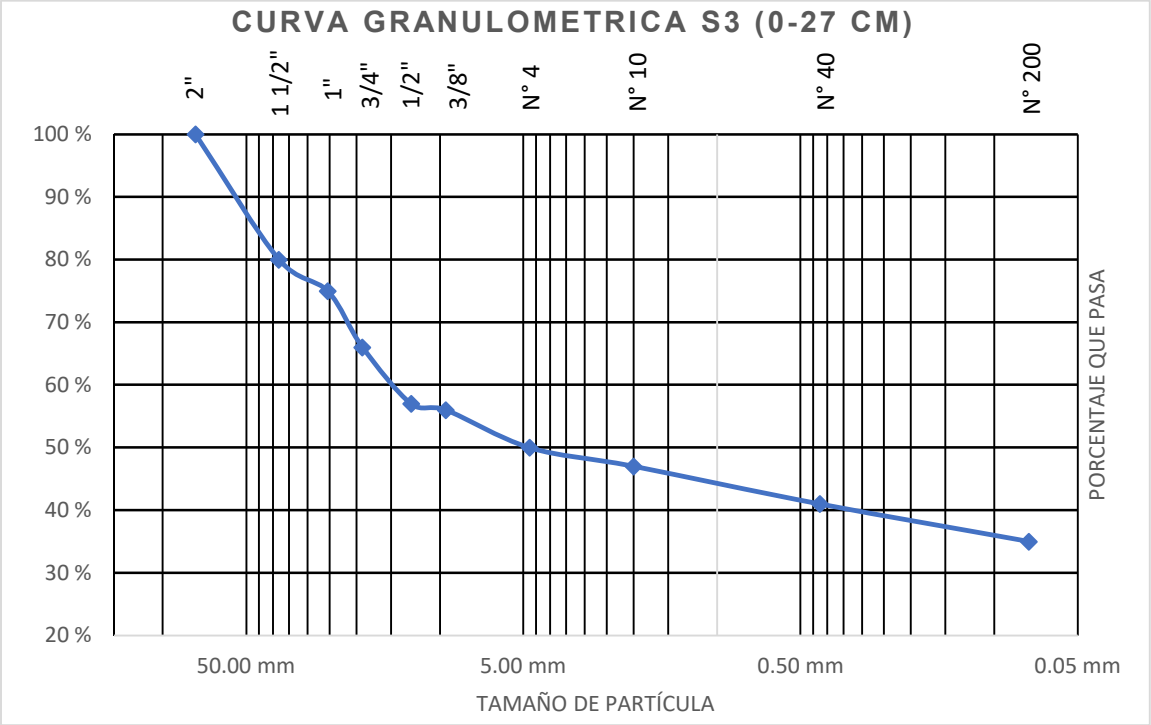
Fuente: elaboración propia

Figura 39 Curva granulométrica para S2 (35 - 1.50cm)



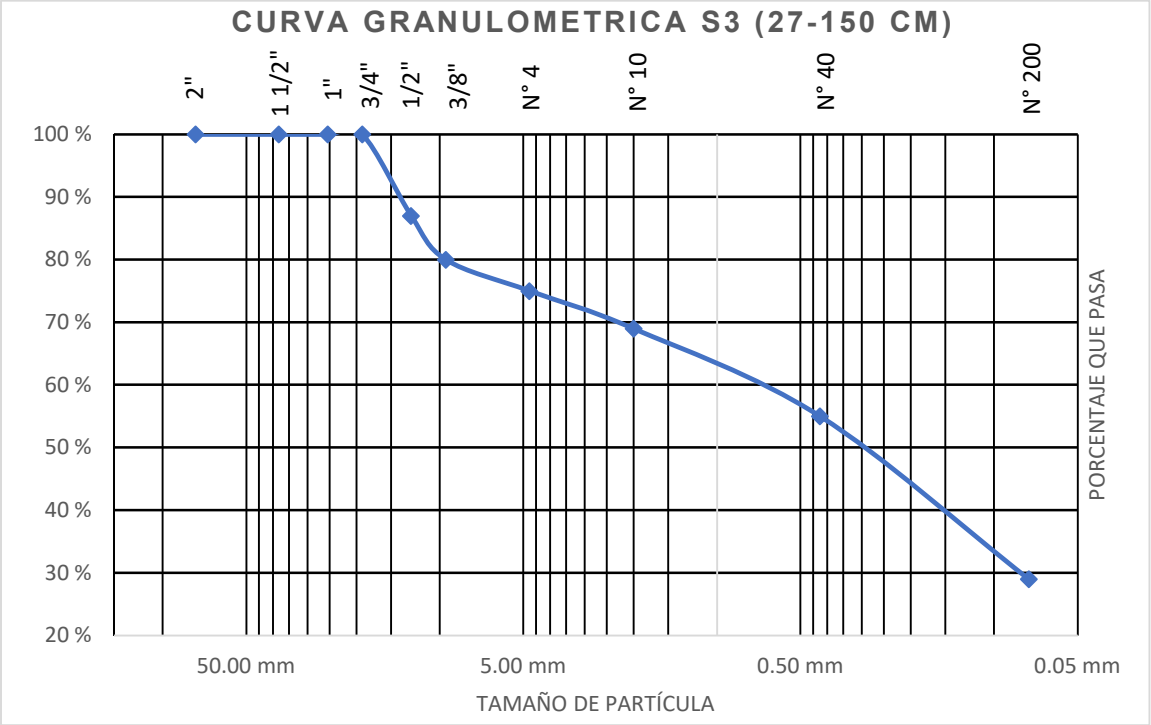
Fuente: elaboración propia

Figura 40 Curva granulométrica para S3 (0 - 27cm)



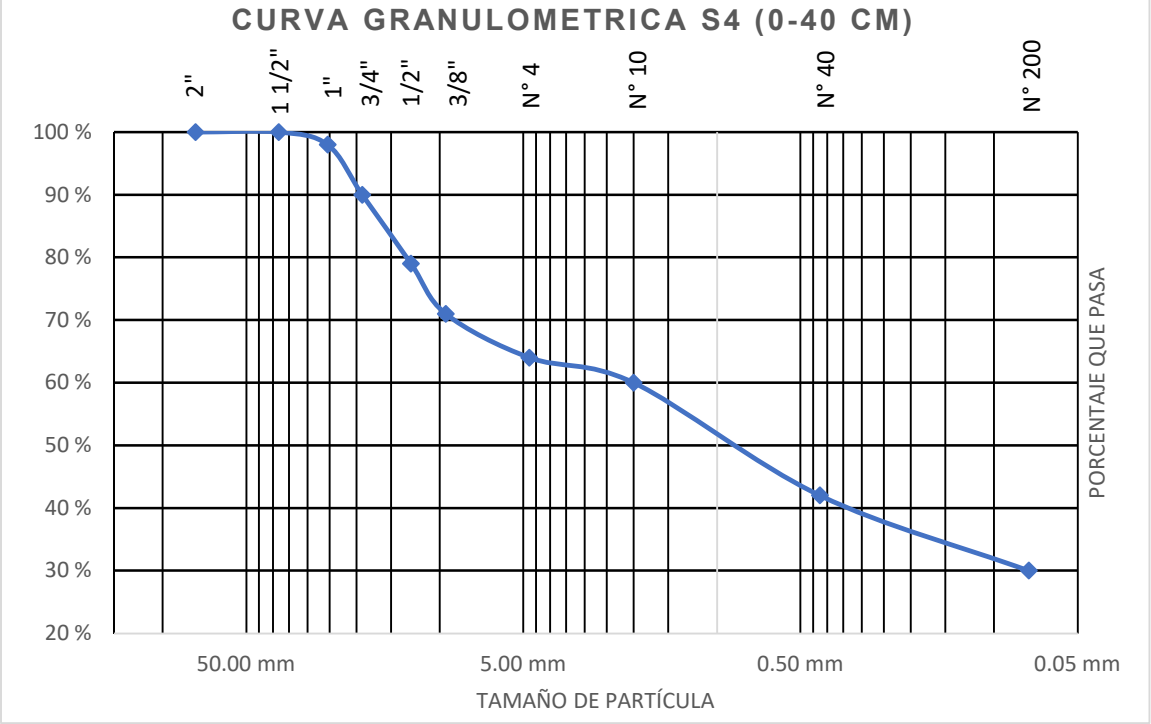
Fuente: elaboración propia

Figura 41 Curva granulométrica para S3 (27- 150cm)



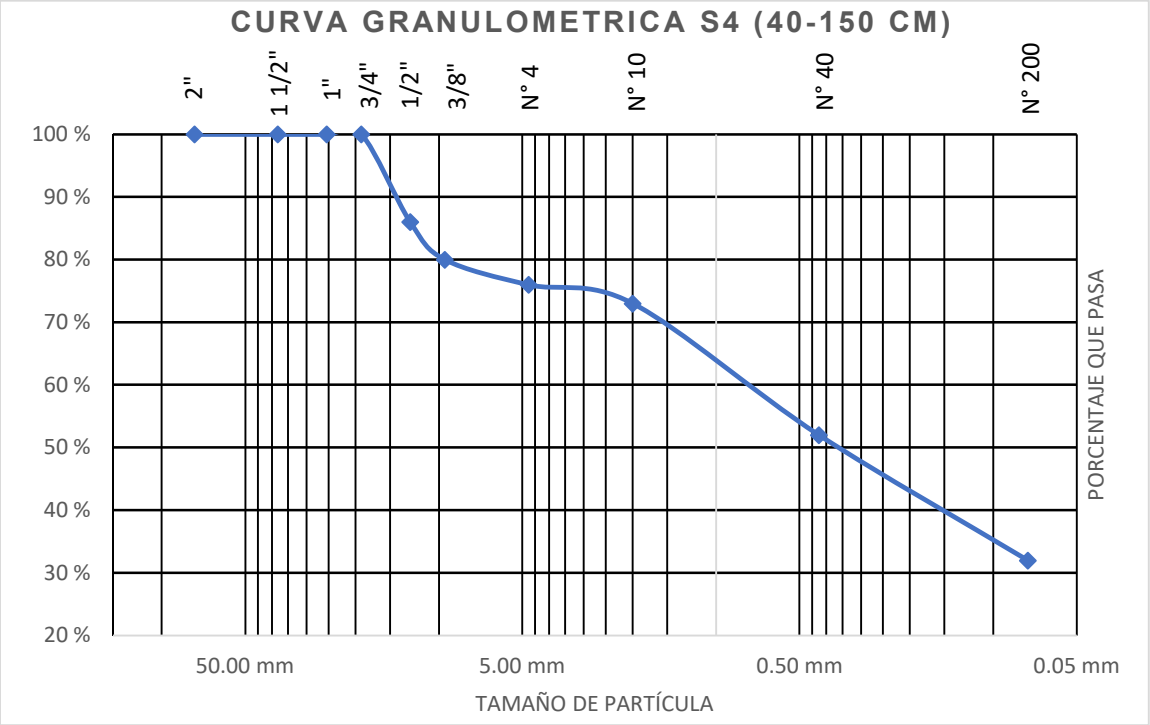
Fuente: elaboración propia

Figura 42 Curva granulométrica para S4 (0- 40cm)



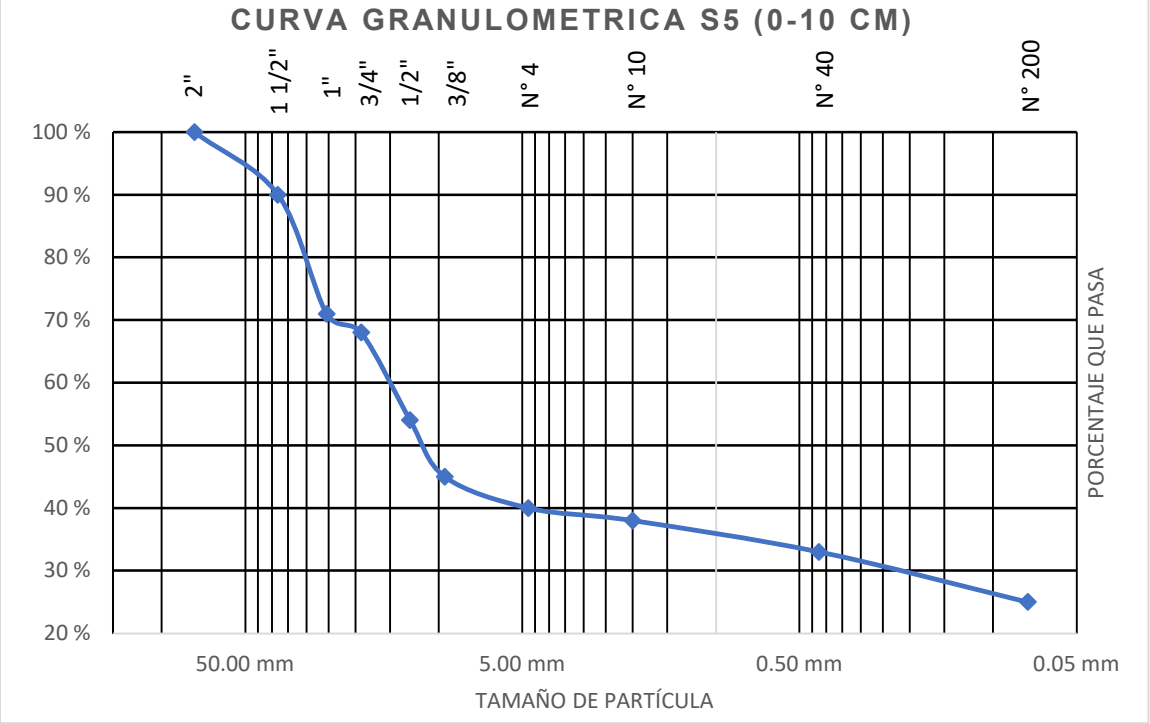
Fuente: elaboración propia

Figura 43 Curva granulométrica para S4 (40- 150cm)



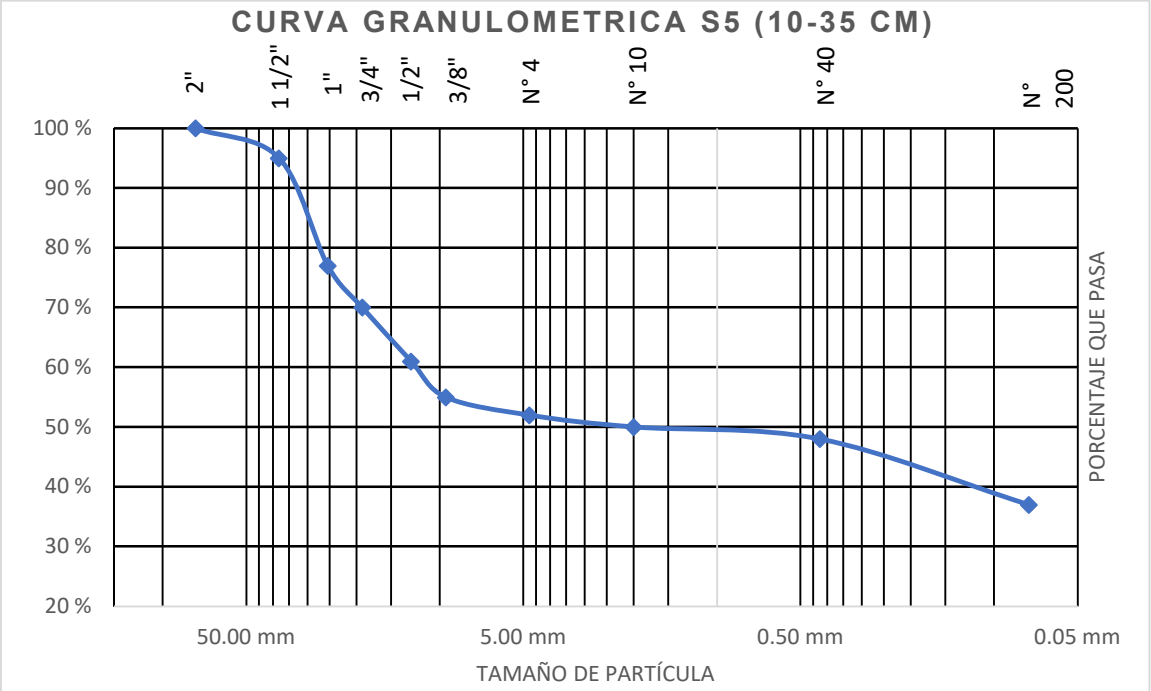
Fuente: elaboración propia

Figura 44 Curva granulométrica para S5 (0- 10cm)



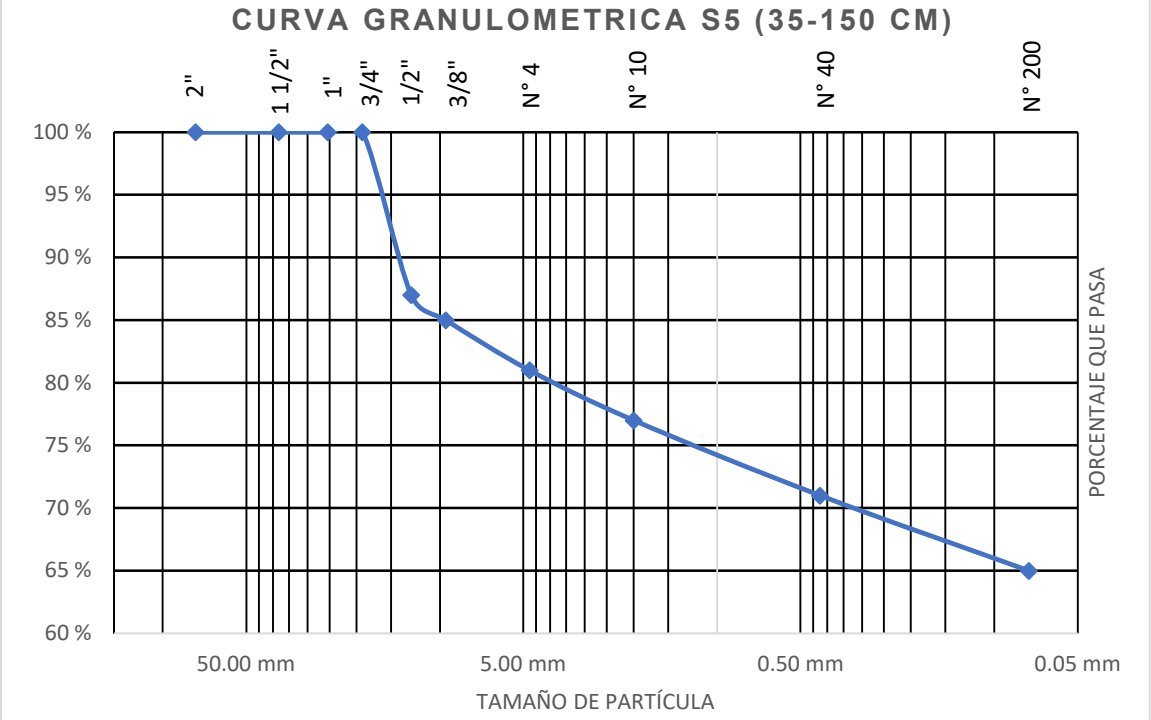
Fuente: elaboración propia

Figura 45 Curva granulométrica para S5 (10- 35cm)



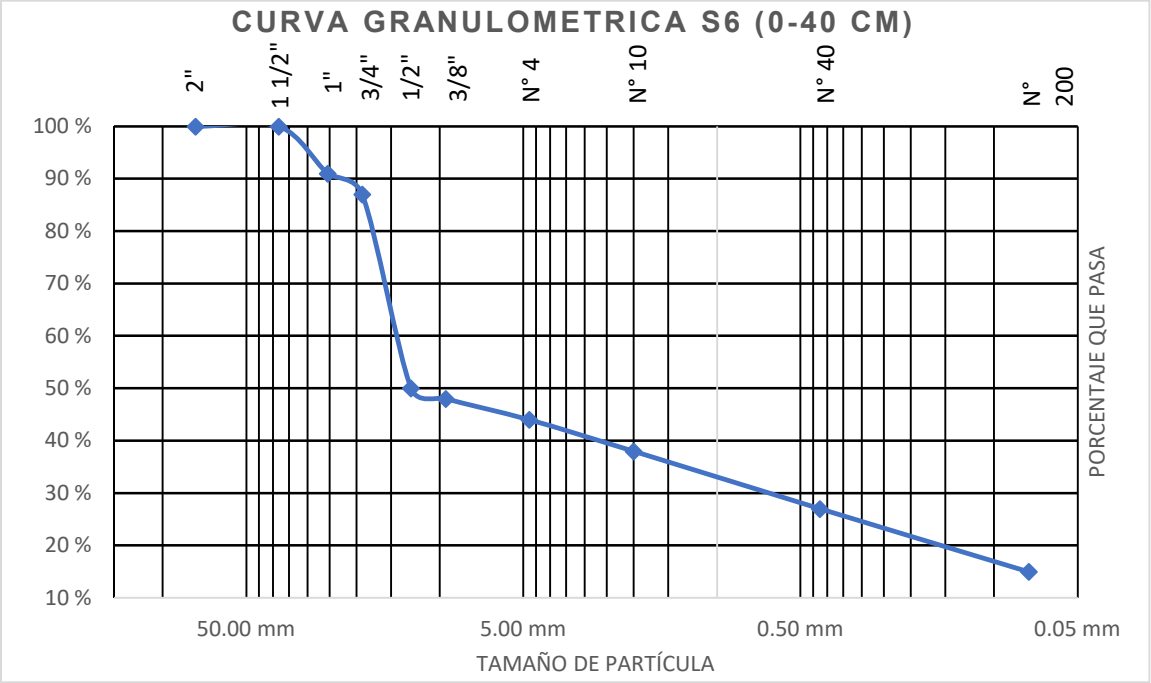
Fuente: elaboración propia

Figura 46 Curva granulométrica para S5 (35- 150cm)



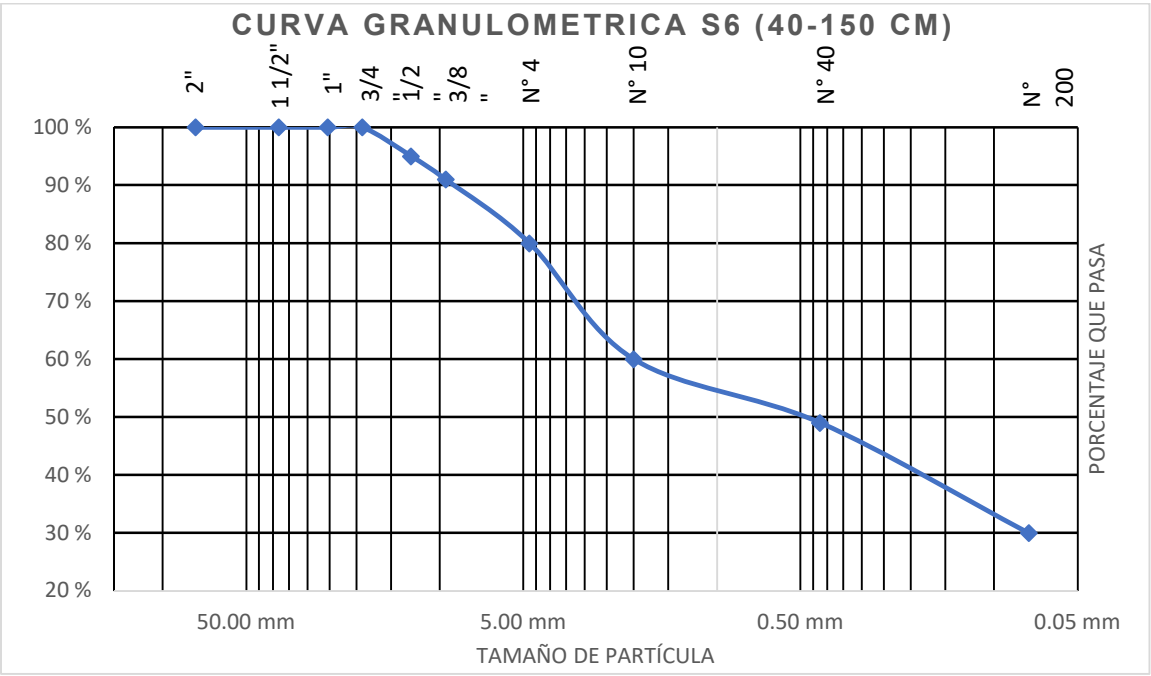
Fuente: elaboración propia

Figura 47 Curva granulométrica para S6 (0- 40m)



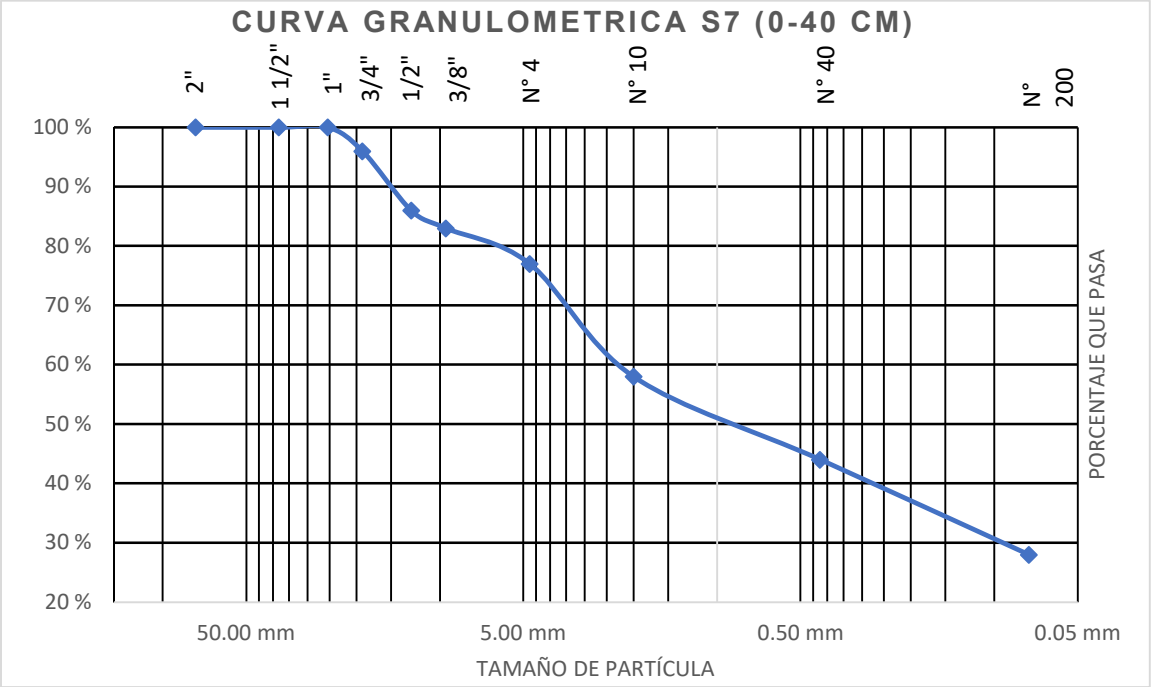
Fuente: elaboración propia

Figura 48 Curva granulométrica para S6 (40- 150cm)



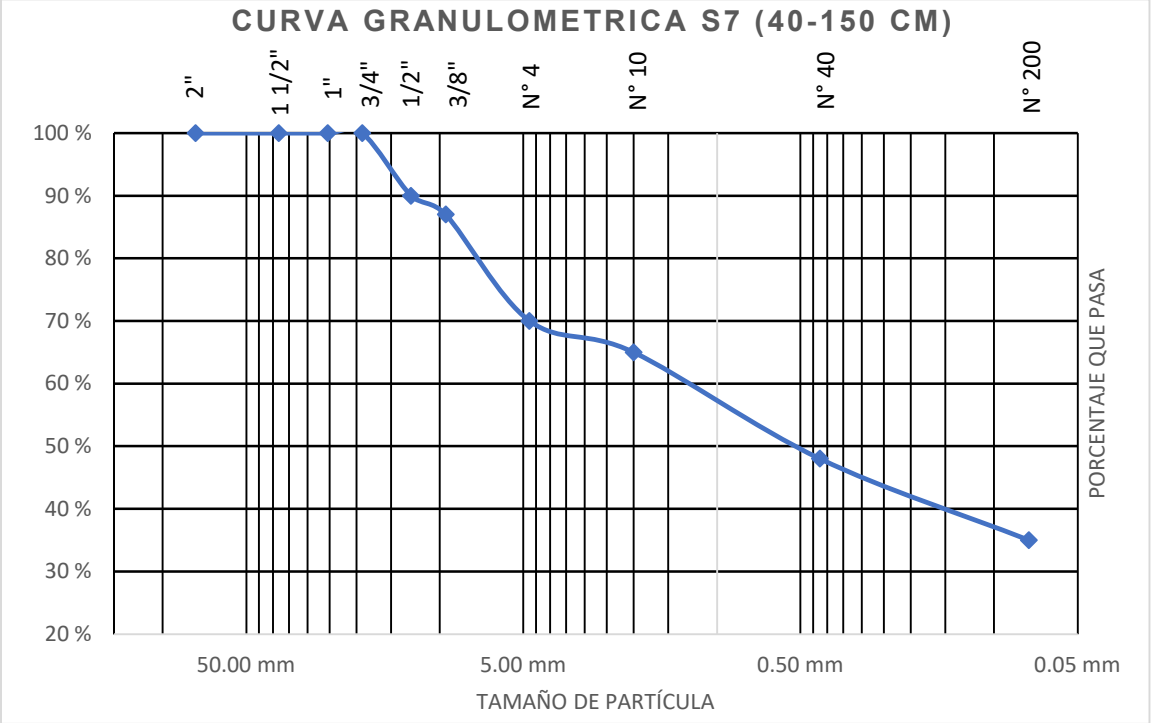
Fuente: elaboración propia

Figura 49 Curva granulométrica para S7 (0- 40cm)



Fuente: elaboración propia

Figura 50 Curva granulométrica para S7 (0.4- 1.50m)



Fuente: elaboración propia

Tabla de aforos

Tabla 61 Aforo vehicular lunes (conteo 1)

Estación:	**Est.14+000**				**Ambos Sentidos**			**Día: Lunes**					
Tramo: Comunidad El Porvenir- Empalme El Aceituno								**Fecha: 09/10/2023**					
Hora	**Moto**	**Autos**	**Jeep**	**Camionetas**	**Mcbus <15pas.**	**Mn 15-30 s.**	**Bus**	**C2 Liv 2-5 ton**	**C2 > 5 Ton**	**C3**	**Tx-Sx <=4e**	**Cx-Rx >=5e**	**TOTAL**
6:00-7:00	19	2	0	11	6	0	4	2	1	0	0	0	45
7:00-8:00	11	1	1	10	0	0	0	3	2	1	0	1	30
8:00-9:00	15	1	0	14	0	0	1	0	0	0	0	1	32
9:00-10:00	11	0	0	8	0	0	0	0	0	1	0	0	20
10:00-11:00	10	0	0	4	0	0	0	0	0	3	0	0	17
11:00-12:00	9	0	0	7	0	0	0	1	1	4	0	1	23
12:00-13:00	5	0	1	9	0	0	0	0	2	0	0	0	17
13:00-14:00	9	0	0	6	0	0	1	0	1	0	0	0	17
14:00-15:00	9	2	0	11	0	0	3	0	0	0	0	1	26
15:00-16:00	9	3	1	3	1	0	2	0	1	0	0	0	20
16:00-17:00	5	1	0	12	0	0	1	0	0	0	0	0	19
17:00-18:00	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Total	112	10	3	102	7	0	12	6	8	9	0	4	**273**
	Vehículos Livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos Pesados					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62 Aforo vehicular martes (conteo 2)

Estación: Est.14+000					**Ambos Sentidos**			**Día: Martes**					
Tramo: Comunidad El Porvenir- Empalme El Aceituno								**Fecha: 10/10/2023**					
Hora	**Moto**	**Autos**	**Jeep**	**Camionetas**	**Mcbus <15pas.**	**Mn 15-30 s.**	**Bus**	**C2 Liv 2-5 ton**	**C2 > 5 Ton**	**C3**	**Tx-Sx <=4e**	**Cx-Rx >=5e**	**TOTAL**
6:00-7:00	26	0	0	12	0	0	3	1	1	0	0	1	44
7:00-8:00	22	0	1	7	1	0	3	1	1	0	0	2	38
8:00-9:00	24	3	4	17	0	0	0	1	1	0	0	0	50
9:00-10:00	17	0	1	8	3	0	1	0	2	0	2	0	34
10:00-11:00	16	1	1	9	0	0	0	0	0	0	0	1	28
11:00-12:00	11	1	0	18	0	0	0	2	0	2	0	0	34
12:00-13:00	20	2	1	7	1	0	1	0	0	0	1	1	34
13:00-14:00	6	1	2	4	0	0	1	0	0	0	0	0	14
14:00-15:00	15	0	1	10	0	0	2	1	0	1	1	0	31
15:00-16:00	12	1	0	11	0	0	0	1	0	1	0	0	26
16:00-17:00	5	8	3	6	1	2	4	0	0	0	0	0	29
17:00-18:00	4	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	8
Total	178	17	14	112	7	2	15	7	5	4	4	5	**370**
	Vehículos Livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos Pesados					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63 Aforo vehicular miércoles (conteo 3)

Estación: Est.14+000					**Ambos Sentidos**			**Día: Miércoles**					
Tramo: Comunidad El Porvenir- Empalme El Aceituno								**Fecha: 11/10/2023**					
Hora	**Moto**	**Autos**	**Jeep**	**Camionetas**	**Mcbus <15pas.**	**Mn 15-30 s.**	**Bus**	**C2 Liv 2-5 ton**	**C2 > 5 Ton**	**C3**	**Tx-Sx <=4e**	**Cx-Rx >=5e**	**TOTAL**
6:00-7:00	34	0	0	12	0	0	4	1	1	0	0	0	52
7:00-8:00	19	0	3	7	0	0	2	0	0	0	0	1	32
8:00-9:00	26	0	0	14	0	0	0	2	1	0	0	0	43
9:00-10:00	16	3	2	9	0	0	0	0	0	0	1	0	31
10:00-11:00	15	3	1	13	0	0	0	0	0	0	0	0	32
11:00-12:00	9	4	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	27
12:00-13:00	9	2	1	6	0	0	1	0	0	0	0	0	19
13:00-14:00	16	1	3	7	1	0	1	0	0	1	0	0	30
14:00-15:00	27	1	2	9	1	1	3	2	0	0	0	0	46
15:00-16:00	15	1	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	21
16:00-17:00	3	0	3	12	3	0	2	0	0	0	0	0	23
17:00-18:00	8	0	0	12	1	0	0	0	0	0	0	0	21
Total	197	15	18	101	6	1	13	6	2	1	1	1	**377**
	Vehículos Livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos Pesados					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64 Aforo vehicular jueves (conteo 4)

Estación: Est.14+000					**Ambos Sentidos**			**Día: Jueves**					
Tramo: Comunidad El Porvenir- Empalme El Aceituno								**Fecha: 12/10/2023**					
Hora	**Moto**	**Autos**	**Jeep**	**Camionetas**	**Mcbus <15pas.**	**Mn 15-30 s.**	**Bus**	**C2 Liv 2-5 ton**	**C2 > 5 Ton**	**C3**	**Tx-Sx <=4e**	**Cx-Rx >=5e**	**TOTAL**
6:00-7:00	24	4	0	9	0	0	3	0	1	0	2	0	43
7:00-8:00	19	0	2	6	0	0	2	0	0	0	0	0	29
8:00-9:00	24	1	2	20	0	0	0	2	0	0	0	0	49
9:00-10:00	16	0	1	10	1	0	0	1	0	0	1	0	30
10:00-11:00	15	1	3	10	0	0	0	0	0	1	0	0	30
11:00-12:00	13	1	0	13	0	0	0	2	1	2	0	0	32
12:00-13:00	15	1	0	9	0	0	0	0	1	0	0	0	26
13:00-14:00	12	3	6	6	0	0	1	0	0	0	0	0	28
14:00-15:00	17	0	0	10	0	0	2	0	1	0	0	0	30
15:00-16:00	18	0	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	30
16:00-17:00	12	3	1	11	0	1	1	0	1	0	0	0	30
17:00-18:00	8	0	0	9	0	0	0	0	1	0	0	0	18
Total	193	14	16	124	1	1	9	5	6	3	3	0	**375**
	Vehículos Livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos Pesados					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65 Aforo vehicular viernes (conteo 5)

Estación: Est.14+000					**Ambos Sentidos**			**Día: Viernes**					
Tramo: Comunidad El Porvenir- Empalme El Aceituno								**Fecha: 13/10/2023**					
Hora	**Moto**	**Autos**	**Jeep**	**Camionetas**	**Mcbus <15pas.**	**Mn 15-30 s.**	**Bus**	**C2 Liv 2-5 ton**	**C2 > 5 Ton**	**C3**	**Tx-Sx <=4e**	**Cx-Rx >=5e**	**TOTAL**
6:00-7:00	26	1	0	9	0	0	3	1	1	0	0	0	41
7:00-8:00	19	5	0	8	0	0	3	2	1	0	0	2	40
8:00-9:00	30	2	1	11	0	0	1	1	0	0	0	0	46
9:00-10:00	26	3	1	12	1	0	0	0	1	0	0	0	44
10:00-11:00	16	2	5	13	0	0	0	0	0	2	0	0	38
11:00-12:00	13	2	0	13	0	0	0	1	1	3	0	0	33
12:00-13:00	15	0	1	9	1	0	0	0	3	1	0	0	30
13:00-14:00	12	0	5	13	2	0	3	0	0	0	0	0	35
14:00-15:00	18	0	2	17	2	0	2	0	1	0	0	0	42
15:00-16:00	22	0	3	9	1	0	0	0	2	0	0	0	37
16:00-17:00	8	2	3	8	0	1	1	0	0	0	0	0	23
17:00-18:00	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	14
Total	212	17	21	129	7	1	13	5	10	6	0	2	**423**
	Vehículos Livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos Pesados					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66 Aforo vehicular sábado (conteo 6)

Estación: Est.14+000					Ambos Sentidos				Día: Sábado				
Tramo: Comunidad El Porvenir- Empalme El Aceituno									Fecha: 14/10/2023				
Hora	**Moto**	**Autos**	**Jeep**	**Camionetas**	**Mcbus <15pas.**	**Mn 15-30 s.**	**Bus**	**C2 Liv 2-5 ton**	**C2 > 5 Ton**	**C3**	**Tx-Sx <=4e**	**Cx-Rx >=5e**	**TOTAL**
6:00-7:00	27	0	0	12	0	0	3	0	1	0	0	0	43
7:00-8:00	30	0	0	10	0	0	2	0	1	0	0	3	46
8:00-9:00	13	1	1	13	3	0	0	2	0	0	0	0	33
9:00-10:00	20	2	4	11	3	0	0	2	1	0	1	0	44
10:00-11:00	17	2	5	11	0	0	0	1	0	0	0	0	36
11:00-12:00	14	2	3	13	0	0	2	0	1	0	0	0	35
12:00-13:00	15	4	1	11	0	0	0	1	1	0	0	0	33
13:00-14:00	12	4	1	7	0	0	1	0	0	0	2	0	27
14:00-15:00	13	0	0	12	0	0	2	0	0	1	1	0	29
15:00-16:00	8	0	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	20
16:00-17:00	25	3	0	13	0	1	1	0	0	0	0	0	43
17:00-18:00	10	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Total	179	18	16	131	6	1	11	6	5	1	4	3	**406**
	Vehículos Livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos Pesados					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67 Aforo vehicular domingo (conteo 7)

Estación: Est.14+000					**Ambos Sentidos**			**Día: Domingo**					
Tramo: Comunidad El Porvenir- Empalme El Aceituno								**Fecha: 15/10/2023**					
Hora	**Moto**	**Autos**	**Jeep**	**Camionetas**	**Mcbus <15pas.**	**Mn 15-30 s.**	**Bus**	**C2 Liv 2-5 ton**	**C2 > 5 Ton**	**C3**	**Tx-Sx <=4e**	**Cx-Rx >=5e**	**TOTAL**
6:00-7:00	19	2	0	11	4	0	3	1	1	0	0	0	41
7:00-8:00	17	2	0	9	0	0	2	1	1	0	0	0	32
8:00-9:00	18	5	1	15	0	0	0	1	0	0	0	0	40
9:00-10:00	13	2	1	10	1	0	0	0	1	0	1	0	29
10:00-11:00	15	1	0	10	0	0	0	0	0	1	0	0	27
11:00-12:00	7	1	0	13	0	0	0	0	1	3	0	0	25
12:00-13:00	17	0	0	10	0	0	0	0	1	1	0	0	29
13:00-14:00	14	1	2	10	0	0	1	0	0	0	0	0	28
14:00-15:00	20	0	2	11	0	0	2	0	0	0	0	0	35
15:00-16:00	15	1	4	12	0	0	1	3	0	0	0	0	36
16:00-17:00	13	3	4	10	0	1	3	3	0	0	0	0	37
17:00-18:00	15	0	4	7	0	0	1	0	0	0	0	0	27
Total	183	18	18	128	5	1	13	9	5	5	1	0	**386**
	Vehículos Livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos Pesados					

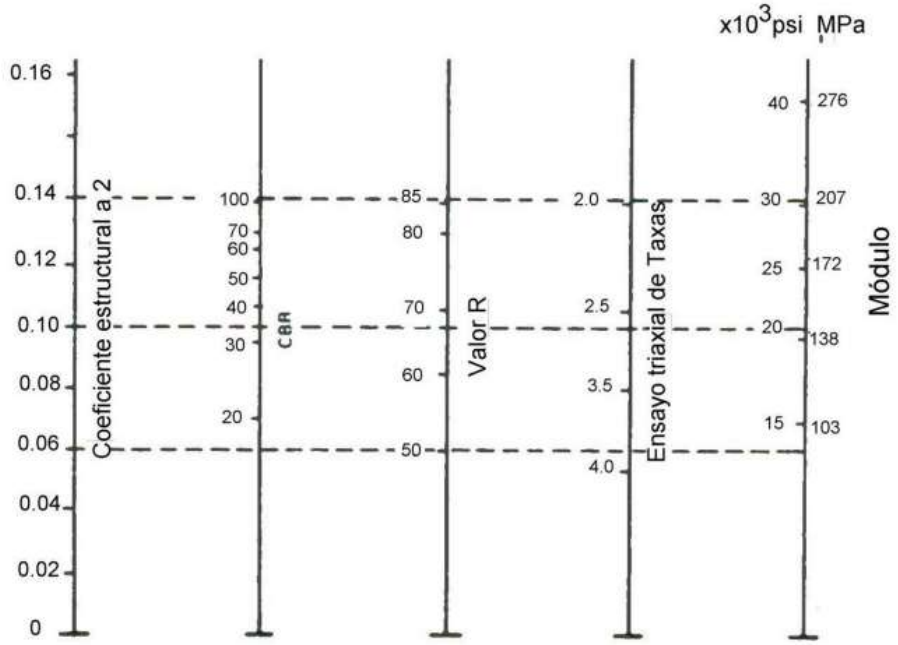
Fuente: Elaboración propia

Tabla 68 Formato de conteo de tránsito vehicular

FORMATO DE CONTEO DE TRÁNSITO VEHICULAR												
ESTACIÓN:								**Día:**				
TRAMO:					**SENTIDO:**			**Fecha:**				
Hora	**Vehículos Livianos**				**Vehículos de pasajeros**			**Vehículos de carga**				
	Moto	**Autos**	**Jeep**	**Camionetas**	**Mcbus <15pas.**	**Mn 15-30 s.**	**Bus**	**C2 Liv 2-5 ton**	**C2 > 5 Ton**	**C3**	**Tx-Sx <=4e**	**Cx-Rx >=5e**
6:00-7:00												
7:00-8:00												
8:00-9:00												
9:00-10:00												
10:00-11:00												
11:00-12:00												
12:00-13:00												
13:00-14:00												
14:00-15:00												
15:00-16:00												
16:00-17:00												
17:00-18:00												
Total												

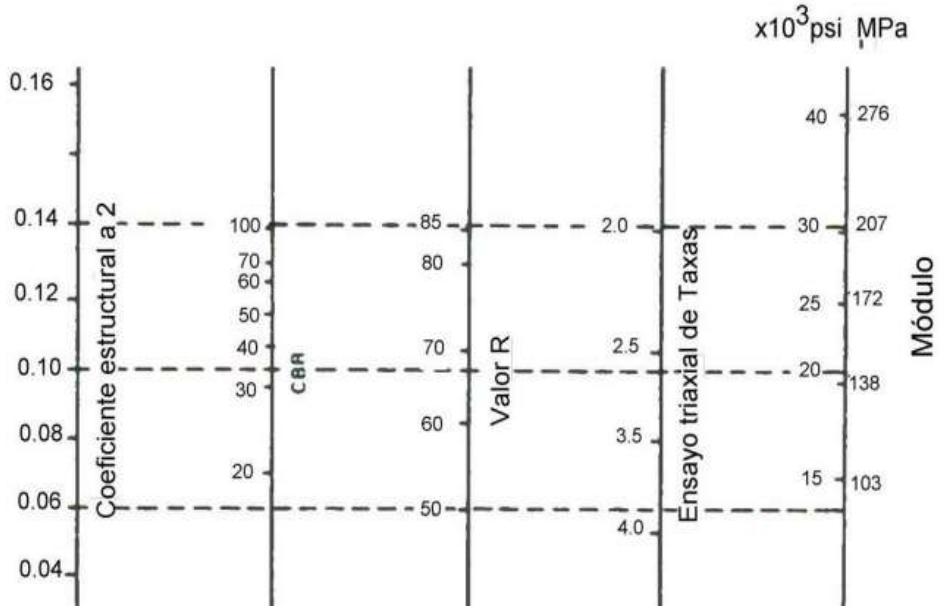
Fuente: Elaboración propia

Figura 51 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.



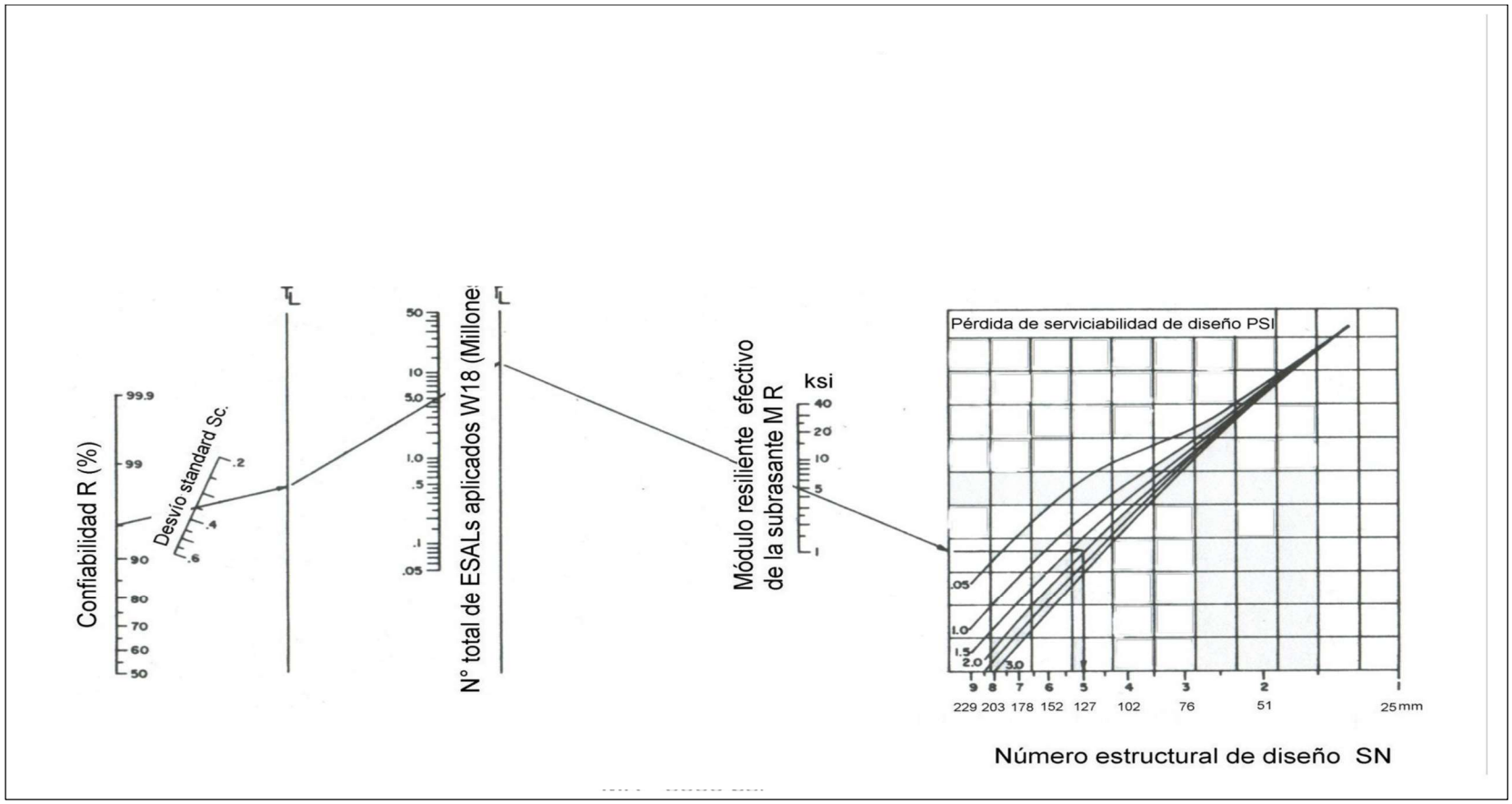
Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos (AASHTO-93), capitulo 5, pág. 118.

Figura 52 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes



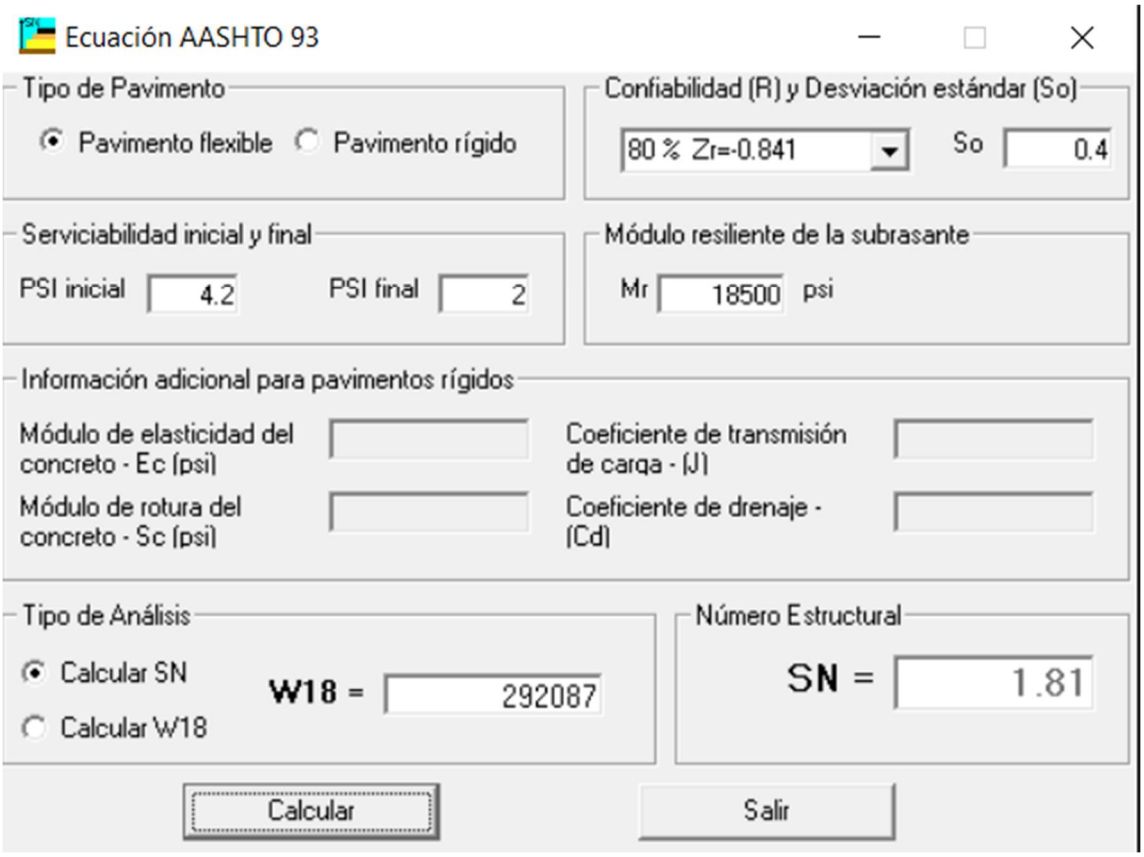
Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos (AASHTO-93), capitulo 5, pág. 118.

Figura 53 Abaco de diseño AASHTO para pavimento flexible



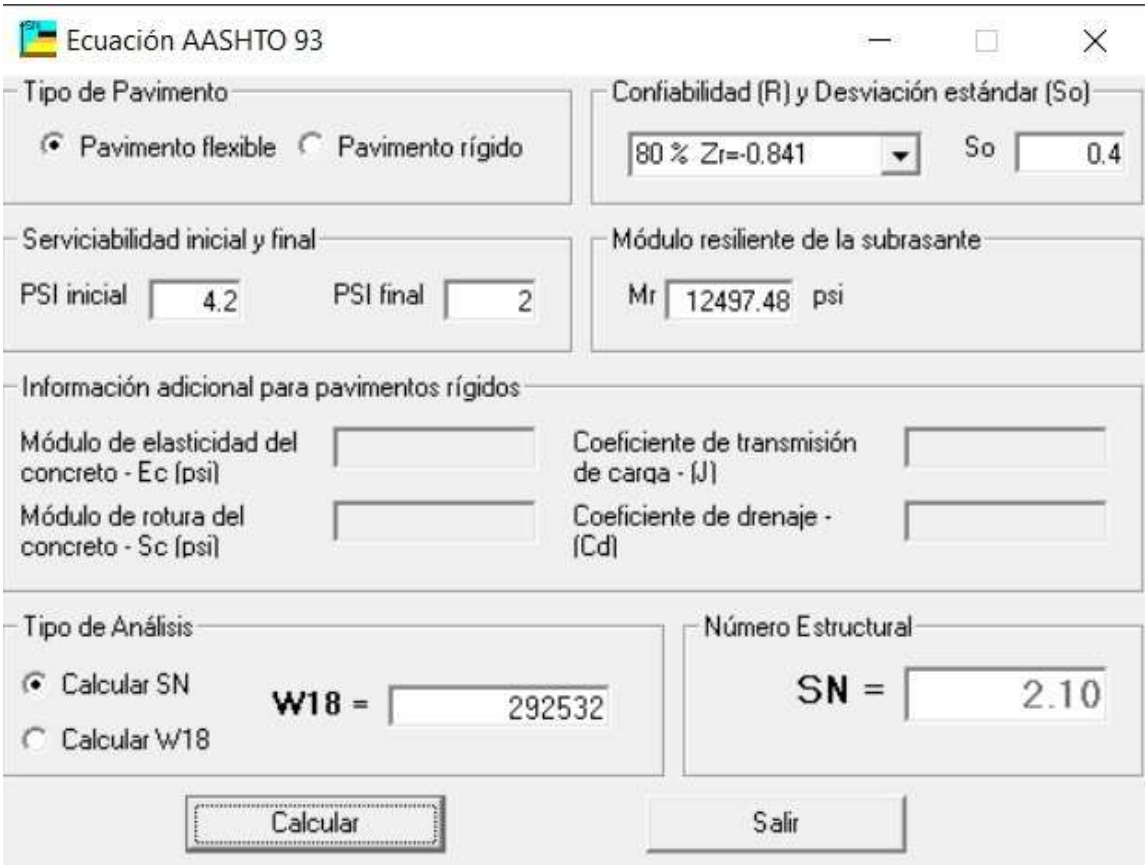
Fuente Guía para el Diseño de Pavimento (AASHTO-93), capitulo 8, pág. 174

Figura 54 Comprobación de SN2



Fuente: Elaboracion propia

Figura 55 Comprobación de SN3



Fuente: Elaboracion propia

Figura 56 Clasificación vehicular.

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimotos, Cuadraciclos,Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasejeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. Tambien se incluyen las fugonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi - Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos **(Tractores - Arados - Cosechadoras)**
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, **Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.**
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, tambien se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico del MTI 2020, pag.28