

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

**“DISEÑO GEOMETRICO Y
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
ARTICULADO POR EL METODO DE
AASHTO-93, DEL TRAMO DE 2KM
EMPALME SANTA BÁRBARA -
PLANTA CARLOS FONSECA, EN EL
MUNICIPIO DE CIUDAD DARIO,
DEPARTAMENTO DE MATAGALPA”.**

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil.

Elaborado por:

Tutor:

Br. Jairo Lenin
Centeno Rodríguez
Carnet: 2019-0192N

Br. Faustino Ernesto
Aguilera Blandón
Carnet: 2019-0014N

Br. Ari Jamil
Gómez Lambí
Carnet: 2019-0117N

Ing. Oliver Josué
Rivera Gutiérrez

CARTA DE APROBACIÓN DE TEMA

CARTA DEL TUTOR

Agradecimiento

En esta travesía académica que esculpe la senda del conocimiento en el vasto horizonte de la Ingeniería Civil, nos vemos compelidos a rendir homenaje a las fuerzas que han actuado como arquitectos invisibles de nuestro éxito.

Al fundamento divino:

Inclinamos nuestras cabezas en agradecimiento a la fuente primordial de toda sabiduría, a Aquel cuyas manos maestras han guiado cada paso de nuestro peregrinar académico. Dios, la luz que ilumina nuestras mentes y el cimiento etéreo sobre el cual erigimos nuestras aspiraciones, merece nuestra gratitud sincera.

A los pilares de nuestra existencia:

En el teatro de nuestras vidas, los héroes silenciosos han sido nuestros padres y madres, los constructores incansables de nuestra formación. Su amor inquebrantable, sus sacrificios silenciosos y su apoyo constante han sido los cimientos que han sostenido nuestros logros. A ellos, les dedicamos cada piedra angular de este edificio académico.

Al maestro de la ingeniería, Ing. Oliver Rivera:

En la travesía intelectual, agradecemos al Ingeniero Oliver Rivera, nuestro guía y mentor. Como el ingeniero principal de esta obra maestra académica, su dirección meticulosa y su orientación experta han sido los pilares que sostienen el puente entre el aprendizaje y la realización.

A los ingenieros Porfirio Castillo, Bolívar Navarro y David González, Guardianes del Conocimiento:

Elevamos nuestro agradecimiento a los ingenieros Porfirio Castillo, Bolívar Navarro y David González, guardianes del conocimiento que nos han otorgado las llaves de la sabiduría. Su colaboración estratégica y sus valiosas contribuciones han sido como ríos que nutren el terreno fértil de nuestro entendimiento.

En esta partitura de agradecimientos, cada nota resuena con el eco de la gratitud y cada palabra es un ladrillo que construye el monumento de nuestra apreciación. A estas fuerzas imperecederas, gracias por ser los artífices de nuestra travesía ingenieril.

Con respeto y admiración.

Dedicatoria

La culminación de esta monografía de tesis en ingeniería civil representa el fruto de un esfuerzo arduo y del apoyo incondicional que ha marcado cada etapa de mi formación académica. En primer lugar, deseo expresar mi más profunda gratitud al divino guía que ha iluminado mi sendero, brindándome fortaleza y claridad en cada momento: Dios.

A mis padres, Jairo Centeno y Deysi Rodríguez, les debo una deuda impagable por su esfuerzo y dedicación inquebrantable en mi camino hacia la culminación de mis estudios. Su apoyo constante y sacrificio son un testimonio de amor que resonará eternamente en mi corazón, y han sido el motor que ha impulsado mi determinación y perseverancia.

A mis entrañables hermanos, quienes desde su posición han sido mis aliados en esta travesía, les agradezco su constante admiración y respaldo, un reflejo palpable de nuestra unión fraternal. Así mismo, a mis leales compañeros de estudio, Faustino Aguilera y Ari Gómez, quienes han colaborado en este trabajo monográfico y han sido fieles compañeros de viaje, les extiendo mi más sincero reconocimiento. Juntos hemos compartido desafíos intelectuales, momentos difíciles y risas que han enriquecido sobremanera mi experiencia universitaria.

Por último, no puedo dejar de mencionar el impacto de aquellos educadores cuya sabiduría y pasión por la enseñanza han dejado una marca indeleble en mi formación profesional. En particular, al Ing. David Isaac Corrales, cuya influencia ha sido un faro de sabiduría en mi horizonte académico. A cada uno de ustedes, mi más profundo agradecimiento. Vuestra contribución ha sido vital en la realización de este logro, que compartimos como un tesoro colectivo. Con gratitud infinita y el corazón rebotante de satisfacción, celebro este hito en mi camino hacia la excelencia.

Jairo Lenín Centeno Rodríguez.

Dedicatoria

En el sendero de la vida, mis padres, Arnulfo Aguilera y Gioconda Blandón, han sido como rocas firmes en medio del río tumultuoso, ofreciendo su sabiduría y calma como guías en mi travesía académica. Como árboles antiguos, han arraigado en mí la fortaleza para resistir las tormentas y la flexibilidad para adaptarme a los cambios constantes, mostrando el camino con serenidad y sabiduría estoica.

Mi hermana, compañera de viaje en este fluir constante, ha sido como el viento suave que me empuja hacia adelante, recordándome la importancia de fluir con el curso natural de la vida, de adaptarme sin resistencia a los giros y vueltas del camino académico.

A aquellos compañeros cuyos pasos se desviaron del sendero académico, en especial a Cristian Alejandro Gámez Ríos, tu presencia efímera resuena como un eco en el silencio, recordándome cada etapa de la vida y la importancia de encontrar la paz en cualquier destino.

En el espíritu, honro la memoria de mis amados abuelos, cuya quietud y armonía fueron faros que iluminaron mi propio camino, recordándome que la verdadera sabiduría reside en la aceptación de la naturaleza cíclica de la existencia.

Este trabajo de tesis es un reflejo de la búsqueda constante de equilibrio y armonía en el flujo del conocimiento. Cada palabra escrita es un eco, recordándome la importancia de aceptar lo que no puedo cambiar, adaptarme a lo inesperado y encontrar la tranquilidad en la comprensión de que el camino hacia el conocimiento es un viaje continuo, donde cada paso es una oportunidad para aprender, crecer y encontrar la serenidad en la fluidez de la vida.

Faustino Ernesto Aguilera Blandón.

Dedicatoria

Primeramente, gracias a Dios que me ha dado vida y las fuerzas para culminar mis estudios, a mis amados padres, Deyvin Ariel Gómez Ruiz y María Margarita Lumbi Moreno, pilar inquebrantable de mi vida. Gracias por su inagotable amor, paciencia y sacrificio. Cada logro en este viaje académico es el reflejo de su dedicación y la luz de sus enseñanzas que han marcado cada paso de mi camino.

A mis queridos compañeros de trabajo, verdaderos compañeros de travesía, quienes han compartido risas, desafíos y triunfos a lo largo de esta jornada académica. Juntos hemos superado obstáculos y celebrado éxitos, creando recuerdos imborrables que atesoro profundamente. Su apoyo ha sido un motor invaluable que impulsó mi perseverancia.

A los respetados docentes y mentores que han iluminado mi camino con su sabiduría y experiencia. Sus lecciones no solo han enriquecido mi conocimiento, sino que han forjado en mí un espíritu crítico y la capacidad de enfrentar los desafíos con determinación. Cada consejo, corrección y estímulo ha dejado una huella duradera en mi formación académica y personal.

Este trabajo de tesis no es solo un compendio de conocimientos adquiridos, sino también un tributo a cada persona que ha formado parte de este viaje. Cada palabra escrita lleva consigo la huella de las lecciones aprendidas, las risas compartidas y el apoyo incondicional.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. Este logro no solo me pertenece, sino que es un testimonio de la fuerza de nuestra comunidad. Juntos, hemos tejido una red de aprendizaje y crecimiento que trasciende estas páginas.

Con gratitud infinita y el deseo de seguir aprendiendo y creciendo juntos, Ari Jamil Gómez Lumbí.

RESUMEN DEL TEMA

La presente monografía aborda el **DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE 2 KM EMPALME SANTA BÁRBARA - PLANTA CARLOS FONSECA, EN EL MUNICIPIO DE CIUDAD DARÍO, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA**. El proyecto ha sido desarrollado con rigurosidad y precisión, cumpliendo con las normativas y estándares establecidos, que serán notables a lo largo de los siguientes capítulos.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES, en este apartado se aborda la introducción, objetivos, justificación, macro y micro localización del proyecto, información relevante para conceptualizar inicialmente el trabajo a desarrollar.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, el marco teórico referencial para el trabajo monográfico se hace notable en este capítulo.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS, aquí se denotan los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos planteados:

Estudio topográfico: se describen generalidades, la metodología a seguir para el trabajo de campo y los resultados obtenidos, luego de procesar los datos en el software Excel y CIVIL 3D.

Estudio de suelos: de igual manera, se detalla la importancia del conocimiento de las propiedades del suelo para un proyecto de carretera, la metodología a seguir acorde a las normas AASHTO, SUCS y la NIC-2019, se exponen los resultados de laboratorio (Clasificación, granulometría, límites de consistencia, CBR) de las muestras recolectadas en el tramo y en el banco de materiales.

Estudio de tránsito: por medio de la realización del aforo vehicular, se muestra la composición vehicular del sector, el tránsito promedio diario anual (TPDA), tasas de crecimiento, periodo de diseño, con el fin de establecer el valor del ESAL para el proyecto.

Diseño geométrico: a través de los criterios planteados en el Manual Centroamericano para Diseño de Geométrico de Carreteras (SIECA), se ejecutó el diseño geométrico del tramo de 2 km en software CIVIL 3D, con base a los resultados obtenidos en cada los objetivos planteados, en el diseño se plasman todos los elementos geométricos de la carretera y se corroboran manualmente en el capítulo.

Estructura de pavimento: por último se aplican las normativas AASHTO 93 y SIECA 2002, para el cálculo de los espesores de pavimento y se fijan los resultados de capacidad de drenaje, servicialidad y módulos de resiliencia.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES, de forma precisa se resumen de los hallazgos principales, se destacan los resultados más relevantes obtenidos durante el desarrollo del trabajo, las implicaciones y relevancia de los hallazgos, también se analiza la importancia y el impacto de los resultados en el contexto del tema estudiado, así como se verifica el cumplimiento de los objetivos, se evalúa si los objetivos establecidos al inicio del trabajo se lograron alcanzar con éxito.

CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES, hace hincapié a la optimización de los métodos de ejecución y de manipulación de los recursos que se utilizarán en el desarrollo del proyecto vial.

Los resultados obtenidos reflejan un enfoque integral en el diseño vial, garantizando la seguridad, durabilidad y funcionalidad de la infraestructura proyectada. Se espera que la implementación de este proyecto contribuya significativamente a la mejora de la conectividad y la infraestructura vial en la región de Matagalpa, beneficiando a la comunidad y promoviendo el desarrollo sostenible en la zona.

ÍNDICE

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1. Introducción.....	1
1.2. Macro localización.....	2
1.3. Micro localización.....	3
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Justificación.....	6

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Estudio topográfico	8
2.1.1. Generalidades	8
2.1.2. Planimetría	8
2.1.3. Altimetría	8
2.1.4. Coordenada.....	8
2.1.5. Punto de cambio.....	8
2.1.6. Banco maestro (BM).....	9
2.1.7. Pendiente	9
2.2. Estudio de suelos.....	10
2.2.1. Humedad natural	10
2.2.2. Peso volumétrico	10
2.2.3. Granulometría.....	11
2.2.4. Límites de Atterberg	11
2.2.5. Límite líquido	11
2.2.6. Límite plástico.....	11

2.2.7.	Índice de contracción	11
2.2.8.	Clasificación de suelos.....	12
2.2.9.	Compactación de suelos.....	12
2.2.10.	California Bearing Ratio	12
2.3.	Estudio de tránsito	13
2.3.1.	Volumen vehicular.....	13
2.3.2.	Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)	13
2.3.3.	Factor expansión.....	13
2.3.4.	Tránsito de diseño.....	14
2.3.5.	ESAL	14
2.4.	Diseño geométrico	15
2.4.1.	Generalidades	15
2.4.2.	Velocidad de diseño	15
2.4.3.	Alineamiento horizontal.....	15
2.4.4.	Curvas horizontales simples	16
2.4.5.	Peralte	16
2.4.6.	Bombeo	16
2.4.7.	Elementos de la curva.....	16
2.4.8.	Curvas verticales.....	17
2.4.9.	Perfil longitudinal	17
2.4.10.	Secciones transversales	17
2.5.	Estructura de pavimento articulado	18
2.5.1.	Base	18
2.5.2.	Capa de arena.....	18
2.5.3.	Subrasante	18

2.5.4. Método AASHTO 93.....	18
2.5.5. Variables de diseño	20

CAPITULO III ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Estudio Topográfico	23
3.1.1. Generalidades	23
3.1.2. Metodología.....	23
3.1.3. Establecimiento de Banco Maestro.....	25
3.1.4. Poligonal abierta.....	26
3.1.5. Alineamiento horizontal	30
3.1.6. Perfil longitudinal	30
3.1.7. Pendientes.....	31
3.1.8. Curvas de Nivel	32
3.1.9. Características topográficas.....	32
3.1.10. Levantamiento topográfico.....	34
3.2. Estudio de suelo.....	35
3.2.1. Generalidades	35
3.2.2. Metodología.....	35
3.2.3. Sondeos de línea.....	37
3.2.4. Resumen de distribución granulométrica de los sondeos	53
3.2.5. Límites de consistencia.....	54
3.2.6. Estratigrafía del suelo del tramo	55
3.2.7. Resultado de estudio de suelos del banco de materiales.....	57
3.2.8. CBR de los sondeos de línea del tramo.....	65
3.3. Estudio de tránsito	70
3.3.1. Generalidades	70

3.3.2.	Metodología.....	70
3.3.3.	Aforo vehicular.....	71
3.3.4.	Tránsito promedio diario (TPD).....	73
3.3.5.	Tránsito promedio diario anual (TPDA).....	75
3.3.6.	Tasa de crecimiento	84
3.3.7.	Proyección del tránsito	89
3.3.8.	Tránsito de diseño.....	91
3.3.9.	ESAL de diseño.....	93
3.4.	Diseño geométrico	97
3.4.1.	Generalidades	97
3.4.2.	Metodología.....	97
3.4.3.	Tipo de terreno	98
3.4.4.	Clasificación de la carretera.....	98
3.4.5.	Vehículo de diseño	98
3.4.6.	Velocidad de diseño	100
3.4.7.	Alineamiento horizontal	103
3.4.8.	Longitudes en rectas	103
3.4.9.	Peralte	103
3.4.10.	Radio mínimo	104
3.4.11.	Grado de curvatura	105
3.4.12.	Bombeo normal.....	105
3.4.13.	Sobreechancho.....	106
3.4.14.	Curvas circulares simples	108
3.4.15.	Alineamiento vertical.....	114
3.4.16.	Pendientes de control para el diseño	114

3.4.17.	Curvas verticales.....	114
3.4.18.	Tasa de curvatura K.....	118
3.4.19.	Resumen de criterio	123
3.4.20.	Generación de planos uso Civil 3D.....	124
3.5.	Diseño de estructura de pavimento	132
3.5.1.	Generalidades	132
3.5.2.	Metodología.....	132
3.5.3.	Variables de diseño	133
3.5.4.	Módulo de resiliencia.....	136
3.5.5.	Coeficientes estructurales	136
3.5.6.	Espesores de capa.....	141
3.5.7.	Cálculo de los espesores	145
IV.	CONCLUSIONES	149
V.	RECOMENDACIONES	151
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	153
VII.	ANEXOS	I

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Coordenadas cartográficas del PI y PF del levantamiento topográfico.	25
Tabla 2: Bancos de nivel.	26
Tabla 3: Cálculo de azimuth de la línea base	27
Tabla 4: Lecturas de azimuth inicial y final de la línea base	28
Tabla 5: Corrección de cierre	28
Tabla 6: Proyecciones.	29
Tabla 7: Error entre las coordenadas y proyecciones.	29
Tabla 8: Corrección de coordenadas de los BM	30
Tabla 9: Clasificación del terreno acorde a rango de pendientes.	31
Tabla 10: Equipo topográfico utilizado	33
Tabla 11: Ensayos de suelo según normas AASHTO y ASTM	36
Tabla 12: Tamaños estándar de tamices.	37
Tabla 13:Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo	38
Tabla 14: Granulometría sondeo 1, estrato 1	39
Tabla 15: Granulometría sondeo 1, estrato 2	40
Tabla 16: Granulometría sondeo 1, estrato 3	41
Tabla 17: Granulometría sondeo 2, estrato 1	42
Tabla 18: Granulometría sondeo 2, estrato 2	43
Tabla 19: Granulometría sondeo 2, estrato 3	44
Tabla 20: Granulometría sondeo 3, estrato 1	45
Tabla 21: Granulometría sondeo 3, estrato 2	46
Tabla 22: Granulometría sondeo 4, estrato 1	47
Tabla 23: Granulometría sondeo 4, estrato 2	48
Tabla 24: Granulometría sondeo 4, estrato 3	49
Tabla 25: Granulometría sondeo 5, estrato 1	50
Tabla 26: Granulometría sondeo 5, estrato 2	51
Tabla 27: Granulometría sondeo 5, estrato 3	52
Tabla 28: Composición granulométrica de cada estrato en cada sondeo	53
Tabla 29: Límites de consistencia de cada estrato en cada sondeo	54

Tabla 30: Resultados del estudio de suelo del banco de material San Esteban (Parte 1).....	58
Tabla 31: Resultados del estudio de suelo del banco de material San Esteban (Parte 2).....	59
Tabla 32: Granulometría detallada del Banco de materiales "San Esteban".....	59
Tabla 33: CBR del banco de material "San Esteban."	61
Tabla 34: Especificaciones de los materiales para base y sub base granular	61
Tabla 35: Evaluación del banco de material "San Esteban"	62
Tabla 36: Resultados de la estabilización con cemento	63
Tabla 37: Uso del suelo del banco de materiales "San Esteban."	64
Tabla 38: Especificaciones de terraplén y subrasante.....	65
Tabla 39: CBR de los sondeos en línea.....	66
Tabla 40: Percentil para el diseño de subrasante	66
Tabla 41: CBR de diseño para subrasante	67
Tabla 42: Evaluación del CBR de diseño.....	68
Tabla 43: Resultados de los tres días de aforo vehicular del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 1)	72
Tabla 44: Resultados de los tres días de aforo vehicular del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 2)	72
Tabla 45: Tránsito promedio diario semanal (TPD). (Parte 1)	74
Tabla 46: Tránsito promedio diario semanal (TPD). (Parte 2)	74
Tabla 47: Vectores geográficos.....	76
Tabla 48: Vectores de volumen.....	77
Tabla 49.....	78
Tabla 50: Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación 4801 La Unión (INTER NIC-26) – Planta Eléctrica Santa Barbara. (Parte 2).....	78
Tabla 51: Factores de expansión a TPDA tercer cuatrimestre del año septiembre – Diciembre. (Parte 1).	79
Tabla 52: Factores de expansión a TPDA tercer cuatrimestre del año septiembre – Diciembre. (Parte 2).	80

Tabla 53: Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 1).....	81
Tabla 54: Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 2).....	82
Tabla 55: Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura.	83
Tabla 56: Histórico de TPDA, estación 4801 La Unión (INTER NIC-26) – Planta Eléctrica Santa Barbara	85
Tabla 57: Histórico de población estimada en Nicaragua desde el año 2008 hasta el 2023	86
Tabla 58: Histórico de producto interno bruto (PIB).....	88
Tabla 59: Periodos de diseño según el tipo de carretera.....	89
Tabla 60: TPDA para el año final del periodo de diseño (Parte 1).	89
Tabla 61: TPDA para el año final del periodo de diseño (Parte 2).	90
Tabla 62: Clasificación de las carreteras	90
Tabla 63: Factor de crecimiento.....	91
Tabla 64: Factor de distribución por dirección	91
Tabla 65: Factor de distribución por carril.....	92
Tabla 66: Tránsito de diseño para el tramo Planta Carlos Fonseca con las Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 1).	92
Tabla 67: Tránsito de diseño para el tramo Planta Carlos Fonseca con las Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 2).	93
Tabla 68: Interpolación Factor ESAL	95
Tabla 69: ESAL de diseño.....	96
Tabla 70: Dimensiones vehículo de diseño (m).	100
Tabla 71: Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales.	102
Tabla 72.....	104
Tabla 73: Valores de bombeo normal	106
Tabla 74: Sobreanchos, banda derecha del Tramo la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 1)	107
Tabla 75: Valores de cuerda según el radio de la curva.....	110

Tabla 76: Curvas horizontales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca.....	113
Tabla 77: Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales.	114
Tabla 78: Tabla de replanteo	117
Tabla 79: Curva 1 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	119
Tabla 80: Curva 2 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	119
Tabla 81: Curva 3 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	120
Tabla 82: Curva 4 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	120
Tabla 83: Curva 5 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	120
Tabla 84: Curva 6 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	121
Tabla 85: Curva 7 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	121
Tabla 86: Curva 8 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	121
Tabla 87: Curva 9 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	122
Tabla 88: Curva 10 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	122
Tabla 89: Curva 11 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.	122
Tabla 90: Resumen de criterio K.....	123
Tabla 91: Niveles de confiabilidad.....	133
Tabla 92: Desviación normal estándar, Zr.	134
Tabla 93: Desviación estándar.....	134
Tabla 94: Serviciabilidad inicial.	135

Tabla 95: Serviciabilidad final.....	135
Tabla 96: Coeficiente de drenaje de la capa.....	137
Tabla 97: Tabla de valores recomendados para el coeficiente de drenaje.	138
Tabla 98: Parámetros para la determinación de los números estructurales.	142
Tabla 99: Espesores mínimos sugeridos de carpeta asfáltica y base granular.	147
Tabla 100: Espesores de pavimento articulado	148
Tabla 101: Datos de levantamiento topográfico (Parte 1)	II
Tabla 102: Datos de levantamiento topográfico (Parte 2)	III
Tabla 103: Datos de levantamiento topográfico (Parte 3)	IV
Tabla 104: Datos de levantamiento topográfico (Parte 4)	V
Tabla 105: Datos de levantamiento topográfico (Parte 4)	VI
Tabla 106: Datos de levantamiento topográfico (Parte 5)	VII
Tabla 107: Datos de levantamiento topográfico (Parte 6)	VIII
Tabla 108: Datos de levantamiento topográfico (Parte 7)	IX
Tabla 109: Datos de levantamiento topográfico (Parte 8)	X
Tabla 110: Datos de levantamiento topográfico (Parte 9)	XI
Tabla 111: Datos de levantamiento topográfico (Parte 10)	XII
Tabla 112: Datos de levantamiento topográfico (Parte 11)	XIII
Tabla 113: Datos de levantamiento topográfico (Parte 12)	XIV
Tabla 114: Datos de levantamiento topográfico (Parte 13)	XV
Tabla 115: Datos de levantamiento topográfico (Parte 14)	XVI
Tabla 116: Datos de levantamiento topográfico (Parte 15)	XVII
Tabla 117: Datos de levantamiento topográfico (Parte 16)	XVIII
Tabla 118: Datos de levantamiento topográfico (Parte 17)	XIX
Tabla 119: Datos de levantamiento topográfico (Parte 18)	XX
Tabla 120: Formato para control de aforo vehicular	XXXII
Tabla 121: Valores de peralte según radio y velocidad de diseño	XXXIII
Tabla 122: Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.....	XXXIV
Tabla 123: Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio ...	XXXIV
Tabla 124: Sobreancho de curva según velocidad y radio	XXXV

Tabla 125: Pendientes de línea central parte 1	XL
Tabla 126: Pendientes de línea central parte 2	XLI
Tabla 127: Pendientes de línea central parte 3	XLII
Tabla 128: Pendientes de línea central parte 4	XLIII

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Macro localización del municipio de Ciudad Darío	2
Figura 2: Micro localización del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Empalme la Unión	3
Figura 3: Micro localización del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital.	4
Figura 4: Línea base del tramo	26
Figura 5: Perfil longitudinal Civil 3D (Sin escala)	31
Figura 6: Curvas de nivel generadas en CIVIL 3D (Est 1+130 hasta Est 1+320).	32
Figura 7: Espesores mínimos para estructura de pavimento	36
Figura 8: Ubicación de las estaciones de sondeo manual para el tramo Planta Carlos Fonseca con las Comunidades Las Pozas y El Nancital.	38
Figura 9: Curva granulométrica sondeo1, estrato 1.....	40
Figura 10: Curva granulométrica sondeo1, estrato 2.....	41
Figura 11: Curva granulométrica sondeo1, estrato 3.....	42
Figura 12: Curva granulométrica sondeo 2, estrato 1.....	43
Figura 13: Curva granulométrica sondeo 2, estrato 2.....	44
Figura 14: Curva granulométrica sondeo 2, estrato 3.....	45
Figura 15: Curva granulométrica sondeo 3, estrato 1.....	46
Figura 16: Curva granulométrica sondeo 3, estrato 2.....	47
Figura 17: Curva granulométrica sondeo 4, estrato 1.....	48
Figura 18: Curva granulométrica sondeo 4, estrato 2.....	49
Figura 19: Curva granulométrica sondeo 4, estrato 3.....	50
Figura 20: Curva granulométrica sondeo 5, estrato 1.....	51
Figura 21: Curva granulométrica sondeo 5, estrato 2.....	52
Figura 22: Curva granulométrica sondeo 5, estrato 3.....	53
Figura 23: Columnas estratigráficas del suelo del tramo en estudio.	56
Figura 24: Ubicación del banco de material para el tramo en estudio.....	57
Figura 25: Curva granulométrica de la calicata 1.....	59
Figura 26: Curva granulométrica de calicata 2	60

Figura 27: Curva granulométrica de la calicata 3.....	60
Figura 28: CBR de diseño para los sondeos de línea.....	67
Figura 29: Comportamiento vehicular del tramo acceso a la planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital.	73
Figura 30: Composición vehicular TPD.....	74
Figura 31: Composición vehicular TPDA (%) del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital.	81
Figura 32: Composición vehicular respecto al TPDA del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital.....	82
Figura 33: Vehículo de diseño (WB - 15)	99
Figura 34: Sobreancho de curvas	107
Figura 35: Elementos geométricos de la curva circular simple.....	108
Figura 36: Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio	116
Figura 37: Curva vertical	118
Figura 38: Configuración inicial.....	124
Figura 39: Importar puntos topográficos	125
Figura 40: Datos topográficos	125
Figura 41: Formato de puntos topográficos	125
Figura 42: Jerarquía de puntos	126
Figura 43: Levantamiento topográfico.....	127
Figura 44: Cuadro de curvas de nivel	127
Figura 45: Creación de alineamiento	128
Figura 46: Sección de alineamiento	128
Figura 47: Sección de perfil longitudinal	129
Figura 48: Ensamble de carretera.....	130
Figura 49: Carretera con vista de manejo.....	130
Figura 50: Corredor en planta	130
Figura 51: Sección transversal 0+200.....	131
Figura 52: Coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente	139

Figura 53: Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento y distintos parámetros resistentes.....	140
Figura 54: Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes.....	141
Figura 55: Procedimiento para determinar el espesor.	141
Figura 56: Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN3 (subbase).	143
Figura 57: Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN1 (carpeta de rodamiento).	144
Figura 58: Pequeños baches EST 1+120	I
Figura 59: EST 0+000	I
Figura 60: Captura de puntos con prisma.....	XX
Figura 61: Uso de estación total Nikon DTM-322	XXI
Figura 62: Imagen satelital de los BM del tramo.....	XXI
Figura 63: BM número 13.....	XXII
Figura 64: BM número 14.....	XXII
Figura 65: Libreta de campo (Parte 1)	XXIII
Figura 66:Libreta de campo (Parte 2)	XXIV
Figura 67:Libreta de campo (Parte 3)	XXIV
Figura 68: Seccionamiento de estaciones	XXV
Figura 69: Sondeo para estudio de suelo (Parte 1)	XXVI
Figura 70: Sondeo para estudio de suelo (Parte 2)	XXVI
Figura 71: Ensayos de las muestras de los sondeos (Parte 1)	XXVII
Figura 72: Ensayos de las muestras de los sondeos (Parte 2)	XXVII
Figura 73: Clasificación AASHTO	XXVIII
Figura 74: Banco de material San Esteban	XXVIII
Figura 75: Aforo vehicular del tramo en estudio	XXIX
Figura 76: Diagrama de cargas permisibles	XXX
Figura 77: Clasificación vehicular.....	XXXI
Figura 78: Creación de alineamiento en Civil 3D.....	XXXVI
Figura 79: Curva con sobreancho	XXXVI

Figura 80: Datos del tramo.....	XXXVII
Figura 81: Secciones transversales	XXXVII
Figura 82: Medición de alineamiento horizontal para topografía	XXXVIII
Figura 83: Alineamiento horizontal en recta.....	XXXVIII
Figura 84: Resultado del número estructural SN1	XXXIX
Figura 85: Resultado del número estructural SN2	XXXIX
Figura 86: Resultado número estructural SN3.....	XL



CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

A medida que la evolución humana ha progresado, la movilidad ha emergido como una necesidad ineludible, impulsada no solo por el deseo de preservar la integridad individual, sino también por la búsqueda constante de una mayor calidad de vida. En el trasfondo de este objetivo, surgen desafíos que obligan a aquellos que frecuentan una ruta específica a optimizarla. Gracias a la aplicación meticulosa de la ingeniería y la destreza constructiva, se perfeccionan las metodologías para la planificación, innovación y continuo mejoramiento de estas vías, facilitando una movilización eficiente y segura.

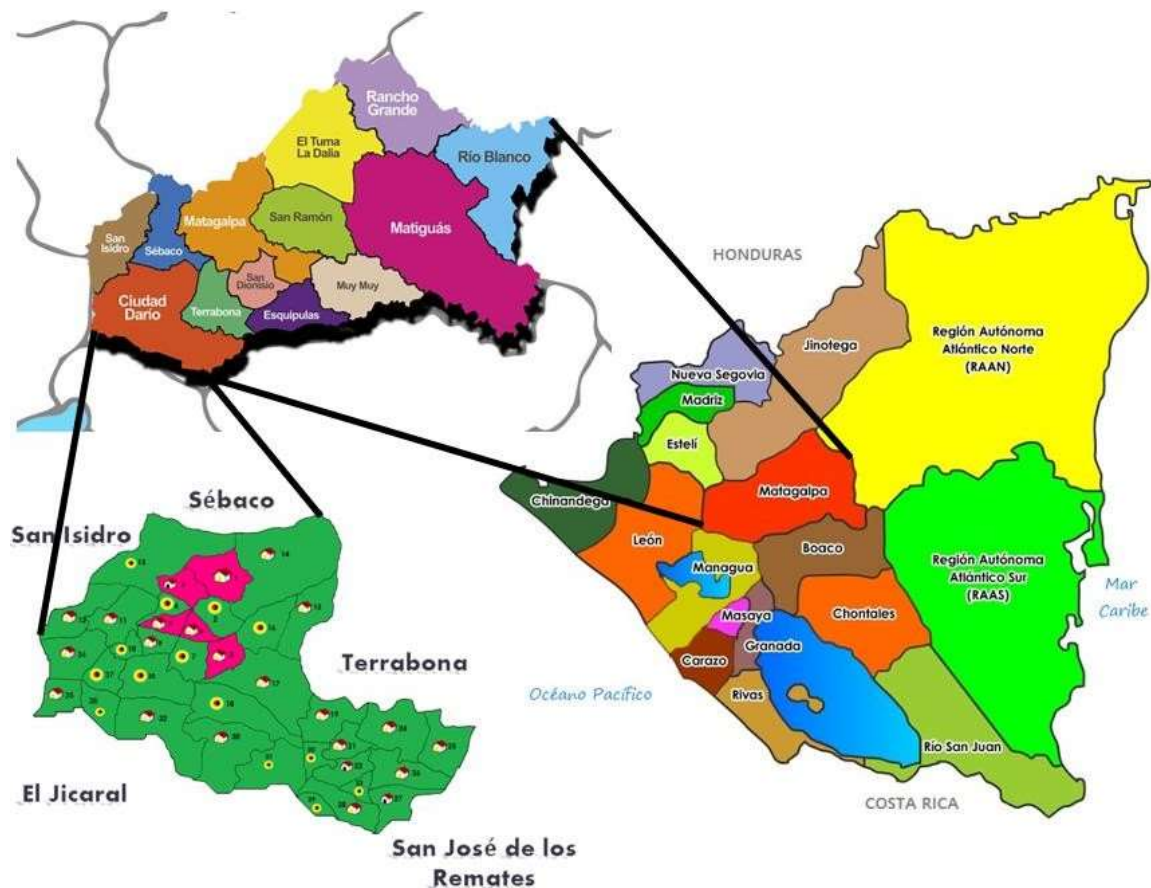
En el presente trabajo se pretende realizar una propuesta de diseño geométrico y estructura de pavimento articulado por método AASHTO 93, en el tramo de carretera que sirve de acceso a la planta Carlos Fonseca (ENEL) ubicada en el municipio de Darío, departamento de Matagalpa, punto de inicio del tramo (12.751378, -86.240700) y (12.736226, -86.244132) punto final de la poligonal abierta, (Ver Anexo, figura 44 pág. II). Actualmente, el tramo de carretera posee una superficie de rodamiento de asfalto, sin embargo, este se encuentra deteriorado a lo largo del camino, lo que perjudica la movilidad efectiva.

El proyecto se diseñó bajo la metodología de pavimento articulado, por lo tanto, para su diseño se deberán realizar trabajos preliminares de campo como lo es el aforo vehicular con el objetivo de conocer el volumen de tráfico de la zona y una vez procesados esos datos se deberán tomar en cuenta los parámetros del manual de carreteras (Manual centroamericano para diseño de pavimentos, 2002) para el diseño de espesores. Y con respecto al diseño geométrico que dispondrá la vía se tendrá en cuenta la normativa (SIECA, Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, 2011), por lo que, para adecuarlo a las normativas de diseño establecidas para la región, se deberá tener en cuenta del software Civil 3D, el cual servirá de herramienta para facilitar la realización debida a cada uno de los pasos correspondientes.

1.2. Macro localización

El proyecto bajo desarrollo se encuentra en la zona norte central y pertenece al departamento de Matagalpa, específicamente en el municipio de Ciudad Darío, que presenta límites geográficos bien definidos. Al norte, colinda con los municipios de Sébaco y San Isidro, mientras que al sur establece su demarcación con el departamento de Managua. En su extremo oriental, se encuentra limitado por el municipio de Terrabona, y hacia el occidente, comparte fronteras con el departamento de León.

Figura 1: Macro localización del municipio de Ciudad Darío

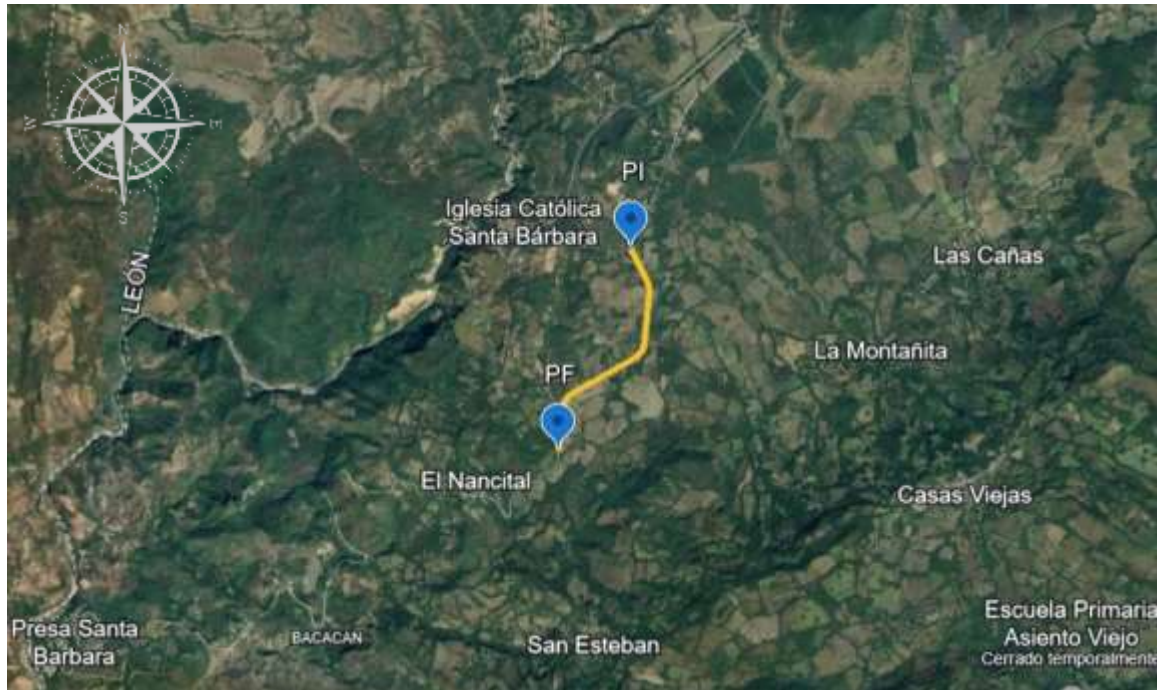


Fuente: <https://www.ineter.gob.ni/mapa/pub/nicaragua/DPA.html>.

1.3. Micro localización

La micro localización específica del proyecto en estudio se sitúa en un punto geográfico más detallado dentro del municipio de Ciudad Darío, presentando coordenadas precisas iniciales de 12.751378 N y -86.240700 O, y las coordenadas finales de 12.736226 N y -86.244132 O. Ubicado a una distancia de aproximadamente 69.2 kilómetros al noroeste de la cabecera departamental Matagalpa y a 115 kilómetros al sur de la capital Managua, este sitio se caracteriza por su topografía que exhibe una elevación promedio de 476 metros sobre el nivel del mar.

Figura 2: Micro localización del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Empalme la Unión.



Fuente: <https://earth.google.com/web/@12.75892447,-86.22373564,459.18906832a,33647.48986158d,35y,-15.41058002h,0.30415504t,0r/data=OgMKATA>

En esta micro localización, se aprecian particularidades geográficas como elevaciones, cursos de agua y características del suelo que influyen en la planificación y desarrollo del proyecto. La proximidad a la cabecera departamental y la capital no solo define su ubicación estratégica, sino que también destaca su accesibilidad y conexión logística con importantes centros urbanos. Esta

perspectiva detallada de la geografía local proporciona un marco más completo para evaluación y planificación del proyecto en cuestión.

Figura 3: Micro localización del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital.



Fuente: <https://earth.google.com/web/@12.7418013,-86.24530582,503.64086196a,2385.87741713d,35y,-89.9514939h,72.14464142t,0r/data=OgMKATA>

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar diseño geométrico y estructura de pavimento articulado por el método AASHTO-93, del tramo acceso a la planta Carlos Fonseca, en el municipio de Ciudad Darío, departamento de Matagalpa.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✚ Ejecutar levantamiento topográfico para la obtención de las características altiplanimétricas del terreno del tramo en estudio, haciendo uso de estación total.
- ✚ Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del tramo y de los bancos de materiales, necesarias para el diseño de la estructura de pavimento, mediante la realización de un estudio geotécnico.
- ✚ Efectuar estudio de tránsito en el tramo, para la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual y la cantidad de ejes equivalentes que circularán en la zona en el período de diseño, aplicando los criterios establecidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- ✚ Diseñar geométricamente el tramo de carretera, para la generación de planos, mediante el software Civil 3D y la aplicación de las Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales SIECA 2011.
- ✚ Calcular los espesores estructurales de pavimento articulado, tomando en cuenta el método AASHTO-93, para determinar las secciones típicas del tramo.

1.5. Justificación

La ejecución de un proyecto vial implica inherentes beneficios que trascienden los límites locales, impactando positivamente en la economía nacional. Las carreteras, como eje central del desenvolvimiento cotidiano de una nación, representan el sustrato primordial para su progreso. En paralelo, la materialización de proyectos horizontales demanda la labor de la clase obrera como componente esencial.

En el contexto específico del tramo de carretera destinado al acceso a la planta ENEL en Carlos Fonseca Ciudad Darío, municipio de Matagalpa, se plantea una mejora sustancial en la accesibilidad para la población que circula por dicha vía. La implementación de una carretera de pavimento articulado se revela como una solución idónea para optimizar el flujo vehicular en una región montañosa, donde las condiciones adversas, especialmente en épocas lluviosas, afectan la efectividad del tránsito. Este enfoque adoquinado no solo simplifica y abarata el transporte, ya sea particular o colectivo, sino que constituye una respuesta eficaz a los desafíos topográficos.

La optimización de las condiciones de circulación, además de favorecer la movilidad, incide directamente en el estímulo al comercio al propiciar un incremento en el flujo comercial de las comunidades beneficiadas por el acceso mejorado. Este impulso hacia la conectividad, a su vez, abre perspectivas promisorias en el ámbito turístico y genera oportunidades laborales vinculadas a las atracciones turísticas locales, generando un aumento en la demanda de bienes y servicios. Este fenómeno no solo beneficia a los negocios locales existentes, sino que también promueve el surgimiento de nuevos emprendimientos en la región.

A pesar de que gran parte de los beneficios derivados de la construcción del pavimento articulado pueden pasar desapercibidos a corto plazo, como la optimización del tiempo de transporte, la reducción del desgaste de neumáticos y vehículos, así como la disminución de accidentes, estos aspectos revisten una

importancia crucial al evaluar las ventajas generales derivadas de la mejora de las condiciones de las vías de comunicación. En conclusión, este proyecto no solo representa una optimización de la infraestructura vial, sino que también contribuye significativamente al desarrollo económico sostenible y al bienestar general de la comunidad regional.



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

1.6. Estudio topográfico

1.6.1. Generalidades

Se define la topografía (del griego: topos, lugar y graphein, describir) como la ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre, por medio de medidas, y usando los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación. (Marquez, 1994, pág. 1)

1.6.2. Planimetría

Se llama planimetría al conjunto de los trabajos efectuados para tomar en el campo los datos geométricos necesarios que permitan construir una figura semejante a la del terreno, proyectada sobre un plano horizontal. (Marquez, 1994, pág. 9)

1.6.3. Altimetría

Recibe el nombre de nivelación o altimetría el conjunto de los trabajos que suministran los elementos para conocer las alturas y forma del terreno en sentido vertical. Todas las alturas de un trabajo de topografía, están referidas a un plano común de referencia. Este plano llamado de comparación es una superficie plana imaginaria, cuyos puntos se asumen con una elevación o altura de cero. (Marquez, 1994, pág. 245)

1.6.4. Coordenada

Dos líneas rectas que se corten en ángulo recto constituyen un sistema de ejes de coordenadas rectangulares, conocido también como sistema de Coordenadas Cartesianas; nombre que se le da en honor al matemático francés Descartes, iniciador de la geometría analítica, su función radica en definir una posición específica para un punto determinado. (M. L. C., 2010, pág. 1).

1.6.5. Punto de cambio

Un punto sobre el cual se toma una vista más con el objeto de determinar la altura instrumental. La característica distintiva de un punto de cambio es que sobre él se

dirigen dos visuales; una vista menos desde una posición del nivel y una vista más de la siguiente posición. (Cleves, 2007, pág. 115)

1.6.6. Banco maestro (BM)

Es un punto permanente en el terreno de origen natural o artificial, cuya elevación sobre el nivel del mar es conocida con precisión. (Morales, 2015, pág. 130).

1.6.7. Pendiente

Se entiende por pendiente de un terreno en general a su inclinación respecto a la horizontal, puede ser ascendente o descendente según el punto de observación. Si el terreno es horizontal su pendiente es cero. (Morales, 2015, pág. 157)

$$P = \frac{e}{D} * 100$$

Ecuación 1 tomada de (Marquez, 1994, pág. 1 capítulo 9)

Donde:

P= Pendiente (%).

e= Diferencia de nivel (m).

D= Distancia horizontal (m).

100= Expresión en porcentaje.

1.7. Estudio de suelos

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.

1.7.1. Humedad natural

Se define como la relación entre el peso de agua y el peso de los granos sólidos, para un volumen unitario. Su valor se expresa en % y puede alcanzar valores mayores del 100%. (Gómez, 2010, pág. 18).

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100 \%$$

Ecuación 2 tomada de (M.Das, 2015, pág. 51)

Donde:

$W_w = \text{Peso de Agua}$

$W_s = \text{Peso de sólidos}$

1.7.2. Peso volumétrico

El peso volumétrico es la relación del peso de la masa de suelos entre su volumen de masa. (Lucas, 2013)

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Ecuación 3 tomada de (M.Das, 2015, pág. 51)

Donde:

$W_m = \text{Peso de masa}$

$V_m = \text{Volumen de masa}$

1.7.3. Granulometría

El interés en estudiar y determinar la granulometría de los suelos se basa en que el tamaño de los granos y partículas está relacionado con la resistencia mecánica y el comportamiento hidráulico. En la medida que el tamaño de los granos aumenta, así lo hace la resistencia mecánica y la capacidad de conducir el agua a través de los espacios intersticiales o vacíos. Desde el punto de vista de las tensiones efectivas, la existencia de material saturado de mayor tamaño con mayor tamaño de poros, al ser más expedita la conducción del agua se evita el incremento de las presiones de poros y así las tensiones efectivas no disminuyen significativamente, y, por lo tanto, la resistencia del suelo se ve seriamente afectada. (Villalobos, 2016, págs. 30,31)

1.7.4. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son aquellos contenidos de agua en los cuales el comportamiento del suelo se modifica. A medida que el contenido de agua aumenta, el estado del suelo cambia de sólido rígido a sólido plástico y luego a un líquido viscoso. (INACAP, pág. 9).

1.7.5. Límite líquido

El límite líquido de un suelo se determina utilizando la copa de Casagrande (designación de prueba D4318 de la ASTM) y se define como el contenido de humedad en el que se cierra una ranura de 12.7 mm mediante 25 golpes. (Das, 2015, pág. 15).

1.7.6. Límite plástico

El límite plástico se define como el contenido de humedad en el que el suelo se agrieta al formar un rollito de 3.18 mm de diámetro. (designación de prueba D-4318 de la ASTM) (Das, 2015, pág. 15).

1.7.7. Índice de contracción

Se define como el contenido de humedad en el que el suelo no experimenta ningún cambio adicional en su volumen con la pérdida de humedad (designación de prueba. D-427 de la ASTM) (Das, 2015, pág. 16).

1.7.8. Clasificación de suelos

Los suelos con propiedades similares pueden ser clasificados en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar de forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas, sin una descripción detallada. En la actualidad, existe un sistema de clasificación que utilizan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos son comúnmente utilizados para aplicaciones ingenieriles. Se trata del American Association of State Highway Officials. (AASHTO). (M.Das, 2015, pág. 78)

1.7.9. Compactación de suelos

En general, la compactación es la consolidación del suelo por la eliminación de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso unitario seco. Cuando se añade agua a la tierra durante la compactación, ésta actúa como agente suavizante sobre las partículas del suelo. Éstas se deslizan una sobre la otra y se mueven en una posición densamente empaquetada. El peso unitario seco después de la compactación primero aumenta a medida que se incrementa el contenido de humedad. Tenga en cuenta que en un contenido de humedad $w=0$, la unidad de peso húmedo (γ) es igual a la unidad de peso seco (γ_d). (M.Das, 2015, pág. 91).

1.7.10. California Bearing Ratio

El control de compactación también se puede hacer con otros equipos de medición. Por ejemplo, los penetrómetros de punta cónica son utilizados por algunos organismos de vialidad para determinar el grado de compactación a través de los milímetros de penetración por golpe, el cual es generalmente correlacionado con el CBR (California Bearing Ratio) que es una medida de la penetración en mm de un pistón estandarizado bajo la misma carga a la que es sometida un chancado estandarizado, resultado que se expresa en porcentaje, siendo un CBR = 100% el equivalente a lo que penetra el pistón 0.1" (2.54mm) y 0.2" (5.08mm).

El CBR es bastante solicitado incluso en proyectos que no involucran caminos, debido a la costumbre y familiaridad con sus resultados. Tal vez por ello es pertinente explayarse un poco más en este ensayo, el cual se trabaja comúnmente en conjunto con los ensayos Proctor. (Villalobos, 2016, pág. 76).

1.8. Estudio de tránsito

Los estudios de tránsito sirven tanto para los análisis de ingeniería como para soportar los estudios económicos y estudios de factibilidad. Los estudios los dividiremos en dos categorías: a) Levantamiento o investigaciones de campo y b) Estudios de gabinete o de análisis de investigaciones. En este manual y para los fines del mismo los estudios de tránsito de campo que incluiremos para efectos de revisión son los siguientes. (MTI, MANUAL para la revisión de estudios de tránsito, 2008, pág. 27):

- Volúmenes de tránsito y conteos volumétricos
- Estudios de velocidades y demoras
- Estudios de tiempos de viaje
- Estudios de origen y destino

1.8.1. Volumen vehicular

Es el número de vehículos que pasa un punto determinado durante un periodo específico de tiempo. (MTI, MANUAL para la revisión de estudios de tránsito, 2008, pág. 165)

1.8.2. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Es el volumen total que pasa por una sección transversal o por un segmento de una carretera, en ambos sentidos, durante un año, dividido entre el número de días en el año. Se puede obtener también para un solo sentido. (MTI, MANUAL para la revisión de estudios de tránsito, 2008, pág. 165)

1.8.3. Factor 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 (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 12).

$$\text{Factor de expansión} = \left(\frac{\text{TPS 1er.conteo EMC} + \text{TPS 2do.conteo EMC} + \text{TPS 3er.conteo EMC}}{3 * \text{TPS Trabajando}} \right)$$

Ecuación 4 tomada de (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 12)

1.8.4. Tránsito de diseño

Con éste se determina la cantidad de vehículos que circularán en una vía y así obtener un acumulado de vehículos y proyectar su vida útil. De manera general el Tránsito de diseño a emplear para fines de proyecto está dada por la ecuación:

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365$$

Ecuación 5 tomada de (Mayor R. & Cárdenas G., 2018)

Donde:

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

FD: Factor Dirección

fc: Factor Carril

1.8.5. ESAL

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, 2006, pág. 21).

1.9. Diseño geométrico

1.9.1. Generalidades

Este se concibe como el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos automotores, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. Una carretera queda definida geométricamente por el proyecto de su eje en planta o alineamiento horizontal, por su perfil o alineamiento vertical y por el proyecto de los elementos integrantes de sus secciones transversales típicas. (SIECA, Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, 2004, pág. 2)

1.9.2. Velocidad de diseño

La velocidad de diseño (también conocida como velocidad directriz) es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. Excepto para calles locales donde los controles de velocidad son incluidos intencionalmente, debe hacerse un esfuerzo para usar una velocidad de diseño que sea práctica para obtener un deseado grado de seguridad, movilidad y eficiencia bajo las restricciones de la calidad del ambiente e impactos económicos, estéticos y sociales o políticos. (SIECA, Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, 2011, pág. 55)

1.9.3. Alineamiento horizontal

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

1.9.4. Curvas horizontales simples

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Por lo tanto, las curvas reales del espacio no necesariamente son circulares. (Grisales, 2013, pág. 13)

1.9.5. Peralte

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas (frecuencia y cantidad de nieve y hielo); condiciones del terreno (plano o montañoso); tipo de zona (rural o urbana) y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte. Por la consideración conjunta de estos factores se concluye que no hay ninguna tasa única de peralte. (SIECA, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pág. 83)

1.9.6. 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, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pág. 139)

1.9.7. Elementos de la curva

En la Figura 35 pág. 135 aparecen los diferentes elementos geométricos de una curva circular simple. Tomando el sentido de avance de izquierda a derecha, dichos elementos son: (Grisales, 2013, pág. 38):

PI = Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva.

PC = Punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.

PT = Punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.

O = Centro de la curva circular.

Δ = Ángulo de deflexión principal.

R = Radio de la curva circular.

T = Distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.

L = Distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular.

CL = Distancia en línea recta desde el PC al PT.

E = Distancia desde el PI al punto medio de la curva A.

M = Dist. desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda B.

1.9.8. 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, la configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada.

En los anexos se muestran los diferentes tipos de estas curvas utilizadas en el diseño del alineamiento vertical. (SIECA, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pág. 123)

1.9.9. Perfil longitudinal

Trazado del eje longitudinal de la carretera con indicación de cotas y distancias que determina las pendientes de la carretera. (SIECA, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pág. 374).

1.9.10. Secciones transversales

Dependiendo del tipo de terreno o topografía, predominará una sección transversal determinada, la cual será típica para ese tramo.

En la figura 65 de los anexos, pág. XXXVII, se muestran los tipos generales de secciones transversales, en corte (excavación), terraplén (relleno) y mixtas (a media ladera).

1.10. Estructura de pavimento articulado

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento. (Fonseca, 2002, pág. 5).

1.10.1. Base

Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesta por dos o más capas de materiales seleccionados. (Fonseca, 2002, pág. 7).

1.10.2. Capa de arena

Es una capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos. (Fonseca, 2002, pág. 7).

1.10.3. Subrasante

Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. (Manual centroamericano para diseño de pavimentos, 2002, pág. XVIII).

1.10.4. Método AASHTO 93

La metodología AASHTO-93 para diseño de pavimentos asfálticos emplea un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro denominado número estructural (SN) el cual es fundamental para la determinación de los

espesores de las capas que conforman el pavimento las cuales son la capa asfáltica, la capa de base y la capa de subbase. (Morales I. A., 2015, pág. 3)

$$\log_{10}W_{t18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}M_R - 8.07$$

Ecuación 6 tomada de (AASHTO, 2006, pág. 11)

Donde:

W_{t18} : Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el período de diseño (n).

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

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

ΔPSI : Pérdida de serviciabilidad (condición de servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la “planitud” (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción (serviciabilidad inicial (p_o)) y su planitud al final del periodo de diseño. (serviciabilidad final (p_t)).

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

SN : Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño. (M. I. G., pág. 3 Capítulo 3)

1.10.5. Variables de diseño

Para el uso del método AASHTO-93 se deberá tener en cuenta las diversas características que conforman de manera unificada esta metodología:

1.10.5.1. Período 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 desproporcionadamente. (Manual centroamericano para diseño de pavimentos, 2002, pág. 2 Capítulo7)

1.10.5.2. Desviación estándar

Es una medida del desvío de los datos con respecto al valor medio. Cuanto menor sea el desvío estándar, los datos medidos estarán más próximos al valor medio. (AASHTO, 2006, pág. 122).

1.10.5.3. Servicialidad

La servicialidad es una medida de la capacidad del pavimento para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Este parámetro varía entre 0 (pavimento intransitable) a 5 (pavimento perfecto). Dicha variable se representa con la siguiente ecuación (AASHTO, 2006, págs. 4,5):

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Ecuación 7 tomada de (Fonseca, 2002, pág. 265)

Donde:

Po: Servicialidad Inicial.

Pt: Servicialidad Final.

1.10.5.4. Confiabilidad

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas

condiciones. (Manual centroamericano para diseño de pavimentos, 2002, pág. 3 Capítulo7).

1.10.5.5. Módulo de resiliencia

Este ensayo se desarrolló con el objeto de analizar la propiedad que tienen los materiales de comportarse bajo cargas dinámicas como las ruedas de tránsito. Una rueda al moverse transmite fuerzas dinámicas a todas las capas de pavimento incluyendo a la subrasante y como reacción a estas fuerzas, cada capa de pavimento se deforma; el resultado de estas fuerzas de reacción varía desde un valor muy bajo hasta su máximo, en un período muy breve, ya que está en función de la velocidad y peso del vehículo. (AASHTO, 2006, pág. 7 Capítulo 4).

Se recomiendan las siguientes ecuaciones de acuerdo a las características del suelo:

Para suelos finos:

$$Mr = 1500 * CBR; \leq 7.2\%$$

Ecuación 8 (Fonseca, 2002, pág. 266)

Para suelos granulares, la siguiente ecuación desarrollada con base en la propia guía ofrece una buena relación:

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

Ecuación 9 tomada de (Fonseca, 2002, pág. 266)

1.10.5.6. Coeficiente de capa

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (D_i), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento. (Fonseca, 2002, pág. 267).

1.10.5.7. Coeficiente de drenaje

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son: a) La calidad del drenaje, que viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento y b) Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje. Para el caso se definen varias calidades de drenaje, como se muestra en los Anexos (Manual centroamericano para diseño de pavimentos, 2002, pág. 57)

1.10.5.8. Número estructural

El SN es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo (MR), del tránsito total (W18), de la servicialidad terminal, y de las condiciones ambientales. (Fonseca, 2002, pág. 275)

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3$$

Ecuación 10 tomada de (AASHTO, 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 pulgadas o mm, en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

CAPITULO III:
ANÁLISIS Y
PRESENTACIÓN
DE RESULTADOS

1.11. Estudio Topográfico

1.11.1. Generalidades

La topografía desempeña un papel fundamental en la planificación y ejecución de proyectos de carreteras, ya que proporciona información detallada sobre la configuración del terreno. Este estudio permite identificar elevaciones, pendientes, curvas y otros elementos geográficos cruciales que afectan directamente al diseño de la carretera. La información topográfica también ayuda a determinar la ubicación óptima para la traza de la carretera, minimizando cortes y rellenos innecesarios, lo que a su vez reduce los costos de construcción y el impacto ambiental.

Además, la topografía es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia del proyecto vial. La información detallada sobre la topografía del terreno permite a los ingenieros diseñar curvas apropiadas, establecer perfiles de pendientes seguras y anticipar posibles desafíos geotécnicos. Al comprender la topografía circundante, se pueden desarrollar soluciones efectivas para superar obstáculos naturales y adaptar el diseño de la carretera a las condiciones específicas del terreno. En resumen, la topografía juega un papel crucial en la toma de decisiones durante todas las etapas de un proyecto de carretera, desde la planificación inicial hasta la construcción y el mantenimiento a largo plazo.

En este apartado, se harán notables los resultados del levantamiento topográfico realizado en el tramo de acceso a la planta Enel Carlos Fonseca, específicamente en el trayecto de la comunidad Las Pozas hacia Las Palmas, en las coordenadas iniciales del PI (12.751378 N y -86.240700 O), y las coordenadas finales del PI (12.736226 N y -86.244132 O).

1.11.2. Metodología

 Planificación del levantamiento: se establecerán los objetivos específicos del levantamiento topográfico, definiendo el alcance del proyecto, las áreas de interés y los requisitos de precisión.

- ✚ Se identificarán las herramientas y equipos necesarios para llevar a cabo el levantamiento, teniendo en cuenta las características del terreno y las condiciones climáticas de la región.
- ✚ Preparación del terreno: se llevarán a cabo actividades de limpieza y despeje en el área de estudio para facilitar el acceso y la visibilidad durante el levantamiento.
- ✚ Se realizarán inspecciones preliminares del terreno para identificar posibles obstáculos o riesgos que puedan afectar el proceso de levantamiento
- ✚ Se importarán los datos de la línea base constituida por 9 puntos de referencia (BM), a la estación total NIKON DTM-322 para la debida corroboración de las coordenadas proporcionadas y la realización del ajuste de la poligonal, por medio de un levantamiento preliminar.
- ✚ Se iniciará el levantamiento topográfico, una vez corregidos los BMS en la línea base mediante el método mínimos cuadrados, con el fin de garantizar la precisión de los puntos topográficos del tramo en estudio.
- ✚ Se colocarán marcas representando el alineamiento horizontal, establecido en una separación de 20 metros en rectas y a cada 10 metros en curvas, tomando el eje central y ambos extremos de la vía.
- ✚ Se le asignará una descripción de punto para cada coordenada geográfica, para una mejor clasificación y visualización de las características del relieve, por ejemplo: LC: Línea central, HDE: Hilo derecho, HIZ: Hilo izquierdo, CERCO, TN: Terreno natural, ALC: Alcantarilla, CUNETAS, PLU: Poste de luz.
- ✚ Se tomará todo el derecho de vía del proyecto y de ser posible, 1 o 2 metros más a los extremos de la misma.
- ✚ Se exportarán los datos obtenidos al software Microsoft Excel y Civil 3D, para la manipulación, análisis y visualización de los resultados.

Tabla

Coordenadas cartográficas del PI y PF del levantamiento topográfico.

ESTACIÓN	Coordenadas cartográficas (UTM84 - ZONA 16P)		
	OESTE (X)	NORTE (Y)	ELEV. (Z)
7+610.43	582409.752	1409802.025	455.652
9+610.43	582054.18	1408146.874	490.617

Fuente: Elaboración Propia.

1.11.3. Establecimiento de Banco Maestro

Para la ubicación de los Bancos maestros, se tomó en consideración la metodología planteada en el Manual para la Revisión de Estudios Topográficos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la cual cita lo siguiente:

“En el proyecto se instalarán puntos en toda la trayectoria del camino, que estarán ubicados a distancias promedio uno de otro conforme se establece en los términos de referencia, y que cuenten con inter visibilidad uno con otro, de acuerdo a la experiencia, se recomienda que la distancia promedio sea de 250 m.”

En la tabla 2 de la pág. 26, se presentan los bancos de nivel que configuran la línea base del tramo. Es relevante destacar que dichos bancos fueron instalados por la empresa ENEL como parte integral del proyecto de mejora del tramo de acceso, que se extiende desde el empalme La Unión, hasta la planta hidroeléctrica Carlos Fonseca, y que abarca un total de 78 puntos de referencia (BMS).

En el área específica, abordada por este estudio monográfico, los puntos de referencia asignados se sitúan entre el BM13 y el BM21, con una separación media de 250 metros entre cada uno. Estos puntos son cruciales para la evaluación detallada de la topografía en este tramo particular, proporcionando información esencial para el análisis y diseño de la infraestructura asociada. Ver imagen satelital en el apartado de Anexos, figura 62 pág. XXI.

Tabla

Bancos de nivel.

P	NORTE	OESTE	ELEV (m)	DESCR.	DIST (m)
13	1409755.104	582420.945	455.412	BM13	-
14	1409523.019	582593.943	458.09	BM14	289.468
15	1409271.712	582622.922	460.845	BM15	252.972
16	1408962.308	582623.335	469.031	BM16	309.404
17	1408889.585	582556.058	469.727	BM17	99.070
18	1408707.339	582293.356	470.853	BM18	319.728
19	1408538.037	582073.618	474.986	BM19	277.395
20	1408409.226	582035.656	479.499	BM20	134.288
21	1408145.882	582059.136	490.126	BM21	264.389

Fuente: Empresa Enel Carlos Fonseca.

1.11.4. Poligonal abierta

Se importaron los puntos de referencia (BM), proporcionados por la empresa ENEL, a la Estación total (NIKON DTM 322) en formato de texto, delimitado por tabulaciones, para establecer la línea base del levantamiento topográfico, mediante replanteo. Ver imágenes en anexos, figura 63 y 64, pág. XXII.

Figura 4: Línea base del tramo.



Fuente: Elaboración propia.

1.11.4.1. Ajuste de la poligonal

Para este procedimiento se utilizó el método de mínimos cuadrados, por lo que, se procedió a plasmar la línea base con las coordenadas proporcionadas, para apreciar de forma clara la estructura primordial del levantamiento, y a continuación se muestra la corrección de la poligonal abierta.

Una vez obtenidos los valores de BM para el tramo de carretera en estudio, se procede al cálculo de los azimuts. Este proceso implica calcular la diferencia angular entre la dirección del punto de interés y la de un punto de referencia conocido, considerando la proyección horizontal respecto al norte geomagnético. Además, se define la orientación (horaria o antihoraria) del ángulo resultante para determinar la dirección en relación al punto de referencia.

Tabla 3:

Lectura de azimut de la línea base en levantamiento preliminar.

Punto	Grado	Min	Seg	Decimal	Azimut	Dirección
BM13					143.29886	H
BM14	149	52	36.3	149.87675	173.42211	H
BM15	173	29	55	173.49861	179.92350	H
BM16	137	9	4	137.15111	137.22761	A
BM17	167	31	22	167.52278	124.75039	A
BM18	177	8	14	177.13722	127.61317	A
BM19	144	2	2.6	144.03406	163.57911	A
BM20	158	29	3	158.48417	174.90506	H
BM21						

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, utilizando la estación Nikon DTM 322, se registra una precisión de 5 min. Para determinar el error permisible del levantamiento en unidades angulares decimales, aplicamos la siguiente ecuación: multiplicamos la precisión del equipo por la raíz cuadrada del número de vértices en la línea base, que en este caso son 7.

$$Error = PE * \sqrt{n}$$

Ecuación 11: Cálculo de tolerancia de error de cierre

Realizando el proceso de cálculo en la ecuación 11, se tiene por resultado 13.229 min equivalentes a 0.22 decimales aproximadamente, por tanto, ese es el error permisible del levantamiento, para poder aplicar la corrección. Se efectúa la comparación detallada entre los errores de los azimuts finales de la tabla 3 y 4. Estos azimuts finales incluyen tanto el azimut geométrico, que se deriva de las mediciones realizadas con la estación total, como el azimut calculado mediante los ángulos internos de la poligonal.

Tabla 4:

Medición de azimut inicial y final de la línea base con coordenadas sin ajuste.

Azimut inicial	143.29886	H
Azimut final	174.90493	H

Fuente: Elaboración propia.

El error resultante entre el azimut final de la tabla 3 y el de la tabla 4, es de 0.00013, que está muy por debajo del error permisible (0.22), por tanto, se procese a realizar las correcciones. Como primer paso se distribuye el error de cierre entre los vértices (7), aplicando 1/7 del error resultante para el primer vértice, 2/7 para el segundo y así hasta llegar al séptimo vértice donde se le aplica 7/7 del error total y se le restan a los azimuts medidos de los BM. (se pasan a radianes para agilizar el proceso de cálculo a la hora de reflejar las proyecciones)

Tabla 5:

Corrección de cierre.

Punto	Corrección	Az	Radián	Distancia
BM13-BM14		143.29886	2.501036941	289.468
BM14-BM15	-1.825E-05	173.42209	3.026786516	252.972
BM15-BM16	-3.651E-05	179.92346	3.14025684	309.404
BM16-BM17	-5.476E-05	137.22756	2.395072683	99.07
BM17-BM18	-7.302E-05	124.75032	2.177303755	319.728
BM18-BM19	-9.127E-05	127.61308	2.227268334	277.395
BM19-BM20	-1.095E-04	163.57900	2.854992165	134.288
BM20-BM21	-1.278E-04	174.90493	3.052666868	264.389
SUMATORIA				1946.714

Fuente: Elaboración propia.

La sumatoria de las distancias entre los puntos se distribuyen entre las proyecciones para posteriormente ajustar las coordenadas de forma precisa. La distribución del ajuste de las proyecciones, se realiza con base en el porcentaje que representa la distancia de la proyección entre la longitud total de la línea base, se comparan las sumatorias de las abscisas y ordenadas, con la diferencia entre coordenada inicial y final de la poligonal.

Tabla 6:

Proyecciones.

Proyecciones			
N	O	N	O
-232.08495	172.99797	-232.08527	172.99817
-251.30669	28.978981	-251.30697	28.979158
-309.40372	0.4133061	-309.40406	0.4135227
-72.722983	-67.277282	-72.723092	-67.277212
-182.24537	-262.70253	-182.24572	-262.7023
-169.30137	-219.73856	-169.30167	-219.73836
-128.81045	-37.96228	-128.8106	-37.962186
-263.34432	23.480025	-263.34461	23.48021
-1609.2199	-361.81036	-1609.222	-361.809

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7:

Error entre las coordenadas y proyecciones.

Coordenadas		
BM13	1409755.104	582420.945
BM21	1408145.882	582059.136
ERROR	-1609.222	-361.809
	-0.002	0.001

Fuente: Elaboración propia.

Una vez ajustadas las proyecciones, se calcula las coordenadas corregidas y en contraste se aprecia la diferencia de milésimas con las coordenadas originales proporcionadas, por lo que no infiere en gran medida a la hora de utilizar como puntos de referencias ya establecidos, gracias al error de cierre decimal tan bajo que se refleja en el levantamiento, que puede deberse al factor de precisión del equipo y/o al mal posicionamiento del mismo o del prisma.

Tabla 8:

Corrección de coordenadas de los BM.

Punto	Coordenadas		Coordenadas corregidas	
	N	O	N	O
BM13	1409755.1040	582420.9450	1409755.1040	582420.9450
BM14	1409523.0190	582593.9430	1409523.0187	582593.9432
BM15	1409271.7120	582622.9220	1409271.7118	582622.9223
BM16	1408962.3080	582623.3350	1408962.3077	582623.3359
BM17	1408889.5850	582556.0580	1408889.5846	582556.0586
BM18	1408707.3390	582293.3560	1408707.3389	582293.3563
BM19	1408538.0370	582073.6180	1408538.0372	582073.6180
BM20	1408409.2260	582035.6560	1408409.2266	582035.6558
BM21	1408145.8820	582059.1360	1408145.8820	582059.1360

Fuente: Elaboración propia.

1.11.5. Alineamiento horizontal

En relación al espaciamiento horizontal de las secciones transversales del tramo, se llevó a cabo a intervalos de 20 metros en tramos rectos y a 10 metros en curvas, considerando la suavidad de las curvas y la ausencia de pendientes significativas. No obstante, a partir de la estación 1+100, se optó por reducir el espaciamiento a 15 metros en tramos rectos debido a la presencia de pendientes más pronunciadas y múltiples puntos de acceso a propiedades privadas. Esta modificación se consideró pertinente para una representación más precisa de las características topográficas del área en cuestión. Ver figura 82 y 83, en el apartado Anexos, pág. XXXVIII.

1.11.6. Perfil longitudinal

La representación del perfil del tramo bajo análisis se encuentra con una amplificación vertical de 10 a 1, un ajuste deliberado que busca destacar de manera más efectiva las irregularidades presentes en la topografía circundante. Este enfoque específico considera únicamente el eje central para la generación del perfil longitudinal Ver, permitiendo así una visualización detallada de las variaciones del terreno. La elección de esta exageración vertical se fundamenta en la necesidad de resaltar características topográficas clave y proporcionar una

representación más precisa de la topografía en el perfil longitudinal, contribuyendo a una evaluación más precisa del terreno en estudio.

Figura 5: Perfil longitudinal Civil 3D (Sin escala)



Fuente: Elaboración propia.

1.11.7. Pendientes

Para evaluar las pendientes, se tomaron los puntos pertenecientes a la línea central del tramo y se calcularon las diferencias de elevación y distancias entre sí, por consiguiente, se calculó la pendiente utilizando la ecuación 1, pág. 9, lo que brinda datos de pendientes longitudinales donde se refleja como pendiente mínima 0.17% y como máxima 5.48% Ver Anexo, pág. XL-XLIII, en consecuencia, se clasifica el sector en estudio como terreno llano o plano como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9:

Clasificación del terreno acorde a rango de pendientes.

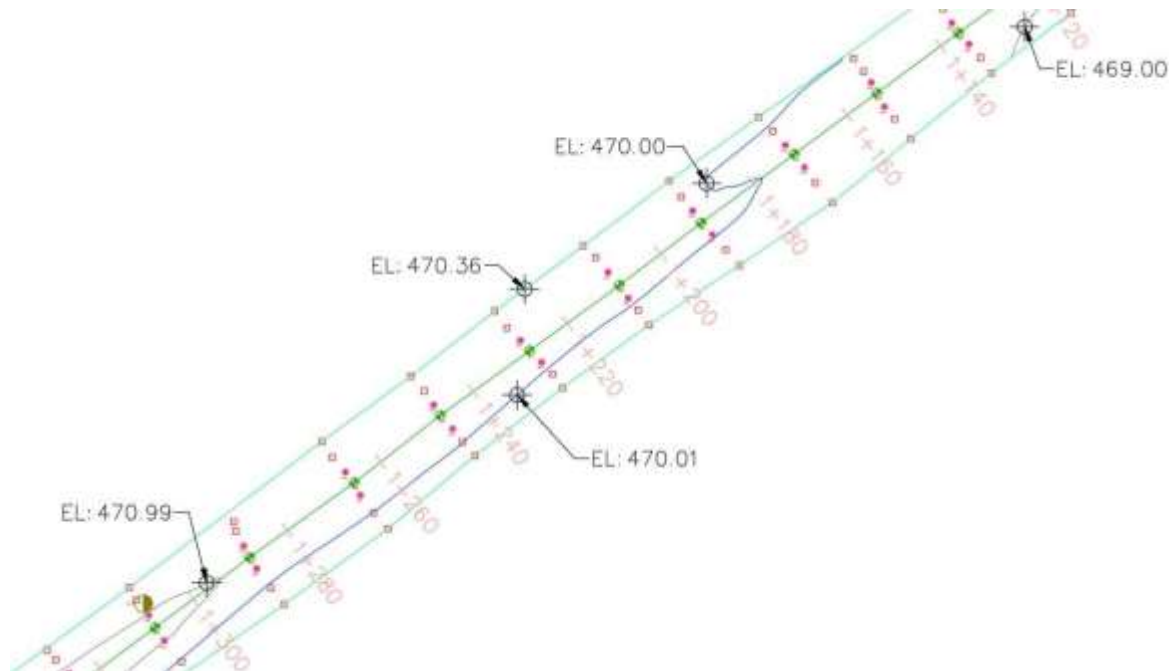
Tipo de terreno	Rango de pendientes (%)
<i>Llano o plano</i>	<i>P ≤ 5%</i>
Ondulado	5% < P ≤ 15%
Montañoso	5% < P ≤ 30%

Fuente: Manual centroamericano para el diseño de carreteras (SIECA 2011), cap. 3, pág. 116.

1.11.8. Curvas de Nivel

Las elevaciones en este tramo, con una mínima de 452 m y una máxima de 492 m en un tramo de aproximadamente 2 km, muestran una variación moderada. En respuesta a estas condiciones topográficas, se estableció un intervalo de 5 m para las curvas mayores y de 1 m para las menores, con el fin de capturar con precisión los cambios sutiles en la topografía. Además, se llevó a cabo una meticulosa corrección de las triangulaciones generadas por el software AutoCAD Civil 3D.

Figura 6: Curvas de nivel generadas en CIVIL 3D (Est 1+130 hasta Est 1+320).



Fuente: Elaboración propia.

1.11.9. Características topográficas

La topografía del tramo de acceso a la planta Enel Carlos Fonseca presenta un perfil generalmente plano. En el tramo específico que abarca desde la comunidad Las Pozas hasta la comunidad el Nancital. Esto se debe a la presencia de una capa de asfalto que data desde 1970, la cual ha permitido mitigar las pendientes y suavizar la curvatura del camino.

Todos los puntos del levantamiento topográfico para el tramo Las Pozas – El Nancital, se encuentran en Anexos, de la tabla 101 a la 119 en las pág. II-XX.

Tabla 10:

Equipo topográfico utilizado.

Equipo Utilizado	Descripción	Referencia
Estación Total NIKON DTM-322	La NIKON DTM-322 está equipada con un telescopio que permite al usuario apuntar con precisión de 5" a puntos de interés en el terreno.	
Trípode-SitePro	Estos trípodes están equipados con una cabeza ajustable que permite nivelar el instrumento topográfico con precisión y asegurar una alineación correcta durante las mediciones.	
GPS	El GPS es esencial en levantamientos topográficos debido a su capacidad para proporcionar coordenadas precisas, eficiencia en la recolección de datos, acceso a áreas remotas y su integración con sistemas de información geográfica.	
Brújula	La brújula se utiliza para establecer la orientación inicial de un levantamiento topográfico, especialmente en áreas donde no se dispone de referencias geográficas externas.	
Prisma LEICA	El prisma Leica refleja la luz emitida por el instrumento de medición de regreso hacia este, permitiendo la determinación exacta de la distancia entre el instrumento y el prisma.	
Pintura en Spray	La pintura en spray es útil para marcar puntos de control, delimitar áreas, identificar características importantes y realizar anotaciones temporales en el terreno.	
Cinta métrica	Tiene utilidades en ciertas situaciones donde se necesitan mediciones precisas y detalladas en distancias cortas o en condiciones donde otros equipos pueden no ser apropiados.	
Machete	El machete se utiliza para cortar y despejar la vegetación densa, como arbustos, ramas, maleza y enredaderas, que pueden obstaculizar el acceso de instrumentos a áreas de interés.	
Martillo	El martillo podría tener algunas aplicaciones ilimitadas en situaciones específicas, como el clavado de estacas o la fijación de accesorios en el terreno.	
Clavos	Los clavos se utilizan para señalar puntos de las secciones transversales del tramo mediante fichas	
Libreta de Campo	Es esencial para garantizar la precisión, consistencia y documentación adecuada del trabajo realizado en el campo.	

Fuente: Elaboración propia.

1.11.10. Levantamiento topográfico

Para el levantamiento topográfico, inicialmente se consideró la memoria de cálculo proporcionada por la institución ENEL, la cual presenta numéricamente los puntos de referencia (BM). Para verificar esta información, se transfirieron los datos a un GPS ETREX 22X de GARMIN. Este dispositivo se utilizó debido a su precisión y capacidad para registrar las coordenadas norte, oeste y la altitud de los puntos de interés en el tramo de estudio.

El proceso comenzó con la transferencia de los datos de referencia al GPS, asegurando que todas las coordenadas estuvieran correctamente registradas. Se recorrió el área de estudio con el GPS para identificar y marcar físicamente cada punto de referencia. Durante esta fase, se tomaron múltiples lecturas para cada punto, garantizando la exactitud mediante la repetición de las mediciones y la comparación con los datos originales de ENEL.

Una vez verificados los puntos de referencia con el GPS, se procedió a utilizar la estación total Nikon DTM322 para una medición más detallada y precisa. La estación total permitió medir distancias, ángulos y elevaciones con alta precisión. El uso de esta herramienta fue esencial para definir los puntos determinantes de la vía en estudio, comenzando con la vía central, seguida del eje derecho y el eje izquierdo.

El equipo de topografía estableció una red de control mediante la colocación de prismas en los puntos de referencia previamente verificados. Con la estación total, se realizaron mediciones angulares y lineales para cada punto, registrando datos con gran detalle. Estas mediciones se repitieron varias veces para asegurar su fiabilidad. Para obtener una representación completa de la topografía del sitio, se solicitó permiso a los residentes contiguos al tramo en estudio, lo que permitió extender las mediciones 3-4 metros fuera del derecho de vía establecido. Esta extensión fue crucial para capturar variaciones topográficas adicionales que podrían afectar el diseño y la ejecución del proyecto.

1.12. Estudio de suelo

1.12.1. Generalidades

Los análisis con enfoque a los suelos en las vías son esenciales, ya que brindan información detallada sobre las propiedades químicas, físicas y mecánicas presentes en el lecho carretero. De igual manera, posibilitan la identificación de la composición estratigráfica y la naturaleza del subsuelo, incluyendo la determinación de la capacidad de carga y la profundidad de la fundación. Este proceso culmina al revelar los datos necesarios para definir el diseño estructural del pavimento y la proporción exacta de la cimentación requerida para la construcción de la carretera.

En esta sección, se exponen los resultados derivados del análisis estratigráfico del estudio de suelo, efectuado en el segmento que abarca el acceso a la Planta Carlos Fonseca, así como las comunidades Las Pozas y El Nancital, mediante la aplicación rigurosa de la normativa NIC - 2019.

1.12.2. Metodología

- ✚ Realizar sondeos manuales a intervalos de 500 metros a lo largo del tramo de la carretera como se muestra en la figura 8, pág. 38, con una profundidad de 1.5 metros. Permitiendo así, la obtención de muestras representativas del suelo para un análisis detallado en laboratorio, optimizando recursos económicos sin comprometer la precisión y la profesionalidad del estudio.
- ✚ Llevar a cabo sondeos manuales en el banco de materiales destinado.
- ✚ Evaluar las características físico-mecánicas del suelo mediante la realización de ensayos de laboratorio en muestras obtenidas de los sondeos realizados a lo largo del tramo y en el banco de materiales.
- ✚ Clasificar los suelos según sus propiedades utilizando el método AASHTO y método SUCS.
- ✚ Establecer la subrasante de la carretera con base en la estratigrafía del suelo, conforme a las directrices de la norma NIC – 2019, que establece un espesor mínimo de 25 cm, como se ilustra en la figura 23, pág. 56.

- Efectuar pruebas de CBR en los sondeos manuales y en el banco de materiales, seguido de los cálculos correspondientes en Microsoft Excel para evaluar la capacidad portante del suelo de la subrasante, conforme a las normas NIC – 2019.

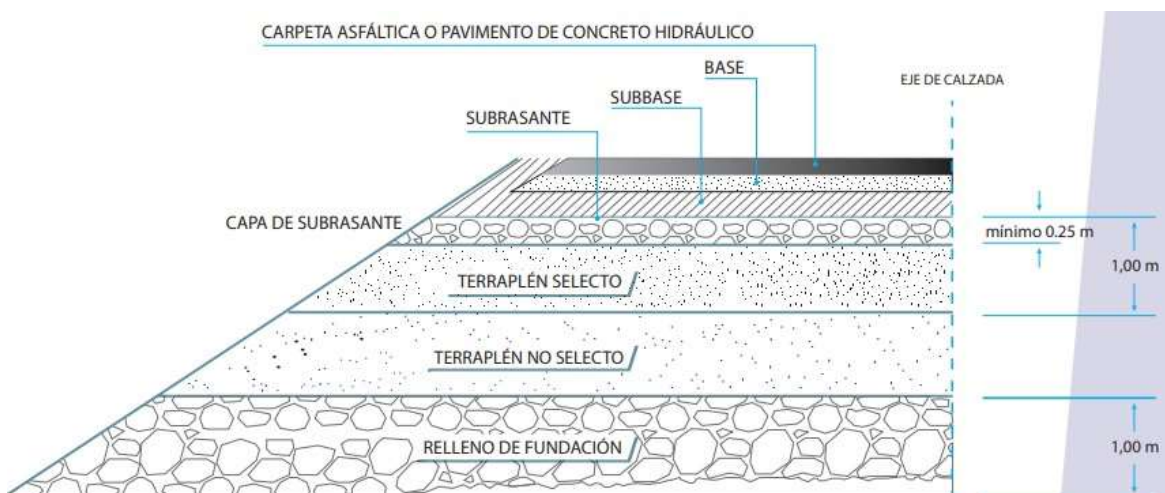
Tabla 11:

Ensayos de suelo según normas AASHTO y ASTM

Ensayo	Norma
Granulometría	AASHTO T-88 / ASTM D-422 y D-6913
Límite Líquido	AASHTO T-89 / ASTM D-423 y D-4318
Límite Plástico	AASHTO T-90 / ASTM D-424 y D-4318
Índice de plasticidad	AASHTO T-90 / ASTM D-4318
Peso específico	AASHTO T-19 / ASTM C-29
Clasificación de Suelos AASHTO	AASHTO M-145 / ASTM D-3282.
Clasificación de Suelos SUCS	ASTM D-2487
Ensayo Proctor Estándar	AASHTO T-99 / ASTM D-698
CBR	AASHTO T-193 / ASTM D-1883
Contenido de humedad	ASTM D-2216

Fuente: (MTI, 2008, págs. 8,9)

Figura 7: Espesores mínimos para estructura de pavimento.



Fuente: (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2019, pág. 823)

Tabla 12:

Tamaños estándar de tamices.

Tamiz núm.	Abertura (mm)	Tamiz núm.	Abertura (mm)
3"	76.200	No 20	0.850
1 ½"	38.100	No 30	0.600
1"	25.400	No 40	0.425
¾"	19.050	No 50	0.300
½"	12.700	No 60	0.250
⅜"	9.525	No 80	0.180
No 4	4.750	No 100	0.150
No 10	2.000	No 200	0.075
No 16	1.180		

Fuente: (DAS, 2015, pág. 34)

Se empleó el método mecánico de tamizado para la determinación de la granulometría, utilizando las aberturas de tamices descritas en (DAS, 2015), que se detallan en la tabla 12 de la página 37.

1.12.3. Sondeos de línea

A lo largo del tramo que conecta la Planta Carlos Fonseca con las Comunidades Las Pozas y El Nancital, se ejecutaron 5 sondeos manuales, distribuidos alternadamente en la franja izquierda, central y derecha. Estos sondeos alcanzaron una profundidad de 1.50 metros, con una separación de 500 metros entre cada uno, generando un total de 14 muestras (consultar tabla 13 en la página 38), la decisión de realizar los sondeos a intervalos de 500 metros, en lugar de los 300 metros establecidos por la normativa, se debe a las restricciones económicas con las que se cuenta actualmente para el desarrollo del trabajo monográfico.

Además, esta medida ha sido adoptada tras una evaluación exhaustiva de los recursos financieros disponibles, priorizando la viabilidad y continuidad del proyecto sin comprometer significativamente la calidad y seguridad de las obras.

La disposición geográfica de estas estaciones de sondeo se muestra en la figura 8 de la página 38. El muestreo en los sondeos de línea se llevó a cabo mediante el uso de pala chancha, coba y barra. La clasificación preliminar del material se realizó in situ, mediante observación visual y táctil. Posteriormente, las muestras fueron transportadas al laboratorio para realizar un análisis detallado y estudiar las propiedades físico-mecánicas del suelo. Este enfoque proporciona un criterio de diseño esencial para estimar los espesores requeridos en la construcción del pavimento.

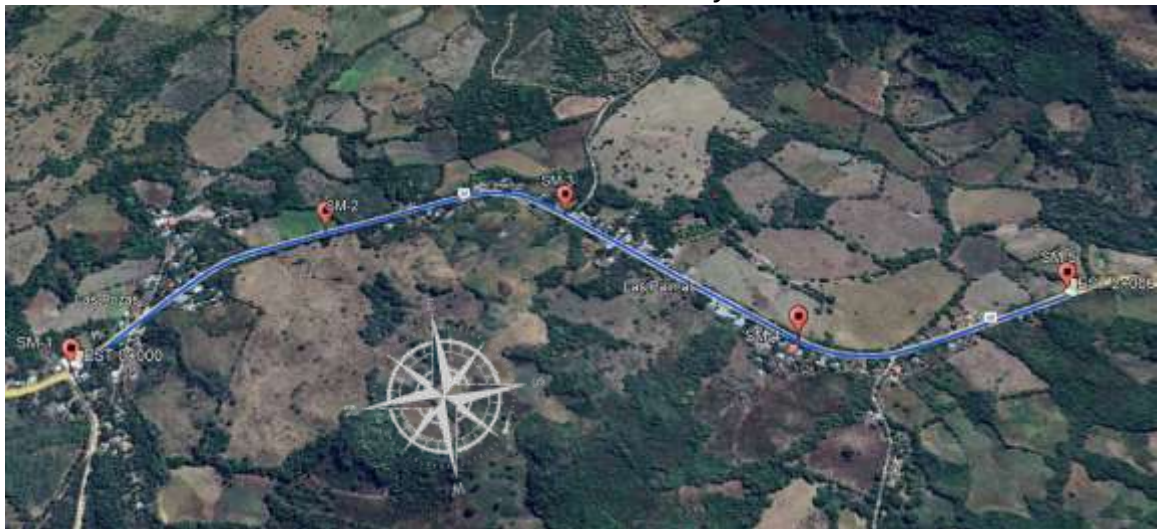
Tabla 13:

Sondeos manuales realizados a lo largo del tramo.

N° de Sondeo	Estación	Banda
Sm – 1	0+000	Izquierda
Sm – 2	0+500	Derecha
Sm – 3	1+000	Central
Sm – 4	1+500	Izquierda
Sm – 5	2+000	Derecha

Fuente: Elaboración propia.

Figura 8: Ubicación de las estaciones de sondeo manual para el tramo Planta Carlos Fonseca con las Comunidades Las Pozas y El Nancital.



Fuente: <https://earth.google.com/web/@12.74333475,-86.23870235,466.60534594a,5585.38128218d,30y,0h,0t,0r/data=OgMKATA>

1.12.3.1. Sondeo manual 1

1.12.3.1.1. Estrato 1

Para la muestra del sondeo 1, correspondiente al estrato 1 y obtenida a una profundidad de 20 cm, se utilizó una muestra representativa recopilada en el lugar. El material extraído se compone de un 14% de finos, un 44% de arenas y un 42% de gravas, con un Límite Líquido de 39% y un índice de plasticidad del 6%. De acuerdo con la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como GM (Grava limosa con arena de baja plasticidad), mientras que según la clasificación AASHTO, se clasifica como A-1-b (0) (Gravas y Arenas).

A continuación, se proporciona un análisis detallado de la distribución de partículas y la curva granulométrica del suelo.

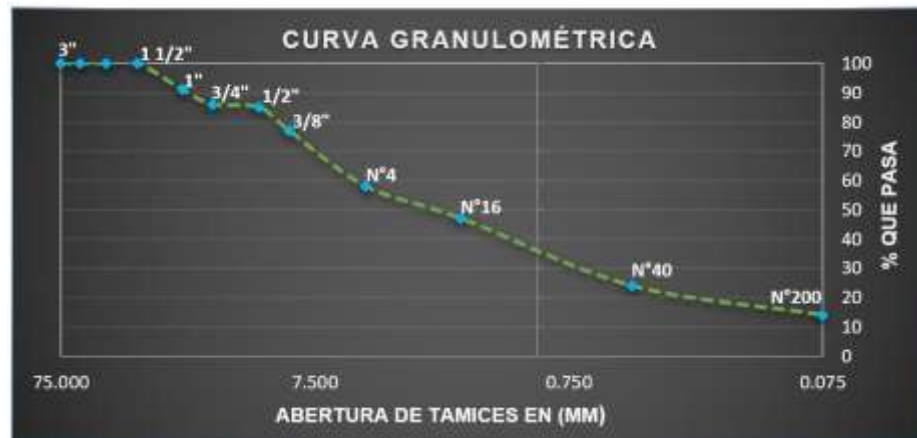
Tabla 14:

Granulometría sondeo 1, estrato 1.

Distribución de partículas		
Grava	42 %	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	14 %	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	28 %	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	44 %	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	11 %	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	23%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	10 %	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	14 %	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 40: Curva granulométrica sondeo1, estrato



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.1.2. Estrato 2

Para el sondeo 1, estrato 2, fue extraída a una profundidad a partir de los 20 cm hasta los 80 cm de la calicata, se empleó una muestra representativa recolectada en el lugar. El material extraído se compone de un 35% de finos, un 20% de arenas y un 45% de gravas, con un Límite Líquido de 44% y un índice de plasticidad del 15%. Según la clasificación SUCS, el suelo se identifica como GM (Grava limo Arcillosa), mientras que, conforme a la clasificación AASHTO, se clasifica como A-2-7(1) (Arenas Arcillosas).

Tabla 15:

Granulometría sondeo 1, estrato 2.

Distribución de partículas		
Grava	45 %	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	4 %	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	41 %	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	20 %	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	10 %	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	6 %	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	4 %	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	35 %	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41: Curva granulométrica sondeo1, estrato 2.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.1.3. Estrato 3

Para la muestra de sondeo 1, correspondiente al estrato 3 y extraída en un intervalo que va desde los 80 cm hasta los 150 cm de la calicata. La composición del material extraído incluye un 84% de finos, un 16% de arenas y un 0% de gravas, con un Límite Líquido de 55% y un índice de plasticidad del 19%. Según la clasificación SUCS, el suelo se cataloga como MH (Limo arcilloso con arena), mientras que, según la clasificación AASHTO, se clasifica como A-7-5(19) (Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad).

Tabla 16:

Granulometría sondeo 1, estrato 3.

Distribución de partículas		
Grava	0 %	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	0 %	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	0 %	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	16 %	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	5 %	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	5 %	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	6 %	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	84 %	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42: Curva granulométrica sondeo1, estrato 3.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.2. Sondeo manual 2

1.12.3.2.1. Estrato 1

Para el estrato 1, sondeo 2, extraída en un rango que abarca desde los 10 cm hasta los 35 cm de la calicata, se empleó una muestra representativa recolectada en el lugar. La composición del material extraído comprende un 24% de finos, un 17% de arenas y un 59% de gravas, con un Límite Líquido de 41% y un índice de plasticidad del 11%. Según la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como GM (Grava limosa con arena baja en plasticidad), mientras que, de acuerdo con la clasificación AASHTO, se identifica como A-2-7(0) (Arena arcillosa).

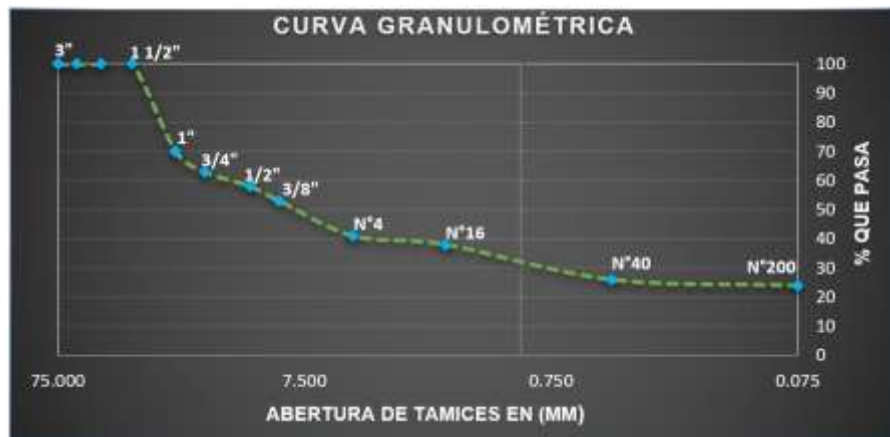
Tabla 17:

Granulometría sondeo 2, estrato 1.

Distribución de partículas		
Grava	59%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	36%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	23%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	17%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	3%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	12%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	2%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	24%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43: Curva granulométrica sondeo 2, estrato 1.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.2.2. Estrato 2

Para la muestra del sondeo 2, perteneciente al estrato 2 y extraída en un intervalo que abarca desde los 35 cm hasta los 76 cm de la calicata, se utilizó una muestra representativa recolectada en el sitio. La composición del material extraído abarca un 21% de finos, un 79% de arenas y un 0% de gravas, con un Límite Líquido de 55% y un índice de plasticidad del 18%. Según la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como SM (Arena limo arcillosa), mientras que, de acuerdo con la clasificación AASHTO, se identifica como A-2-7(0) (Arena arcillosa).

Tabla 18:

Granulometría sondeo 2, estrato 2.

Distribución de partículas		
Grava	0%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	0%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	0%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	79%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	28%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	32%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	19%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	21%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 44: Curva granulométrica sondeo 2, estrato 2.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.2.3. Estrato 3

Para el sondeo 2, estrato 3, en un rango que abarca desde los 76 cm hasta los 150 cm de la calicata, se empleó una muestra representativa recolectada en el lugar. La composición del material extraído incluye un 57% de finos, un 27% de arenas y un 16% de gravas, con un Límite Líquido de 59% y un índice de plasticidad del 23%. Según la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como MH (Limo arcilloso con arena y grava), mientras que, de acuerdo con la clasificación AASHTO, se identifica como A-7-5(12) (Arcillas de media a alta plasticidad).

Tabla 19:

Granulometría sondeo 2, estrato 3.

Distribución de partículas		
Grava	16%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	1%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	15%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	27%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	2%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	13%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	12%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	57%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45: Curva granulométrica sondeo 2, estrato 3.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.3. Sondeo manual 3

1.12.3.3.1. Estrato 1

Para el sondeo 3, en el estrato 1, extraída en un rango desde los 2 cm hasta los 80 cm de la calicata. La composición del material comprende un 23% de finos, un 23% de arenas y un 54% de gravas, con un Límite Líquido de 38% y un índice de plasticidad del 8%. Según la clasificación SUCS, el suelo se cataloga como GM (Grava limosa con arena de baja plasticidad, color café), mientras que, según la clasificación AASHTO, se identifica como A-2-4(0) (Arenas limosas).

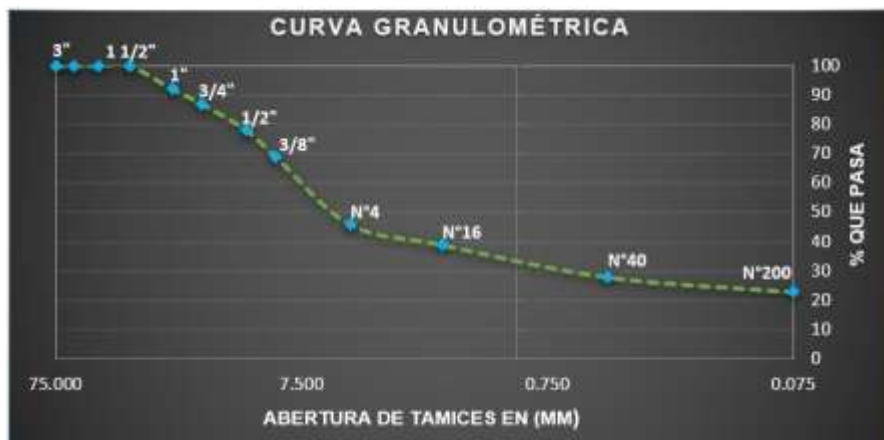
Tabla 20:

Granulometría sondeo 3, estrato 1.

Distribución de partículas		
Grava	54%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	14%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	40%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	23%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	7%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	11%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	5%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	23%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 46: Curva granulométrica sondeo 3, estrato 1.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.3.2. Estrato 2

Para la muestra del sondeo 3, correspondiente al estrato 2 y extraída en un intervalo que va desde los 80 cm hasta los 150 cm de la calicata. La composición del material extraído abarca un 49% de finos, un 19% de arenas y un 32% de gravas, con un Límite Líquido de 47% y un índice de plasticidad del 20%. Según la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como GC (Grava arcillosa con arena de tonalidad café), mientras que, según la clasificación AASHTO, se identifica como A-7-6(6) (Arcillas inorgánicas de alta plasticidad).

Tabla 21:

Granulometría sondeo 3, estrato 2.

Distribución de partículas		
Grava	32%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	0%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	32%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	19%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	7%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	9%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	3%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	49%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 47: Curva granulométrica sondeo 3, estrato 2.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.4. Sondeo manual 4

1.12.3.4.1. Estrato 1

Para el sondeo 4, estrato 1, extraída en un intervalo que abarca desde los 0 cm hasta los 20 cm de la calicata. La composición del material comprende un 13% de finos, un 13% de arenas y un 74% de gravas, con un Límite Líquido de 39% y un índice de plasticidad del 10%. Según la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como GM (Grava limosa de baja plasticidad, color amarillento), mientras que, según la clasificación AASHTO, se identifica como A-2-4(0) (Arenas limosas).

Tabla 22:

Granulometría sondeo 4, estrato 1.

Distribución de partículas		
Grava	74%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	28%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	46%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	13%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	6%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	3%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	4%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	13%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 48: Curva granulométrica sondeo 4, estrato 1.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.4.2. Estrato 2

Para la muestra del sondeo 4, correspondiente al estrato 2 y extraída en un intervalo que comprende desde los 20 cm hasta los 60 cm de la calicata. La composición del material extraído incluye un 32% de finos, un 26% de arenas y un 42% de gravas, con un Límite Líquido de 39% y un índice de plasticidad del 11%. Según la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como GM (Grava limosa de baja plasticidad, color amarillento), mientras que, según la clasificación AASHTO, se identifica como A-2-6(0) (Arenas arcillosas).

Tabla 23:

Granulometría sondeo 4, estrato 2.

Distribución de partículas		
Grava	42%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	12%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	30%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	26%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	9%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	12%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	5%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	32%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 49: Curva granulométrica sondeo 4, estrato 2.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.4.3. Estrato 3

Para la muestra del sondeo 4, correspondiente al estrato 3 y extraída en un rango que abarca desde los 60 cm hasta los 150 cm de la calicata. La composición del material extraído comprende un 96% de finos, un 4% de arenas y un 0% de gravas, con un Límite Líquido de 61% y un índice de plasticidad del 21%. Según la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como MH (Arcillas de alta compresibilidad, color negro), mientras que, según la clasificación AASHTO, se identifica como A-7-5(31) (Arcillas de media a alta plasticidad).

Tabla 24:

Granulometría sondeo 4, estrato 3.

Distribución de partículas		
Grava	0%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	0%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	0%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	4%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	2%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	1%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	1%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	96%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 50: Curva granulométrica sondeo 4, estrato 3.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.5. Sondeo manual 5

1.12.3.5.1. Estrato 1

Para el sondeo 5, estrato 1, extraída desde los 0 cm hasta los 40 cm de la calicata. La composición del material extraído incluye un 22% de finos, un 24% de arenas y un 54% de gravas, con un Límite Líquido de 41% y un índice de plasticidad del 13%. Según la clasificación SUCS, el suelo se cataloga como GM (Grava limo arcillosa con arena de tonalidad café), mientras que, según la clasificación AASHTO, se identifica como A-2-7(0) (Arenas Arcillosas).

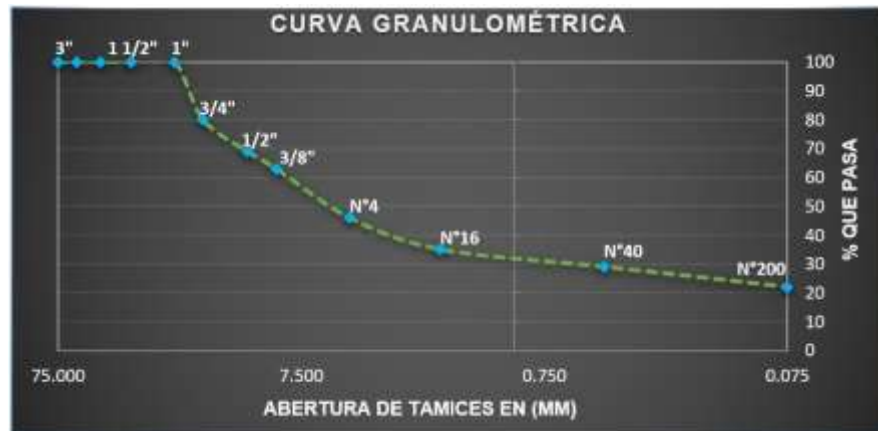
Tabla 25:

Granulometría sondeo 5, estrato 1.

Distribución de partículas		
Grava	54%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	21%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	33%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	24%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	11%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	6%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	7%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	22%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 51: Curva granulométrica sondeo 5, estrato 1.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.5.2. Estrato 2

Para la muestra del sondeo 5, correspondiente al estrato 2 y extraída en un rango que abarca desde los 40 cm hasta los 60 cm de la calicata. La composición del material extraído comprende un 29% de finos, un 35% de arenas y un 36% de gravas, con un Límite Líquido de 41% y un índice de plasticidad del 9%. Según la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como GM (Grava limosa con arena de baja plasticidad, color café amarillento), mientras que, según la clasificación AASHTO, se identifica como A-2-5(0) (Arenas Limosas).

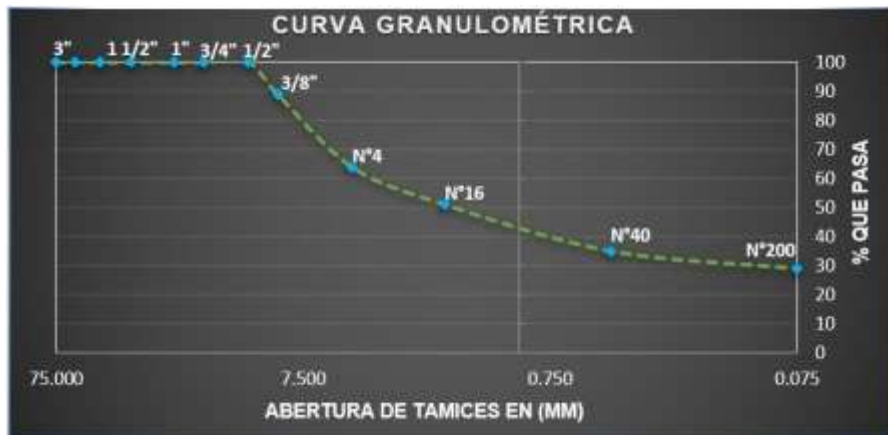
Tabla 26:

Granulometría sondeo 5, estrato 2.

Distribución de partículas		
Grava	36%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	0%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	36%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	35%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	13%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	16%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	6%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	29%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 52: Curva granulométrica sondeo 5, estrato 2.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.3.5.3. Estrato 3

Para la muestra del sondeo 5, correspondiente al estrato 3 y extraída en un rango que comprende desde los 60 cm hasta los 150 cm de la calicata. La composición del material extraído incluye un 76% de finos, un 24% de arenas y un 0% de gravas, con un Límite Líquido de 57% y un índice de plasticidad del 25%. Según la clasificación SUCS, el suelo se clasifica como MH (Limo arcilloso con arena de tonalidad negra), mientras que, según la clasificación AASHTO, se identifica como A-7-5(21) (Arcillas de media a alta plasticidad).

Tabla 27:

Granulometría sondeo 5, estrato 3.

Distribución de partículas		
Grava	0%	% que pasa la 3" y retiene la #4
Grava Gruesa	0%	% que pasa la 3" y retiene la 3/4"
Grava Fina	0%	% que pasa la 3/4" y retiene la #4
Arena	24%	% que pasa la #4 y retiene la #200
Arena Gruesa	6%	% que pasa la #4 y retiene la #16
Arena Media	10%	% que pasa la #16 y retiene la #40
Arena Fina	8%	% que pasa la #40 y retiene la #200
Limo y Arcilla	76%	% que pasa la #200

Fuente: Elaboración propia.

Figura 53: Curva granulométrica sondeo 5, estrato 3.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.4. Resumen de distribución granulométrica de los sondeos.

A continuación, un consolidado de la composición estratigráfica de los sondeos en línea realizados en la extensión del tramo en estudio:

Tabla 28:

Composición granulométrica de cada estrato en cada sondeo.

SONDEO	ESTRATO	PROFUNDIDAD (cm)		% GRAVA	% ARENA	% LIMO Y ARCILLAS
1	1	0	20	42%	44%	14%
	2	20	80	45%	20%	35%
	3	80	150	0%	16%	84%
2	1	10	35	59%	17%	24%
	2	35	76	0%	79%	21%
	3	76	150	16%	27%	57%
3	1	2	80	54%	23%	23%
	2	80	150	32%	19%	49%
4	1	0	20	74%	13%	13%
	2	20	60	42%	26%	32%
	3	60	150	0%	4%	96%
5	1	0	40	54%	24%	22%
	2	40	60	36%	35%	29%
	3	60	150	0%	24%	76%

Fuente: Elaboración propia.

1.12.5. Límites de consistencia

Los límites de consistencia en un estudio de suelo son de vital importancia para proyectos de carreteras debido a su impacto directo en la estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial. Estos límites, que incluyen el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad, son indicadores de las propiedades mecánicas y de deformación del suelo. Determinan la cantidad de agua necesaria para que el suelo pase de un estado plástico a un estado semilíquido, lo que influye en su capacidad de soporte y resistencia a la compactación bajo cargas de tráfico.

Un suelo con límites de consistencia inadecuados puede sufrir de problemas como asentamientos diferenciales, deformaciones permanentes y fallas estructurales, lo que comprometería la seguridad y funcionalidad de la carretera. Por lo tanto, comprender y evaluar los límites de consistencia es fundamental para diseñar una subrasante adecuada, seleccionar materiales de relleno apropiados y prevenir futuros problemas de ingeniería en el proyecto de la carretera.

Tabla 29:

Límites de consistencia de cada estrato en cada sondeo.

Sondeo	N° de muestra	Profundidad (cm)		Límite líquido	Límite plástico	Índice plástico	Humedad Natural
1	1	0	20	39%	33%	6%	11.9%
	2	20	50	44%	30%	15%	7.3%
	3	50	150	55%	36%	19%	8.2%
2	1	0	30	41%	30%	11%	14.3%
	2	30	70	55%	37%	18%	15.4%
	3	70	150	59%	35%	24%	17.2%
3	1	0	80	38%	30%	8%	14.3%
	2	80	150	47%	28%	19%	12.5%
4	1	0	20	39%	30%	9%	17.6%
	2	20	60	39%	29%	10%	15.8%
	3	60	150	61%	40%	21%	23.5%
5	1	0	30	41%	28%	13%	17.9%
	2	30	60	41%	32%	9%	17.1%
	3	60	150	57%	32%	25%	19%

Fuente: Elaboración propia.

Además, estos límites son cruciales para determinar la idoneidad de técnicas de estabilización del suelo, como la adición de aditivos o la compactación controlada, lo que puede mejorar significativamente las características del suelo y prolongar la vida útil de la carretera. En resumen, los límites de consistencia son una herramienta esencial en la ingeniería de suelos para garantizar la calidad, seguridad y eficiencia de las carreteras en su construcción y mantenimiento.

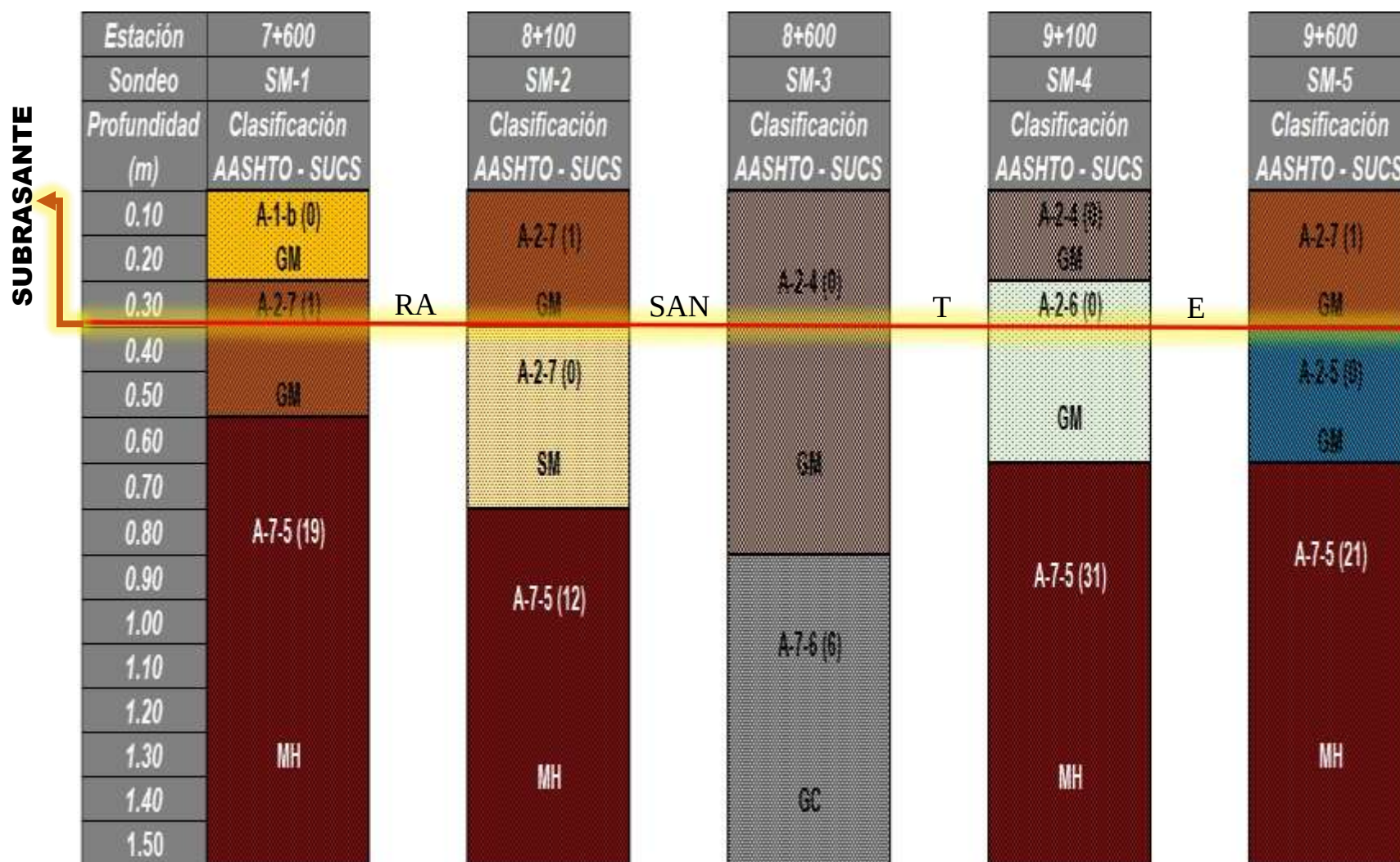
1.12.6. Estratigrafía del suelo del tramo

El gráfico estratigráfico presentado ofrece una representación visual exhaustiva de los distintos tipos de suelos identificados en el área de estudio, con especial énfasis en la línea de la subrasante, la cual ha sido definida a una profundidad estándar de 0.30 m. La elaboración de esta ilustración se ha llevado a cabo siguiendo meticulosamente las metodologías AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte) y SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), utilizando como base los datos obtenidos a través de la gradación granulométrica mediante el proceso de tamizado.

Este gráfico proporciona una visión detallada y clara de las características del subsuelo, destacando de manera evidente la preponderancia de arcillas en la composición del suelo en el área bajo estudio. Los sondeos previamente realizados han arrojado resultados significativos que corroboran esta tendencia, contribuyendo así a una comprensión profunda de la composición del suelo en el sitio de interés.

Es importante resaltar que la inclusión de la línea de la subrasante a una profundidad de 0.30 m constituye un punto de referencia fundamental para las consideraciones de ingeniería y diseño en el desarrollo de proyectos de infraestructura. Esta información estratigráfica enriquece considerablemente nuestra comprensión de la distribución y propiedades de los suelos presentes en el área en cuestión, lo que a su vez facilita la toma de decisiones fundamentadas durante la fase de planificación y ejecución de futuras actividades de construcción o desarrollo de infraestructura.

Figura 23: Columnas estratigráficas del suelo del tramo en estudio.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.7. Resultado de estudio de suelos del banco de materiales

El banco de materiales San Esteban, se halla situado en la comunidad Las Pozas, a una distancia de 413 metros del tramo bajo estudio. Este depósito exhibe un suelo clasificado como A-2-7(0), lo que indica que se trata de gravas con limos de media a baja plasticidad, con un distintivo color café rojizo y presencia de pintas blancas, según la clasificación de AASHTO. La evaluación granulométrica del banco arrojó un índice de plasticidad del 12%. Destacando sus propiedades de ingeniería, se registra un CBR compactado del 95%, una densidad seca máxima de 1798 kg/m³ y una humedad óptima del 16.1%, como se detalla en la tabla 30 y 31 adjuntadas en la pág. 58 y 59.

Este banco se posiciona como una valiosa fuente de materiales para potenciales proyectos de construcción, respaldado por sus propiedades mecánicas y características granulométricas que cumplen con estándares técnicos. Estos datos son esenciales para la toma de decisiones acertadas en la planificación y ejecución de obras, asegurando un manejo adecuado de los recursos y la optimización de los resultados en términos de rendimiento y durabilidad.

Figura 24: Ubicación del banco de material para el tramo en estudio.



Fuente: <https://earth.google.com/web/@12.75488277,86.24134448,459.30205924a,1000.09864334d,30y,0h,0t,0r/data=OgMKATA>

El estudio del banco de material San Esteban, indicado por el Dueño del Proyecto, persigue el análisis ingenieril adecuado y suficiente con la finalidad de poder ser usado en la estructura de pavimento, ya sea como capa de base, sub base, terracería y/o relleno. Esta fuente de material es nueva. Se procedió a situar los puntos de Calicatas a realizar precisando sus coordenadas para seguidamente realizar las excavaciones teniendo el mismo cuidado que se tiene al realizar el sondeo de línea.

Se toma muestra en cantidades aproximada a 60 kilogramos, se empacan y trasladan al laboratorio en donde se le realizan los ensayos necesarios para determinar de manera definitiva sus características, y ensayos adicionales para determinar en qué capa de una estructura de pavimento se pueden utilizar. El volumen aproximado analizado de este banco de acuerdo a las calicatas realizadas, es de 80 m x 60 m x 2.5 m (12,000 m³).

Existe una proyección del banco que se introduce en el área de la aguja existente cercana al túnel, en una longitud aproximada de 65 m, lo que hace que con un ancho de 60 m y 2.5 m de profundidad, hacen un volumen adicional de 9,750 m³. El 30% aproximadamente de este material presenta sobre tamaño mayor de 4 pulgadas.

Tabla 30:

Resultados del estudio de suelo del banco de material San Esteban (Parte 1).

Calicata	Coordenadas		Prof (m)	Límite Líquido	Índice de Plasticidad	Hum. Op.	F. abund.	% absorción
	X	Y						
1	580331	1407086	1.5	43%	13%	16.20%	1.3	6%
2	580314	1407106	1.83	45%	12%	16.20%	1.33	5.65%
3	580304	1407131	3.2	45%	12%	18.20%	1.34	6.20%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31:

Resultados del estudio de suelo del banco de material San Esteban (Parte 2).

Calicata	PVS máx (Kg/m3)	PVSS (Kg/m3)	PVSC (Kg/m3)	Peso específico	% que pasa por tamiz 3"	% que pasa por tamiz N° 4	% que pasa por tamiz N° 200
1	1798	1386	1532	2.65	100%	22%	13%
2	1798	1351	1451	2.66	100%	25%	14%
3	1740	1296	1436	2.46	100%	40%	20%

Fuente: Elaboración propia.

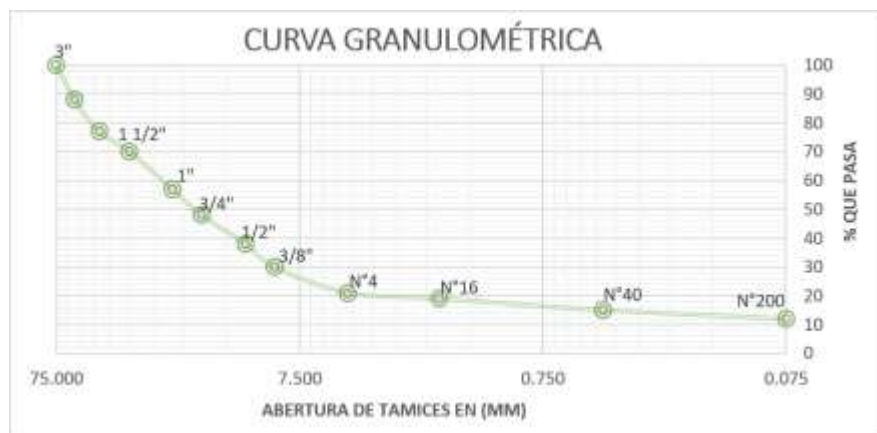
Tabla 32:

Granulometría detallada del Banco de materiales "San Esteban"

Granulometría del Banco de materiales "San Esteban"			
Tamices	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3
1"	58%	65%	100%
3/4"	48%	54%	91%
1/2"	38%	46%	73%
3/8"	30%	37%	58%
No. 4	22%	25%	40%
No. 16	20%	22%	34%
No. 40	16%	18%	28%
No. 200	13%	14%	20%

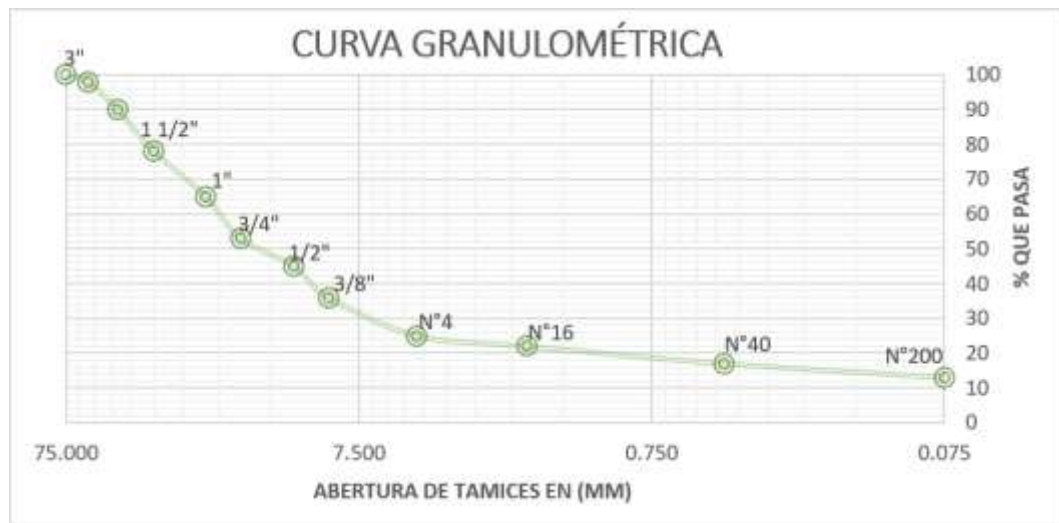
Fuente: Elaboración propia.

Figura 25: Curva granulométrica de la calicata 1.



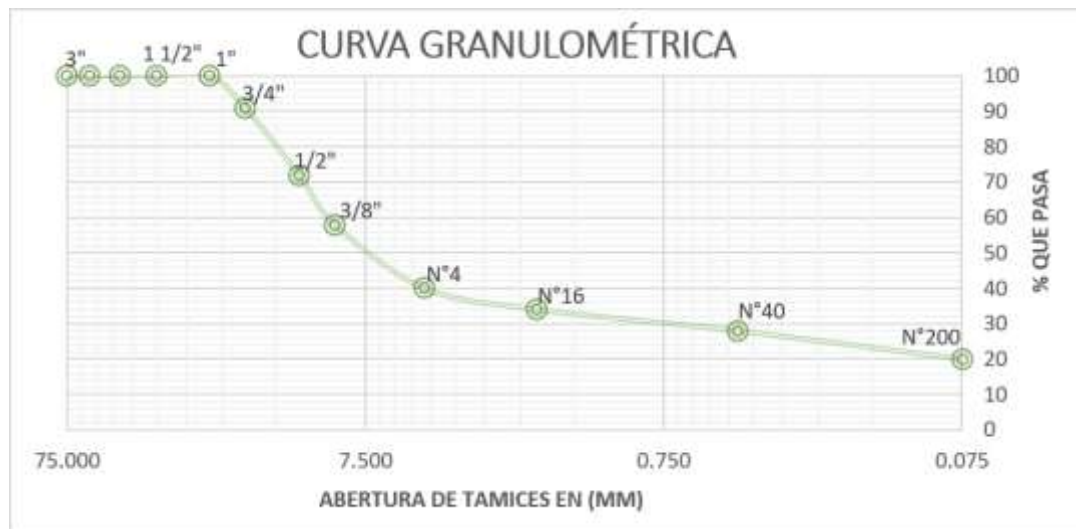
Fuente: Elaboración propia.

Figura 26: Curva granulométrica de calicata 2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27: Curva granulométrica de la calicata 3.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.7.1. Resultados de CBR de Material Banco “San Esteban”

Esta es una de las variables que tiene gran importancia para poder cuantificar la calidad del material del banco de material, por ello luego de realizar los diferentes ensayos de clasificación de los suelos éstos se agruparon en muestras con características similares, y se les realizó los ensayos correspondientes de CBR. Los resultados obtenidos en muestras compactadas al 90, 95 y 100% Proctor Modificado, y luego saturadas por 96 horas en agua, tienen los resultados de CBR que se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 33:

CBR del banco de material "San Esteban."

No.	Suelos	CBR %			Hinchamiento %			PVS máx.	Hum. Óp. %
		90%	95%	100%	90%	95%	100%	kg/m3	
1	Suelos A-2-7 (0) Gravas con limosa de media a baja plasticidad	29	35	41	0.152	0.103	0.063	1798	16.1

Fuente: Elaboración propia.

1.12.7.2. Evaluación del banco de material “San Esteban”

Tabla 34:

Especificaciones de los materiales para base y sub base granular

Ensayo	Límite Líquido	Índice de Plasticidad		CBR	
Norma	AASHTO T 89	AASHTO T 90		AASHTO T 190	
Requerimiento	25 máx	Subbase	Base	Subbase	Base
		6 máx	0 máx	30% mín.	80% mín.

Fuente: Norma NIC 2019, TOMO II, sección 1003.8 (b), (2019, págs. 809-810).

Tabla 35:

Evaluación del banco de material "San Esteban"

Ensayos	Límite líquido AASHTO T 89	Índice de plasticidad AASHTO T 90	CBR AASHTO T 190	
			Base	Subbase
Requerimientos según norma	25 máx	6 máx	80% mín.	30% mín.
Banco San Esteban	44.33%	12.33%	35%	35%
El banco de materiales no cumple con los requerimientos de la norma.				

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros clave incluyen el límite líquido, índice de plasticidad y CBR (California Bearing Ratio). Los valores actuales del límite líquido (44.33) e índice de plasticidad (12.33) superan los estándares (25 y 6 respectivamente), y el CBR para la base está por debajo del mínimo requerido (80%), mientras que para la subbase cumple satisfactoriamente.

Por tanto, se considera necesario estabilizar el material del banco con cemento para mejorar sus propiedades y garantizar su idoneidad en su uso para la elaboración de la base. Los ensayos de estabilización involucraron diferentes porcentajes de cemento (4%, 6% y 10%), seguidos de la fabricación de probetas compactadas al 100% del Proctor Modificado y un proceso de curado en arena húmeda. Después de 7 días, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión simple para evaluar la efectividad de la estabilización.

Los resultados mostraron una mejora notable en la resistencia del material estabilizado con cemento, así como una reducción en su plasticidad con mayores porcentajes de cemento, lo que indica una mejora en sus propiedades de trabajo.

En resumen, la estabilización con cemento se presenta como una solución efectiva para cumplir con los estándares requeridos y garantizar la calidad y durabilidad de las estructuras construidas con este material. Esto no solo asegura la seguridad de las construcciones, sino que también optimiza los recursos y reduce los costos asociados con posibles fallas futuras.

1.12.7.3. Estabilización con cemento banco “San Esteban” para base

Tomando en cuenta los resultados de laboratorio obtenidos de las muestras del banco analizado, se consideró importante realizar ensayos de estabilización con cemento. Se realizaron mezclas del material con 4%, 6% y 10% de cemento referidos al peso volumétrico de dicho material. Luego se fabricaron probetas compactadas al 100% Próctor Modificado, se dejaron curando en arena húmeda y finalmente a los 7 días de edad fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión simple. Igualmente, se chequeó la plasticidad del material sometido a la aplicación de los diferentes porcentajes de cemento.

Tabla 36:

Resultados de la estabilización con cemento

% de Cemento	4%	6%	10%
Espécimen No.	1	2	3
Fecha de fabricación	3/1/2024	3/1/2024	3/1/2024
Fecha de ensayo	10/1/2024	10/1/2024	11/1/2024
Edad (Días)	7	7	7
Resultado de Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm ²)	14	21	32
Límite Líquido %	45	42	40
Índice de Plasticidad %	10	8	7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37:

Uso del suelo del banco de materiales "San Esteban."

Banco	Clasificación	Tipo de Material	Uso
San Esteban	Calicatas No.1 y 2: A-2-7 (0)	Gravas con poco limo arcillo y arena de baja plasticidad color blanco amarillento o rojizo con pintas blancas	De forma natural puede ser usado para terracería mejorada, ajustes de sub-rasante y rellenos. Estabilizado con 8.0% de cemento puede ser usado como base. Esto equivale a usar 2.7 sacos de cemento por metro cúbico de material seco compacto. Estabilizado con 5.0% de cemento puede ser usado como sub-base. Esto equivale a usar 2.0 sacos de cemento por metro cúbico de material seco compacto. Este material gravoso puede ser explotado superficialmente con tractor o retroexcavadora hasta una profundidad aproximada (incluyendo el descapote) de 2.0 m. El espesor de material de descapote en el área estudiada es aproximadamente de 0.50 m.
	Calicatas 3: A-2-7 (0)	Gravas limosas con arena de baja plasticidad color rojizo con pintas blancas	De forma natural puede ser usado para terracería mejorada, ajustes de sub-rasante y rellenos. Este material gravoso puede ser explotado con tractor o retroexcavadora. El material de descapote en este sitio es de 0.50 m.

Fuente: Elaboración propia.

1.12.8. CBR de los sondeos de línea del tramo

El CBR de los tipos de suelo presentes en los sondeos del tramo se expondrán a continuación, asimismo se evaluaron las características del suelo bajo la subrasante de 30 cm, con la norma NIC 2019.

Tabla 38:

Especificaciones de terraplén y subrasante.

Ensayo		Límite Líquido	Índice de Plasticidad	CBR
Norma		AASHTO T 89	AASHTO T 90	AASHTO T 190
Requerimiento	Terraplén	40 máx.	25 máx.	5% mín.
	Subrasante	30 máx.	10 máx.	15% mín.

Fuente: Norma NIC 2019, TOMO II, sección 1003.22.1-2, (2019, págs. 830-831).

1.12.8.1. Metodología para CBR

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

Tabla 39:

CBR de los sondeos en línea.

Snd.	N° de muestra	Prof. (cm)		Clasificac. AASHTO	CBR	HINCH.	PVS MÁX	HUM. OP.
					95%	95%	KG/M3	%
1	1	0	20	A-1-b (0)	31	0.118	1705	25
	2	20	50	A-2-7 (1)	20	0.220	1722	16.9
	3	50	150	A-7-5 (19)	4	0.640	1399	26.1
2	1	0	30	A-2-7 (1)	20	0.220	1722	16.9
	2	30	70	A-2-7 (0)	22	0.317	1530	13.2
	3	70	150	A-7-5 (12)	5	0.400	1433	24.3
3	1	0	80	A-2-4 (0)	27	0.373	1763	11.3
	2	80	150	A-7-6 (6)	5	0.400	1433	24.3
4	1	0	20	A-2-4 (0)	27	0.373	1763	11.3
	2	20	60	A-2-6 (0)	22	0.317	1530	13.2
	3	60	150	A-7-5 (31)	4	0.417	1320	25.7
5	1	0	30	A-2-7 (1)	20	0.220	1722	16.9
	2	30	60	A-2-5 (0)	27	0.373	1763	11.3
	3	60	150	A-7-5 (21)	4	0.417	1320	25.7

Fuente. Elaboración propia.

Se seleccionó una subrasante de 30 cm para el proyecto de carretera, y en los estratos correspondientes de cada sondeo quedaron diferentes tipos de suelos bajo la subrasante, según la clasificación AASHTO: A-2-7 (1), (0); A-2-4 (0); A-2-6 (0); A-2-5 (0), obteniendo un promedio de CBR (95%) de 23.6 y un % de humedad óptima promedio de 13.18%.

Tabla 40:

Percentil para el diseño de subrasante.

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

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

Una metodología ampliamente reconocida para calcular la resistencia de diseño se basa en las directrices establecidas por el Instituto del Asfalto. Este enfoque sugiere seleccionar un percentil específico, según el nivel de tráfico proyectado para la superficie del pavimento, como se detalla en la tabla 40 pág. 66 se fijó en el percentil de 75% porque el ESAL de diseño proyectado para el tramo en estudio fue de 215,537 Kips, como se puede observar en la tabla 69 pág. 96.

Tabla 41:

CBR de diseño para subrasante

Clasificación AASHTO	CBR	FRECUENCIA	CANTIDADES MAYORES O IGUALES	%
A-2-7 (1)	20	1	5	100
A-2-6 (0)	22	1	4	80
A-2-7 (0)	22	1	3	60
A-2-4 (0)	27	1	2	40
A-2-5 (0)	27	1	1	20
SUMATORIA		5		

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de la tabla 41 pág. 67, se genera el siguiente gráfico con el que se determina un CBR de diseño para el suelo del tramo en 22%.

Figura 28: CBR de diseño para los sondeos de línea.



Fuente: Elaboración propia.

1.12.8.2. Evaluación del CBR de diseño para terraplén y subrasante.

Tabla 42:

Evaluación del CBR de diseño.

Ensayo		Límite líquido	Índice de plasticidad	CBR
Norma		AASHTO T 89	AASHTO T 90	AASHTO T 190
Requerimiento	Terraplén	40 máx.	25 máx.	5% mín.
	Subrasante	30 máx.	10 máx.	15% mín.
Banco de materiales		43.4%	12%	22%

Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar las características del suelo del tramo en cuestión, se han obtenido varios parámetros críticos que determinan su idoneidad para su uso en terraplén y subrasante. Estos parámetros son el CBR (California Bearing Ratio), el índice de plasticidad y el límite líquido, cada uno proporcionando información específica sobre la capacidad y estabilidad del suelo.

En primer lugar, el valor del CBR obtenido es del 22%. El CBR es una medida de la capacidad de soporte del suelo y se utiliza para diseñar la estructura de pavimentos y su estabilidad bajo cargas aplicadas. Un CBR del 22% es indicativo de un suelo con buena capacidad portante, adecuado para su uso en terraplenes y subrasantes. Generalmente, un valor de CBR superior al 20% se considera aceptable para estas aplicaciones, ya que indica que el suelo tiene suficiente resistencia para soportar las cargas impuestas por el tráfico y la estructura, reduciendo la posibilidad de asentamientos significativos y proporcionando una base firme.

Sin embargo, el índice de plasticidad (IP), que mide la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico del suelo, presenta resultados mixtos. El índice de plasticidad promedio del suelo es del 12%. Este valor cumple con los requisitos para su uso en terraplenes, donde se permite una mayor plasticidad debido a la naturaleza no estructural de esta aplicación. Los terraplenes pueden tolerar cierta

deformabilidad y cambios volumétricos sin comprometer la integridad de la estructura. No obstante, para su uso en subrasantes, donde se requiere una mayor estabilidad y menor deformabilidad. Las subrasantes, que forman la capa inmediatamente debajo del pavimento, necesitan suelos con un índice de plasticidad más bajo, típicamente inferior al 10%.

El límite líquido (LL) del suelo, que mide el contenido de humedad en el que el suelo pasa del estado plástico al estado líquido, se ha determinado en un 43.4%. Este valor supera el límite máximo generalmente aceptado para su uso tanto en terraplenes como en subrasantes, que típicamente se sitúa alrededor del 35%. Un límite líquido elevado indica que el suelo puede volverse muy plástico y perder su cohesión con altos contenidos de humedad, lo cual es indeseable tanto para la estabilidad del terraplén como para la subrasante. Esto se debe a que suelos con un límite líquido alto tienen mayor tendencia a experimentar expansiones y contracciones significativas, lo que compromete la durabilidad y estabilidad de las estructuras construidas sobre ellos.

En resumen, aunque el CBR de 22% es satisfactorio para el terraplén y la subrasante, el índice de plasticidad de 12% solo es adecuado para el terraplén. El límite líquido de 43.4% excede los límites permitidos, lo que significa que el suelo no es apto para ninguno de los dos usos sin un tratamiento adecuado. Para cumplir con los estándares requeridos, se deberán considerar mejoras o estabilización del suelo, tales como la adición de cal, cemento, o materiales estabilizantes, así como técnicas de mejora mecánica del suelo para reducir su índice de plasticidad y límite líquido a niveles aceptables. Estas medidas asegurarán que el suelo proporcione una base sólida y duradera para la infraestructura propuesta, minimizando el riesgo de problemas futuros asociados.

1.13. Estudio de tránsito

1.13.1. Generalidades

Los análisis de tránsito desempeñan un papel crucial en el diseño de infraestructuras de transporte, especialmente en la planificación de estructuras de rodamiento como pavimentos. Estos estudios cuantifican el volumen, composición y distribución del tráfico, proporcionando una visión integral de la carga que soportará la vía. Además, se evalúan los patrones de carga, considerando tanto las cargas axiales como laterales, así como los efectos del clima.

Proyectar el crecimiento futuro del tráfico es esencial para ajustar el diseño a las demandas venideras. Asimismo, se examina el estado actual del pavimento para determinar la necesidad de rehabilitaciones. Los datos recopilados permiten seleccionar materiales y dimensionar la estructura del pavimento de manera adecuada. La seguridad vial también es una prioridad, considerando velocidades de diseño, visibilidad y señalización.

Además de garantizar la durabilidad y seguridad, estos análisis también abordan aspectos ambientales, evaluando el impacto del tráfico en emisiones y consumo de combustible. En resumen, la información derivada de los estudios de tránsito es esencial para un diseño integral y sostenible de las estructuras viales, asegurando su eficacia tanto en el presente como en el futuro.

1.13.2. Metodología

Para llevar a cabo este estudio, se adoptó la metodología recomendada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la cual se detalla de la siguiente manera:

- ✚ En primer lugar, se procedió a seleccionar un punto de aforo en el tramo bajo análisis, con el objetivo de registrar la cantidad de vehículos circulantes a lo largo de tres días consecutivos, abarcando desde el día martes hasta el día jueves, durante un periodo de doce horas diarias de conteo.
- ✚ Posteriormente, se llevó a cabo el procesamiento de los datos recopilados en Microsoft Excel para determinar el Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS).

- ✚ Además, se realizó la elección de la estación más cercana geográficamente al tramo en estudio, considerando similitudes en los porcentajes de composición vehicular. Esta selección se basó en vectores de correspondencia presentes en el Anuario de Tráfico del MTI 2020.
- ✚ La identificación de la estación con la mayor cobertura y su respectivo cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), utilizando factores de expansión, fueron pasos subsiguientes. Se compararon estos datos con los obtenidos de la estación inicialmente seleccionada.
- ✚ Para determinar la tasa de crecimiento aplicada en el diseño de la estructura de pavimento articulado, se consideraron los históricos del TPDA de la estación seleccionada, así como datos históricos del Producto Interno Bruto (PIB) y población (POB).
- ✚ Finalmente, se procedió al cálculo del Equivalent Single Axle Load (ESAL) de diseño para la estructura del pavimento, teniendo en cuenta los pesos por ejes de carga. Este enfoque metodológico garantiza una evaluación integral y precisa del tránsito para informar el diseño de la infraestructura vial.

1.13.3. Aforo vehicular

Con el propósito de evaluar la cantidad de vehículos y la composición del tránsito actual en el tramo en estudio, se llevó a cabo un minucioso conteo durante 12 horas en los días martes 10, miércoles 11 y jueves 12 de octubre del año 2023, específicamente en la estación 0+000 (PI). Este procedimiento se llevó a cabo siguiendo el formato de conteo vehicular proporcionado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en su edición del año 2020.

Los datos consolidados del aforo realizado en el tramo, están en las tablas 43 y 44, en la pág. 72.

Tabla 43:

Resultados de los tres días de aforo vehicular del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 1)

UBICACIÓN:	CARRETERA ACCESO A LA PLANTA CARLOS FONSECA AMADOR (ENEL)
ESTACIÓN:	1+500

FECHA	DÍAS	VEHÍCULOS LIVIANOS				PESADOS DE PASAJEROS		
		MOTO	AUTO	CAM	JEEP	Mbus<15 psj	Mbus 15-30	Bus
10/10/2023	Martes	169	9	66	11	0	0	4
11/10/2023	Miércoles	175	13	52	5	1	0	4
12/10/2023	Jueves	214	17	60	13	0	2	7
TOTAL/VEHÍCULOS 12 HR		558	39	178	29	1	2	15
VEHÍCULOS 12 HR %		62.56%	4.37%	19.96%	3.25%	0.11%	0.22%	1.68%
		804				18		
		VEH LIV		90.13%		VEH PSJ		2.02%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44:

Resultados de los tres días de aforo vehicular del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 2)

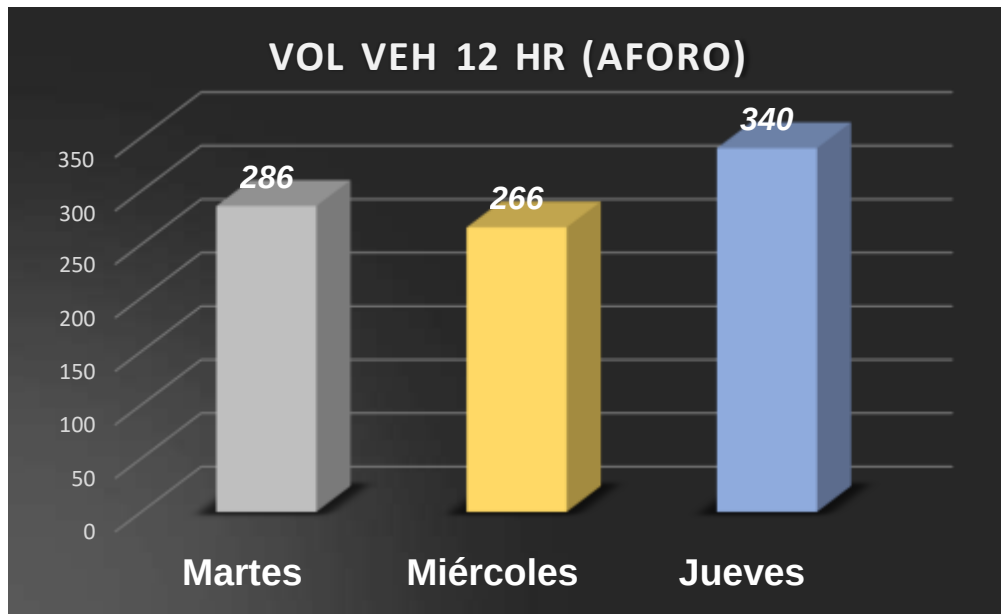
EMC:	1802 - San Marcos-Masatepe
ECS:	4801 - La Unión(INTER NIC-26)-Planta Eléctrica-Santa Bárbara

FECHA	DÍAS	PESADOS DE CARGA					TOTAL/12 HORAS
		C2 Liv 2-5 ton	C2>5 ton	C3	Tx-Sx <=4e	Tx-Sx >=5e	
10/10/2023	Martes	13	12	2	0	0	286
11/10/2023	Miércoles	10	4	2	0	0	266
12/10/2023	Jueves	13	4	7	2	1	340
TOTAL/VEHÍCULOS 12 HR		36	20	11	2	1	892
VEHÍCULOS 12 HR %		4.04%	2.24%	1.23%	0.22%	0.11%	100.00%
		70					892
		VEH PESADO			7.85%		100.00%

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se ofrece un análisis detallado del comportamiento vehicular, basado en un estudio exhaustivo llevado a cabo a lo largo de tres días, abarcando un periodo de 12 horas diarias. La figura 29 pág. 73 ilustra claramente que los jueves destacan por su elevado volumen de tráfico, mientras que los miércoles se caracterizan por una notable disminución en la cantidad de vehículos en circulación.

Figura 29: Comportamiento vehicular del tramo acceso a la planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital.



Fuente: Elaboración propia.

1.13.4. Tránsito promedio diario (TPD)

Es el recuento global de vehículos que transitan a lo largo de los días de muestreo, seguido por la obtención de promedios que conducen a un valor preciso según la categorización del vehículo en cuestión. La tabla 45 y 46 de la pág. 74 exhibe el cálculo del Tránsito Promedio Diario (TPD). A modo de ilustración, se presenta el proceso de cálculo del TPD específicamente para las motocicletas, durante los tres días de aforo, con un resultado de 186 motos/día durante las 12 horas de conteo.

$$TPD = \frac{169 + 175 + 214}{3} = 186 \text{ veh/día}$$

Tabla 45:

Tránsito promedio diario semanal (TPD). (Parte 1)

	VEHÍCULOS LIVIANOS				PESADO DE PSJ	
	MOTO	AUTO	CAM	JEEP	Mbus 15-30	Bus
TPD	186	13	59	10	1	5
TOTAL	268				6	
%	62.42%	4.36%	19.80%	3.36%	0.34%	1.68%
	VEH LIV		89.93%		VEH PSJ	2.01%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46:

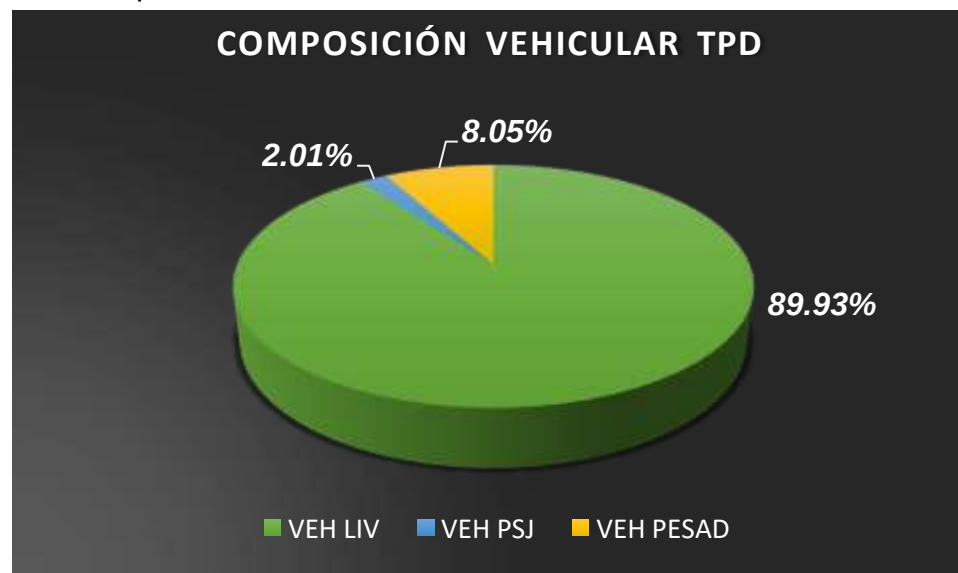
Tránsito promedio diario semanal (TPD). (Parte 2)

	PESADOS DE CARGA				TOTAL
	C2 Liv 2-5 ton	C2>5 ton	C3	Tx-Sx <=4e	
TPD	12	7	4	1	298
TOTAL	24				298
%	4.03%	2.35%	1.34%	0.34%	100.00%
	VEH PESADO		8.05%		100.00%

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 30, se detalla gráficamente el comportamiento del tránsito promedio diario (TPD) desglosado por la clasificación vehicular, proporcionando una visión clara y segmentada de la dinámica de tráfico a lo largo de la semana.

Figura 30: Composición vehicular TPD.



Fuente: Elaboración propia.

1.13.5. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

La metodología propuesta por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) para calcular el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) es precisa. En este enfoque, se inicia con la identificación meticulosa de los vectores de correspondencia, donde se analiza la clasificación y la dependencia de estaciones en función de las diversas categorías de vectores. Además, se destaca la importancia de determinar los factores de ajuste, elementos clave que permiten reflejar de manera más exacta y contextualizada la realidad del tráfico vehicular a lo largo del año.

Este proceso metodológico, rigurosamente diseñado por el MTI, establece las bases para obtener un TPDA confiable y representativo. Al desentrañar los vectores de correspondencia, se logra una comprensión más profunda de cómo las distintas categorías de vehículos interactúan con las estaciones a lo largo del tiempo. La identificación de factores de ajuste, por su parte, añade una capa de precisión al considerar variables que podrían influir en las fluctuaciones del tráfico.

1.13.5.1. Identificación de vectores de correspondencia

En el análisis de todas las estaciones, se procede a la identificación de vectores con incidencia, abarcando diversos rangos de variación en las características del tráfico. Entre estos, se destaca el Vector Geográfico (R) y el Volumen Total del Tráfico (V) como elementos fundamentales.

En la tabla 47, pág. 76, se detalla la clasificación específica del vector geográfico para el tramo que comprende el acceso a la Planta Carlos Fonseca y las comunidades de Las Pozas y El Nancital. Este tramo específico se designa como un vector R3, indicando su ubicación en la región central norte debido a su pertenencia al departamento de Matagalpa, en el municipio de Ciudad Darío.

La identificación precisa de estos vectores nos permite no solo comprender la distribución y el flujo del tráfico, sino también diseñar estrategias de planificación urbana y desarrollo de infraestructura que respondan eficazmente a las necesidades de movilidad de la comunidad.

Tabla 47:

Vectores geográficos.

Nº	Vector	Código	Nombre de Región	Departamentos
1	R1	PS	Pacífico Sur	Masaya, Granada, Rivas
2	R2	PN	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
3	R3	CN	Central Norte	<i>Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales</i>
4	R4	AS	Caribe Sur	Región Autónoma de la costa Caribe Sur (RACCS), Río San Juan
5	R5	AN	Caribe Norte	Región Autónoma de la costa Caribe Norte (RACCN)

Fuente:(MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 7).

Este enfoque de clasificación proporciona una valiosa comprensión de la distribución geográfica de las estaciones, permitiendo una identificación rápida y precisa de su ubicación dentro de la región. Además, facilita la vinculación de características específicas del tráfico, como el volumen total, con su posición geográfica, enriqueciendo así el análisis del comportamiento vehicular en la zona.

De acuerdo con las pautas establecidas en el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2020), el vector volumen se clasifica de manera específica en función de su magnitud diaria. Cuando dicho vector se sitúa en el rango superior a 5,000 vehículos por día, recibe la designación de V1; en el intervalo comprendido entre 300 y 5,000 vehículos diarios, se cataloga como V2; y, por último, si la cifra es inferior a 300 vehículos diarios, se etiqueta como V3.

En el contexto del tramo bajo estudio, el vector volumen se identifica como V3. Este hallazgo se fundamenta en los resultados del recuento vehicular, que exhiben una cantidad de vehículos menores a 300 por día (ver detalles en la Tabla

48, página 77). Este análisis categoriza de manera precisa el volumen de tráfico, proporcionando información valiosa para la comprensión y evaluación del flujo vehicular en el área de estudio.

Tabla 48:

Vectores de volumen.

Vector volumen	
Vehículos por día	Vector
Mayor a 5000	V1
300 - 5000	V2
Menor a 300	V3

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico del MTI.

1.13.5.2. Estaciones de conteo

Para la elección de la estación clave en la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), se ha seleccionado la estación 4801 La Unión (Inter NIC-26) - Planta Eléctrica - Santa Bárbara, considerando su proximidad geográfica al tramo bajo estudio. A pesar de que los porcentajes de composición vehicular en esta estación no coinciden a exactitud con los obtenidos en el aforo representado en la figura 30, pág. 74, es crucial destacar que esta estación se atribuye en su totalidad a dicho tramo.

La singularidad de esta estación de conteo, radica en su función exclusiva de conexión con la planta hidroeléctrica, la carretera carece de intersecciones o empalmes relevantes y se presenta como una única vía de acceso. Por esta razón, se clasifica como una estación de conteo sumaria, vinculada a la estación de mayor cobertura, la 1802 San Marcos – Masatepe (consulte, tabla 55, pág. 83). Este enfoque de selección asegura una representación precisa del flujo vehicular asociado al tramo en cuestión, a pesar de las discrepancias en la composición vehicular observada en el consolidado del aforo.

Además, esta estación sumaria ofrece una perspectiva detallada de los patrones de tráfico que ingresan y salen de la planta hidroeléctrica, permitiendo una evaluación precisa de la demanda de transporte en este punto crucial. La

integración de datos de conteo con la estación de mayor cobertura garantiza una visión global del flujo vehicular en la región, facilitando así la toma de decisiones informadas en materia de planificación y gestión del tráfico.

Tabla 49:

Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación 4801 La Unión (INTER NIC-26) – Planta Eléctrica Santa Barbara. (Parte 1).

Nº	Código NIC	Est.	Tipo	Tramo	Año	Motos	Autos	Jeep	Cam.
259	NIC-48	4801	ESC	La Unión (INTER NIC-26)- Planta Eléctrica Santa Barbara	2007	28	3	7	29
				EMC: 1802	2003	15	5	8	59
				Tasa crecimiento: 6.74%	1998	4	1	9	35
					2020	65	7	16	68
						Liv: 156 (74%)			

Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 207)

Tabla 50:

Tránsito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación 4801 La Unión (INTER NIC-26) – Planta Eléctrica Santa Barbara. (Parte 2).

Año	Mc bus	Mn bus	Bus	Liv 2-5 t	C2 5+ t	C3	V.A	otros	TPDA
2007	5	3		11	4	1			91
2003			3	8	14	2			114
1998		2	6	4	3		1	4	69
2020	12	7		26	9	2			212
	Psj: 19 (9 %)			Pesado: 37 (18%)					

Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 207)

1.13.5.3. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA)

La determinación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se llevó a cabo mediante la aplicación de la ecuación 5, pág. 14, cuyos parámetros, el factor de expansión y el factor día, están detallados en el anuario de aforos de tráfico del MTI (2020) y pueden consultarse en las páginas 79 y 80.

En la Tabla 51 y 52 que se presenta a continuación, se exhiben los factores específicos empleados para llevar a cabo la expansión desde el Tráfico Promedio Diario (TPD) al TPDA. Es esencial destacar que, dado que el aforo vehicular se ejecutó durante la segunda semana de octubre, los valores correspondientes están asignados al tercer cuatrimestre del año, identificado como "conteo 3". Este enfoque temporal proporciona una contextualización precisa de los datos utilizados en el cálculo, asegurando así la coherencia y relevancia del análisis.

Tabla 51:

Factores de expansión a TPDA tercer cuatrimestre del año septiembre – Diciembre. (Parte 1).

FACTORES	VEHÍCULOS LIVIANOS				PESADOS DE PASAJEROS		
	MOTO	AUTO	CAM	JEEP	Mbus<15 psj	Mbus 15-30	Bus
FACTOR DÍA	1.37	1.34	1.29	1.24	1.38	1.24	1.43
FACTOR SEMANA	0.94	1.03	1.01	1.08	0.95	0.92	0.90
FACTOR FIN DE SEMANA	1.19	0.93	0.97	0.94	1.17	1.27	1.37
FACTOR EXPANSIÓN TPDA	0.87	0.89	0.90	0.83	0.84	0.94	0.87

Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 385)

Tabla 52:

Factores de expansión a TPDA tercer cuatrimestre del año septiembre – Diciembre. (Parte 2).

FACTORES	PESADOS DE CARGA				
	C2 Liv 2-5 ton	C2>5 ton	C3	Tx-Sx <=4e	Tx-Sx >=5e
FACTOR DÍA	1.23	1.31	1.18	1.00	1.26
FACTOR SEMANA	0.90	0.86	0.89	1.00	0.85
FACTOR FIN DE SEMANA	1.36	1.74	1.46	1.00	1.77
FACTOR EXPANSIÓN TPDA	0.91	0.95	0.82	1.00	0.76

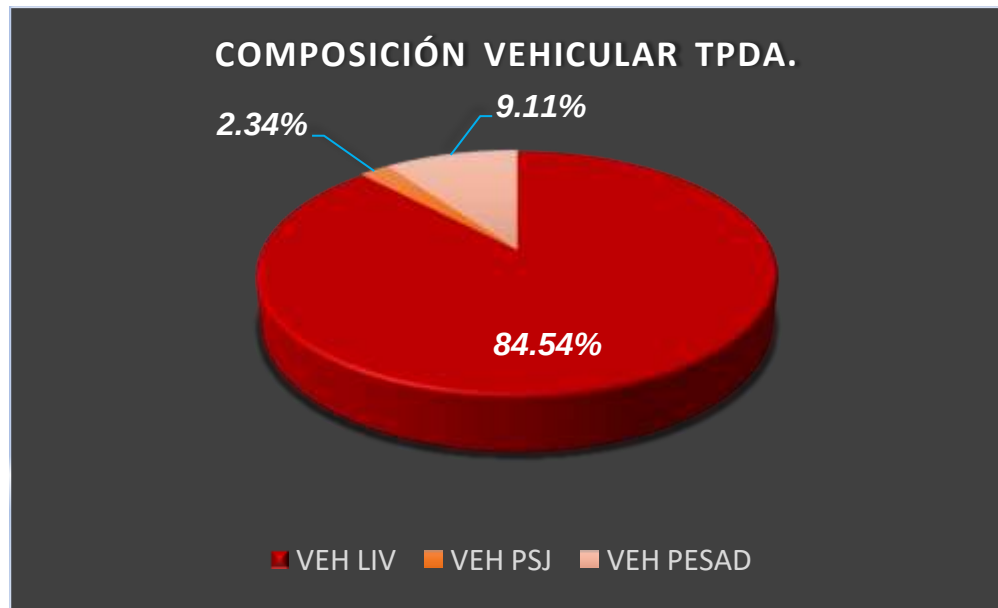
Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 385)

Los resultados derivados de la extensión del Tráfico Promedio Diario (TPD) a Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) para cada categoría de vehículo se presentan detalladamente en la tabla 53 y 54 (consulte la página 84), revelando un valor total de TPDA de 384 vehículos por día (vpd).

Mediante un minucioso análisis porcentual de los datos consignados en la tabla 53 y 54, pág. 81 y 82 se ha delineado con precisión la composición vehicular. Dentro del conjunto de 384 vehículos por día (vpd), se resalta que el 84.54% corresponde a vehículos livianos, que engloban motos, autos, jeeps y camionetas. En contraposición, el 2.34% se asigna a vehículos de pasajeros, incluyendo minibuses con menos de 15 pasajeros, minibuses con 15-30 pasajeros y autobuses. Finalmente, el 9.11% se destina a vehículos livianos de carga, abarcando categorías C2 y C3, así como vehículos de construcción.

Estos resultados se representan visualmente en la Figura 31, proporcionando una herramienta gráfica que facilita la comprensión rápida y clara de la composición vehicular identificada.

Figura 31: Composición vehicular TPDA (%) del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53:

Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 1).

UBICACIÓN	CARRETERA ACCESO A LA PLANTA CARLOS FONSECA (ENEL)					
ESTACIÓN	1+500					
	VEHÍCULOS LIVIANOS				VEH. PES. PSJ.	
	MOTO	AUTO	CAM	JEEP	Mbus 15-30	Bus
TPD	186	13	59	10	1	5
FACTOR DÍA	1.37	1.34	1.29	1.24	1.24	1.43
FACTOR SEMANA	0.94	1.03	1.01	1.08	0.92	0.9
FACTOR FIN DE SEMANA	1.19	0.93	0.97	0.94	1.27	1.37
FACTOR EXPANSIÓN TPDA	0.87	0.89	0.9	0.83	0.94	0.87
TPDA	248	15	67	10	1	8
TOTAL	340				9	
%	64.58%	3.91%	17.45%	2.60%	0.26%	2.08%
	VEH LIV		88.54%		VEH PSJ	2.34%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54:

Tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 2).

EMC	1802
ECS	4801

	PESADOS DE CARGA				TOTAL VEH 12 HR
	C2 Liv 2-5 ton	C2>5 ton	C3	Tx-Sx <=4e	
TPD	12	7	4	1	298
FACTOR DÍA	1.23	1.31	1.18	1	
FACTOR SEMANA	0.9	0.86	0.89	1	
FACTOR FIN DE SEMANA	1.36	1.74	1.46	1	
FACTOR EXPANSIÓN TPDA	0.91	0.95	0.82	1	
TPDA	16	13	5	1	384
TOTAL	35				384
%	4.17%	3.39%	1.30%	0.26%	
	VEH PESADOS			9.11%	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32: Composición vehicular respecto al TPDA del tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 55, página 83 se evidencia una sutil variación en los porcentajes de vehículos livianos y pesados en el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de la estación de mayor cobertura 1802, San Marcos Masatepe. Esta estación exhibe un 91.1% de vehículos livianos y un 8.8% de vehículos pesados. En contraste con el tramo de acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital, mediante el aforo y estudio realizado, se observa que presenta porcentajes levemente diferentes, con un 90.88% para vehículos livianos donde se incluyen desde motos, autos, camionetas, jeep hasta buses y un 9.12% para vehículos pesados, que comprenden desde C2 en todas sus categorías, C3 y Tx-Sx menor a 4 toneladas (consulte la Tabla 53 y 54, página 81 y 82).

Tabla 55:

Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura.

EST	NOMBRE DEL TRAMO	TPDA	Total pesados	Σ Tx-Sx y Cx-Rx	% de Livianos	% de Pesados	% Tx-Sx y Cx-Rx Vehículos de carga
1080	Zona Franca – La Garita	24523	5291	956	78.3%	21.6%	18.1%
1205	Emp. Chichigalpa – Rotonda Chinandega	10585	2614	934	75.0%	24.7%	35.7%
200	Entrada al INCAE – El Crucero	9403	1183	283	87.3%	12.6%	23.9%
401	Masaya – Granada	8882	1074	69	87.8%	12.1%	6.4%
1802	San Marcos – Masatepe	9392	830	69	91.1%	8.8%	8.3%
107	Sébaco – Emp. San Isidro	7877	1797	463	77.0%	22.8%	25.8%
300	Sébaco – Quebrada Onda	6270	1459	200	76.5%	23.3%	13.7%
2404	Chinandega – Corinto	5471	1754	1110	67.7%	32.1%	63.3%
2803	Nagarote – La Paz Centro	6058	2227	1106	62.8%	36.8%	49.7%
2400	Chinandega (Rotonda) - Ranchería	4019	686	166	81.3%	17.1%	24.2%
700	Emp. San Francisco - Tecolostote	2024	638	96	68.3%	31.5%	15.0%

Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 13)

1.13.6. Tasa de crecimiento

La determinación de la tasa de crecimiento vehicular constituye un parámetro complejo que no solo se sustenta en los registros estadísticos provenientes de conteos vehiculares, sino que también se encuentra influido por factores socioeconómicos fundamentales, como el Producto Interno Bruto (PIB) y el crecimiento poblacional en la región.

En la evaluación y proyección del crecimiento del tránsito, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de diversas tasas de crecimiento. Este proceso incluyó la aplicación de la ecuación 13 (consultar la página 85), la cual sirvió como herramienta central en la modelación de las proyecciones. Este enfoque integral garantiza que se hayan considerado y ponderado adecuadamente los diversos elementos que influyen en la tasa de crecimiento vehicular, proporcionando así resultados más precisos y contextualizados para la planificación y gestión del tráfico.

1.13.6.1. Tasa de crecimiento vehicular

Es crucial destacar que la determinación de la tasa de crecimiento se basó en la selección de valores procedentes de registros históricos de conteos vehiculares de la estación que mejor reflejaba similitudes en porcentaje de composición vehicular y características socioeconómicas con el tramo bajo estudio, específicamente el acceso a la Planta Carlos Fonseca – Comunidades Las Pozas y El Nancital. Esta estación, identificada como la Estación de Conteo 4801 La Unión (INTER NIC-26) – Planta Eléctrica Santa Bárbara, tiene su registro histórico detallado en la versión del anuario estadístico del MTI (2020) (consultar Tabla 53 y 54, página 81 y 82).

Para el cálculo de las tasas de crecimientos en periodos discontinuos se utilizará la ecuación 12, este enfoque específico asegura una metodología precisa y representativa al incorporar datos relevantes de la estación más análoga al tramo de interés, sin embargo, en caso de que sean datos consecutivos no se utilizará el menos 1, ni se multiplicará por 100, por tanto, se utilizará la ecuación 13.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100$$

Ecuación 12: Tasa de crecimiento para periodos discontinuos.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right]$$

Ecuación 13: Tasa de crecimiento para periodos consecutivos.

Adicionalmente, tras obtener la serie de tasas de un año con respecto al siguiente, se avanza hacia el cálculo de la tasa de crecimiento definitiva mediante la aplicación de la ecuación 14:

$$Tf = \left[(TC_1 * TC_2 * \dots * TC_n)^{1/n} - 1 \right]$$

Ecuación 14:

Tasa de crecimiento final.

La variabilidad significativa en las tasas de crecimiento, derivada de la dispersión en los valores estadísticos y la ausencia de un análisis constante, ha generado fluctuaciones notables, incluyendo datos negativos y tasas que superan el 10%. En vista de esta situación, la ecuación no brinda una determinación concluyente para la selección definitiva de la tasa. En este contexto, se opta por la elección de la tasa más razonable, la cual se estabiliza en un 6.74%. Los resultados se exponen detalladamente en la Tabla 56, pág. 85.

Tabla 56: *Histórico de TPDA, estación 4801 La Unión (INTER NIC-26) – Planta Eléctrica Santa Barbara*

AÑO	TPDA	TC
1998	69	
2003	115	10.76%
2007	91	-5.68%
2020	212	6.74%
Tasa seleccionada		6.74%

Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 207)

1.13.6.2. Tasa de crecimiento poblacional

El Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) pública anualmente anuarios estadísticos que abarcan información detallada de los principales sectores del país. Para este análisis, se ha seleccionado la serie histórica de datos demográficos que abarca desde el año 2008 hasta el 2023. A continuación, se procede a exponer el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional, haciendo uso de la ecuación 13 (pág. 85):

$$TC = \left[\left(\frac{5,771,000}{5,688,000} \right)^{1/(2009-2008)} \right] = 1.0146$$

Los resultados de este análisis se presentan de manera detallada en la Tabla 57, pág. 86, revelando una tasa final de crecimiento poblacional calculada en un 0.94%.

Tabla 57:

Histórico de población estimada en Nicaragua desde el año 2008 hasta el 2023.

AÑO	POB	TC	AÑO	POB	TC
2008	5.688		2016	6.389	1.0143
2009	5.771	1.0146	2017	6.481	1.0144
2010	5.856	1.0147	2018	6.572	1.0140
2011	5.943	1.0149	2019	6.664	1.0140
2012	6.031	1.0148	2020	6.756	1.0138
2013	6.851	1.1360	2021	6.851	1.0141
2014	6.209	0.9063	2022	6.664	0.9727
2015	6.299	1.0145	2023	7.046	1.0573
Tf			0.94%		

Fuente: Elaboración propia.

1.13.6.3. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB)

El Banco Central de Nicaragua, a través de su anuario de estadísticas macroeconómicas 2023, ofrece una visión integral de los valores históricos del (PIB) con un enfoque especializado en la producción. En el contexto, hemos dirigido nuestra atención hacia la serie temporal de registros del PIB, abarcando un periodo extenso desde el año 2008 hasta el 2023.

Este conjunto de datos históricos del PIB no solo proporciona una panorámica retrospectiva de la actividad económica del país, sino que también se revela como un componente esencial para entender las tendencias y evoluciones económicas a lo largo del tiempo. La selección de este periodo extenso nos permite abordar de manera holística los patrones y cambios en el desarrollo económico a lo largo de más de una década. En este contexto, nuestro siguiente paso implica la aplicación de un análisis detallado mediante la ecuación 13 (pág. 85), permitiéndonos calcular la tasa de crecimiento del PIB.

$$TC = \left[\left(\frac{8,759,000}{8,299,00} \right)^{1/(2010-2009)} \right] = 1.0554$$

Los resultados generados por este análisis se presentan detalladamente en la Tabla 58 de la página 88, brindando una visión exhaustiva de la dinámica del Producto Interno Bruto (PIB) a lo largo del período seleccionado. En este análisis, se ha logrado calcular y obtener una tasa de crecimiento final para el PIB, la cual se estabiliza en un significativo de 2.63%.

Tabla 58:

Histórico de producto interno bruto (PIB).

AÑO	PIB	TC	AÑO	PIB	TC
2008	8.497		2016	13.290	1.0415
2009	8.299	0.9767	2017	13.790	1.0376
2010	8.759	1.0554	2018	13.030	0.9449
2011	9.774	1.1159	2019	12.600	0.9670
2012	10.530	1.0773	2020	12.590	0.9992
2013	10.980	1.0427	2021	14.010	1.1128
2014	11.880	1.0820	2022	14.542	1.0380
2015	12.760	1.0741	2023	15.444	1.0620
Tf			2.63%		

Fuente: Elaboración propia.

1.13.6.4. Selección de la tasa de crecimiento

En la elección de la tasa de crecimiento vehicular, se adoptó una metodología de promedio ponderado considerando las tasas de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) y la población. En este contexto, la tasa del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) no fue considerada directamente, ya que su magnitud es notablemente elevada en comparación con la del PIB, que ejerce una influencia más predominante en las condiciones económicas del país. El proceso de cálculo de esta elección se presenta a continuación.

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

$$TC = \frac{6.74\% + 0.94\% + 2.63\%}{3} = 3.44\%$$

La tasa de crecimiento vehicular definida para el tramo bajo estudio ha sido fijada en un promedio de 3.44%, es aceptable, ya que está bajo la tasa de crecimiento del TPDA presente en el anuario del Ministerio de Transporte e Infraestructura del año 2020.

1.13.7. Proyección del tránsito

1.13.7.1. Periodo de diseño

Basándonos en las características particulares del tramo y el volumen actual de tránsito que transita por él, la carretera bajo estudio se clasifica, según su función vial, como Local Rural. Esta categorización se justifica por su ubicación en la zona rural del municipio de Ciudad Darío, acompañada de un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 384 vehículos por día (vpd) para el año 2023. En consecuencia, se ha seleccionado el valor medio de 15 años como el período de diseño, alineándonos con las directrices propuestas por la (SIECA) en 2011. Para una visión más detallada, se pueden consultar las tablas 60 y 61 en las páginas 89 y 90.

Tabla 59:

Periodos de diseño según el tipo de carretera.

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista Regional	20 – 40 años
Troncales Suburbanas	15 – 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: (SIECA, Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, 2004, págs. 3, Cap 7).

Tabla 60: *TPDA para el año final del periodo de diseño (Parte 1).*

	VEHÍCULOS LIVIANOS				PESADOS DE PASAJEROS	
	MOTO	AUTO	CAM	JEEP	Mbus 15-30	Bus
TPDA AÑO 2038	412	25	111	17	2	13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61:

TPDA para el año final del periodo de diseño (Parte 2).

	PESADOS DE CARGA				TOTAL
	C2 Liv 2-5 ton	C2>5 ton	C3	Tx-Sx <=4e	
TPDA AÑO 2038	27	22	8	2	639

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62:

Clasificación de las carreteras.

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA (1)	NOMENC.	TPDA (2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
Arterial principal	Autopista	AA	>20,000	6-8
	Arterial rural	AR	10,000-20,000	4-6
	Arterial urbana	AU	10,000-20,000	4-6
Arterial menor	Arterial menor rural	AMR	3,000-10,000	2
	Arterial menor urbana	AMU	3,000-10,000	2
Colector mayor	Colector mayor rural	CMR	10,000-20,000	4-6
	Colector mayor urbana	CMU	10,000-20,000	4-6
Colector menor	Colector menor rural	CR	500-3,000	2
	Colector menor urbana	CU	500-3,000	2
Local	Local rural	LR	100-500	2
	Local urbano	LU	100-500	2
	Rural	R	<100	1-2

Fuente: (SIECA, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pág. 33).

1.13.8. Tránsito de diseño

1.13.8.1. Factor de crecimiento.

El factor de crecimiento determinado en función de la tasa de crecimiento vehicular, fue calculado mediante la aplicación de la ecuación 15 (consultar página 91). Los resultados precisos de este cálculo se detallan de manera específica en la tabla 63 con un resultado de 19.20.

$$FC = \frac{(1 + TC)^n - 1}{TC}$$

Ecuación 15: Factor de crecimiento.

Tabla 63:

Factor de crecimiento.

TC	Factor de Crecimiento
3.44%	19.20

Fuente: Elaboración propia.

1.13.8.2. Factor de distribución por dirección.

Para el segmento en análisis, el factor de reparto direccional fue elegido en función de la cantidad de carriles, los cuales ascienden a dos en este escenario particular. La distribución más común implica que el tráfico se divida de manera equitativa, con un 50% en cada dirección, motivo por el cual se ha adoptado el valor de 0.5, tal como se refleja en la tabla 64.

Tabla 64:

Factor de distribución por dirección.

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

Fuente: (AASHTO, 2006, pág. 57).

1.13.8.3. Factor de distribución por carril.

En la tabla 65, se presenta el coeficiente de reparto por carril elegido para el tramo que conecta la planta Carlos Fonseca con las comunidades Las Pozas y El Nancital, en función del número de carriles en una sola dirección, el cual en este caso se registra con un valor de 1.

Tabla 65:

Factor de distribución por carril.

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

Fuente: (AASHTO, 2006, pág. 58).

En las Tablas 66 y 67 de la pág. 92 y 93, se presentan las cifras de tránsito de diseño para cada categoría de vehículo, derivadas del cálculo mediante la ecuación 5 (consultar página 14). Estos cálculos consideran meticulosamente los factores previamente definidos, dando como resultado un total de 1,345,842 vehículos proyectados para el periodo de diseño de 15 años.

$$TD = (TPDA) * (FC) * f_{ds} * f_c * 365$$

Tabla 66:

Tránsito de diseño para el tramo Planta Carlos Fonseca con las Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 1).

	VEHÍCULOS LIVIANOS				PESADOS DE PASAJEROS	
	MOTO	AUTO	CAM	JEEP	Mbus 15-30	Bus
TD	869,190	52,572	234,821	35,048	3,505	28,038

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67:

Tránsito de diseño para el tramo Planta Carlos Fonseca con las Comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 2).

	<i>PESADOS DE CARGA</i>				<i>TOTAL</i>
	<i>C2 Liv 2-5 ton</i>	<i>C2>5 ton</i>	<i>C3</i>	<i>Tx-Sx <=4e</i>	
<i>TD</i>	56,077	45,562	17,524	3,505	1,345,842

Fuente: Elaboración propia.

1.13.9. ESAL de diseño

El Factor de Correspondencia se estableció a través de análisis efectuados en ensayos de la AASHTO, donde se sometieron muestras de pavimentos a distintas configuraciones de ejes y cargas, con el propósito de evaluar el deterioro ocasionado a la estructura.

En tales investigaciones, se presentan los pesos asociados a los ejes, abarcando desde 2 kip hasta 50 kip, definiendo estos valores con números pares dentro del rango mencionado. El Número Estructural (SN) se configura como una medida conceptual destinada a expresar la fortaleza estructural de un pavimento.

En la determinación del Equivalente de Cargas de Eje (ESAL), también identificado como W18, indicando la cantidad prevista de iteraciones de un eje de carga equivalente a 18 Kips, se hace necesario considerar un valor específico del Número Estructural (SN).

Este valor de SN se establece en función de la relevancia de la vía en cuestión, y en este contexto, se ha adoptado un SN de 3 como punto de referencia. Este parámetro SN desempeña un papel esencial al proporcionar una evaluación cuantitativa de la capacidad estructural del pavimento, siendo fundamental en la planificación y diseño de carreteras para garantizar su durabilidad y rendimiento adecuado.

1.13.9.1. Factor de Equivalencia (FESAL)

El Coeficiente de Correspondencia fue establecido mediante investigaciones de ensayos realizadas por la AASHTO, donde sometieron muestras de pavimentos a distintas configuraciones de ejes y cargas, con el propósito de evaluar el deterioro ocasionado a la estructura.

Para determinar el factor a implementar, es necesario considerar el peso de cada tipo de eje vehicular, el cual varía en función del tipo de eje (simple, doble), así como el valor del Número Estructural (SN) que se asume de acuerdo al nivel de importancia de la vía.

En la definición del Factor de Equivalencia para cada peso de los ejes, se llevaron a cabo interpolaciones de valores no definidos en los estudios de la AASHTO, aplicando la Ecuación 16.

$$y = \frac{(x - x_1)y_2 + (x_2 - x)y_1}{(x_2 - x_1)}$$

Ecuación 16: Factor de equivalencia

En la página 95, dentro de la tabla 68, se establecen los factores de equivalencia mediante un proceso de interpolación, especialmente destinado para aquellos ejes cuyos pesos no se hallan en los resultados de las pruebas realizadas por la AASHTO.

A título ilustrativo, se expone el cálculo del Factor de Equivalencia para automóviles que ostentan un peso en cada eje de 2.2 kip, empleando la ecuación 16 (pág. 94). Este procedimiento proporciona una evaluación detallada y precisa de los factores de equivalencia para configuraciones específicas de vehículos, asegurando una interpretación más completa y detallada.

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

$$y = \frac{0.0004 + 0.00036}{2} = \mathbf{0.00038}$$

El Coeficiente ESAL, fijado en 0.00038, corresponde a uno de los dos ejes que conforman la estructura vehicular de un automóvil. Este valor es crucial para cuantificar la carga y la afectación potencial en el pavimento, brindando una medida precisa de la contribución del vehículo al desgaste de la superficie de la carretera.

Tabla 68:

Interpolación Factor ESAL.

Interpolación F ESAL			
Xo	Yo	X (Peso)	Y (F Daño)
2	0.0002	2.2	0.00038
4	0.002		
4	0.002	4.4	0.00380
6	0.011		
6	0.011	6.6	0.01850
8	0.036		
8	0.036	9.9	0.08730
10	0.090		
10	0.090	11	0.13950
12	0.189		
12	0.189	12.1	0.19960
16	0.613		
18	1	19.8	1.50400
20	1.56		
20	1.56	22	2.35000
22	2.35		
22	2.35	35.2	1.43543
36	1.38		
36	1.38	36.3	1.43250
38	1.73		

Fuente: Elaboración propia.

1.13.9.2. ESAL de diseño

Tras la obtención de los coeficientes de equivalencia (F ESAL), procedemos a calcular el ESAL de diseño aplicando la Ecuación 17 de la página 96. Este paso

es crucial para evaluar y anticipar la carga que el pavimento experimentará a lo largo del tiempo, asegurando así un diseño robusto y resistente ante las demandas del tráfico vehicular.

$$ESAL (W18) = TD * F ESAL$$

Ecuación 17: ESAL de diseño

En la Tabla 69, pág. 96 se exhibe el ESAL total de 215,537 psi, calculado para el tramo que conecta la Planta Carlos Fonseca con las Comunidades Las Pozas y El Nancital. Estos valores representan las repeticiones equivalentes a 18 Kips, acumuladas durante un periodo de diseño de 15 años. Es importante destacar que las motocicletas fueron excluidas del cálculo, ya que su contribución al desgaste del pavimento es insignificante.

Tabla 69:

ESAL de diseño.

TIPO	Vehículo	Tránsito de Diseño	Peso por eje (KIP)	Tipo de eje	F ESAL	W18 (ESAL de diseño)	ESAL total por vehículo
VEH LIVIANO	AUTO	52,572	2.2	Simple	0.0004	20	40
			2.2	Simple	0.0004	20	
	CAM	234,821	2.2	Simple	0.0004	89	981
			4.4	Simple	0.0038	892	
	JEEP	35,048	2.2	Simple	0.0004	13	26
			2.2	Simple	0.0004	13	
VEH PSJ	MBUS 15-30	3,505	6.6	Simple	0.0185	65	554
			11	Simple	0.1395	489	
	BUS	28,038	11	Simple	0.1395	3911	46,080
			19.8	Simple	1.504	42169	
VEH PESADOS	C2 LIV 2-5 TON	56,077	9.9	Simple	0.0873	4896	16,089
			12.1	Simple	0.1996	11193	
	C2>5 TON	45,562	11	Simple	0.1395	6356	113,427
			22	Simple	2.35	107071	
	C3	17,524	11	Simple	0.1395	2445	27,548
			36.3	Doble	1.4325	25103	
	Tx-Sx <=4e	3,505	11	Simple	0.1395	489	10,792
			19.8	Simple	1.504	5272	
35.2			Doble	1.4354	5031		
ESAL DE DISEÑO =							215,537

Fuente: Elaboración propia.

1.14. Diseño geométrico

1.14.1. Generalidades

En el ámbito del diseño geométrico de viales, se despliega una amalgama de principios ingenieriles y consideraciones prácticas que conforman la columna vertebral de la infraestructura vial moderna. Este capítulo se sumerge en la travesía conceptual de trazar el curso de carreteras y vías, explorando los fundamentos que dan forma a su geometría. Desde la alineación horizontal y vertical, así mismo, se examinan los elementos cruciales que impactan en la seguridad, eficiencia y comodidad de la experiencia del usuario.

A través de un enfoque meticuloso, se abordan las directrices normativas y las herramientas de diseño que orientan la planificación de vías, subrayando la importancia de una intersección armoniosa entre la ingeniería y la movilidad urbana. Este capítulo pretende arrojar luz sobre los cimientos conceptuales que sostienen el diseño geométrico de viales, constituyendo así un recurso esencial para los profesionales y estudiosos de la ingeniería vial.

1.14.2. Metodología

-  Con base en la información provista por el TPDA y las particularidades del terreno, se analizan las especificaciones de la calzada y el tipo de carretera de acuerdo con las directrices establecidas en las normativas SIECA 2004 y 2011. Estas características se integran y detallan en el software Civil 3D 2023, proporcionando así un marco sólido para la planificación y diseño del proyecto.
-  Luego de importar los datos provenientes del estudio topográfico al software Civil 3D 2023 y aplicarlos a la superficie creada, se procederá a la traza del alineamiento horizontal. Este proceso se llevará a cabo en estricto cumplimiento de los parámetros definidos en las normativas SIECA 2004 y 2011, abordando meticulosamente los elementos cruciales como las curvas horizontales, los sobreanchos y los peraltes.
-  A continuación, en el perfil longitudinal se configurará el alineamiento vertical, asegurando el cumplimiento de los valores de pendiente

establecidos en conformidad con las normativas SIECA 2004 y 2011. Este proceso implica una adaptación precisa a la rasante más eficiente y a las condiciones más propicias del terreno, para garantizar una planificación óptima y sostenible del proyecto.

- Los planos se confeccionarán mediante la utilización del software Civil 3D 2023, presentando de manera detallada los diseños de planta-perfil y secciones transversales. Estos documentos incluirán la información esencial necesaria para facilitar la ejecución del proyecto de manera eficiente y comprensible.

1.14.3. Tipo de terreno

La topografía del terreno que cruza ejerce una notable influencia en el alineamiento de las calles y carreteras. Con el objetivo de caracterizar sus variaciones, comúnmente se clasifican en tres tipos, considerando la pendiente del terreno (SIECA, 2011, pág. 116). Según las pendientes calculadas en la sección de estudio topográfico en la pág. 31, se evidencia que estas se mantienen dentro de un rango del 2.5% al 5%, indicando así un terreno plano o llano.

1.14.4. Clasificación de la carretera

En el análisis de tránsito realizado en el tramo, se ha obtenido un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) para el periodo de diseño de 639 vehículos por día. Con este dato, se determina que la carretera se clasifica como un colector menor rural, según las pautas establecidas en la normativa especificada en la tabla 62 de la página 90.

1.14.5. Vehículo de diseño

Los automóviles configurados con diseño específico constituyen la corriente predominante de vehículos en circulación por las carreteras regionales. Dada su preeminencia y las demandas considerables que imponen al tráfico, resulta esencial clasificar detalladamente las dimensiones, los pesos y las peculiaridades operativas asociadas a cada uno de estos automóviles. Este proceso de clasificación proporciona al diseñador una serie de parámetros y directrices, sirviendo como referentes que deben ser rigurosamente seguidos al elaborar

Para el tramo de carretera acceso a la planta Carlos Fonseca, así como las comunidades Las Pozas y El Nancital, se ha designado un vehículo WB-15 como el modelo de referencia (consultar figura 33 en la página 99), ya que un vehículo de estas características fue registrado en el aforo vehicular. Este vehículo, a su vez, presenta sus dimensiones detalladas en la Tabla 70, página 100. Asimismo, esta decisión se tomó conforme a la normativa de carreteras de SIECA. Según la tabla 71 de esta normativa, se debe seleccionar el vehículo de diseño adecuado en función del tipo de carretera. Esta elección es crucial para asegurar que el diseño de la vía cumpla con los estándares requeridos, garantizando su seguridad y eficiencia.

Figura 33: Vehículo de diseño (WB - 15)

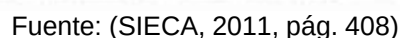


Tabla 70:

Dimensiones vehículo de diseño (m).

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

Fuente: (SIECA, Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, 2004, pág. 51)

1.14.6. Velocidad de diseño

Conforme a las características inherentes al tramo en cuestión, se clasifica como una colectora rural con un relieve plano, caracterizado por pendientes que fluctúan entre el 2.5% y el 5%, y un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 384 vehículos. Estos datos proporcionan la base para la determinación de la velocidad de diseño, la cual, en este escenario, se sugiere en un rango de 50 a 70 km/h, según la tabla 71, pág. 102. No obstante, se decide adoptar una velocidad de 50 km/h, estratégicamente seleccionada para alinearse de manera óptima con las condiciones específicas del entorno vial en cuestión.

En la tabla 71 se presentan de manera sistemática las velocidades de diseño correspondientes a diferentes niveles de volumen de tránsito diario, teniendo en cuenta la variedad de terrenos. Esta tabla, acompañada de una representación gráfica clara, proporciona una guía esencial no solo para la selección adecuada de la velocidad de diseño, sino también para la determinación de otros criterios relevantes. Entre estos criterios se incluyen el número de carriles, el ancho de los carriles, el ancho de los hombros y otros parámetros cruciales para la geometría de la vía.

La información contenida en esta tabla es fundamental para los ingenieros de tránsito y diseño vial, ya que les permite tomar decisiones informadas que aseguran la seguridad, eficiencia y comodidad de las vías, adaptándose a las condiciones específicas de cada entorno. Además, la consideración de estos factores contribuye a la optimización de recursos y a la sostenibilidad de los proyectos viales.

Cabe destacar que esta tabla no existe como tal en el manual de SIECA 2004, sino que se logró representar gracias a la recopilación y organización de datos de los distintos apartados mencionados en el documento. El objetivo de esta síntesis fue presentar la información de manera más práctica y accesible, evitando la necesidad de consultar múltiples páginas del manual. Al consolidar los datos en una sola tabla, se facilita la referencia y se mejora la eficiencia en el uso de la información, permitiendo una comprensión más rápida y clara de los aspectos esenciales sin perder tiempo navegando por diferentes secciones del documento.

Tabla 71:

Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales.

No	Descripción	Autopistas regionales	Troncales		Colectoras	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
1	TPDA	>20000	20000-10000	10000-3000	3000-500	3000-500
2	VHD	>2000	2000-1000	1500-450	300-50	450-75
3	FPH	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20	WB-15	WB-15
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M
6	Velocidad de Diseño (kph)	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
7	No de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2
8	Ancho de Carril	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 0.5-1.5 Ext. 1.2-1.8	Ext. 1.2-1.5	Ext. 1.2-1.5
10	Tipo de superficie de rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav - Grava
11	Dist. De Visibilidad de parada (m)	110 - 245	110 - 170	85 - 140	65 - 110	65 - 110
12	Dist. De Visibilidad adelantamiento (m)	480 - 670	480 - 600	410 - 540	350 - 480	350 - 480
13	Radio mín. curva, peralte 6% (m)	195 - 560	195 - 335	135 - 250	90 - 195	90 - 195
14	Máximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5 - 3	1.5 - 3	1.5 - 3	1.5 - 3
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2.0 - 5	2.0 - 5	2.0 - 5	2.0 - 5	2.0 - 5
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS 20-44+25%	HS 20-44+25%	HS20-44	HS20-44
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80 - 90	40 - 50	40 - 50	20 - 30	20 - 30
22	Ancho de Mediana, metros	4.0 - 12	4.0 - 10	2.0 - 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: (SIECA, 2004)

1.14.7. Alineamiento horizontal

La planificación de carreteras se dirige hacia la formulación de diseños que sean tanto seguros como coste-eficientes. Uno de los aspectos cruciales para alcanzar este objetivo consiste en adaptar curvas de amplitud considerable que se ajusten de manera armoniosa a las características topográficas del terreno. En este enfoque, se minimiza la utilización de tramos rectos, no solo con miras a fortalecer la seguridad vial, sino también como una estrategia económica que conlleva a la reducción de gastos asociados a la adecuación del relieve.

Este planteamiento no solo garantiza una conducción más segura, sino que también se traduce en ahorros significativos en términos de inversión y mantenimiento de la infraestructura vial.

1.14.8. Longitudes en rectas

Considerando el criterio delineado por (SIECA, 2011), el cual se expone en la Ecuación 17:

$$LL = 20 * V$$

Ecuación 18: Longitud de recta

Donde

L= Longitud de la recta, m

V= Velocidad de diseño, Km/h

En el caso del tramo en estudio, la longitud máxima en recta, se calcula implementando la Ecuación 17:

$$LL = 20 V$$

$$LL = 20 * 50 \text{ km/h}$$

$$LL = 1000m$$

1.14.9. Peralte

El peralte seleccionado para el tramo de carretera es del 8%, una decisión fundamentada en las características topográficas de la zona, que se encuentra en

una comunidad rural donde prevalece la planicie. Este porcentaje de peralte se ha elegido para optimizar la seguridad y el confort de los conductores, adaptándose a las particularidades del entorno rural plano.

Aunque el terreno es predominantemente llano, la implementación de un peralte del 8% es crucial para mejorar la estabilidad de los vehículos al tomar curvas. Este grado de inclinación transversal de la calzada ayuda a contrarrestar las fuerzas laterales que actúan sobre los vehículos, proporcionando una mayor adherencia de los neumáticos al pavimento y minimizando el riesgo de deslizamientos o accidentes, incluso en curvas suaves que pueden presentarse en áreas planas

Tabla 72:

Tasa de peralte (e)

Tasa de sobreelevación	Tipo de área
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: (SIECA, 2004, pág. 36 cap 4)

1.14.10. Radio mínimo

El radio mínimo para las curvas es uno de los parámetros más relevantes a considerar en el diseño geométrico de un proyecto de carretera, ya que influye directamente en la ergonomía y confiabilidad de la vía. Este parámetro, esencial en la planificación y ejecución de carreteras, asegura que la infraestructura sea segura, cómoda y eficiente para todos los usuarios, integrando estos valores en la propia estructura de la carretera.

$$R_{\text{mín}} = \frac{V^2}{127 (e_{\text{máx}} + f_{\text{máx}})}$$

Ecuación 19: Radio mínimo

R mín = Radio mínimo de la curva, m

$e_{\text{máx}}$ = Tasa de sobreelevación en fracción decimal

V = Velocidad de diseño, KPH

$f_{\text{máx}}$ = Factor de fricción lateral

En los anexos, específicamente en la tabla 121, página XXXII se presenta el radio de curvatura recomendado en función de la velocidad de diseño y el peralte seleccionado, resultando en un valor de 73 metros. Este cálculo se ilustra de manera ejemplar en el siguiente caso práctico.

$$R_{\text{min}} = \frac{50^2}{127(0.08 + 0.19)} = 73 \text{ m}$$

1.14.11. Grado de curvatura

El grado de curvatura de la carretera, es un aspecto crucial en el diseño geométrico vial. El grado de curvatura se determina en función del radio mínimo de curvatura, previamente seleccionado con un valor de 73 m. Este parámetro influye directamente en la seguridad y comodidad de los usuarios, así como en la eficiencia operativa de la vía como lo muestra la ecuación 20.

$$D20 = \frac{1145.9156}{R}$$

Ecuación 20: Grado de curvatura

$D20$: ángulo en el centro de la curvatura, para un arco de 20 m

R : radio de curvatura, m

El grado de curvatura del tramo se calcula de la siguiente manera:

$$D20 = \frac{1145.9156}{73}$$

$$D20 = 15^{\circ}41'50.91''$$

1.14.12. Bombeo normal

Los pavimentos de clasificación alta son aquellos que mantienen una superficie lisa y propiedades antideslizantes en diversas condiciones climáticas. Además,

estos pavimentos, sometidos a cargas significativas de tráfico pesado, demandan un mantenimiento mínimo. En contraste, los pavimentos de clasificación baja consisten en superficies de terracería, ya sea sin tratar o tratadas mediante la inclusión de agregados pétreos.

En la tabla 73, pág. 106 se presentan los rangos recomendados de acuerdo al tipo de rodadura. En este contexto, se selecciona el valor 2, dado que la superficie se clasifica como de tipo alto. Este enfoque asegura la elección adecuada considerando las características de resistencia y durabilidad requeridas para enfrentar condiciones de tráfico intenso.

Así mismo según (SIECA, 2011, pág. 139) se selecciona una superficie de valor alto dado que mantienen superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima, y que, sometidos a cargas de altos volúmenes de tráfico pesado, requieren poco mantenimiento.

Tabla 73:

Valores de bombeo normal

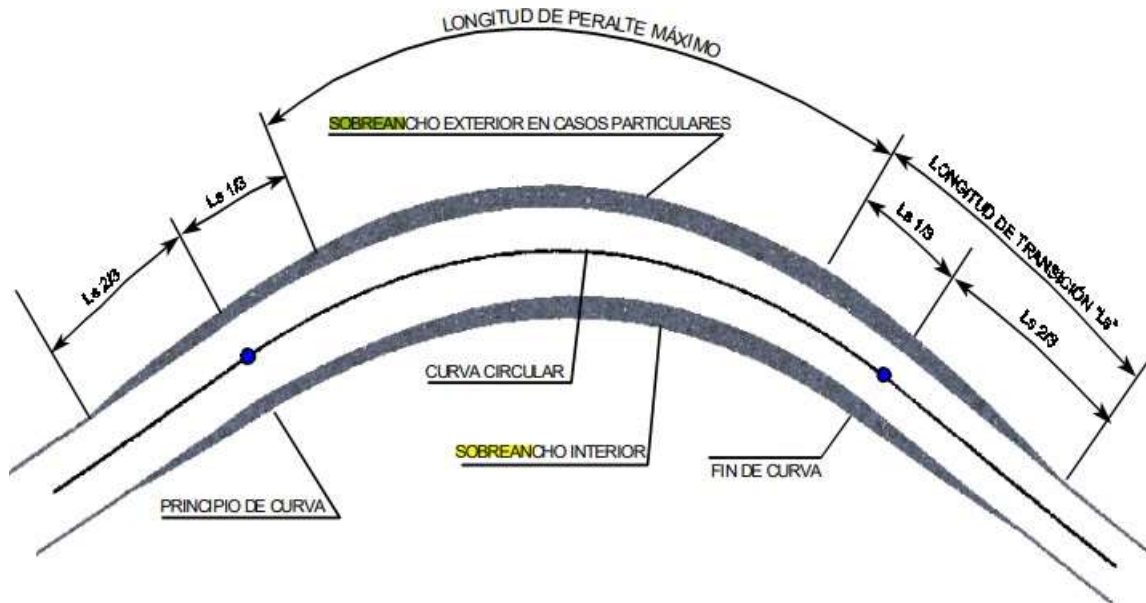
Tipo de superficie	Rango de Pendiente Transversal
Alto	1.5 - 2.0
Bajo	2.0 - 6.0

Fuente: (SIECA, 2011, pág. 139)

1.14.13. Sobreancho

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. En carreteras con carriles de 3.3 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía. (Ver Figura 34 de la página 107)

Figura 34: Sobreancho de curvas



Fuente: (SIECA, 2004, pág. 53 cap 4)

En las Tablas 74, pág. 107 se exhiben los sobreanchos del tramo analizado, tanto en la banda izquierda como en la banda derecha, mediante el empleo del software Civil 3D.

Tabla 74:

Sobreanchos, banda derecha del Tramo la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital. (Parte 1)

Nº de curva	Estación	Valor Sobreancho (m)
1	0+049.99	1.60
2	0+368.16	0.70
3	0+907.67	1.10
4	1+632.05	0.80
5	1+954.83	0.60

Fuente: Elaboración propia.

1.14.14.1. Tangente

Ecuación 21: Tangente

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

Ecuación 20 Tomada de (Grisales, 2013)

$$T = 250 * \tan \frac{4^{\circ}47'51''}{2}$$

$$T = 10.47 \text{ m}$$

1.14.14.2. Cuerda larga

Ecuación 22: Cuerda larga

$$CL = 2R * \sin \frac{\Delta}{2}$$

Ecuación 21 Tomada de (Grisales, 2013)

$$CL = 2(250) * \sin \frac{4^{\circ}47'51''}{2}$$

$$CL = 20.93 \text{ m}$$

1.14.14.3. Cuerda externa

Ecuación 23: Cuerda externa

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

Ecuación 22 Tomada de (Grisales, 2013)

$$E = 250 * \left(\frac{1}{\cos \frac{4^{\circ}47'51''}{2}} - 1 \right)$$

$$E = 0.22$$

1.14.14.4. Ordenada media

Ecuación 24: Ordenada media

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

Ecuación 23, Tomada de (Grisales, 2013)

$$M = 250 \left(1 - \cos \frac{4^{\circ}47'51''}{2}\right)$$

$$M = 0.22$$

1.14.14.5. Grado de curvatura

Ecuación 25: Grado de curvatura

$$G^{\circ}c = 2 * \text{Sen}^{-1} * \frac{C}{2R}$$

Ecuación 24, Tomada de (Grisales, 2013)

$$C = 5m, 10m, 20m$$

Tabla 75:

Valores de cuerda según el radio de la curva.

RADIO (m)	CUERDA (m)
32-67	5.00
67-143	10.00
>143	20.00

De acuerdo a (Ospina, 2002, pág. 146)

$$G^{\circ}c = 2 * \text{Sen}^{-1} * \frac{C}{2R}$$

$$G^{\circ}c = 2 * \text{Sen}^{-1} \frac{20}{2 * 250} = 4^{\circ}35'5.59''$$

1.14.14.6. Longitud de curva

Ecuación 26: Longitud de curva

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

Ecuación 25 Tomada de (Grisales, 2013)

$$Lc = \frac{\pi * 250 * 4^{\circ}47'51''}{180}$$

$$Lc = 20.93$$

1.14.14.7. Estación PT

Ecuación 27: Estación PT

$$PT = PC + LC$$

Ecuación * Tomada de (Grisales, 2013)

$$PT = (1 + 944.36) + 20.93$$

$$PT = 1 + 965.29$$

1.14.14.8. Estación PI

Ecuación 28: Estación PI

$$PI = PC + T$$

Ecuación 27, Tomada de (Grisales, 2013)

$$PI = (1 + 944.36) + 10.47$$

$$PI = 1 + 954.83$$

1.14.14.9. Deflexión por metro

Ecuación 29: Deflexión por metro

$$\sigma = \frac{G^{\circ}c}{2 * c}$$

Ecuación 28 Tomada de (Grisales, 2013)

$$\sigma = \frac{4^{\circ}35'5.59''}{2 * 20}$$

$$\sigma = 0^{\circ}6'52.64''$$

1.14.14.10. Deflexión por cuerda

Ecuación 30: Deflexión por cuerda

$$\sigma = \frac{G^{\circ}c}{2}$$

Ecuación 29, Tomada de (Grisales, 2013)

$$\sigma = \frac{(4^{\circ}35'5.59'')}{2}$$

$$\sigma = 2^{\circ}17'32.80''$$

A continuación, en la tabla 76 se presentan los elementos geométricos de las curvas horizontales del proyecto de carretera .

Tabla 76:

Curvas horizontales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca.

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL													
NÚM PI	DIRECCIÓN	DEFLX (Δ)	RADIO (m)	T (m)	L (m)	LC (m)	E (m)	M (m)	PC	PI	PT	PI NORTE	PI ESTE
C: 1	S27° 02' 11"E	14°56'43"	100	13.12	26.08	26.01	0.86	0.85	0+036.88	0+049.99	0+062.96	1409754.84	582426.52
C: 2	S18° 31' 45"E	31°57'35"	225	64.43	125.51	123.88	9.04	8.69	0+303.73	0+368.16	0+429.23	1409494.54	582606.85
C: 3	S25° 31' 01"W	56°07'56"	190	101.31	186.14	178.79	25.32	22.34	0+806.36	0+907.67	0+992.50	1408950.21	582631.00
C: 4	S25° 15' 48"W	56°38'22"	200	107.78	197.71	189.76	27.19	23.94	1+524.28	1+632.05	1+721.99	1408510.40	582034.82
C: 5	S5° 27' 19"E	4°47'51"	250	10.47	20.93	20.93	0.22	0.22	1+944.36	1+954.83	1+965.29	1408170.26	582052.98

Fuente: Elaboración propia

1.14.15. Alineamiento vertical

El alineamiento vertical de una carretera se refiere a la disposición de la vía en el plano vertical, es decir, su perfil longitudinal que incluye las pendientes y las curvas verticales (crestas y columpio). Este componente es fundamental en el diseño geométrico de carreteras, ya que afecta directamente la seguridad, la comodidad de los usuarios y la eficiencia operativa de la vía.

1.14.16. Pendientes de control para el diseño

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

El terreno del tramo analizado presenta planicies en la mayoría del trayecto, y según la tabla 77 del manual SIECA (pág. 115), se establece que la pendiente máxima permitida para una carretera colectora rural con una velocidad de diseño de 50 km/h es del 7%.

Tabla 77:

Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales.

Tipo de terreno	Máxima pendiente (%) Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	7	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	10	10	9	8	8	7	7	6
Montañoso	12	11	10	10	10	9	9	8

Fuente: (SIECA, 2011, pág. 119)

1.14.17. Curvas verticales

Las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su tránsito y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. Para ello, las curvas verticales se clasifican en (SIECA, 2004):

- **Curvas verticales en cresta:** Estas curvas se diseñan en consideración a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño.
- **Curvas verticales en columpio:** Dichas curvas se diseñan en relación a la distancia que alcanza a iluminar los faros del vehículo de diseño (pag.156).

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

- **Est PIV:** 0+069.65
- **Cota PIV:** 455.132m
- **Pendiente de entrada:** -0.75%
- **Pendiente de salida:** 1.70%

1.14.17.1. Comprobación de LCV

- **Longitud de curva vertical:** 48.920m
- **Cálculo de estación PCV**

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

$$Est.PCV = (0 + 069.65) - \frac{48.920}{2}$$

$$Est.PCV = 0 + 045.19$$

- **Cálculo de estación PTV**

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

$$Est.PTV = (0 + 069.65) + \frac{48.920}{2}$$

$$Est.PTV = 0 + 094.11$$

- **Determinación de la cota PCV**

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

$$Cota\ PCV = 455.132m - (-0.0075) * \frac{48.920}{2}$$

$$Cota\ PCV = 455.314m$$

- **Determinación de la cota PTV**

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

$$Cota\ PTV = 455.132m - (-0.0170) * \frac{48.920}{2}$$

$$Cota\ PTV = 455.548m$$

1.14.17.2. Factor de seguridad

- **Cálculo de A**

$$A = P_2 - P_1$$

$$A = 1.70 - (-0.75) = 2.45\% > 0.5\%$$

A(+)Curva vertical en columpio

- **Cálculo de la longitud de la curva (L)**

Figura 36: Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63

K = Longitud (m) por porcentaje de A

Fuente: (SIECA, 2011, pág. 127)

$$L_{\min} = \frac{ADp^2}{120 + 3.5Dp} = \frac{(2.45)(65)^2}{120 + 3.5(65)} = 29.79m$$

$$L_{\min} = K * A = 13 * 2.45 = 31.85m$$

- **Criterio de drenaje**

$$L \leq 45 * A$$

$$L \leq 45 * 2.45$$

$$48.920 \leq 110.25m \text{ OK}$$

- **Criterio de Comodidad**

$$L \geq \frac{V^2 A}{395}$$

$$L \geq \frac{(50)^2 * (2.45)}{395}$$

$$48.920 \geq 15.51 \text{ Ok}$$

- **Tabla de replanteo**

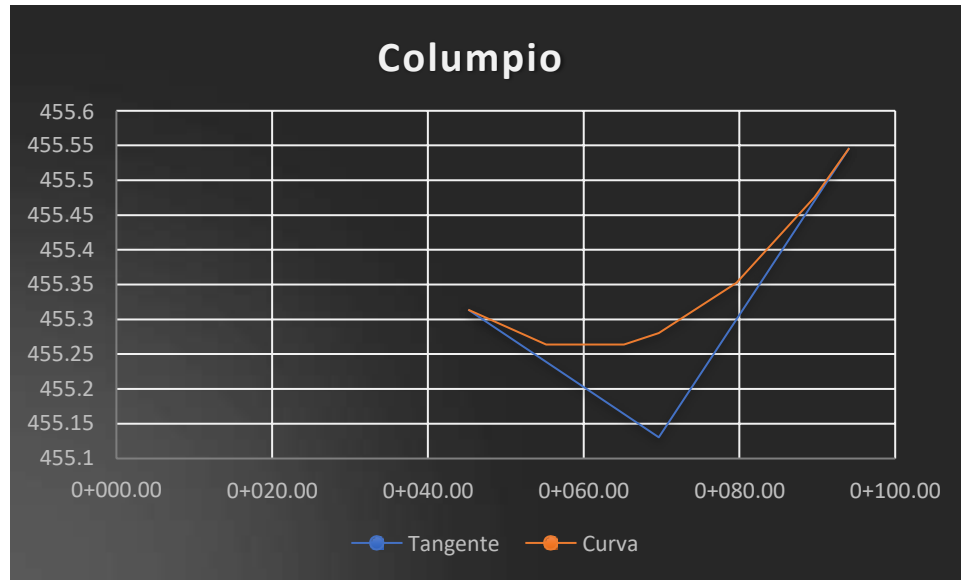
Tabla 78:

Tabla de replanteo.

PTO.	EST.	X(m)	ELEV s/t (m)	Y (m)	ELEV s/c (m)
PCV	0+045.19	0	455.314	0	455.314
	0+055.19	10.00	455.239	0.025	455.264
	0+065.19	20.00	455.164	0.100	455.264
PIV	0+069.65	24.46	455.13055	0.150	455.280
	0+079.65	34.46	455.30055	0.052	455.353
	0+089.65	44.46	455.47055	0.005	455.476
PTV	0+094.11	48.92	455.54637	0.000	455.546

Fuente: Elaboración propia

Figura 37: Curva vertical



Fuente: Elaboración propia

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

$$X_m = \left| \frac{P_2 L}{P_1 - P_2} \right|$$

$$X_m = \left| \frac{0.0170 * 48.92}{-0.0075 - 0.0170} \right| = 33.94m$$

$$Est PB = Est PTV - X_m$$

$$Est PB = (0 + 094.11) - 33.94 = 0 + 060.17$$

$$Elev_{s/t} = Elev_{PTV} - (P_2)(X_m)$$

$$Elev_{s/t} = 455.548 - (0.0170 * 33.94) = 454.97m$$

$$Y = \frac{P_2 - P_1}{2L} X^2 = \frac{0.0245}{2(48.92)} * (33.94)^2 = 0.29m$$

$$Elev_{s/c} PB = Elev_{s/t} + Y = 455.259m$$

1.14.18. Tasa de curvatura K

Para calcular la tasa de curvatura, se emplean las tablas 122 y 123 que se encuentran en la pág. XXXIV de los anexos. Estas tablas consideran la velocidad de diseño, que en este caso es de 50 km/h. En el caso de las curvas verticales en cresta, la tasa de curvatura es de 7, mientras que para las curvas verticales

cóncavas es de 13. La tabla subsiguiente presenta todas las curvas verticales del tramo, obtenidas mediante el software Civil 3D.

Tabla 79:

Curva 1 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (Curva de columpio)			
Estación PVC	0+045.19	Elevación	457.635m
Estación PVI	0+069.65	Elevación	458.262m
Estación PVT	0+094.11	Elevación	458.226m
Punto bajo	0+060.10	Elevación	458.228m
Pendiente de entrada	-0.75%	Pendiente de salida	1.70%
Cambio	2.45%	K	20.000m
Longitud de la curva	48.920m	Radio de curva	2000.00m
Distancia del faro	370.919m		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80:

Curva 2 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (curva de cresta)			
Estación PVC	0+279.81	Elevación	458.705m
Estación PVI	0+314.70	Elevación	459.298m
Estación PVT	0+349.59	Elevación	458.785m
Punto alto	0+317.22	Elevación	459.023m
Pendiente de entrada	1.70%	Pendiente de salida	-1.47%
Cambio	3.17%	K	22.000m
Longitud de la curva	69.773m	Radio de curva	2200.000m
Distancia de paso	522.470m	Distancia de parada	244.434m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81:

Curva 3 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (curva de columpio)			
Estación PVC	0+392.42	Elevación	458.155m
Estación PVI	0+428.63	Elevación	457.622m
Estación PVT	0+464.85	Elevación	458.546m
Punto bajo	0+418.90	Elevación	457.960m
Pendiente de entrada	-1.47%	Pendiente de salida	2.55%
Cambio	4.02%	K	18.000m
Longitud de la curva	72.426m	Radio de curva	1800.00m
Distancia del faro	151.750m		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82:

Curva 4 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (curva de cresta)			
Estación PVC	0+557.02	Elevación	460.899m
Estación PVI	0+598.38	Elevación	461.955m
Estación PVT	0+639.74	Elevación	462.440m
Punto alto	0+639.74	Elevación	462.440m
Pendiente de entrada	2.55%	Pendiente de salida	1.17%
Cambio	1.38%	K	60.000m
Longitud de la curva	80m	Radio de curva	6000.000m
Distancia de paso	1163.052m	Distancia de parada	523.425m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83:

Curva 5 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (curva de columpio)			
Estación PVC	0+714.87	Elevación	463.322m
Estación PVI	0+749.20	Elevación	463.725m
Estación PVT	0+783.54	Elevación	465.307m
Punto alto	0+714.87	Elevación	463.322m
Pendiente de entrada	1.17%	Pendiente de salida	4.61%
Cambio	3.43%	K	20m
Longitud de la curva	68.670m	Radio de curva	2000.000m
Distancia del faro	188.323m		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84:

Curva 6 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (curva de cresta)			
Estación PVC	0+849.88	Elevación	468.364m
Estación PVI	0+920.66	Elevación	471.625m
Estación PVT	0+991.44	Elevación	469.876m
Punto alto	0+942.03	Elevación	470.487m
Pendiente de entrada	4.61%	Pendiente de salida	-2.47%
Cambio	7.08%	K	20m
Longitud de la curva	141.562m	Radio de curva	2000.000m
Distancia de paso	289.253m	Distancia de parada	164.673m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85:

Curva 7 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (curva de columpio)			
Estación PVC	1+015.20	Elevación	469.289m
Estación PVI	1+040.59	Elevación	468.662m
Estación PVT	1+065.98	Elevación	468.894m
Punto bajo	1+052.26	Elevación	468.832m
Pendiente de entrada	-2.47%	Pendiente de salida	0.91%
Cambio	3.39%	K	15.000m
Longitud de la curva	50.784m	Radio de curva	1500.000m
Distancia del faro	174.360m		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 86:

Curva 8 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (curva de columpio)			
Estación PVC	1+291.14	Elevación	470.954m
Estación PVI	1+307.97	Elevación	471.108m
Estación PVT	1+324.79	Elevación	471.375m
Punto bajo	1+291.14	Elevación	470.954m
Pendiente de entrada	0.91%	Pendiente de salida	1.59%
Cambio	0.67%	K	50m
Longitud de la curva	33.658m	Radio de curva	5000.000m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87:

Curva 9 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (curva de columpio)			
Estación PVC	1+551.85	Elevación	474.981m
Estación PVI	1+573.43	Elevación	475.324m
Estación PVT	1+595.02	Elevación	475.853m
Punto bajo	1+551.85	Elevación	474.981m
Pendiente de entrada	1.59%	Pendiente de salida	2.45%
Cambio	0.86%	K	50m
Longitud de la curva	43.172m	Radio de curva	5000.000m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88:

Curva 10 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.

Información de la curva vertical: (curva de columpio)			
Estación PVC	1+660.46	Elevación	477.457m
Estación PVI	1+684.72	Elevación	478.052m
Estación PVT	1+708.97	Elevación	479.235m
Punto bajo	1+660.46	Elevación	477.457m
Pendiente de entrada	2.45%	Pendiente de salida	4.88%
Cambio	2.43%	K	20m
Longitud de la curva	48.506m	Radio de curva	2000.000m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 89: *Curva 11 verticales del tramo de carretera acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital.*

Información de la curva vertical: (curva de cresta)			
Estación PVC	1+843.65	Elevación	485.803m
Estación PVI	1+884.65	Elevación	487.802m
Estación PVT	1+925.64	Elevación	489.054m
Punto alto	1+925.64	Elevación	489.054m
Pendiente de entrada	4.88%	Pendiente de salida	3.05%
Cambio	1.82%	K	45m
Longitud de la curva	81.983m	Radio de curva	4500.000m
Distancia de paso	889.776m	Distancia de parada	405.771m

Fuente: Elaboración propia.

1.14.19. Resumen de criterio

En la página 123, la Tabla 90 ofrece un resumen detallado de cada uno de los criterios empleados en el diseño geométrico del tramo de la carretera de acceso a la Planta Carlos Fonseca, que conecta las comunidades de Las Pozas y El Nancital.

Tabla 90:

Resumen de criterio K

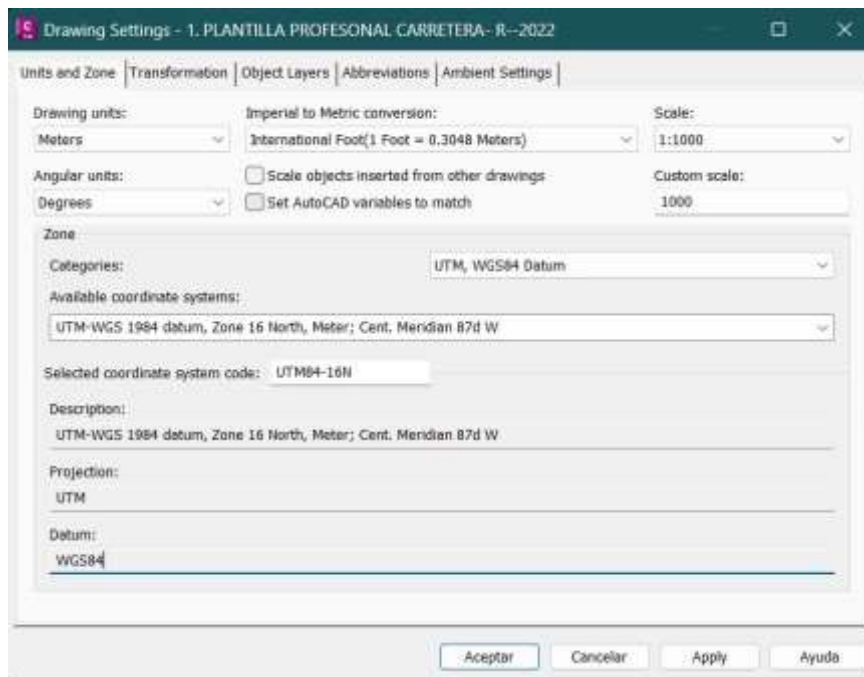
Descripción/Parámetro	Forma	Unidad	Valores
Clasificación funcional	Colectora rural ondulado		
Velocidad de Diseño	Vd.	KPH	50
Vehículo de Diseño	Veh.	Tipo	WB-15
Radio de Curvatura Mínimo	R	m	73
Grado de Curvatura	Gc	G. Min.Seg.	15°41´
Número de Carriles de Rodamiento	Nc	Unid.	2
Ancho de Carril	Ac	m	3.3
Ancho Total de Rodamiento	AR	m	6.6
Ancho de Hombros	Hm	m	1.2
Ancho de Corona	Ac	m	9
Bombeo Normal	B	%	2
Bombeo de Hombros	Hm%	%	4
Peralte o Sobreelevación	emáx.	%	8
Pendiente Máx.	Pend%	%	7
Sobreancho diferentes radios	Sa	m	0.9-1.9
Curvas Verticales Cresta	DVP	M	7
Curvas Verticales Columpio	DVA	M	13
Superficie Carpeta de Rodamiento	Srod.	Tipo	Adoquín

Fuente: Elaboración propia.

1.14.20. Generación de planos uso Civil 3D

Para comenzar, es crucial configurar adecuadamente los diferentes parámetros del diseño para adaptarlos a nuestras necesidades específicas. Esto incluye seleccionar las unidades de medida apropiadas, establecer la escala del dibujo para asegurar la precisión y el detalle necesarios, y definir el sistema de coordenadas adecuado para la georreferenciación del proyecto. Además, es esencial identificar y configurar la zona geográfica exacta donde se encuentra el tramo a estudiar, lo que nos permitirá obtener datos precisos y relevantes para el análisis y desarrollo del proyecto.

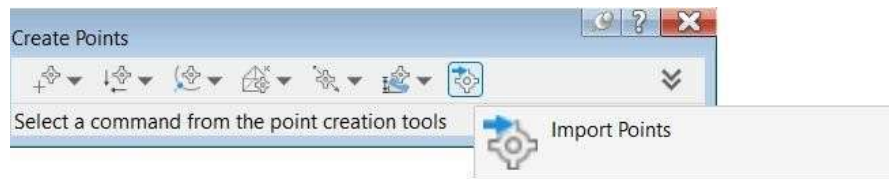
Figura 38: Configuración inicial



Fuente: Elaboración propia

Una vez completado el paso anterior, el siguiente paso es importar la información del levantamiento topográfico. Este proceso implica cargar los datos topográficos recopilados, que incluyen detalles sobre la altitud, pendientes, áreas, y distancias del terreno. La precisión en esta etapa es fundamental, ya que estos datos servirán como base para el diseño.

Figura 39: Importar puntos topográficos



Fuente: Elaboración propia

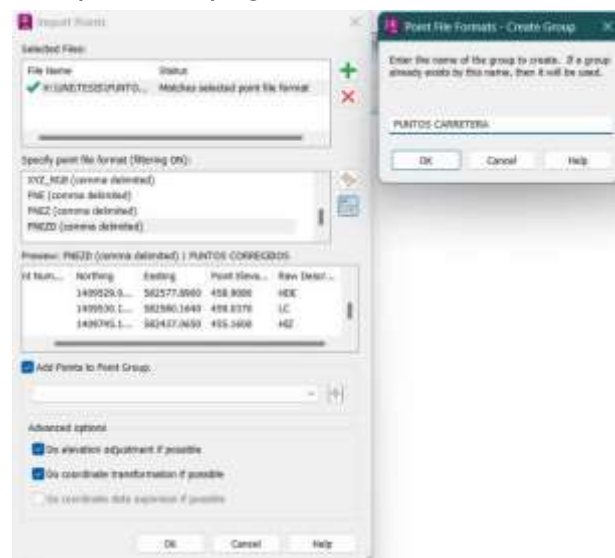
De igual forma, seleccionamos los valores preestablecidos y los insertamos en el software utilizando el formato deseado. Este proceso implica elegir parámetros y configuraciones que se ajusten a las especificaciones del proyecto y asegurarse de que todos los datos se integren correctamente en el sistema.

Figura 40: Datos topográficos

1,1409799.3640,582400.1040,455.1000,CERCO
2,1409801.4720,582406.5550,455.7700,HDE
3,1409802.0250,582409.7520,455.6520,LC
4,1409802.6640,582412.9790,455.5000,H7
5,1409787.7700,582422.2190,455.4080,CERCO
6,1409788.3560,582420.9900,455.1890,SAIDA
7,1409783.8200,582418.7650,455.4190,H2
8,1409782.3940,582415.5900,455.4900,LC
9,1409781.0870,582412.5160,455.6220,HDE
10,1409783.1350,582406.6540,455.4580,ENTRADA
11,1409781.6420,582403.1340,455.2400,CERCO
12,1409762.6940,582420.2880,455.5390,ENTRADA
14,1409757.1680,582414.1020,455.4980,ENTRADA

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41: Formato de puntos topográficos



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, una vez insertados los puntos topográficos en el programa, se estableció una jerarquía de importancia basada en la descripción de cada objeto. Esto permitió priorizar y organizar los datos de manera efectiva, asegurando que los elementos más críticos del levantamiento topográfico se destacaran y gestionaran adecuadamente dentro del diseño. Este enfoque facilita un análisis más estructurado y una toma de decisiones más informada durante el desarrollo del proyecto.

Figura 42: Jerarquía de puntos



Fuente: Elaboración propia

Siguiendo la cronología del proceso, se logra visualizar los puntos de manera gráfica en el software. Esta representación visual permite una comprensión más clara y detallada de la distribución y características de los puntos topográficos. Al ver los datos gráficamente, podemos identificar patrones, relaciones espaciales y posibles inconsistencias que podrían no ser evidentes en una tabla de datos. Esta etapa es crucial para verificar la precisión del levantamiento topográfico y para planificar adecuadamente las siguientes fases del proyecto, asegurando que todas las decisiones se basen en una interpretación visual precisa y completa de la información del terreno.

Figura 43: Levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia

Después de este paso, se generaron las curvas de nivel para representar con precisión la topografía del terreno. Se seleccionaron las curvas maestras a intervalos de 2 metros y las curvas secundarias a intervalos de 1 metro. Este nivel de detalle permite una visualización clara de las variaciones en la elevación del terreno, facilitando el análisis y la planificación del diseño geométrico.

Figura 44: Cuadro de curvas de nivel



Fuente: Elaboración propia

Luego de este paso, se procede a la creación del alineamiento horizontal, asegurándose de seguir la normativa correspondiente establecida por SIECA 2011. Este alineamiento es crucial para definir la trayectoria del tramo de la vía, garantizando que se ajuste a los estándares de seguridad y eficiencia.

Figura 45: Creación de alineamiento



Fuente: Elaboración propia

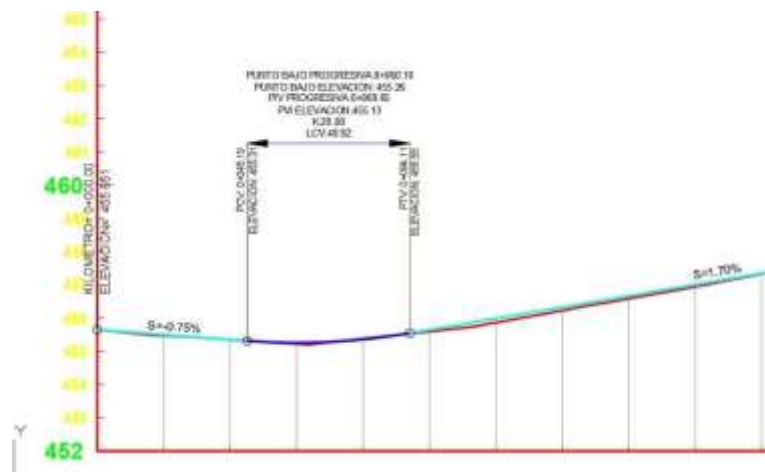
Figura 46: Sección de alineamiento



Fuente: Elaboración propia

Una vez elaborado el alineamiento horizontal, procedemos a crear el perfil longitudinal del proyecto. En este perfil, se podrán observar las curvas verticales, la rasante, las pendientes, las cotas del terreno, así como las áreas de corte y relleno necesarias para el desarrollo de la vía. Este perfil longitudinal es fundamental para entender cómo el terreno varía a lo largo del tramo y permite ajustar el diseño para minimizar movimientos de tierra y optimizar la construcción. La visualización detallada de las curvas verticales y las pendientes asegura que el diseño cumpla con las normativas de seguridad y funcionalidad, proporcionando una base sólida para las etapas posteriores del proyecto.

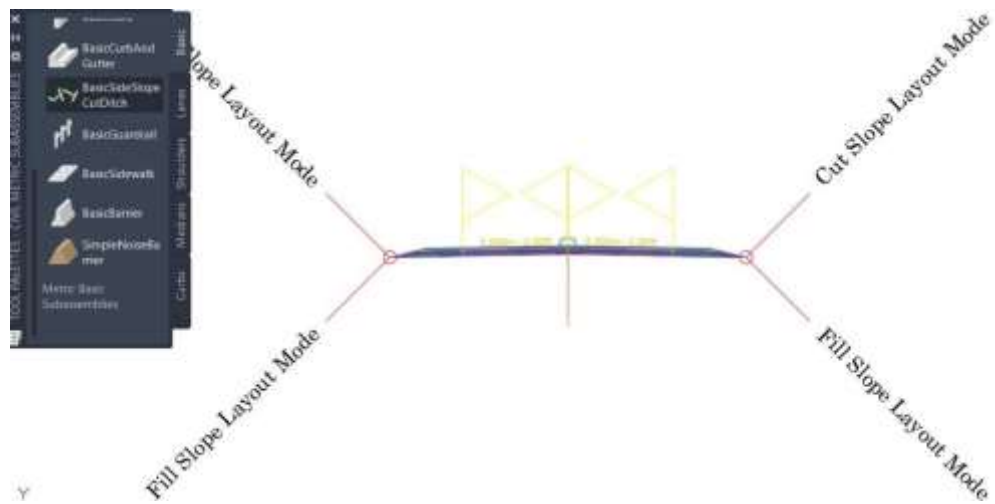
Figura 47: Sección de perfil longitudinal



Fuente: Elaboración propia

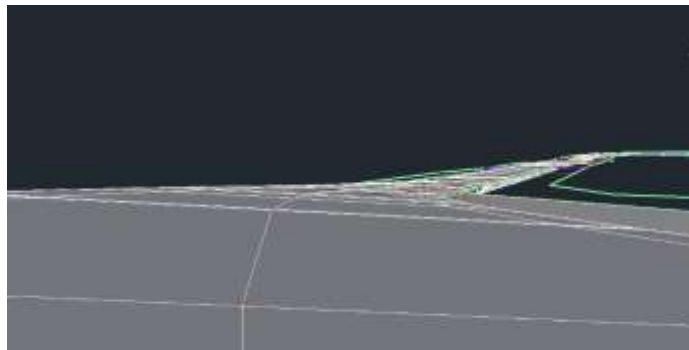
Siguiendo la línea del diseño, procedemos a crear el ensamblaje, esencial para la creación del corredor, que define detalladamente el tramo de la carretera. Este ensamblaje es crucial para establecer la estructura transversal del proyecto, asegurando que todos los elementos del diseño se integren correctamente y cumplan con las especificaciones técnicas requeridas. Al definir el corredor, establecemos la geometría final del tramo, incluyendo los carriles, los hombros, las cunetas y otros elementos necesarios para la funcionalidad y seguridad de la vía.

Figura 48: Ensamble de carretera



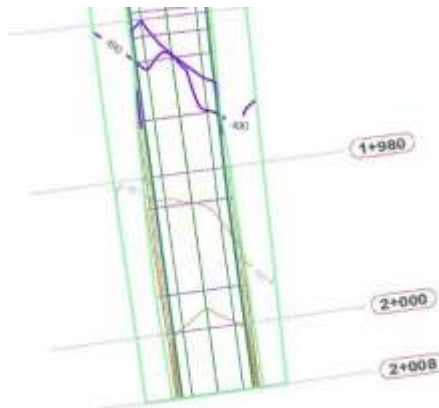
Fuente: Elaboración propia

Figura 49: Carretera con vista de manejo



Fuente: Elaboración propia

Figura 50: Corredor en planta

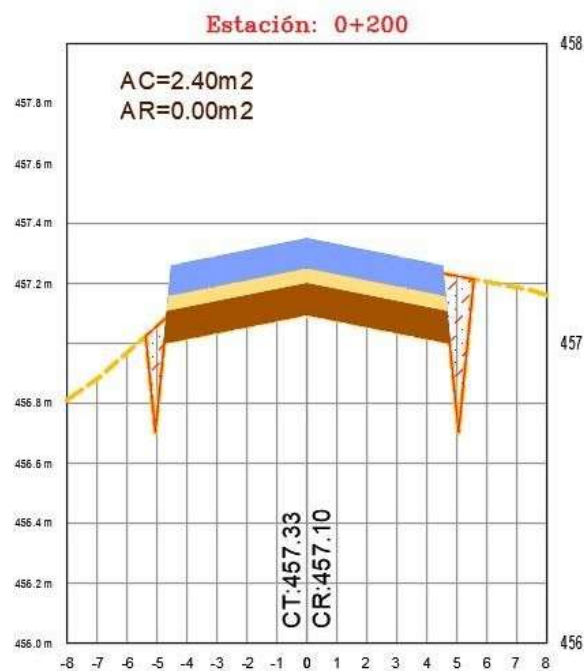


Fuente: Elaboración propia

Finalmente, realizamos nuestras líneas de muestreo para analizar detalladamente cómo se distribuirán los cortes y rellenos a lo largo de la sección del tramo. Estas líneas de muestreo son fundamentales para identificar las variaciones topográficas y determinar las áreas que requerirán movimiento de tierra. Una vez construidas estas líneas de muestreo, procedemos a crear las secciones transversales de la carretera. Estas secciones proporcionan una representación gráfica detallada de la composición y estructura de la sección típica de la carretera.

En ellas se puede observar la disposición de los diferentes elementos, como el pavimento, los hombros, las cunetas y las capas estructurales. Esta visualización es crucial para garantizar que el diseño cumpla con las especificaciones técnicas y normativas, y facilita la planificación y ejecución del proyecto al permitir una comprensión clara de las necesidades de corte y relleno, asegurando así una construcción eficiente y precisa.

Figura 51: Sección transversal 0+200



Fuente: Elaboración propia

1.15. Diseño de estructura de pavimento

1.15.1. Generalidades

En este apartado, se detallan los resultados del diseño del pavimento articulado para el tramo acceso a la Planta Carlos Fonseca comunidades Las Pozas y El Nancital. En el marco de este trabajo monográfico, se implementó el método establecido por la AASHTO 93, el cual integra de manera coherente los análisis previos realizados, en particular los estudios de tránsito y suelos.

Este método se fundamenta en la determinación del número estructural "SN", un indicador clave que evalúa la capacidad necesaria del pavimento para soportar las cargas proyectadas en el desarrollo del proyecto. La atención minuciosa a los estudios de tránsito y suelos proporciona una base sólida para la aplicación precisa de esta metodología, permitiendo una planificación estructural que responda de manera eficaz a las demandas específicas.

1.15.2. Metodología

- ✚ Con base en el periodo de diseño y los ESAL calculados durante el estudio de tránsito, es imperativo elegir los parámetros de diseño predefinidos por el método AASHTO-93. Estos parámetros incluyen la confiabilidad, la desviación estándar, la serviciabilidad y los módulos de resiliencia, elementos cruciales que guiarán el proceso de diseño para asegurar la durabilidad y la funcionalidad adecuada del pavimento en cuestión.
- ✚ Calcular los coeficientes estructurales de capa mediante el empleo de los nomogramas proporcionados por la AASHTO-93.
- ✚ Determinar los números estructurales (SN) mediante la consulta de los nomogramas establecidos por la AASHTO-93. Posteriormente, aplicar las fórmulas pertinentes para calcular los espesores necesarios en la estructura del pavimento, asegurando así un diseño óptimo acorde con las exigencias de carga y las características específicas del proyecto.

1.15.3. Variables de diseño

1.15.3.1. Confiabilidad

Los niveles de confiabilidad de un diseño de pavimento son determinantes clave en su eficacia y rendimiento a lo largo de su vida útil. Esta confiabilidad está intrínsecamente ligada a una variedad de factores que abarcan desde la calidad de los materiales utilizados hasta la precisión de los cálculos de diseño y la consideración de las condiciones ambientales y de tráfico. Es esencial comprender que estos factores influyen en el grado de servicio que el pavimento podrá ofrecer en su uso práctico.

En este contexto, la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transporte (AASHTO) ha desarrollado un marco de referencia para evaluar y establecer los niveles de confiabilidad requeridos para diferentes tipos y funciones de pavimentos. Este marco se presenta en forma de porcentajes de confiabilidad asociados a distintos grados funcionales de las carreteras, como se detalla en la tabla 91 (pág. 133) de las directrices de la AASHTO.

Tabla 91:

Niveles de confiabilidad.

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, 2001, pág. 137).

Se ha seleccionado un valor de confiabilidad (R) del 85%, considerando que se trata de una carretera colectoras ubicada en una zona rural. En función de este nivel de confiabilidad, se determina el valor correspondiente de Z_r en la curva

normal, optando por el valor específico que se encuentra detallado en la tabla 92 (pág. 134).

Tabla 92:

Desviación normal estándar, Zr.

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

Fuente: (AASHTO-93, 2001, pág. 55).

1.15.3.2. Desviación estándar

En la determinación de la desviación estándar S_o , la AASHTO ha establecido valores específicos mediante un análisis de varianza y considerando proyecciones futuras del tránsito. Estos valores recomendados se detallan en la tabla 93 (pág. 134), y, para nuestro caso particular, hemos elegido un valor de 0.45.

Tabla 93: *Desviación estándar.*

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

Fuente: (AASHTO-93, 2001, pág. 56).

1.15.3.3. *Serviciabilidad*

En el proceso de diseño del pavimento, es esencial considerar tanto la serviciabilidad inicial como la serviciabilidad final. La serviciabilidad inicial (Po) está directamente vinculada al diseño de la estructura del pavimento y a la calidad de construcción de la carretera. Por otro lado, la serviciabilidad final o terminal (Pt) se determina según la categoría de la vía y el juicio del diseñador.

En este diseño específico, se eligió un valor de serviciabilidad inicial de 4.2 de la tabla 94 (pág. 135), y para la serviciabilidad final, se adoptó un índice de 2 de la tabla 95 (pág. 135). Esta elección se fundamenta en la categoría de tráfico menor que caracteriza al tramo en estudio.

Tabla 94:

Serviciabilidad inicial.

Elementos	Índice de serviciabilidad inicial (Po)
Pavimento rígido	4.5
Pavimento flexible	4.2

Fuente: (AASHTO-93, 2001, págs. 4, cáp 7).

Tabla 95:

Serviciabilidad final.

Tipo de tráfico expresado en EE	Índice de serviciabilidad final (Pt)
Igual o más para caminos Principales	2.5
Caminos de tránsito menor	2.0

Fuente: (AASHTO-93, 2001, págs. 4, cáp 7).

La pérdida por serviciabilidad se calcula utilizando la ecuación 7 (consultar página 20, marco teórico), obteniendo como resultado un valor total de pérdida en el índice de serviciabilidad igual a 2.2.

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

1.15.4. Módulo de resiliencia

La evaluación de este módulo se basa en la formulación de ecuaciones de correlación obtenidas a través de rigurosos ensayos que establecen una relación entre el módulo resiliente y el Índice de Soporte California (CBR). Estas ecuaciones, fundamentadas en la investigación empírica, sirven como herramientas cruciales para la caracterización precisa de las propiedades del material. A continuación, se detallan dichas ecuaciones:

- En el caso de materiales de subrasante con un Índice de Soporte California (CBR) igual o inferior al 10%. Revisar ecuación 8 página 25 marco teórico.
- Para materiales de subrasante con valores de Índice de Soporte California (CBR) superiores al 10%. Revisar ecuación 9 página 25 marco teórico.

En el análisis geotécnico del suelo correspondiente al tramo de carretera, se calculó el Índice de Soporte California (CBR) de diseño de 22% (consulte la figura 28 en la página 67 para referencia visual).

$$MR = 4326 * Ln (22) + 241$$

$$MR = 13612.85 \text{ Psi}$$

1.15.5. Coeficientes estructurales

1.15.5.1. Coeficiente de drenaje

En el contexto del diseño de estructuras de pavimento, el séptimo capítulo de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento de la Asociación Americana de funcionarios de Carreteras y Transporte (AASHTO-93) se destaca por proporcionar valiosas directrices sobre los coeficientes de drenaje. Estos coeficientes desempeñan un papel crucial en el proceso de cálculo de los espesores de diseño, y su aplicación se detalla minuciosamente en las tablas 96 y 97 en la página 137 y 138.

Asimismo, estas tablas ofrecen una referencia específica para ajustar y optimizar los espesores en función de consideraciones fundamentales de drenaje, contribuyendo así a un diseño integral y eficiente de las estructuras de pavimento.

En el escenario analizado, se optó por asignar una buena calidad de drenaje con sus tiempos de remoción de la humedad designados para 50%, 1 día y para 80% de saturación, de 2 a 5 horas. También se tomó el valor de **1 para los coeficientes de drenaje m2 y m3**, debido a que el tramo de carretera es una región lluviosa. En la primera fase del proyecto, durante la cual se realizó el asfaltado, se incluyeron cuidadosamente los drenajes menores (cunetas) necesarios. Esta planificación anticipada asegura que el agua drene adecuadamente, evitando acumulaciones que podrían dañar la superficie vial.

Además, la zona en estudio es rica en vegetación, lo que contribuye significativamente la gestión del agua. La abundancia de flora mejora la absorción del agua de lluvia, reduciendo la cantidad de escorrentía superficial. El suelo de esta área es altamente permeable, permitiendo que el agua se filtre de manera eficiente. Esto resulta particularmente beneficioso durante temporada de lluvias, cuando la escorrentía puede ser un problema en áreas menos preparadas.

Tabla 96:

Coeficiente de drenaje de la capa.

Capacidad del Drenaje para remover la humedad		
Calidad del drenaje	Aguas removidas en:	
	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 hora
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	De 10 a 15 horas
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

Fuente: (AASHTO-93, 2001, pág. 148 cáp 7).

Tabla 97:

Tabla de valores recomendados para el coeficiente de drenaje.

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

Fuente: (AASHTO-93, 2001, pág. 148 cáp 7).

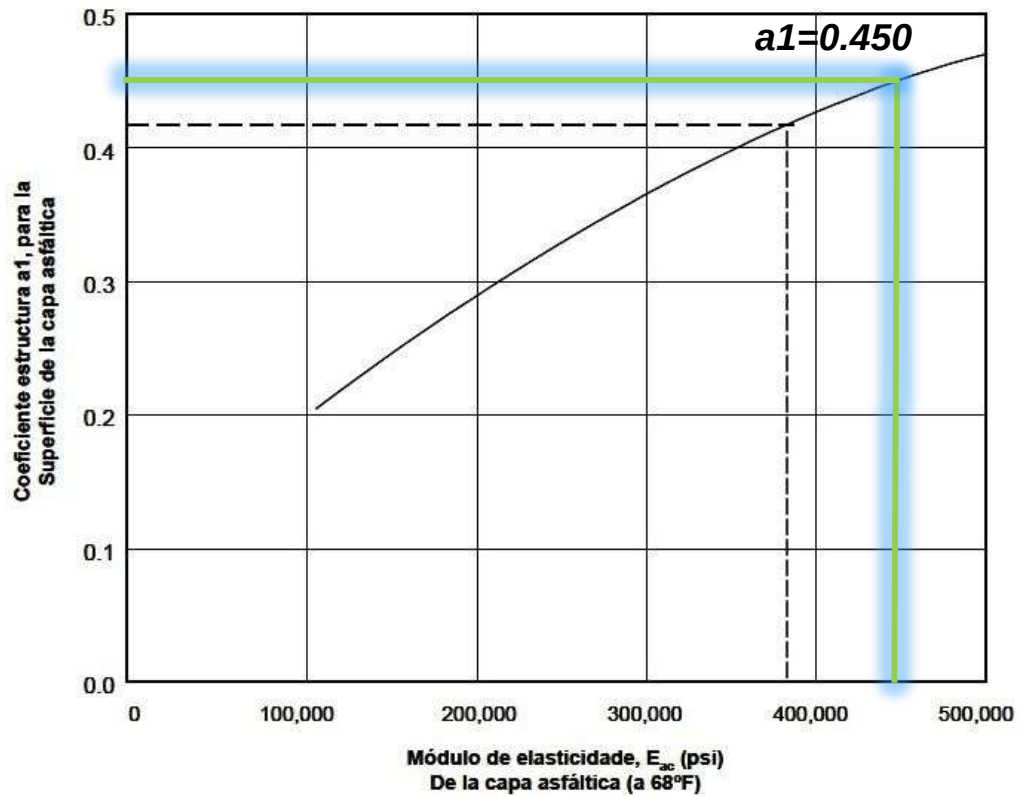
1.15.5.2. Coeficiente de capa

Los coeficientes de capa, son representados como a_1 , a_2 , a_3 y están asociados a la superficie de rodadura, la capa base y la subbase, respectivamente. Estos coeficientes desempeñan un papel crucial al ponderar la influencia de cada capa en la estructura general, ofreciendo así una representación cuantitativa de cada componente al rendimiento estructural del pavimento.

La AASHTO 93 indica el empleo de gráficos nominales para la evaluación de dichos parámetros. La utilización de nomogramas ha aportado una notable simplificación al proceso, al tratarse de la aplicación de modelos matemáticos que se representan de forma gráfica en escalas predefinidas. Este enfoque gráfico no solo facilita la interpretación, sino que también agiliza el manejo de la información al ofrecer una representación visual intuitiva de los datos.

Mediante la consulta del nomograma visualizado en la figura 52, pág. 139, se ha identificado y confirmado que el valor del coeficiente a_1 es precisamente **0.450**. Este proceso de determinación, respaldado por la representación gráfica, ha permitido obtener con certeza la contribución específica de la capa superficial de rodamiento.

Figura 52: Coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente.



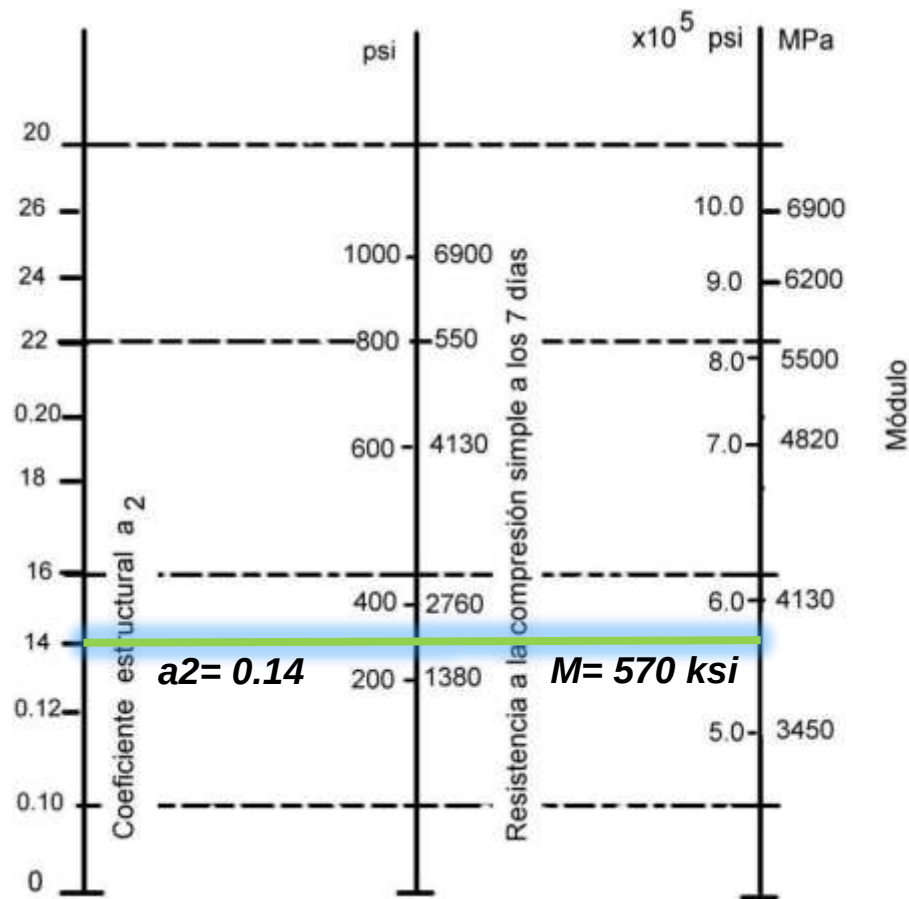
Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93), capítulo 5, pág. 111.

En consideración de las propiedades del suelo del banco de materiales “San Esteban”, el cual se mezcló con cemento en dosificaciones del 4%, 6% y 10%, debido a que el CBR del banco de materiales no cumplía con los requerimientos mínimos de la norma.

Se tomó particularmente la resistencia a la compresión luego de 7 días, con el 6% de cemento, se registraron 21 Kg/cm² equivalentes a 300 psi aproximadamente y se procedió a calcular el coeficiente a_2 . Este cálculo se basó en la aplicación del nomograma ilustrado en la figura 53, pág. 140, revelando un valor específico para a_2 , el cual se determinó como 0.14.

Además, se llevó a cabo la evaluación del módulo resiliente de la capa base, arrojando un valor concreto de 570 KSI. Este proceso detallado ofrece una comprensión más completa de la contribución de la capa base a la resistencia estructural del pavimento.

Figura 53: Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento y distintos parámetros resistentes.

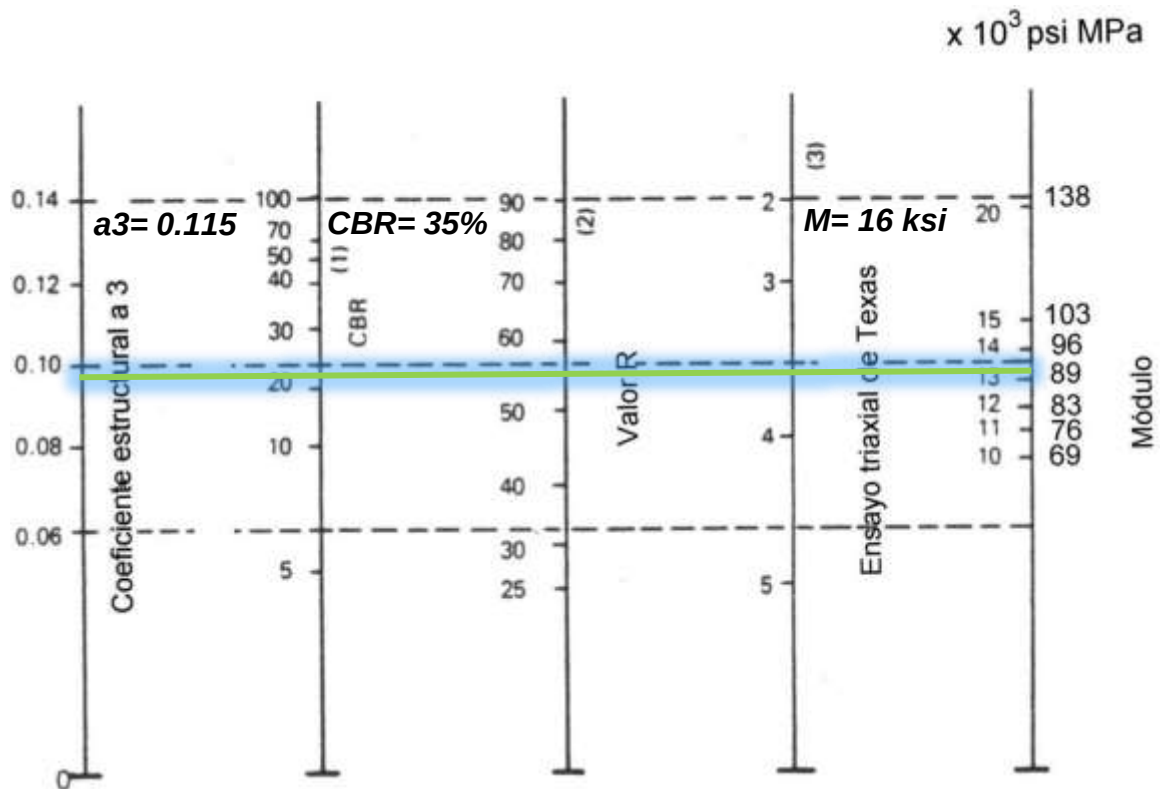


Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93), capítulo 5, pág. 119.

En el proceso de determinar el coeficiente a_3 , se hizo uso del nomograma visualizado en la figura 54, pág. 141. Al trazar la línea correspondiente al valor de CBR al 95%, del 35%, que fue aplicado específicamente a la subbase, se obtuvo como resultado un coeficiente a_3 igual a 0.115. Además de este dato, se logró derivar un módulo de resiliencia con un valor específico de 16 KSI.

Este análisis detallado no solo arroja luz sobre el coeficiente crucial a_3 para la subbase, sino que también proporciona una perspectiva valiosa sobre la capacidad de resiliencia inherente de dicha capa dentro de la estructura integral del pavimento.

Figura 54: Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes.

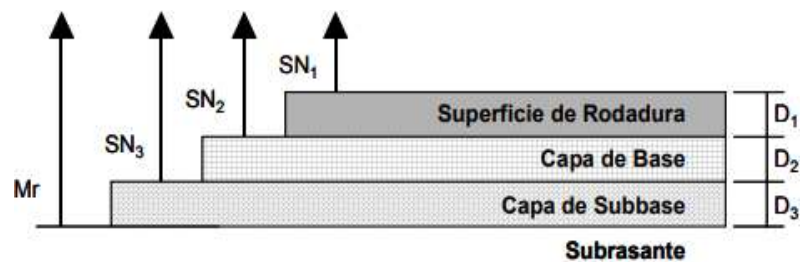


Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93), capítulo 5, pág. 118.

1.15.6. Espesores de capa

La filosofía de la AASHTO se cimienta en la noción crucial de preservar las capas granulares no tratadas frente a tensiones verticales que podrían inducir deformaciones permanentes. El desglose detallado de este enfoque se ilustra gráficamente en la figura 55, pág. 141, y a continuación, se presenta una explicación minuciosa de dicho proceso:

Figura 55: Procedimiento para determinar el espesor.



Fuente: (AASHTO-93, 2001)

1.15.6.1. Número estructural

Los valores numéricos estructurales SN1, SN2 y SN3 se calcularon empleando la información proporcionada en la tabla 98, pág. 142.

Tabla 98:

Parámetros para la determinación de los números estructurales.

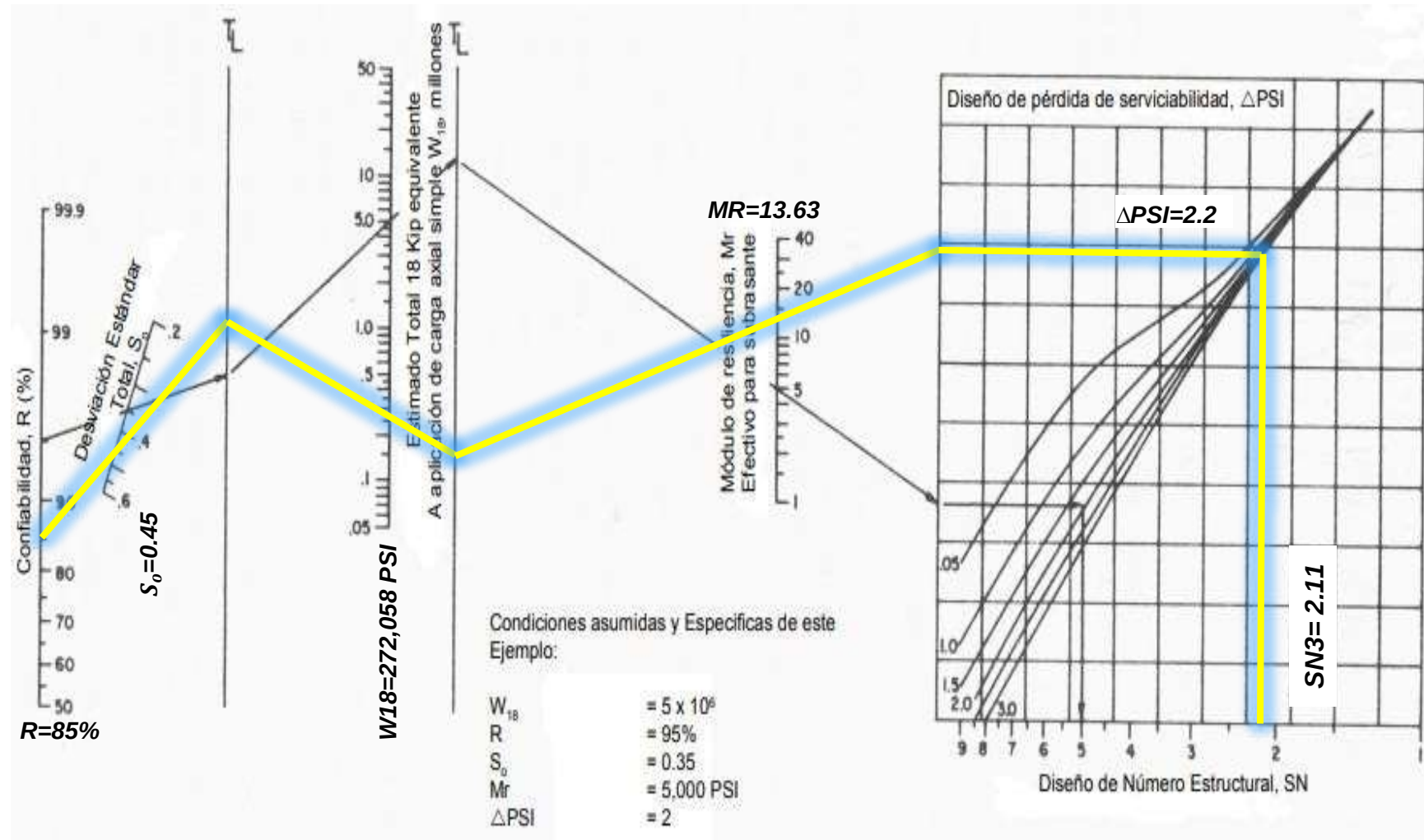
Parámetro	Valor utilizado
Confiabilidad (R)	85 %
Desviación estándar (S_o)	0.45
ESAL de diseño	215,537
Módulo de resiliencia subrasante	13.613
Módulo de resiliencia de base	570
Módulo de resiliencia de subbase	16
Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)	2.2

Fuente: (AASHTO-93, 2001).

Utilizando el ábaco representado en la figura 56 de la página 143, se logró derivar el número estructural de la subbase, obteniendo un valor de **SN3= 2.11**. Este cálculo se basó en el módulo resiliente (MR) específico de la subrasante, que se situó en **13,612.85 KSI**.

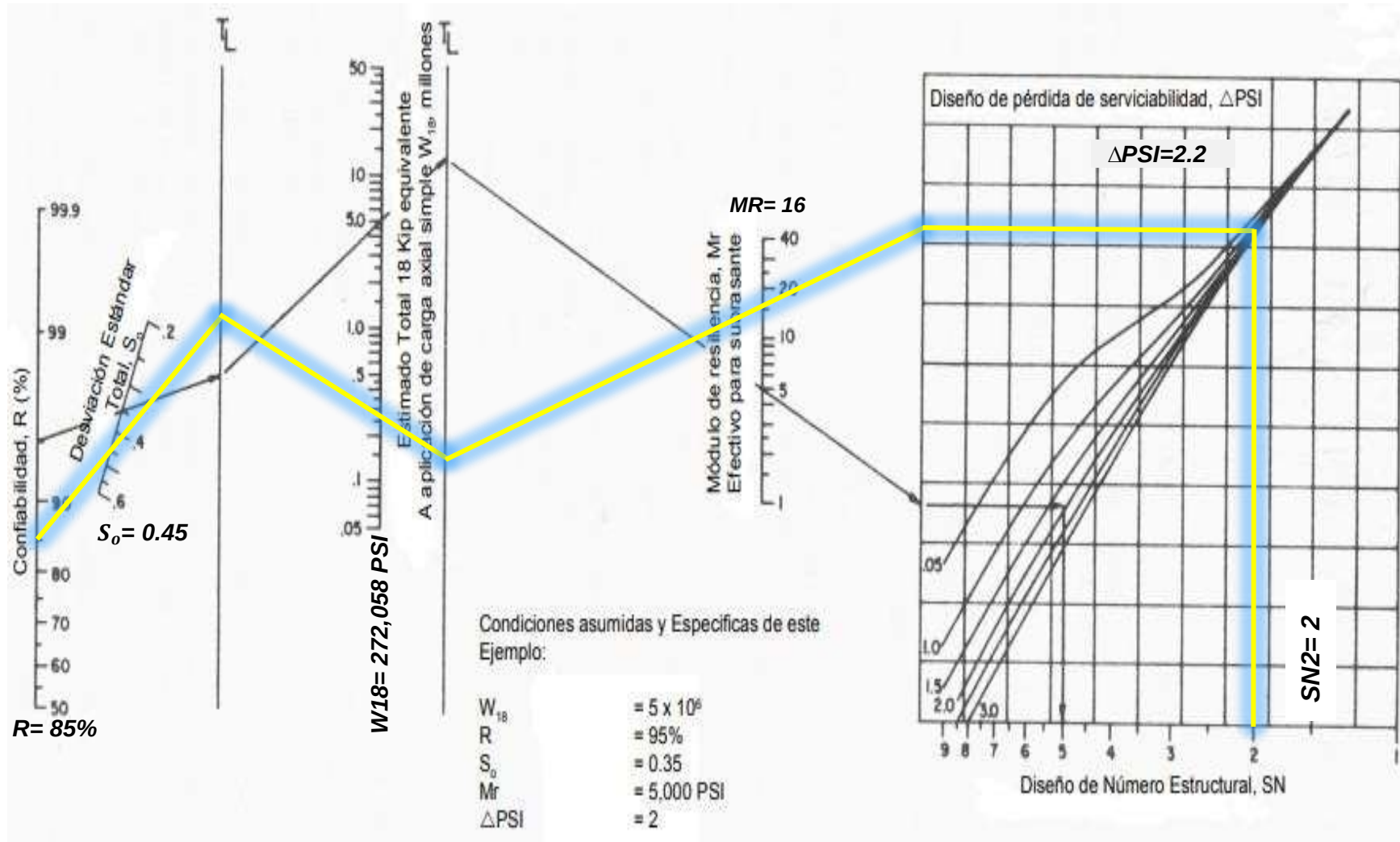
Este proceso analítico no solo proporciona el número estructural crucial para la subbase, sino que también ofrece una conexión directa con las propiedades resilientes de la subrasante, enriqueciendo así la evaluación global de la estructura del pavimento.

Figura 56: Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN3 (subbase).



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

Figura 57: Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, SN1 (carpeta de rodamiento).



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

Con el propósito de calcular el número estructural de la carpeta de rodamiento, **SN2= 2**, se aplicó el ábaco que considera el módulo resiliente (MR) de la subbase, fijado en **16 KSI**, tal como se exhibe en la figura 57 pág. 144. Este método proporciona una conexión directa entre las propiedades resilientes de la subbase y la evaluación estructural de la capa base, contribuyendo así a una comprensión más completa de la capacidad estructural del pavimento.

Finalmente, no se presenta el ábaco del **SN1**, en el cual se refleja que por el módulo resiliente obtenido en la figura 53, pág. 140, (**MR de 570 KSI para base mejorada con cemento**) no se puede calcular el valor **SN1** en el ábaco de diseño, debido que el rango máximo en la escala MR es de **40 KSI**, en consecuencia, se procedió a calcular el valor SN directamente en el programa **Ecuación AASHTO**, **obteniendo el resultado SN1 = 0.23 que se puede observar en la figura 85 pág. XXXIX.**

Este análisis proporciona una representación gráfica precisa de la influencia estructural de la capa de base en la carpeta de rodamiento, contribuyendo a una evaluación integral de la capacidad estructural del pavimento.

Estos valores son esenciales para calcular los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento. La validez de los valores de los números estructurales (SN) se verificó mediante el uso del software de la AASHTO 93, y se confirmó su coincidencia con los presentados en los ábacos anteriores (consultar anexos, a partir de la página XLI).

1.15.7. Cálculo de los espesores

Utilizando los valores de los coeficientes a_1 , a_2 , a_3 , el coeficiente de drenaje para la base y sub-base, el módulo de resiliencia y los números estructurales SN1 y SN2, se procedió al cálculo detallado de los espesores de cada capa, tal como se presenta en el siguiente análisis.

1.15.7.1. Carpeta de rodamiento

El espesor D1 se ha determinado como 4 pulgadas = 10 cm, considerando la elección de adoquín para la carpeta de rodamiento en este escenario particular.

$$D_1 = 4 \text{ pulg}$$

Aplicando la ecuación 31, se determina nuevamente el valor del número estructural, SN1:

Ecuación 31: Número estructural (SN1)

$$SN_1 = a_1 * D_1 \text{ Tomado de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$SN_1 = (0.45) * (4) = 1.8$$

1.15.7.2. Base

Con los valores de SN1 y SN2 derivados del ábaco, junto con los datos de a_2 y m_2 , se procede a emplear la ecuación 32 para calcular el espesor de la base, como se detalla a continuación:

Ecuación 32: Base de la superficie de rodamiento

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 m_2} \text{ Tomado de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$D_2 = \frac{2 - 1.8}{0.14 * 1} = 1.42 \text{ pulgadas}$$

Siguiendo la sugerencia de la AASHTO, se observó que el valor calculado para **D2** no cumplía con el espesor mínimo requerido para la base granular, según lo indicado en la tabla 99, pág. 147. Por lo tanto, se optó por establecer **D2 en 4 pulgadas** y posteriormente recalculó el valor de **SN2**, aplicando la ecuación 33.

Tabla 99:

Espesores mínimos sugeridos de carpeta asfáltica y base granular.

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

Fuente: (AASHTO-93, 2001, pág. 8 cap 7)

Ecuación 33: Número estructural (SN2)

$SN_2 = a_2 m_2 D_2$ Tomado de (AASHTO-93, 2001)

$SN_2 = 0.14 * 1 * 4 = 0.56$

1.15.7.3. Sub base

En la etapa final, el espesor de la subbase se determina mediante la aplicación de la ecuación 34, que incorpora los valores previamente calculados de SN1 y SN2, así como los coeficientes a_3 y m_3 .

Ecuación 34: Espesor de sub base

$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{a_3 m_3}$ Tomado de (AASHTO-93, 2001)

$$D_3 \geq \frac{2.11 - (1.8 + 0.56)}{(0.115) * (1)} = -2.174 \text{ pulgadas}$$

En el caso específico donde el resultado del análisis es negativo, indica que no se necesita una sub-base según los criterios de la AASHTO, se debe confiar en la validez y la autoridad de estos estándares. Esta decisión se fundamenta en la aplicación de principios de ingeniería respaldados por evidencia empírica y metodologías rigurosas de evaluación.

Al prescindir de la sub-base en este escenario, se busca optimizar el diseño del pavimento articulado, eliminando capas innecesarias que podrían aumentar los costos de construcción sin proporcionar beneficios adicionales en términos de rendimiento o durabilidad. Esta estrategia refleja un enfoque responsable y proactivo hacia la gestión de recursos y la eficiencia en la ejecución de proyectos de infraestructura vial.

A continuación, se presenta la validación del número estructural (SN) necesario, donde en este caso se consideró el valor de SN3 igual a 2.11. Esto se llevó a cabo mediante la suma de los SN corregidos, utilizando la ecuación 35.

Ecuación 35: Comprobación del número estructural

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_{req} \text{ Tomado de (AASHTO-93, 2001)}$$

$$(1.8) + (0.56) \geq (2.11)$$

$$(2.36) \geq (2.11) \therefore \text{Cumple}$$

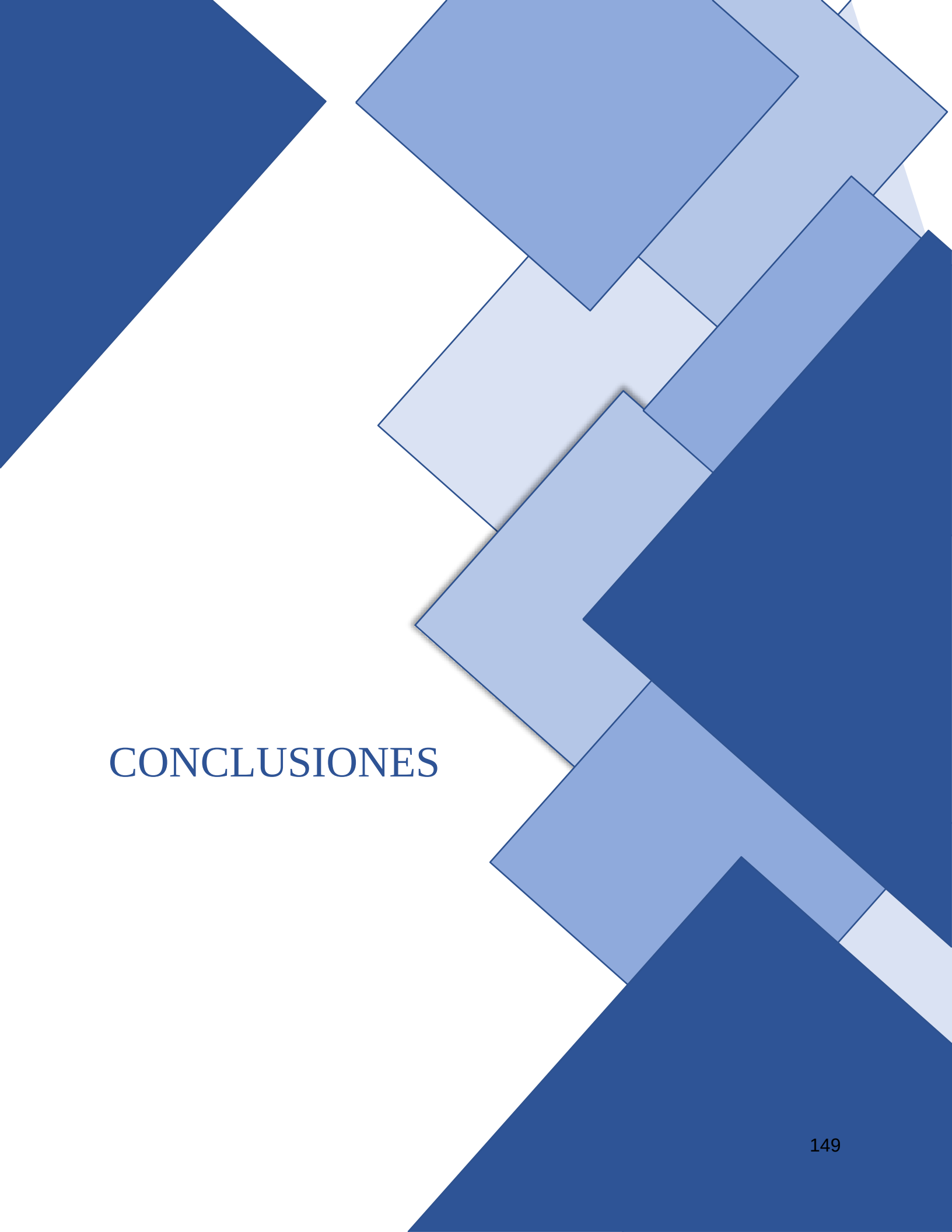
Después de llevar a cabo estos procedimientos, se ha alcanzado el diseño final de los espesores, los cuales se detallan en la tabla 91.

Tabla 100:

Espesores de pavimento articulado.

Capa	Espesor	
	Pulgadas	cm
Carpeta de rodamiento	4	10.16
Colchón de arena	2	5.08
Base Granular	4	10.16
Espesor total	10	25.4

Fuente: Elaboración propia.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El trabajo monográfico realizó un estudio exhaustivo sobre el diseño geométrico y la estructura del pavimento articulado en un tramo de 2 km entre el Empalme Santa Bárbara y la Planta Enel Carlos Fonseca en Ciudad Darío, Matagalpa. Se obtuvo información detallada y relevante que permitió desarrollar un proyecto vial integral y de alta calidad.

El levantamiento topográfico con estación total proporcionó las características altiplanimétricas esenciales del terreno, obteniendo datos cruciales como pendientes, áreas y distancias. El tramo es mayormente plano con curvas levemente pronunciadas, y se utilizó una línea de base de 9 BMS para desarrollar el levantamiento de datos.

El estudio geotécnico determinó las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y del banco de materiales, esenciales para el diseño del pavimento. Se realizaron cinco sondeos espaciados a 500 metros, analizando la estratigrafía, composición granulométrica y consistencia del suelo en el tramo y en el banco "San Esteban". Se estableció una subrasante de 30 cm con un CBR del 95%, alcanzando un valor de diseño del 22% para el tramo y del 35% para el banco de materiales. Dado que el material del banco no cumplía con las normativas, se decidió mejorar su calidad añadiendo cemento con un valor del 5 % puede ser usado como sub-base. Esto equivale a usar 2.0 sacos de cemento por metro cúbico de material seco compacto.

El análisis de tráfico determinó el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y la cantidad de ejes equivalentes (ESAL) para la zona, siguiendo los criterios del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Se proyectó un TPDA de 384 veh/día en 2023 y 639 veh/día en 2038, fijando un ESAL de 215,537 PSI. Este cálculo se basó en una tasa de crecimiento del 3.44%, considerando el PIB y la población.

El diseño geométrico, realizado con el software Civil 3D y siguiendo las normativas pertinentes, generó planos detallados que cumplen con los requisitos regionales.

Los planos muestran una longitud de 2008 metros, sección transversal de 6.6 metros, pendiente de bombeo del 2%, peralte del 8%, y 5 curvas simples, con una pendiente máxima de 4.79%, mientras que el volumen de corte ascendió 4701.27 m³ y 346 m³ de relleno. Los planos se adjuntan como anexos a partir de la página XLIV para una mejor comprensión del diseño.

Finalmente, se calcularon los espesores estructurales del pavimento articulado según el método AASHTO-93, definiendo las secciones típicas del tramo: una carpeta de rodamiento de adoquín de 4 pulgadas, un colchón de arena de 2 pulgadas y una base granular de 4 pulgadas. Estas dimensiones aseguran la durabilidad y resistencia del pavimento, garantizando su calidad a lo largo del tiempo.



RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. El MTI deberá a cabo mediciones de tráfico de manera regular es fundamental para una gestión efectiva del flujo vehicular y para obtener un análisis exhaustivo del comportamiento del tránsito durante el período de diseño de la carretera.
2. El contratista deberá cumplir con las especificaciones definidas en el diseño en cuanto a los materiales de construcción y sus dimensiones calculadas es esencial para garantizar el óptimo desempeño del tramo en estudio.
3. El contratista tendrá que verificar minuciosamente que los materiales seleccionados para llevar a cabo el proyecto estén en plena conformidad con las rigurosas normativas establecidas, así como aquellas previamente mencionadas. Esta medida garantizará no solo la calidad del trabajo, sino también la seguridad y durabilidad de la infraestructura a construir.
4. El supervisor garantizará una compactación de alta calidad para prevenir cualquier riesgo de hundimientos o deformaciones en la superficie. Este proceso meticuloso asegura una base sólida y estable, fundamental para la integridad y durabilidad de la estructura en cuestión.
5. La empresa constructora se asegurará de que las señalizaciones verticales y horizontales, como las señales de tráfico y las marcas en la carretera, se instalen de manera precisa y adecuada una vez que se haya completado el proyecto. Esta medida no solo mejora la seguridad vial, sino que también contribuye a una mejor organización del tráfico y a la eficiencia en el uso de la infraestructura recién construida.
6. El responsable de higiene y seguridad implementará medidas efectivas para preservar la integridad y la salud de las áreas verdes y estructuras circundantes durante todo el proceso de ejecución del proyecto. Esto implica no solo evitar la contaminación, el daño o los impactos negativos, sino también adoptar prácticas de construcción responsables que minimicen cualquier perturbación en el entorno natural y urbano. Además, el cuidado adecuado de estas áreas contribuye al bienestar ambiental y al disfrute continuo de la comunidad local.

7. El contratista para asegurar la calidad y el éxito de un proyecto vial, es crucial seleccionar y contratar mano de obra altamente calificada. La experiencia y competencia de los trabajadores no solo garantizan la ejecución eficiente de las tareas, sino que también contribuyen significativamente a la seguridad y durabilidad de la infraestructura vial.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (2006). *DISEÑO DE PAVIMENTOS (AASHTO-93)*. La Paz.
- 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. (2001). *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO 93 (3ra edición)*. Washington: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- Cleves, G. J. (2007). *Topografía Para Ingenieros Civiles*. Armenia: Universidad Del Quindio.
- Corral, I. P. (2017). *SECCIONES TRANSVERSALES Y MOVIMIENTO DE TIERRAS*. Cuenca.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México D.F: Cengage Learning.
- Fonseca, I. A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Grisales, J. C. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. Bogotá.
- Grisales, J. C. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- INACAP. (s.f.). *Propiedades índices de los suelos y características del hormigón fresco y .* Santiago de Chile: INACAP.
- Instituto de Asfalto, (MS-1) . (1991).
- Lucas, L. S. (13 de 08 de 2013). *Slides Share*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/Alexander159/peso-volumetrico>
- M., I. G. (s.f.). *Maestría en Vías Terrestres Módulo III Diseño de Pavimentos I*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.

- M., L. C. (2010). *Curso Completo de Topografía*. SENCICO.
- M.Das, B. (2015). *Fundamentos De Ingeniería Geotécnica*. Mexico D.F: Cengage Learning Editores, S.A.
- Manual centroamericano para diseño de pavimentos*. (2002). Ciudad de Guatemala: SIECA.
- Marquez, F. G. (1994). *Curso Básico de Topografía*. México D.F: árbol editoreal.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2019). Norma NIC 2019, TOMO II. *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes*. Nicaragua.
- Morales, I. A. (2015). *DISEÑO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO POR EL METODO AASHTO-93*. Bogotá: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Morales, I. R. (2015). *TEXTO BASICO AUTOFORMATIVO DE TOPOGRAFIA GENERAL*. Managua: UNA.
- MTI. (2008). *MANUAL para la revisión de estudios de tránsito*. Managua.
- MTI. (s.f.). *ANUARIO DE AFOROS DE TRAFICO AÑO 2019*. Managua.
- MTI. (s.f.). *Anuario de aforos de tráfico año 2020*. Managua.
- Ospina, J. J. (2002). *Diseño Geométrico de Vías*. Bogotá.
- SIECA. (2004). *NORMA PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LAS CARRETERA REGIONALES*. Guatemala.
- SIECA. (2004). *Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*. SIECA.
- SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*. Ciudad de Guatemala.
- SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*.

The image features an abstract composition of overlapping rectangular shapes in various shades of blue, ranging from a deep navy to a very light, almost white blue. The rectangles are oriented at different angles, creating a dynamic, layered effect. In the upper-middle section, the word "ANEXOS" is printed in a bold, black, sans-serif font. In the lower-left area, the same word "ANEXOS" appears in a larger, dark blue, serif font. The overall aesthetic is modern and architectural.

ANEXOS

ANEXOS

Figura 58: Pequeños baches EST 1+120



Fuente: Elaboración propia

Figura 59: EST 0+000



Fuente: Elaboración propia

Tabla II:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 1)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
1	1409799.36	582400.104	454.919	CERCO
2	1409801.47	582406.555	455.77	HDE
3	1409802.03	582409.752	455.652	LC
4	1409802.66	582412.979	455.4	HIZ
5	1409787.77	582422.219	453.408	CERCO
6	1409788.36	582420.99	452.189	ISALIDA
7	1409783.82	582418.765	455.219	HIZ
8	1409782.39	582415.59	455.494	LC
9	1409781.09	582412.546	455.622	HDE
10	1409783.14	582406.654	452.458	IENTRADA
11	1409781.64	582403.134	453.24	CERCO
12	1409772.26	582415.85	455.572	HDE
13	1409762.69	582409.288	455.539	ENTRADA
14	1409757.17	582414.102	455.498	ENTRADA
15	1409754.98	582418.858	455.496	CASA
16	1409755.06	582420.393	455.455	PLU
17	1409747.35	582425.264	455.381	PLU
18	1409748.01	582426.652	455.37	TENSOR
19	1409754.75	582423.958	455.467	HDE
20	1409529.05	582577.89	458.908	HDE
21	1409530.15	582580.164	459.037	LC
22	1409745.16	582437.065	455.16	LC
23	1409745.42	582438.294	455.281	PLU
24	1409773.35	582426.535	455.095	IGLESIA
25	1409748.52	582438.81	455.055	IGLESIA
26	1409751.78	582433.972	455.153	TENSOR
27	1409699.92	582457.876	455.696	PLU
28	1409672.65	582477.074	456.473	PLU
29	1409708.2	582467.67	455.376	CERCO
30	1409704.45	582464.297	455.695	HIZ
31	1409702.46	582461.777	455.748	LC
32	1409700.44	582459.214	455.708	HDE
33	1409697.27	582458.115	455.145	CERCO
34	1409672.99	582474.781	456.24	CERCO
35	1409673.28	582478.332	456.33	HDE
36	1409674.81	582480.741	456.357	LC
37	1409676.41	582483.258	456.347	HIZ
38	1409678.53	582488.2	456.613	CERCO
39	1409653.35	582505.227	456.196	CERCO

Fuente: Elaboración propia

Tabla III:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 2)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
40	1409650.41	582501.259	456.877	HIZ
41	1409648.16	582499.155	456.933	LC
42	1409646.45	582496.904	456.873	HDE
43	1409610.18	582522.388	457.69	HDE
44	1409611.91	582524.848	457.777	LC
45	1409613.56	582527.153	457.685	HIZ
46	1409616.08	582531.355	456.899	CERCO
47	1409590.18	582551.678	457.503	CERCO
48	1409586.12	582546.099	458.301	HIZ
49	1409584.4	582543.678	458.37	LC
50	1409582.69	582541.199	458.286	HDE
51	1409557.8	582558.311	458.7	HDE
52	1409559.74	582560.565	458.845	LC
53	1409559.34	582564.778	458.923	HIZ
66	1409533.83	582581.477	459.15	HIZ
67	1409529.36	582592.362	458.218	CERCO
68	1409515.49	582584.658	458.792	HDE
69	1409516.6	582587.427	458.962	LC
70	1409517.96	582590.2	459.1	HIZ
71	1409502.39	582597.14	458.953	HIZ
72	1409501.08	582594.187	458.813	LC
73	1409500.08	582591.508	458.658	HDE
74	1409483.57	582597.282	458.36	HDE
75	1409484.47	582600.088	458.559	LC
76	1409485.16	582602.976	458.673	HIZ
77	1409462.05	582608.879	458.256	HIZ
78	1409461.37	582606.043	458.172	LC
79	1409460.68	582603.141	457.991	HDE
80	1409444.86	582605.463	457.786	HDE
81	1409445.34	582608.446	458.04	LC
82	1409445.55	582611.399	458.169	HIZ
83	1409453.27	582612.635	457.022	CERCO
84	1409412.01	582607.561	458.074	HDE
85	1409412.31	582610.528	458.233	LC
86	1409412.53	582613.641	458.263	HIZ
87	1409391.58	582614.446	458.55	HIZ
88	1409391.29	582611.41	458.534	LC
89	1409391.16	582608.433	458.443	HDE
90	1409363.78	582604.606	459.153	CERCO

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 3)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
91	1409364	582609.7	459.063	HDE
92	1409364	582612.7	459.118	LC
93	1409364	582615.8	459.119	HIZ
94	1409364	582621.9	459.032	CERCO
95	1409341	582616.6	459.67	HIZ
96	1409340	582613.5	459.711	LC
97	1409340	582610.7	459.677	HDE
98	1409319	582611.7	460.215	HDE
99	1409319	582614.7	460.265	LC
100	1409319	582617.6	460.225	HIZ
101	1409299	582624.5	460.161	CERCO
102	1409298	582618.6	460.744	HIZ
103	1409298	582615.4	460.807	LC
104	1409297	582612.6	460.77	HDE
105	1409297	582608.4	460.659	CERCO
106	1409275	582613.4	461.296	HDE
107	1409275	582616.4	461.384	LC
108	1409276	582619.2	460.285	HIZ
109	1409279	582610.6	461.39	PLU
110	1409252	582626.7	461.488	CERCO
111	1409252	582620.6	461.875	HIZ
112	1409252	582617.4	461.962	LC
113	1409252	582614.4	461.875	HDE
114	1409252	582607.9	461.855	CERCO
115	1409262	582622.5	461.349	PLU
116	1409229	582615.4	462.443	HDE
117	1409229	582618.5	462.53	LC
118	1409229	582621.6	462.43	HIZ
119	1409209	582628.4	462.189	CERCO
120	1409209	582622.5	462.731	HIZ
121	1409209	582619.4	462.86	LC
122	1409209	582616.4	462.801	HDE
123	1409209	582611.2	462.993	CERCO
124	1409208	582613.7	462.962	PLU
125	1409190	582617.1	462.954	HDE
126	1409190	582620	463.053	LC
127	1409190	582623	462.97	HIZ
128	1409166	582629.8	462.193	CERCO

Fuente: Elaboración propia

Tabla V:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 4)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
129	1409165	582624.3	463.181	HIZ
130	1409165	582621	463.298	LC
131	1409165	582618.4	463.227	HDE
132	1409136	582615.8	463.283	CERCO
133	1409136	582619.9	463.347	HDE
134	1409136	582622.8	463.453	LC
135	1409137	582625.9	463.325	HIZ
136	1409127	582627.8	461.49	ISALIDA
137	1409127	582619.3	461.889	IENTRADA
139	1409119	582618.7	462.97	HCUNETA
140	1409109	582619.4	463.877	HCUNETA
141	1409109	582619.8	463.497	FCUNETA
142	1409109	582620.6	463.655	HCUNETA
143	1409109	582621.4	463.73	HDE
144	1409109	582624.4	463.861	LC
145	1409109	582627.4	463.736	HIZ
146	1409088	582628.5	464.441	HIZ
147	1409087	582625.4	464.486	LC
148	1409087	582622.5	464.358	HDE
149	1409087	582621.8	464.372	HCUNETA
150	1409087	582621	464.155	FCUNETA
151	1409087	582620.5	464.491	HCUNETA
152	1409061	582621.2	465.534	HCUNETA
153	1409060	582621.6	465.189	FCUNETA
154	1409060	582622.5	465.347	HCUNETA
155	1409061	582623.6	465.474	HDE
156	1409061	582626.9	465.64	LC
157	1409061	582629.6	465.705	HIZ
158	1409048	582629.9	466.367	HIZ
159	1409048	582627.1	466.256	LC
160	1409047	582622.8	465.958	HCUNETA
161	1409047	582622	465.959	HCUNETA
162	1409047	582621.4	466.333	HCUNETA
163	1409033	582621.2	466.736	HCUNETA
164	1409033	582621.7	466.53	FCUNETA
165	1409033	582622.6	466.642	HCUNETA
166	1409033	582623.6	466.803	HDE
167	1409032	582627.1	467.034	LC

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 4)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
168	1409033	582629.7	467.162	HIZ
169	1409027	582631.2	467.194	CERCO
170	1409018	582628.4	467.797	HIZ
171	1409018	582625.4	467.694	LC
172	1409018	582622	467.487	HDE
173	1409016	582620.5	467.492	HCUNETA
174	1409016	582619.7	467.295	FCUNETA
175	1409016	582619.3	467.632	HCUNETA
176	1409020	582621.5	467.414	ENTRADA
177	1409020	582619.6	467.664	ENTRADA
178	1409022	582616.6	468.474	ENTRADA
179	1409018	582616.3	468.488	ENTRADA
180	1409017	582619.2	467.729	ENTRADA
181	1409016	582620.8	467.538	ENTRADA
182	1409007	582618.9	468	GRADA
183	1409006	582618.7	468.015	GRADA
184	1409007	582617.7	468.243	GRADA
185	1409008	582616.8	468.4	GRADA
186	1409006	582617.3	468.485	GRADA
187	1409006	582616.8	468.721	GRADA
188	1409007	582616.8	468.695	GRADA
189	1409007	582616.3	468.807	GRADA
190	1409006	582616.4	468.789	GRADA
191	1409006	582615.8	468.911	GRADA
192	1409007	582615.9	468.932	GRADA
193	1409008	582615.1	469.041	GRADA
194	1409006	582615.5	469.039	GRADA
195	1409006	582615.1	469.121	GRADA
196	1409007	582615	469.134	GRADA
197	1409007	582614.5	469.269	GRADA
198	1409006	582614.6	469.284	GRADA
199	1409006	582614.3	469.49	GRADA
200	1409007	582614.2	469.495	GRADA
201	1409000	582627.9	468.393	CERCO
202	1409000	582625.1	468.647	HIZ
203	1409001	582621.8	468.476	LC
204	1409002	582617.7	468.126	HCUNETA
205	1409002	582616.9	467.988	FCUNETA

Fuente: Elaboración propia

Tabla VII:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 5)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
206	1409002	582616.5	468.327	HCUNETA
207	1408990	582613.3	468.981	HCUNETA
208	1408990	582613.8	468.685	FCUNETA
209	1408990	582614.5	468.779	HCUNETA
210	1408989	582615.7	468.878	HDE
211	1408988	582618.9	469.096	LC
212	1408988	582621.5	469.242	HIZ
213	1408987	582624.4	468.895	PLU
214	1408992	582612.8	469.359	PLU
215	1408977	582618.1	469.684	HIZ
216	1408978	582615.4	469.578	LC
217	1408979	582612.2	469.339	HDE
218	1408978	582610.5	469.298	HCUNETA
219	1408978	582609.7	469.202	FCUNETA
220	1408978	582609.2	469.45	HCUNETA
221	1408967	582604.6	469.927	HCUNETA
222	1408967	582605	469.633	FCUNETA
223	1408967	582605.8	469.778	HCUNETA
224	1408966	582607.4	469.897	HDE
225	1408965	582610.2	470.026	LC
226	1408964	582612.5	470.143	HIZ
227	1408954	582607.8	470.414	HIZ
228	1408955	582605.3	470.277	LC
229	1408957	582602.8	470.128	HDE
230	1408944	582596.1	470.412	HDE
231	1408943	582598.7	470.559	LC
232	1408937	582599.4	470.807	HIZ
233	1408934	582596.1	470.809	HIZ
234	1408935	582593.6	470.641	LC
235	1408937	582591.2	470.476	HDE
236	1408940	582593	470.456	HDE
237	1408938	582595.2	470.636	LC
238	1408936	582597.4	470.798	HIZ
239	1408929	582592.1	470.806	HIZ
240	1408930	582589.6	470.66	LC
241	1408932	582587.4	470.593	HDE
242	1408931	582583	470.374	HCUNETA
243	1408931	582583.2	470.268	FCUNETA

Fuente: Elaboración propia

Tabla VIII:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 6)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
244	1408930	582583.8	470.332	HCUNETA
245	1408924	582581.3	470.447	HDE
246	1408922	582583.4	470.678	LC
247	1408920	582585.3	470.778	HIZ
248	1408912	582577.9	470.675	HIZ
249	1408914	582575.7	470.526	LC
250	1408916	582573.6	470.36	HDE
251	1408917	582572.4	470.235	HCUNETA
252	1408918	582571.9	470.151	FCUNETA
253	1408918	582571.5	470.311	HCUNETA
254	1408908	582565.2	470.134	HDE
255	1408905	582567.3	470.335	LC
256	1408903	582569.3	470.463	HIZ
257	1408925	582600.8	469.926	CERCO
258	1408892	582567.1	466.456	CERCO
259	1408880	582551	467.76	CERCO
260	1408896	582561	470.171	HIZ
261	1408898	582558.9	470.033	LC
262	1408900	582557	469.815	HDE
263	1408893	582547.6	469.515	HDE
264	1408891	582549.6	469.678	LC
265	1408888	582551.3	469.814	HIZ
266	1408881	582541.7	469.446	HIZ
267	1408883	582539.8	469.35	LC
268	1408886	582538.4	469.252	HDE
269	1408887	582537.5	469.22	HCUNETA
270	1408887	582537.1	469.16	FCUNETA
271	1408888	582536.9	469.322	HCUNETA
272	1408880	582527.4	468.865	HCUNETA
273	1408880	582527.5	468.743	FCUNETA
274	1408880	582527.8	468.87	HCUNETA
275	1408880	582525.7	468.87	HCUNETA
276	1408880	582526.1	468.678	FCUNETA
277	1408879	582526.5	468.837	HCUNETA
278	1408870	582514.9	467.103	IENTRADA
279	1408869	582516.1	468.713	HDE
280	1408867	582517.7	468.886	LC
281	1408865	582519.1	468.807	HIZ

Fuente: Elaboración propia

Tabla IX:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 7)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
282	1408862	582519.5	466.847	ISALIDA
283	1408853	582513.1	467.108	CERCO
284	1408879	582518.5	468.776	CERCO
285	1408864	582498.9	469.05	CERCO
286	1408862	582506.1	468.78	HDE
287	1408860	582507.8	468.853	LC
288	1408857	582509.1	468.766	HIZ
289	1408847	582503.6	467.8	LC CERCO
290	1408845	582492.6	468.887	HIZ
291	1408847	582491	468.997	LC
292	1408849	582489.4	468.971	HDE
293	1408841	582468.2	469.303	CERCO
294	1408837	582471.6	469.177	HDE
295	1408835	582473.2	469.188	LC
296	1408832	582474.7	469.04	HIZ
297	1408843	582497.9	467.999	CERCO
298	1408850	582499.6	468.804	ENTRADA
299	1408854	582505.1	468.759	ENTRADA
300	1408849	582506.6	467.683	ENTRADA
301	1408847	582503.5	467.763	ENTRADA
302	1408135	582054.8	491.54	TN
303	1408135	582057.7	491.457	TN
304	1408135	582061	490.467	TN
305	1408135	582063.9	488.928	TN
306	1408148	582062.9	488.529	TN
307	1408147	582060.5	489.43	TN
308	1408147	582057	490.522	HIZ
309	1408147	582054.2	490.617	LC
310	1408146	582051.3	490.631	HDE
311	1408161	582050.9	489.876	HDE
312	1408161	582053.4	489.987	LC
313	1408161	582056	489.886	HIZ
314	1408161	582059.2	489.225	TN
315	1408162	582062.2	488.364	TN
316	1408176	582059.5	488.507	TN
317	1408176	582056.8	489.132	TN
318	1408176	582054.9	489.452	HIZ
319	1408176	582052.6	489.5	LC

Fuente: Elaboración propia

Tabla X:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 8)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
320	1408176	582050	489.421	HDE
321	1408177	582047.2	489.359	TN
322	1408192	582046.2	488.704	TN
323	1408192	582049.1	488.881	HDE
324	1408192	582051.9	488.996	LC
325	1408193	582054.5	488.853	HIZ
326	1408193	582057.5	487.894	TN
327	1408193	582059.1	487.575	TN
328	1408210	582057.4	487.571	TN
329	1408210	582055.9	487.8	TN
330	1408210	582053.6	488.473	HIZ
331	1408210	582053.6	488.476	HIZ
332	1408210	582051.1	488.543	LC
333	1408210	582048.6	488.437	HDE
334	1408209	582045.6	488.147	TN
335	1408209	582043.8	488.359	TN
336	1408224	582044.6	488.485	TN
337	1408224	582048	488.148	HDE
338	1408224	582050.4	488.185	LC
339	1408225	582053.1	488.117	HIZ
340	1408225	582056.4	487.673	TN
341	1408241	582056.2	487.304	TN
342	1408240	582052.4	487.572	HIZ
343	1408240	582049.6	487.627	LC
344	1408240	582047.1	487.556	HDE
345	1408240	582043.6	488.348	TN
346	1408254	582042.4	488.119	TN
347	1408254	582046.3	486.973	HDE
348	1408254	582048.9	487.075	LC
349	1408254	582051.6	486.97	HIZ
350	1408255	582055.6	486.226	TN
351	1408270	582055	485.534	TN
352	1408269	582050.5	486.277	HIZ
353	1408269	582048	486.372	LC
354	1408269	582045.4	486.287	HDE
355	1408269	582041.9	486.137	TN
356	1408283	582040.7	485.422	TN
357	1408283	582044.4	485.551	HDE

Fuente: Elaboración propia

Tabla XI:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 9)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
358	1408283	582047.2	485.753	LC
359	1408284	582049.4	485.674	HIZ
360	1408284	582051.9	485.43	TN
361	1408298	582050.8	484.225	TN
362	1408298	582048.3	484.981	HIZ
363	1408298	582046.3	485.033	LC
364	1408298	582043.4	484.92	HDE
365	1408298	582039.1	484.862	TN
366	1408312	582038.2	484.295	TN
367	1408312	582042.3	484.122	HDE
368	1408313	582045.3	484.206	LC
369	1408313	582047.4	484.162	HIZ
370	1408314	582050.2	483.507	TN
371	1408329	582049.5	482.46	TN
372	1408328	582046.4	483.32	HIZ
373	1408328	582044.3	483.393	LC
374	1408329	582041.8	483.258	HDE
375	1408329	582037.7	483.519	TN
376	1408345	582037.1	481.807	TN
377	1408345	582040.5	482.368	HDE
378	1408346	582043.3	482.491	LC
379	1408346	582045.8	482.418	HIZ
380	1408346	582048.5	481.922	TN
381	1408360	582047.8	481.127	TN
382	1408360	582044.9	481.674	HIZ
383	1408360	582042.5	481.704	LC
384	1408360	582039.8	481.659	HDE
385	1408360	582036.5	480.855	TN
386	1408375	582035.7	480.114	TN
387	1408376	582039.1	480.905	HDE
388	1408376	582041.9	480.937	LC
389	1408376	582044.2	480.857	HIZ
390	1408376	582047.1	480.202	TN
391	1408391	582046.6	479.45	TN
392	1408391	582043.7	480.123	HIZ
393	1408390	582041	480.233	LC
394	1408390	582038.3	480.298	HDE

Fuente: Elaboración propia

Tabla XII:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 10)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
395	1408390	582034.7	479.456	TN
396	1408405	582033.6	479.583	TN
397	1408405	582037.2	479.781	HDE
398	1408405	582040.6	479.557	LC
399	1408405	582043.1	479.439	HIZ
400	1408406	582045	479.092	TN
401	1408710	582290.9	470.398	TN
402	1408708	582292.1	470.433	TN
403	1408705	582294.2	471.045	HDE
404	1408703	582295.3	471.13	LC
405	1408701	582296.9	471.016	HIZ
406	1408697	582299.8	469.908	TN
407	1408687	582287.7	470.121	TN
408	1408690	582285.6	470.739	TN
409	1408692	582284.3	471.222	HIZ
410	1408694	582282.4	471.316	LC
411	1408695	582280.5	471.252	HDE
412	1408698	582278.3	470.559	TN
413	1408699	582276.7	470.56	TN
414	1408691	582264.5	470.855	TN
415	1408688	582265.5	470.909	TN
416	1408686	582267.3	471.469	HDE
417	1408683	582268.6	471.574	LC
418	1408681	582269.9	471.499	HIZ
419	1408678	582271.9	470.626	TN
420	1408676	582273.4	470.682	TN
421	1408667	582261.4	470.827	TN
422	1408669	582258.9	470.961	TN
423	1408671	582257	471.697	HIZ
424	1408674	582255.2	471.829	LC
425	1408675	582253.4	471.747	HDE
426	1408677	582250.8	471.309	TN
427	1408679	582249	471.169	TN
428	1408671	582238	471.429	TN
429	1408669	582240.1	471.501	TN
430	1408667	582241.4	471.914	HDE
431	1408665	582242.9	472.046	LC
432	1408663	582243.9	471.993	HIZ

Fuente: Elaboración propia

Tabla XIII:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 11)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
433	1408659	582245.7	471.175	TN
434	1408656	582246.1	471.128	TN
435	1408647	582234.7	471.446	TN
436	1408650	582232.2	471.672	TN
437	1408652	582230.2	472.276	HIZ
438	1408654	582228.5	472.349	LC
439	1408656	582226.8	472.281	HDE
440	1408658	582225	472.02	TN
441	1408660	582223.8	472.109	TN
442	1408651	582212	472.197	TN
443	1408649	582213.4	472.269	TN
444	1408647	582214.9	472.519	HDE
445	1408645	582216.2	472.571	LC
446	1408643	582217.6	472.528	HIZ
447	1408641	582219.8	472.1	TN
448	1408638	582221.8	471.836	TN
449	1408629	582210	472.136	TN
450	1408631	582207.8	472.282	TN
451	1408634	582205.5	472.77	HIZ
452	1408635	582203.7	472.812	LC
453	1408637	582201.4	472.78	HDE
454	1408639	582199.4	472.562	TN
455	1408641	582198	472.695	TN
456	1408632	582187	472.803	TN
457	1408630	582188.4	472.857	TN
458	1408628	582189.5	473.026	HDE
459	1408626	582191	473.099	LC
460	1408624	582192.3	473.009	HIZ
461	1408620	582193.5	472.578	TN
462	1408618	582195	472.373	TN
463	1408609	582182.6	472.604	TN
464	1408611	582180.5	472.731	TN
465	1408613	582178.4	473.285	HIZ
466	1408615	582176.9	473.365	LC
467	1408618	582175.6	473.352	HDE
468	1408621	582174.5	473.132	TN
469	1408612	582159.2	473.52	TN
470	1408610	582160.5	473.602	TN

Fuente: Elaboración propia

Tabla XIV:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 12)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
471	1408608	582161.5	473.607	HDE
472	1408605	582162.8	473.641	LC
473	1408603	582163.7	473.557	HIZ
474	1408599	582165.6	473.011	TN
475	1408598	582166.3	472.945	TN
476	1408587	582155	473.065	TN
477	1408590	582152.5	473.26	TN
478	1408592	582150.9	473.832	HIZ
479	1408595	582148.8	473.929	LC
480	1408597	582146.6	473.917	HDE
481	1408599	582144.2	473.899	TN
482	1408590	582133.7	473.958	TN
483	1408588	582134.9	474.248	HDE
484	1408585	582136.6	474.209	LC
485	1408583	582137.8	474.153	HIZ
486	1408581	582139.5	473.728	TN
487	1408577	582141.9	473.333	TN
488	1408568	582129.2	473.568	TN
489	1408571	582127	473.737	TN
490	1408573	582124.8	474.346	HIZ
491	1408575	582123.3	474.494	LC
492	1408577	582120.9	474.66	HDE
493	1408579	582119.6	474.581	TN
494	1408569	582107.8	474.424	TN
495	1408568	582108.6	474.915	HDE
496	1408565	582110.3	474.753	LC
497	1408563	582112.1	474.573	HIZ
498	1408561	582113.8	474.125	TN
499	1408557	582115	473.991	TN
500	1408547	582104.4	474.302	TN
501	1408549	582101.5	474.435	TN
502	1408551	582098.6	474.895	HIZ
503	1408552	582096.7	475.037	LC
504	1408554	582093.6	475.257	HDE
505	1408556	582090.5	474.46	TN
506	1408547	582079.5	474.829	TN
507	1408545	582081.4	474.965	TN
508	1408543	582083.6	475.533	HDE

Fuente: Elaboración propia

Tabla XV:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 13)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
509	1408541	582086.1	475.365	LC
510	1408539	582087.9	475.141	HIZ
511	1408537	582090.5	474.616	TN
512	1408535	582092.1	474.477	TN
513	1408526	582085.9	474.32	TN
514	1408529	582083.1	474.888	TN
515	1408531	582081.1	475.375	HIZ
516	1408532	582079.3	475.55	LC
517	1408534	582076.8	475.721	HDE
518	1408535	582073.8	475.122	TN
519	1408538	582071.3	475.015	TN
520	1408525	582068.8	475.713	ALC
521	1408525	582069.1	475.736	ALC
522	1408521	582066.7	475.674	ALC
523	1408521	582066.9	475.694	ALC
524	1408524	582078.5	475.419	ALC
525	1408524	582078.3	475.416	ALC
526	1408521	582076.8	475.384	ALC
527	1408521	582076.7	475.402	ALC
528	1408512	582076.1	474.35	TN
529	1408514	582073.6	475.043	TN
530	1408516	582070.9	475.715	HIZ
531	1408516	582068.9	475.885	LC
532	1408517	582065.3	476.106	HDE
533	1408517	582065.1	475.828	TN
534	1408517	582063.4	475.286	TN
535	1408509	582059.1	475.524	TN
536	1408508	582060.3	476.049	TN
537	1408508	582060.5	476.335	HDE
538	1408506	582063.1	476.145	LC
539	1408505	582065.2	475.991	HIZ
540	1408503	582067.3	475.48	TN
541	1408500	582069.4	475.09	TN
542	1408492	582066	475.622	TN
543	1408493	582062.8	475.905	TN
544	1408494	582060.4	476.266	HIZ
545	1408495	582057.9	476.469	LC
546	1408496	582054.7	476.657	HDE

Fuente: Elaboración propia

Tabla XVI:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 14)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
547	1408496	582054.4	476.448	TN
548	1408496	582052.5	475.947	TN
549	1408487	582049.7	476.605	TN
550	1408486	582050.7	476.774	TN
551	1408486	582050.8	476.917	HDE
552	1408485	582053.9	476.724	LC
553	1408484	582056.1	476.545	HIZ
554	1408483	582058.8	476.196	TN
555	1408481	582062	476.158	TN
556	1408471	582057.2	476.514	TN
557	1408471	582054.4	476.765	TN
558	1408472	582051.9	476.914	HIZ
559	1408473	582049.5	477.064	LC
560	1408475	582046.3	477.273	HDE
561	1408475	582046.1	477.093	TN
562	1408475	582044.3	476.653	TN
563	1408467	582041.5	477.136	TN
564	1408466	582043.6	477.419	TN
565	1408466	582043.8	477.534	HDE
566	1408465	582046.9	477.332	LC
567	1408465	582049.6	477.164	HIZ
568	1408464	582052.2	476.772	TN
569	1408463	582055.1	476.623	TN
570	1408453	582053.9	476.929	TN
571	1408454	582050.5	476.952	TN
572	1408455	582046.8	477.521	HIZ
573	1408455	582044.4	477.695	LC
574	1408456	582041.2	477.897	HDE
575	1408456	582040.9	477.826	TN
576	1408455	582039.1	477.447	TN
577	1408446	582037.7	477.385	TN
578	1408446	582039.1	477.892	TN
579	1408446	582039.3	478.24	HDE
580	1408446	582042.7	477.969	LC
581	1408445	582044.7	477.883	HIZ
582	1408444	582048.5	477.472	TN
583	1408443	582052.1	477.186	TN
584	1408433	582051.5	477.409	TN

Fuente: Elaboración propia

Tabla XVII:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 15)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
585	1408433	582047.7	477.678	TN
586	1408434	582043.5	478.275	HIZ
587	1408435	582041.1	478.414	LC
588	1408435	582037.9	478.613	HDE
589	1408436	582035.4	478.316	TN
590	1408426	582035.4	478.524	TN
591	1408426	582037.1	478.963	HDE
592	1408425	582040.5	478.789	LC
593	1408425	582043.1	478.588	HIZ
594	1408425	582046.6	478.074	TN
595	1408425	582050.2	477.911	TN
596	1408416	582047.2	478.558	TN
597	1408416	582044.5	478.656	TN
598	1408416	582042.8	478.938	HIZ
599	1408417	582040.5	479.099	LC
600	1408416	582036.9	479.354	HDE
601	1408416	582034.6	478.891	TN
602	1408417	582031.9	478.758	TN
603	1408427	582032.2	478.662	TN
604	1408437	582033.8	478.406	TN
605	1408447	582034.8	477.299	TN
606	1408446	582037.1	477.007	TN
607	1408456	582038.3	476.875	TN
608	1408457	582036.1	476.859	TN
609	1408465	582038.4	476.726	TN
610	1408465	582040	476.322	TN
611	1408473	582042.1	475.841	TN
612	1408474	582040.3	476.194	TN
613	1408480	582041.6	475.907	TN
614	1408479	582044.3	475.711	TN
615	1408487	582044.7	475.223	TN
616	1408485	582046.7	475.072	TN
617	1408495	582048	475.139	TN
618	1408495	582050.1	474.93	TN
619	1408504	582051.6	474.665	TN
620	1408503	582053.8	474.43	TN
621	1408513	582055.7	474.424	TN
622	1408511	582058.7	474.347	TN

Fuente: Elaboración propia

Tabla XVIII:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 16)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
623	1408517	582062.1	473.769	TN
624	1408518	582058.3	474.171	TN
625	1408525	582064.1	474.166	TN
626	1408523	582066.7	473.899	TN
627	1408707	582317.5	469.7	TN
628	1408710	582315.2	469.82	TN
629	1408713	582312.8	470.88	HIZ
630	1408715	582311.6	470.942	LC
631	1408717	582310.6	470.862	HDE
632	1408720	582309.2	470.43	TN
633	1408721	582308.9	470.015	TN
634	1408735	582324	470.189	TN
635	1408733	582325.8	470.239	TN
636	1408730	582328.1	470.692	HDE
637	1408728	582329.6	470.761	LC
638	1408726	582330.7	470.677	HIZ
639	1408723	582332.9	469.979	TN
640	1408720	582335.5	469.719	TN
641	1408733	582350.4	469.629	TN
642	1408735	582348.2	470.016	TN
643	1408737	582346.6	470.542	HIZ
644	1408740	582344.4	470.601	LC
645	1408742	582343.3	470.523	HDE
646	1408744	582341.7	470.306	TN
647	1408746	582339.4	470.111	TN
648	1408758	582353.8	470.267	TN
649	1408755	582355.9	470.255	TN
650	1408753	582358.2	470.386	HDE
651	1408751	582359.8	470.434	LC
652	1408749	582361.9	470.35	HIZ
653	1408747	582363.8	469.718	TN
654	1408744	582365.5	469.664	TN
655	1408755	582380.3	469.81	TN
656	1408758	582378.5	469.813	TN
657	1408760	582376.8	470.192	HIZ
658	1408762	582375.3	470.284	LC
659	1408764	582373.3	470.214	HDE
660	1408767	582371.2	470.167	TN

Fuente: Elaboración propia

Tabla XIX:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 17)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
661	1408769	582369.1	470.543	TN
662	1408780	582383.9	470.518	TN
663	1408777	582385.9	470.047	TN
664	1408775	582387.9	470.045	HDE
665	1408773	582389.4	470.106	LC
666	1408771	582391.3	470.062	HIZ
667	1408768	582393.6	469.692	TN
668	1408766	582395.9	469.703	TN
669	1408776	582411.9	469.481	TN
670	1408780	582409	469.581	TN
671	1408782	582407.1	469.875	HIZ
672	1408785	582405.4	469.943	LC
673	1408786	582403.8	469.92	HDE
674	1408789	582401.7	469.873	TN
675	1408791	582399.2	470.248	TN
676	1408801	582415.6	469.729	TN
677	1408799	582417.3	469.648	TN
678	1408797	582418.6	469.759	HDE
679	1408795	582419.6	469.794	LC
680	1408793	582420.9	469.716	HIZ
681	1408791	582422.7	469.455	TN
682	1408787	582425.4	469.482	TN
683	1408799	582439.3	469.113	TN
684	1408801	582437.5	469.247	TN
685	1408804	582435.5	469.536	HIZ
686	1408806	582433.6	469.601	LC
687	1408807	582432.5	469.596	HDE
688	1408810	582431	469.575	TN
689	1408812	582429.4	469.723	TN
690	1408822	582443	469.493	TN
691	1408819	582444.9	469.376	TN
692	1408818	582446.1	469.455	HDE
693	1408816	582447.8	469.466	LC
694	1408814	582449.6	469.388	HIZ
695	1408812	582451	468.839	TN
696	1408809	582453	468.657	TN
697	1408820	582467.9	468.274	TN
698	1408823	582465.4	468.577	TN

Fuente: Elaboración propia

Tabla 119:

Datos de levantamiento topográfico (Parte 18)

Punto	N	O	Elev. (m)	Descripción
699	1408825	582463.9	469.237	HIZ
700	1408827	582462.1	469.32	LC
701	1408828	582460.3	469.275	HDE
702	1408830	582458.7	469.229	TN
703	1408828	582450.5	469.413	TN

Fuente: Elaboración propia

Figura 60: Captura de puntos con prisma



Fuente: Elaboración propia

Figura 61: Uso de estación total Nikon DTM-322



Fuente: Elaboración propia

Figura 62: Imagen satelital de los BM del tramo.



Fuente: <https://earth.google.com/static/multi-threaded/versions/10.49.0.0/index.html?authuser=0#@12.74709576,86.23811019,463.05274405a,2567.68120856d,30y,96.19247476h,51.19716708t,0r/data=OgMKATA>

Figura 63: BM número 13



Fuente: Elaboración propia

Figura 64: BM número 14



ESTACION	*	*	LECTURA	DI.	DC.
	$\rho_{\text{CAMPO}} = 4 \text{ mm} \angle$		$\rho_{\text{LAB}} = 0 \text{ mm} \angle 0.2 \text{ K}^\circ$		
EST	+	$\bar{\lambda}$	-	LECT	COTA
BM-11	2.550	450.366			448.416
T.P	2.842		0.241		
T.P	2.883		0.187		
BM-12	0.212		0.619		453.642
T.P	0.439		2.173		
T.P	0.244		3.038		
BM-11			2.554		448.416
	$\rho_{\text{CAMPO}} = 3 \text{ mm} \angle$		$\rho_{\text{LAB}} = 0 \text{ mm} \angle 0.2 \text{ K}^\circ$		
BM-12	1.582	457.024			455.642
T.P	1.919		1.691		
BM-13	1.403		1.689		453.413
T.P	1.012		1.285		
BM-12			0.263		455.642
	$\rho_{\text{CAMPO}} = 2 \text{ mm}$				
BM-13	1.581	457.019			455.419
T.P	2.161		0.841		
T.P	2.286		0.534		
BM-14	1.821		1.021		458.030
T.P	0.652		2.139		
T.P	0.829		2.263		
BM-15			1.580		455.419

XXIII

Figura 66:Libreta de campo (Parte 2)

ESTACION	*	*	LECTURA	DI	D.C.
Est.	+	X	—	Lect.	Cota
BM-14	1.663	458.753			458.090
T.P.	1.817		1.584		
T.P.	2.048		0.171		
BM-15	0.923		1.013		460.845
T.P.	0.263		1.853		
T.P.	1.388		1.909		
BM-14				1.467	458.090
Est.	+	X	—	Lect.	Cota
BM-15	2.891	468.706			460.845
T.P.	1.832		0.625		
T.P.	4.609		0.344		
BM-16	0.324		0.178		469.031
T.P.	0.345		4.756		
T.P.	0.969		1.832		
BM-15				3.030	460.845
Est.	+	X	—	Lect.	Cota
BM-16	2.649	471.100			469.031
T.P.	0.101		0.997		
BM-17	2.056		1.677		469.727
T.P.	0.511		0.345		
BM-16				2.470	469.031

Fuente: Elaboración propia

Figura 67:Libreta de campo (Parte 3)

ESTACION	*	*	LECTURA	DI	D.C.
Est.	+	X	—	Lect.	Cota
BM-17	0.988	478.315			469.727
T.P.	1.953		1.169		
T.P.	1.916		0.901		
BM-18	0.392		1.066		470.853
T.P.	0.971		1.823		
T.P.	1.242		1.629		
BM-17				0.661	469.727
Est.	+	X	—	Lect.	Cota
BM-18	2.281	473.134			470.853
T.P.	2.369		0.401		
T.P.	1.699		0.500		
BM-19	1.126		1.207		474.986
T.P.	0.442		1.517		
T.P.	0.633		2.303		
BM-18				2.514	470.853
Est.	+	X	—	Lect.	Cota
BM-19	2.681	477.667			474.986
T.P.	2.127		0.130		
BM-20	0.695		0.376		479.493
T.P.	0.621		2.642		
BM-19				2.581	474.986

Fuente: Elaboración propia

Figura 68: Seccionamiento de estaciones



Fuente: Elaboración propia

Figura 69: Sondeo para estudio de suelo (Parte 1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 70: Sondeo para estudio de suelo (Parte 2)



Fuente: Elaboración propia

Figura 71: Ensayos de las muestras de los sondeos (Parte 1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 72: Ensayos de las muestras de los sondeos (Parte 2)



Fuente: Elaboración propia

Figura 73: Clasificación AASHTO

Tabla 4.1 Clasificación de materiales de carreteras subrasantes							
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
							A-7
Grupo de clasificación	A-4			A-5	A-6	A-7.5*	
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)						A-7.6†	
Núm. 10							
Núm. 40							
Núm. 200	36 mín.			36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido	40 máx.			41 mín.	40 máx.	41 mín.	
Índice de plasticidad	10 máx.			10 máx.	11 mín.	11 mín.	
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo						
*Para A-7.5, $PI \leq LL - 30$							
†Para A-7.6, $PI > LL - 30$							

*Para A-7.5, $PI \leq LL - 30$
†Para A-7.6, $PI > LL - 30$

Fuente: (M.Das, 2015, pág. 79)

Figura 74: Banco de material San Esteban



Fuente: Elaboración propia

Figura 75: Aforo vehicular del tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 76: Diagrama de cargas permisibles

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

Fuente: <https://www.mti.gob.ni/>

Figura 77: 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, Minimoto, Cuadriciclos, 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 pasajeros 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. También se incluyen las furgonetas 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, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 28)

Tabla

Formato para control de aforo vehicular

Tramo:										Est:							
Sentido:										Fecha							
Hora		Bici	Moto	Vehiculos de Pasajeros						Vehículos de Carga				Equipos Pesados		Otros	Vol.
				Autos	Jeep	Cam .	Mc Bus	Mn Bu s	Bu s	T2S1 /T2S 2/T3 S1	T2S3/ T2S2/ T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V. A	V.C.		
6:00	7:00																
7:00	8:00																
8:00	9:00																
9:00	10:00																
10:00	11:00																
11:00	12:00																
12:00	13:00																
13:00	14:00																
14:00	15:00																
15:00	16:00																
16:00	17:00																
17:00	18:00																
Volumen (12 horas diurnas)																	

Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020).

Tabla

Valores de peralte según radio y velocidad de diseño:

Velocidad de Diseño (KPH)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo = 4%		Grado de Curvatura	Peralte máximo = 6%		Grado de Curvatura
		Radio (m)			Radio (m)		
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
20	0.35	8.1	8	143°14´	7.7	8	143°14´
30	0.28	22.1	22	52°05´	20.8	21	54°34´
40	0.23	46.7	47	24°23´	43.4	43	26°39´
50	0.19	85.6	86	13°19´	78.7	79	14°30´
60	0.17	135	135	08°29´	123.2	123	09°19´
70	0.15	203.1	203	06°14´	183.7	184	06°14´
80	0.14	280	280	04°06´	252	252	04°33´
90	0.13	375.2	375	03°03´	335.7	336	03°25´
100	0.12	492.1	492	02°20´	437.4	437	02°37´
110	0.11				560.4	560	02°03´
120	0.09				755.9	756	01°31´
Velocidad de Diseño (KPH)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo = 8%		Grado de Curvatura	Peralte máximo = 10%		Grado de Curvatura
		Radio (m)			Radio (m)		
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
20	0.35	7.3	7	163°42´	7	7	163°42´
30	0.28	19.7	10	57°18´	18.6	19	60°19´
40	0.23	40.6	41	27°57´	38.2	38	30°09´
50	0.19	72.9	73	15°42´	67.9	68	16°51´
60	0.17	113.4	113	10°08´	105	105	10°55´
70	0.15	167.8	168	06°49´	154.3	154	07°26´
80	0.14	229.1	229	05°00´	210	210	05°27´
90	0.13	303.7	304	03°46´	277.3	277	04°08´
100	0.12	393.7	394	02°55´	357.9	358	03°12´
110	0.11	501.5	501	02°17´	453.7	454	02°31´
120	0.09	667	667	01°43´	596.8	597	01°55´

Fuente: (SIECA, 2011, pág. 89)

Tabla 122:

Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de visibilidad de parada (m)	Tasa de Curvatura vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52	52
110	220	73.6	74
120	250	95	95

Fuente: (SIECA, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pág. 125)

Tabla 123:

Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de visibilidad de parada (m)	Tasa de Curvatura vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63

Fuente: (SIECA, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pág. 125)

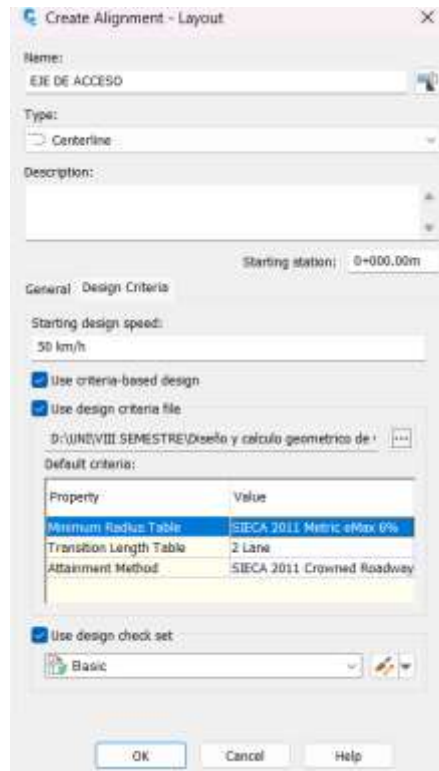
Tabla 124:

Sobreeancho de curva según velocidad y radio.

Radio de Curva	Ancho de calzada 7.20m						Ancho de calzada 6.6m						Ancho de calzada 6.0m					
	Velocidad de diseño KPH						Velocidad de diseño KPH						Velocidad de diseño KPH					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1	1			1.1	1.2	1.3	1.6			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.3				
100	1.6	1.7					1.9	2					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

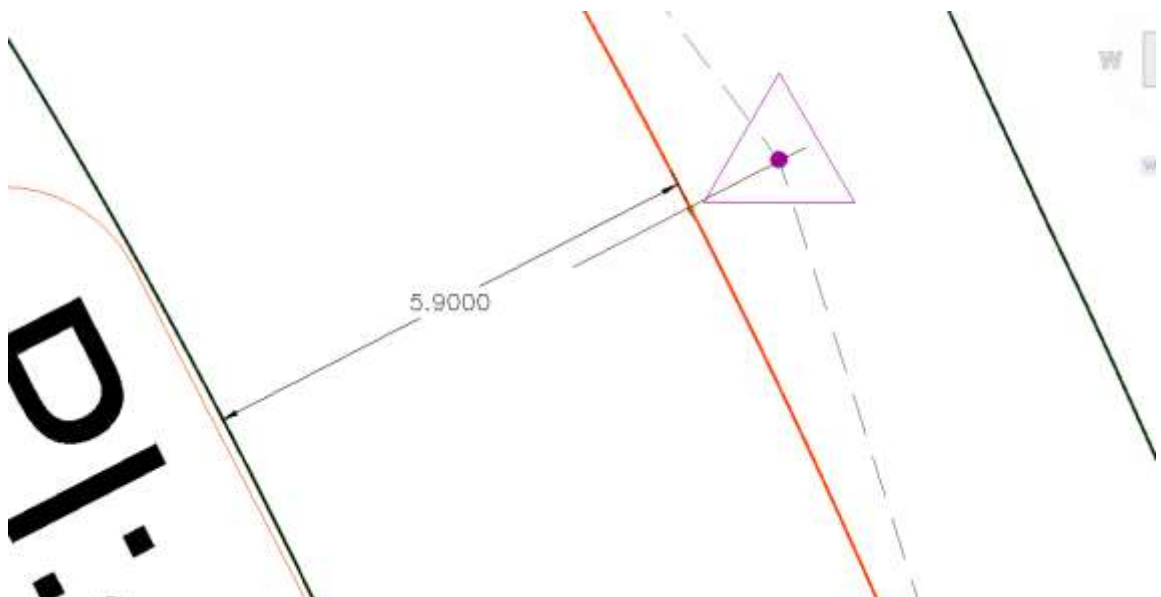
Fuente: (SIECA, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011, pág. 111)

Figura 78: Creación de alineamiento en Civil 3D



Fuente: Elaboración propia

Figura 79: Curva con sobreancho



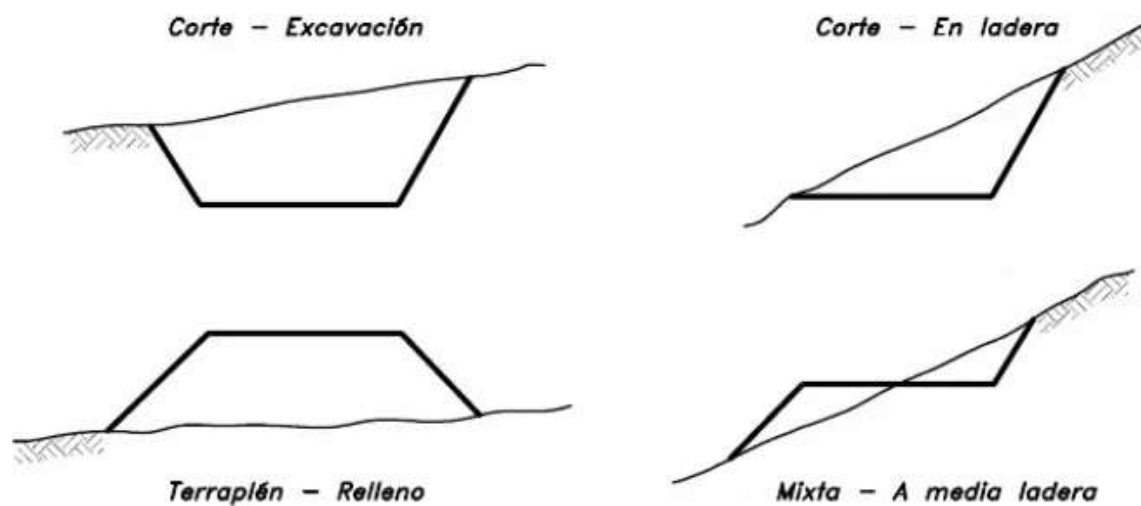
Fuente: Elaboración propia

Figura 80: Datos del tramo

Side	Left	☐	<None>
Width	3.600m	☐	<None>
Default Slope	-2.00%	☐	<None>
Pave1 Depth	0.102m	☐	<None>
Pave2 Depth	0.050m	☐	<None>
Base Depth	0.102m	☐	<None>
Sub-base Depth	0.000m	☐	<None>
Use Superelevation	Left Lane Outside	☐	<None>
Slope Direction	Away from Crown	☐	<None>
Potential Pivot	Yes	☐	<None>
Inside Point Code	Crown	☐	<None>
Outside Point Code	Edge of Pavement(ETW)	☐	<None>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 81: Secciones transversales



Fuente: (Corral, 2017, pág. 16)

Figura 82: Medición de alineamiento horizontal para topografía



Fuente: Elaboración propia

Figura 83: Alineamiento horizontal en recta



Fuente: Elaboración propia

Figura 84: Resultado del número estructural SN1

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: ☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 85 % Zr=-1.037 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4.2 PSI final 2.0

Módulo resiliente de la subrasante: Mr 570000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis: ☒ Calcular SN ☐ Calcular W18

W18 = 272058

Número Estructural: SN = 0.23

Calcular Salir

Fuente. Elaboración propia

Figura 85: Resultado del número estructural SN2

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: ☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 85 % Zr=-1.037 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr 16000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis: ☒ Calcular SN ☐ Calcular W18

W18 = 272058

Número Estructural: SN = 1.99

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia

Figura 86: Resultado número estructural SN3

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento:
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):
 85 % Zr=-1.037 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final:
 PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante:
 Mr 13612.85 psi

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

Tipo de Análisis:
☒ Calcular SN **W18 = 272058**
☐ Calcular W18

Número Estructural:
SN = 2.11

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia

Tabla 125:

Pendientes de línea central parte 1.

Puntos del eje central para cálculo de pendiente longitudinal					
Punto	Norte	Oeste	Distancia	Elevación	Pendiente
3	1409802	582409.75		455.652	-0.77%
8	1409782.4	582415.59	20.48	455.494	0.28%
31	1409702.5	582461.78	92.32	455.748	1.82%
36	1409674.8	582480.74	33.53	456.357	1.78%
41	1409648.2	582499.16	32.4	456.933	1.90%
44	1409611.9	582524.85	44.43	457.777	1.78%
49	1409584.4	582543.68	33.34	458.37	1.59%
52	1409559.7	582560.57	29.88	458.845	0.23%
69	1409516.6	582587.43	50.82	458.962	-0.88%
72	1409501.1	582594.19	16.93	458.813	-1.44%
75	1409484.5	582600.09	17.62	458.559	-1.62%
78	1409461.4	582606.04	23.86	458.172	-0.81%
81	1409445.3	582608.45	16.21	458.04	0.58%
85	1409412.3	582610.53	33.1	458.233	1.43%
88	1409391.3	582611.41	21.04	458.534	2.13%
92	1409363.9	582612.73	27.42	459.118	2.50%

Fuente: Elaboración propia

Tabla XLI:

Pendientes de línea central parte 2.

Puntos del eje central para cálculo de pendiente longitudinal					
Punto	Norte	Oeste	Distancia	Elevación	Pendiente
96	1409340.2	582613.49	23.7	459.711	2.64%
99	1409319.2	582614.66	21.01	460.265	2.49%
103	1409297.5	582615.44	21.74	460.807	2.55%
107	1409274.9	582616.39	22.67	461.384	2.54%
112	1409252.1	582617.38	22.78	461.962	2.48%
117	1409229.3	582618.52	22.88	462.53	1.63%
121	1409209.1	582619.41	20.19	462.86	1.01%
126	1409190	582619.96	19.1	463.053	0.98%
130	1409165	582621.01	24.99	463.298	0.54%
134	1409136.4	582622.78	28.68	463.453	1.48%
144	1409109	582624.41	27.48	463.861	2.91%
147	1409087.5	582625.36	21.5	464.486	4.31%
156	1409060.7	582626.91	26.79	465.64	4.65%
159	1409047.5	582627.1	13.24	466.256	5.18%
167	1409032.5	582627.14	15.02	467.034	4.61%
171	1409018.3	582625.44	14.32	467.694	4.37%
203	1409000.7	582621.76	17.9	468.476	4.91%
211	1408988.4	582618.87	12.64	469.096	4.42%
216	1408978.1	582615.37	10.91	469.578	3.19%
225	1408965.1	582610.23	14.03	470.026	2.30%
228	1408955.3	582605.31	10.93	470.277	2.01%
231	1408942.9	582598.68	14.06	470.559	0.91%
234	1408935.4	582593.65	9.06	470.641	-0.18%
237	1408937.6	582595.23	2.76	470.636	0.26%
240	1408930.3	582589.6	9.25	470.66	0.17%
246	1408921.8	582583.37	10.55	470.678	-1.39%
249	1408914	582575.7	10.92	470.526	-1.56%
255	1408905.1	582567.29	12.22	470.335	-2.77%
261	1408898.2	582558.87	10.92	470.033	-2.96%
264	1408890.7	582549.56	11.98	469.678	-2.72%
267	1408883.5	582539.84	12.07	469.35	-1.67%
280	1408866.8	582517.68	27.75	468.886	-0.27%
287	1408859.5	582507.82	12.26	468.853	0.70%
291	1408847.5	582490.96	20.7	468.997	0.87%
295	1408834.6	582473.24	21.9	469.188	

Fuente: Elaboración propia

Tabla XLII:

Pendientes de línea central parte 3.

Puntos del eje central para cálculo de pendiente longitudinal					
Punto	Norte	Oeste	Distancia	Elevación	Pendiente
309	1408146.9	582054.18		490.617	-4.49%
312	1408160.9	582053.45	14.04	489.987	-3.28%
319	1408175.7	582052.58	14.85	489.5	-3.05%
324	1408192.2	582051.94	16.5	488.996	-2.54%
332	1408210	582051.11	17.84	488.543	-2.50%
338	1408224.3	582050.44	14.33	488.185	-3.52%
343	1408240.2	582049.58	15.84	487.627	-4.03%
348	1408253.8	582048.88	13.7	487.075	-4.48%
353	1408269.5	582047.96	15.68	486.372	-4.50%
358	1408283.2	582047.18	13.76	485.753	-4.89%
363	1408297.9	582046.3	14.71	485.033	-5.48%
368	1408313	582045.25	15.08	484.206	-5.33%
373	1408328.2	582044.25	15.25	483.393	-5.18%
378	1408345.6	582043.32	17.41	482.491	-5.48%
383	1408359.9	582042.49	14.35	481.704	-4.88%
388	1408375.6	582041.89	15.7	480.937	-4.74%
393	1408390.4	582041.03	14.84	480.233	-4.70%
398	1408404.8	582040.56	14.38	479.557	
404	1408703.2	582295.31		471.13	1.16%
410	1408693.7	582282.42	16.06	471.316	1.50%
417	1408683.4	582268.59	17.19	471.574	1.53%
424	1408673.6	582255.16	16.62	471.829	1.42%
431	1408664.6	582242.91	15.24	472.046	1.69%
438	1408653.9	582228.5	17.94	472.349	1.45%
445	1408644.8	582216.19	15.29	472.571	1.53%
452	1408635.3	582203.68	15.75	472.812	1.82%
459	1408625.9	582191.01	15.73	473.099	1.51%
466	1408615.4	582176.92	17.58	473.365	1.57%
472	1408604.9	582162.81	17.63	473.641	1.66%
479	1408594.5	582148.85	17.39	473.929	1.82%
484	1408585.2	582136.56	15.4	474.209	1.72%
491	1408575.4	582123.28	16.53	474.494	1.57%
496	1408565.2	582110.31	16.48	474.753	1.53%
503	1408552.5	582096.73	18.61	475.037	2.10%
509	1408541	582086.14	15.64	475.365	1.70%
516	1408532.4	582079.33	10.91	475.55	1.75%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 128:

Pendientes de línea central parte 4.

Puntos del eje central para cálculo de pendiente longitudinal					
Punto	Norte	Oeste	Distancia	Elevación	Pendiente
531	1408516.4	582068.87	19.15	475.885	2.19%
538	1408506	582063.12	11.88	476.145	2.64%
545	1408494.9	582057.89	12.28	476.469	2.38%
552	1408485	582053.89	10.7	476.724	2.74%
559	1408473.4	582049.47	12.4	477.064	3.17%
566	1408465.3	582046.92	8.47	477.332	3.48%
573	1408455.2	582044.37	10.44	477.695	2.81%
580	1408445.6	582042.71	9.76	477.969	4.02%
587	1408434.6	582041.14	11.07	478.414	4.09%
592	1408425.5	582040.48	9.17	478.789	3.48%
599	1408416.6	582040.47	8.91	479.099	
630	1408715.3	582311.62		470.942	-0.82%
637	1408728.2	582329.59	22.08	470.761	-0.85%
644	1408739.7	582344.44	18.84	470.601	-0.88%
651	1408750.8	582359.8	18.94	470.434	-0.78%
658	1408762.1	582375.27	19.14	470.284	-1.01%
665	1408772.8	582389.36	17.71	470.106	-0.82%
672	1408784.6	582405.38	19.9	469.943	-0.84%
679	1408795.1	582419.58	17.65	469.794	-1.10%
686	1408805.5	582433.64	17.47	469.601	-0.78%
693	1408815.6	582447.79	17.41	469.466	-0.81%
700	1408826.5	582462.1	17.99	469.32	

Fuente: Elaboración propia