

Área de conocimiento de Ingeniería y Afines

“DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DEL TRAMO EMPALME LA CEIBITA-SAN JUAN DE LA TRONQUERA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ, APLICANDO EL MÉTODO AASHTO – 93”

Monografía para optar al título de
Ingeniero civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Eddy Eveli
Morales Obregón

Carnet: 2017-0118N

Br. Fernando José
Salgado Vílchez

Carnet: 2016-0651I

Br. Denilson Josué
Palacios Zamora

Carnet: 2016-0183N

M.Sc. Ing. Beatriz
Tórrez Rodríguez

22 de abril de 2024

Managua, Nicaragua

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Localización del tramo.....	2
1.2.1. Macro localización	2
1.2.2. Micro localización	3
1.3. Antecedentes	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
CAPITULO II. ESTUDIO TOPOGRAFICO.....	7
2.1. Generalidades	7
2.2. Metodología.....	7
2.3. Levantamiento topográfico	8
2.3.1. Puntos geodésicos	8
2.3.2. Establecimiento de la línea base	9
2.4. Compensación de la poligonal base.....	10
2.5. Levantamiento de detalles.....	13
2.5.1. Planimetría	13
2.5.2. Altimetría	14
2.6. Pendientes	15
2.7. Curvas de nivel.....	17
CAPITULO III. AFORO VEHICULAR.	18
3.1. Generalidades	14
3.2. Metodología.....	14
3.3. Tipos de vehículos	15
3.3.1. Clasificación vehicular por sus ejes	16
3.4. Aforo vehicular	16

3.5.	Transito promedio diario semanal (TPDS)	20
3.6.	Tránsito promedio diario anual (TPDA)	21
3.6.1.	Identificación de los vectores de correspondencia	22
3.6.2.	Estación de conteo	23
3.6.3.	Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA)	23
3.7.	Tasa de crecimiento	26
3.7.1.	Tasa de crecimiento vehicular	27
3.7.2.	Tasa de crecimiento poblacional	28
3.7.3.	Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB)	29
3.7.4.	Selección de la tasa de crecimiento	30
3.8.	Proyección de tránsito	31
3.8.1.	Periodo de diseño	31
3.8.2.	Tránsito de diseño	33
3.9.	Calculo equivalente (ESAL o W18)	36
3.9.1.	Factor de equivalentes (FESAL).....	36
3.9.2.	ESAL de diseño	38
CAPITULO IV.	ESTUDIO DE SUELO	40
4.1.	Generalidades	40
4.2.	Clasificación de los suelos	40
4.3.	Trabajo de campo	41
4.4.	Condiciones del terreno.....	43
4.5.	Resultados de sondeos de línea	43
4.5.1.	Estratigrafía de los suelos	45
4.6.	Resultados del estudio de suelos de los bancos de materiales	46
4.6.1.	Banco N°1: Sr. Marvin Blanco	46
4.6.2.	Banco N°2: Sr. Roberto Casco	46
4.7.	Análisis de bancos de materiales	47
4.7.1.	Elección de los bancos de material	49
4.8.	CBR de diseño	49
4.8.1.	Identificación de la subrasante	50
CAPITULO V.	DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	53

5.1.	Generalidades	52
5.2.	Método AASHTO-93.....	52
5.3.	Variable de diseño.....	53
5.3.1.	Periodo de diseño.....	53
5.3.2.	ESAL	53
5.3.3.	Confiabilidad (R).....	54
5.3.4.	Desviación estándar	54
5.3.5.	Criterios de serviciabilidad.....	55
5.3.6.	Módulo de resiliencia de la subrasante.....	56
5.3.7.	Coeficiente de drenaje.....	57
5.3.8.	Coeficientes estructurales de capa.....	58
5.3.9.	Módulo de resiliencia de la base y sub base.	62
5.3.10.	Número estructural.	62
5.4.	Cálculo de espesores.....	67
5.4.1.	Espesor de base granular.....	67
5.4.2.	Espesor de base granular.....	67
5.4.3.	Cálculo de espesor de Subbase.....	69
5.4.4.	Consolidados de espesores para el diseño	70
	DISEÑO GEOMÉTRICO	71
6.1.	Generalidades	71
6.2.	Metodología.....	71
6.3.	Parámetro de diseño usados en el proyecto.	72
6.3.1.	Característica de sección transversal	73
6.3.1.1.	Diseño geométrico horizontal	73
6.3.1.2.	Carril.....	73
6.3.1.3.	Hombros o espaldones	74
6.3.1.4.	Longitud máxima de rectas	74
6.3.2.	Diseño geométrico horizontal	74
6.3.2.1.	Peralte.....	75
6.3.2.2.	Radio mínimo	75
6.3.2.3.	Grado mínimo.....	76

6.3.2.4. Bombeo normal	77
6.3.2.5. Sobreebancho	77
6.3.2.6. Curvas horizontales simples.....	79
6.3.3. Diseño geométrico vertical	84
6.3.3.1. Pendiente de diseño.....	84
6.3.3.2. Curvas verticales.....	85
6.3.3.3. Tasa de curvatura K.....	87
6.3.4. Resumen de parámetros de diseño.....	90
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
7.1. Conclusiones.....	89
7.2. Recomendaciones.....	91
7.3. Bibliografía	92
ANEXOS.....	I

Ilustración

Ilustración 1. Macro Localización del tramo en estudio, San Juan de Limay, Tronquera, Departamento de Estelí	2
Ilustración 2. Micro localización	3
Ilustración 3 Selección del método del compás (regla de la brújula)	11
Ilustración 4 Poligonal base ajustada	11
Ilustración 5. Perfil longitudinal del tramo Empalme la Ceibita-San Juan de la Tronquera	15
Ilustración 6 Representación de las pendientes por áreas en Civil 3d, Est. 0+180 – Est. 0+240	16
Ilustración 7 Curva de nivel	17
Ilustración 8 Ubicación de estación de aforo del tramo La Ceibita – San Juan de la Tronquera	17
Ilustración 9 Espesores mínimos en función del número estructural	42
Ilustración 10 Columnas Estratigráficas (Est. 0+000 a 1+500)	45
Ilustración 11 Coeficiente de capa base granular a2	60
Ilustración 12 Coeficiente de sub base granular a3	61
Ilustración 13 Diseño del número estructural (SN)	64
Ilustración 14 Diseño del número estructural (SN1)	65
Ilustración 15 Diseño del número estructural (SN2)	66
Ilustración 16 Estructura de pavimento articulado	70
Ilustración 17 Elemento de la sección transversal de la vía	73
Ilustración 18 Sobreechancho de curvas	78
Ilustración 19 Elementos geométricos de curvas horizontales	79
Ilustración 20 Configuración para el diseño de curva horizontal	83
Ilustración 21 Configuración para el diseño de curva vertical	87
Ilustración 22 Entidades de perfil para curvas horizontales	89
Ilustración 23 Inicio del tramo 0+000 Empalme la Ceibita	I
Ilustración 24 Tramo final 1+500 San Juan de la Tronquera	I
Ilustración 25 GPS_1, Est. 0+000	II
Ilustración 26 Levantamiento topográfico, Est. 1+210	II

Ilustración 27 Aforo vehicular, Est. 0+750	XXIX
Ilustración 28 Aforo vehicular, Est. 0+750	XXIX
Ilustración 29 Peso por eje de vehículos de carga	XXXI
Ilustración 30 Comprobación del SN de Subrasante	XLV
Ilustración 31 Comprobación del SN1 para base	XLVI
Ilustración 32 Comprobación del SN2 para sub-base	XLVII
Ilustración 33 Vehículo de Diseño (WB – 15)	XLVIII

Gráficos

Gráfico 1 Resultado de aforo vehicular Tramo Empalme La Ceibita – San Juan de la Tronquera	19
Gráfico 2 Composición del TPDS	21
Gráfico 3 Composición vehicular TPDA (%) del tramo Empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera	25
Gráfico 4 Composición vehicular TPDA del tramo empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera	26
Gráfico 5 CBR de diseño para subrasante	52

Tablas

Tabla 1 Puntos base de control	9
Tabla 2 Bancos de nivel de la línea base	10
Tabla 3 Datos de la poligonal	12
Tabla 4 Ajustes de la poligonal.....	12
Tabla 5 Pendientes del tramo.....	16
Tabla 6 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales....	17
Tabla 7 Consolidado de aforo vehicular semanal, tramo empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera	18
Tabla 8 Tránsito promedio diario semanal (TPDS).....	20
Tabla 9 Vector geográfico	22
Tabla 10 Factores de expansión TPDA 1er cuatrimestre (enero-abril).....	23
Tabla 11 Transito promedio anual (TPDA) del tramo Empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera	24
Tabla 12 Resumen histórico de TPDA, ECS San Juan de Limay – Paso Hondo	28
Tabla 13 Resumen histórico de población estimada	29
Tabla 14 Resumen histórico de producto interno bruto (PIB).....	30
Tabla 15 Clasificación de las carreteras.....	32
Tabla 16 Periodo de Diseño según tipo de carretera	32
Tabla 17 Factor de crecimiento	33
Tabla 18 Factor de distribución por dirección.....	34
Tabla 19 Factor de distribución por carril	34
Tabla 20 Factor de distribución por carril	35
Tabla 21 CBR de diseño para subrasante FESAL	37
Tabla 22. ESAL de diseño	39
Tabla 23 Ensayos de suelo de acuerdo a normas AASHTO.....	42
Tabla 24 Resumen de resultados de ensayos en cada uno de los sondeos manuales.....	44
Tabla 25 Resumen de suelos de bancos de materiales	47
Tabla 26 Especificaciones de los materiales para base y sub base granular....	48
Tabla 27 Evaluación del banco de material N°1	48

Tabla 28 Evaluación del banco de material N°2.....	49
Tabla 29 Especificaciones de terraplén y Subrasante.....	50
Tabla 30 Percentil de diseño para Subrasante.....	51
Tabla 31 Selección de CBR de diseño para subrasante	52
Tabla 32 Niveles de confiabilidad.....	54
Tabla 33 Desviación estándar	55
Tabla 34 Valores de serviciabilidad.....	56
Tabla 35 Capacidad del drenaje para remover la Humedad	58
Tabla 36 Coeficiente de drenajes.....	58
Tabla 37 Resumen de datos para interpolación	63
Tabla 38 Espesores de estructura de pavimento	68
Tabla 39 Consolidado de espesores de pavimento.....	70
Tabla 40 Tasa de peralte (e)	75
Tabla 41 Bombeo normal de la calzada	77
Tabla 42 Sobrecanchos, banda izquierda del Tramo Empalme la Ceibita - San Juan de Limay.....	78
Tabla 43 Sobrecanchos, banda derecha del Tramo Empalme la Ceibita - San Juan de Limay.....	78
Tabla 44 Curvas horizontales del tramo empalme la Ceibita - San Juan de la Tronquera.....	83
Tabla 45 Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales.....	84
Tabla 46 Curvas verticales del Diseño Geométrico del tramo Empalme la Ceibita - San Juan de la Tronquera.....	88
Tabla 47 Consolidado de criterios de diseño.....	90
Tabla 48. Levantamiento topográfico	III
Tabla 49. Pendientes del Terreno	XXVI
Tabla 50 EMC San Marcos Masatepe.....	XXX
Tabla 51 Peso por eje de vehículo liviano	XXX
Tabla 52 Formato para aforo vehicular.....	XXXII
Tabla 53 Aforo vehicular del día lunes	XXXIII
Tabla 54 Aforo vehicular del día martes	XXXIV

Tabla 55 Aforo vehicular del día miércoles.....	XXXV
Tabla 56 Aforo vehicular del día jueves.....	XXXVI
Tabla 57 Aforo vehicular del día viernes	XXXVII
Tabla 58 Aforo vehicular del día sábado	XXXVIII
Tabla 59 Aforo vehicular del día domingo	XXXIX
Tabla 60 Transito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación 3806 – San Juan de Limay – Paso Hondo	XL
Tabla 61 Factores de expansión a TPDA 1er cuatrimestre del año enero - abril	XL
Tabla 62 Resumen de TPDA de estación de mayor cobertura	XL I
Tabla 63 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, pt = 2.0	XLII
Tabla 64 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, pt = 2.0	XLIII
Tabla 65 Clasificación de los suelos AASHTO	XLIV
Tabla 66 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales	XLVIII
Tabla 67 Valores de Sobreancho (400-3000).....	XLIX
Tabla 68 Valores de Sobreancho (70-300).....	L
Tabla 69 Radio y grado de curvatura recomendados.....	LI
Tabla 70 Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.....	LII
Tabla 71 Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio.....	LII

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios, por brindarnos sabiduría, inteligencia y salud para poder culminar con éxito nuestro trabajo monográfico.

Seguidamente a nuestros padres que siempre son un pilar fundamental para este proceso de aprendizaje y desarrollo, brindando su apoyo y sus consejos para hacer de mí, una mejor persona.

A M.Sc. Ing. Beatriz de los Ángeles Tórrez Rodríguez, nuestra tutora quien ha proporcionado su apoyo como guía en este proceso monográfico.

A los docentes de UNI-RUACS que nos guiaron durante toda esta trayectoria que nos brindaron su amistad y acompañamiento; a nuestros amigos y compañeros quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que estuvieron apoyando en lo que pudiera para poder cumplir este sueño.

Br. Eddy Evelí Morales Obregón

Br. Fernando José Salgado Vélchez

Br. Denilson Josué Palacios Zamora

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a **Dios**, cuya guía y gracias han sido mi sostén a cada etapa de este viaje académico.

A mis padres **Isaí Morales Martínez, Elisa Obregón Castro**, por su amor incondicional, sacrificio, que han sido la base de mi educación y motivación.

A mis **amigos** que han compartido conmigo este camino, su apoyo, consejos y aliento han enriquecido mi experiencia universitaria y han sido un recordatorio de que nunca estoy solo en este camino.

Br. Eddy Evelí Morales Obregón

DEDICATORIA

Dedico este proyecto primeramente a **Dios** por darme la salud, sabiduría e inteligencia de poder llegar hasta esta etapa y por su acompañamiento en cada paso de mi trayectoria, en el proceso de mi carrera y en cada decisión que he tomado en mi vida.

A mi padre **Fernando Salgado Lanuza**. Por su apoyo incondicional, comprensión y motivación cada día, gracias por todos los consejos sabios, por los valores, los principios, que me forjaron.

A mi madre **Aracely Vílchez Urbina**, por siempre darme los mejores consejos y brindarme todo su amor y comprensión, por todo su esfuerzo y su dedicación para darme la mejor enseñanza y guiarme por el buen camino.

A mis **hermanas y hermano**, por siempre darme apoyo absoluto y hacer parte, para cumplir una meta más que se marca en la historia de mi existencia.

Br. Fernando José Salgado Vílchez

DEDICATORIA

Dedicado especialmente a **Dios**, por permitirme principalmente la vida y la oportunidad de estudiar esta profesión, concediéndome sabiduría y fortaleza para vencer los obstáculos durante este trayecto, poniéndome a buenas personas que siempre me guían por el buen camino. “Adquirir lecciones de sentido común, justicia, equidad y rectitud”- Prov. 1:3

A mis Padres **Valeriano Palacios y Damaris Corina Zamora Palacios** por el apoyo incondicional que me brindaron, por sus oraciones, su comprensión y amor alentador del día a día a seguir adelante para llegar alcanzar mis metas.

A mis hermanas y hermano **Migdalia, Lexania, Eliezer y Dámaris** por compartir este recorrido, por brindarme de sus buenos consejos y sus palabras de ánimo.

A mis **maestros y amigos** por formar parte fundamental de este trabajo, por su paciencia y dedicación, por los conocimientos compartidos y sobre todo por exigirnos a dar lo mejor de uno.

A Familia **Gómez López** que desde un principio me brindaron su apoyo incondicional en el transcurso de mis estudios acogiéndome en el seno de su hogar como parte de su familia estando pendiente de mi bienestar y salud.

Br. Denilson Josué Palacios Zamora

RESUMEN EJECUTIVO

En el trabajo monográfico se presenta una breve descripción del proyecto en estudio titulado: "Diseño geométrico y estructura de pavimento articulado del tramo Empalme la Ceibita-San Juan de la Tronquera, Municipio de San Juan de Limay, del departamento de Estelí, aplicando el método AASHTO - 93". Este documento consta de 7 capítulos donde se reflejan los resultados obtenidos al realizar dichos estudios:

CAPITULO I: GENERALIDADES

Se aborda las generalidades del proyecto como la ubicación, una breve introducción, antecedentes del lugar, la justificación de la importancia del diseño de los 1.5 kilómetros de pavimento articulado y objetivos planteados para conseguir con éxito el diseño final.

CAPITULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Aborda lo referido al estudio topográfico en el que se muestra detalladamente todo lo relacionado con la planimetría y altimetría del terreno en estudio.

CAPITULO III: AFORO VEHICULAR

Se muestran las consideraciones que se tomaron en cuenta para la determinación de las tasas de proyección de los volúmenes futuros y obtener el tránsito de diseño.

CAPITULO IV: ESTUDIO DE SUELOS

Se realizó el análisis de los resultados del estudio geotécnico, brindado por la Alcaldía Municipal de San Juan de Limay buscando a conocer las propiedades físicas y mecánicas a lo largo del tramo, así mismo conocer las características de los bancos de préstamo cercanos al proyecto, los cuales se evaluaron en base a las recomendaciones de la NIC-2019, los ensayos realizados en base a las normas AASTHO.

CAPITULO V: DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO

Se presenta los resultados obtenidos del estudio de diseño de pavimento haciendo uso del método AASHTO 93 y haciendo uso de los parámetros de la NIC-2000 y así aplicar las normas específicas para determinar los distintos espesores que se encuentran en el pavimento.

CAPITULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO

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

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

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones sintetizan los resultados obtenidos de los estudios realizados para el diseño del tramo Empalme la Ceibita-San Juan de la Tronquera. Las recomendaciones proporcionadas están en función a las normas NIC-2019, para llevar un correcto control en una posible ejecución del tramo en el futuro.



CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

El poseer vías de comunicación óptimas, tiene un gran impacto en cualquier parte del mundo, porque facilitan la movilización de las personas, así como la producción que genera las actividades comerciales, de esta forma, se garantiza un excelente desarrollo socioeconómico para la población.

El sitio en estudio del tramo Empalme La Ceibita-San Juan de La Tronquera, no cuenta con una estructura de pavimento adecuada para la circulación vehicular, el tramo en la actualidad se encuentra revestido (macadán), siendo de calidad regular mala lo que genera dificultad para transportarse, afectando las principales fuentes de ingreso del municipio tales como: producción agrícola, escultores de piedra marmoleada, alfareros y la ganadería. Con este proyecto se pretende mejorar la calidad de vida de pobladores que viajan constantemente a sus actividades comerciales, así como las personas que se trasladan hacia sus centros de trabajo en sectores aledaños.

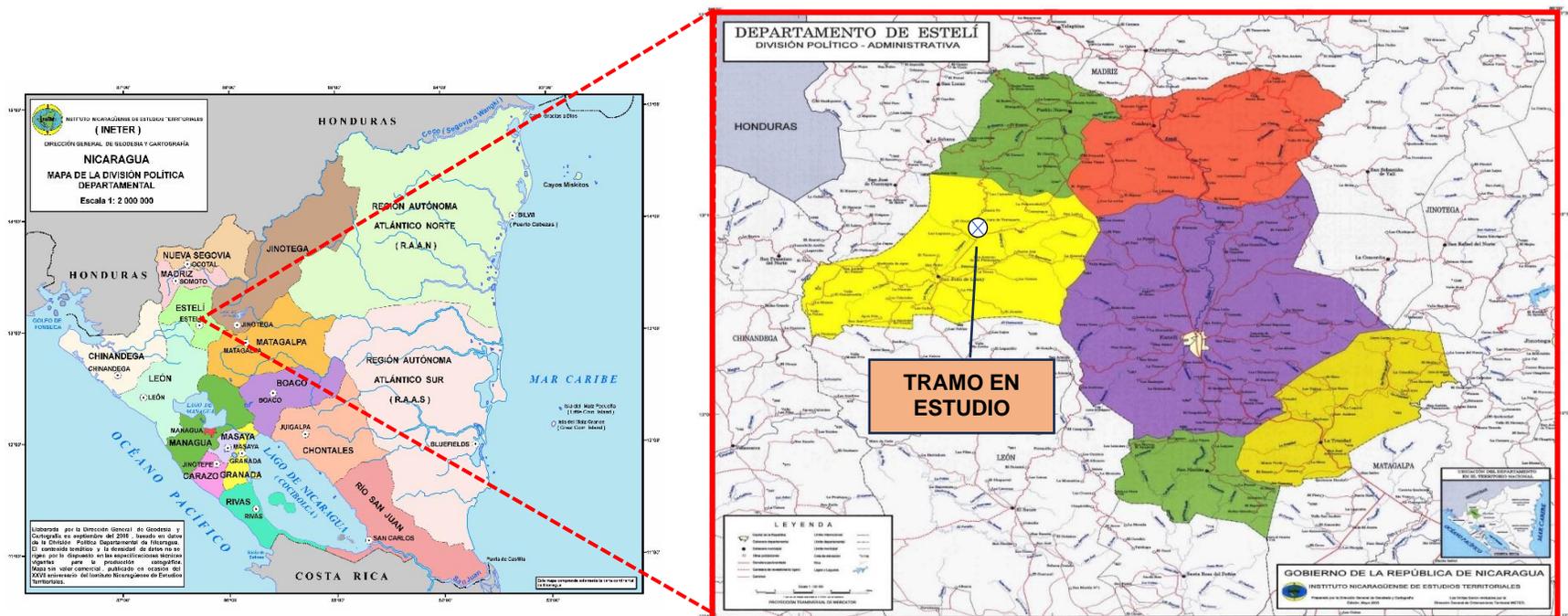
Para llevar a cabo el presente trabajo con la temática de: **DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DEL TRAMO EMPALME LA CEIBITA-SAN JUAN DE LA TRONQUERA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ, APLICANDO EL MÉTODO AASHTO-93.** Se elaborará el estudio topográfico para conocer las condiciones naturales del terreno, por otra parte, se efectuará un aforo vehicular para la determinación de los factores de ejes equivalentes, el cual, aunado los estudios existentes de geotecnia, nos proporcionan los datos necesarios que nos permitirá calcular los espesores de base y carpeta de rodamiento, haciendo uso del método AASHTO 93 y del Manual Centroamericano para el diseño geométrico de carreteras de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA 2011).

1.2. Localización del tramo

1.2.1. Macro localización

El tramo de estudio está situado en el Departamento de Estelí, Municipio de San Juan de Limay, de forma particular está ubicado en el Empalme La Ceibita del casco Rural del municipio de San Juan de Limay.

Ilustración 1. Macro Localización del tramo en estudio, San Juan de Limay, Tronquera, Departamento de Estelí



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

1.2.2. Micro localización

El tramo de camino tiene su origen sobre la vía principal del municipio con rumbo al noroeste, dicho tramo inicia tomando como referencia el empalme la Ceibita, EST. 0+000 con coordenadas 13°13' 47.75" N y 86°34'18.54" W, finalizando en la comarca San Juan de la Tronquera, EST. 1+500.

Ilustración 2. Micro localización



Fuente: [Google Earth](https://earth.google.com/web/@13.24054383,-86.56941779,2847.86851411a,0d,35y,271.1714h,0t,0r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-419) https://earth.google.com/web/@13.24054383,-

86.56941779,2847.86851411a,0d,35y,271.1714h,0t,0r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-419

1.3. Antecedentes

El sistema vial de Nicaragua ha ocupado un lugar preponderante y fundamental en el marco de la economía nacional, el país tiene sus inicios desde de 1940, año en que se crea el Departamento de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, hoy Ministerio de Transporte e Infraestructura. (MTI, 2021)

En los años de 1860 la comunidad fue nombrada como Villa Limay, donde la única vía terrestre existente que conectaba hoy conocido como: San Juan de Limay y el Municipio de Pueblo Nuevo era una pequeña trocha de verano, la cual en la temporada de invierno solo era transitada mediante el uso de bestias mulares como medio de transporte. Con el paso del tiempo la agricultura y la ganadería fueron creciendo, la vía de acceso iba tomando importancia y surge la necesidad de comercializar productos y recibir servicios básicos logrando ser una vía de acceso general.

En el año 2004 se rehabilitó la vía principal que conduce a San Juan de Limay, siendo también beneficiados los pobladores de las comunidades situadas entre los municipios de Pueblo Nuevo y San Juan de Limay, dicha rehabilitación fue de 28 kilómetros. La cual fue realizada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (Olivas, 2004)

Con el paso del tiempo se han venido realizando mejoras y brindando mantenimiento al camino, pero estas no han tenido de mucho éxito, debido al constante flujo de vehículos del tramo de carretera del empalme La Ceibita-San Juan de la Tronquera, la mencionada ruta se encuentra en mal estado debido a las escorrentías de aguas superficiales y la baja capacidad de carga, provocando las existencias de baches y socavamiento en la vía.

Una de las opciones más oportunas para mejorar las condiciones antes mencionadas que viven los pobladores es la realización del diseño de la estructura de pavimento articulado para garantizar una mejor circulación y calidad de vida.

1.4. Justificación

Las carreteras son parte fundamental para el desarrollo económico y social en cualquier parte del territorio del país. Por ello, es imprescindible que se encuentren en óptimas condiciones de circulación en todo tiempo.

Actualmente este tramo cuenta con una superficie de rodamiento (Macadán) que se podría clasificar como un camino de todo tiempo, sin embargo, se encuentra en mal estado debido a las escorrentías de agua superficial y la baja capacidad de carga, provocando socavación y baches en la vía, por lo que es necesario realizar el diseño de pavimento articulado que responderá de manera eficientemente a las cargas producidas por los vehículos que circulan en este lugar.

Cabe mencionar que, ante la ausencia de un adecuado revestimiento de este tramo, los usuarios de esta carretera se ven afectados, ya que la mala condición de la vía genera daños a los vehículos; el proyecto favorecerá el acceso a la zona, reducción de enfermedades de carácter respiratorio, debido al polvo existente en verano y reduciendo las enfermedades de proliferación por zancudos en aguas estancadas en invierno.

En síntesis, este proyecto beneficiará no solo a las Comarcas de La Ceibita y San Juan de la Tronquera, sino que también a los demás poblados que tengan la necesidad de circular por la vía, el bien que se procura, es un avance económico en los diferentes ámbitos productivos de la zona.

El proyecto estará beneficiando a más de 823 personas de forma directa y 2,878 habitantes de forma indirecta sin incluir el transporte de pasajeros y cargas de los municipios de San Juan de Limay y Pueblo Nuevo. Una vez que se construya el tramo se contribuirá a necesidades de la población, que demandan una mejora en la vía, y es de vital importancia para levantar la economía de la zona y optar a un mayor desarrollo económico del país.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Realizar diseño geométrico y estructura de pavimento articulado del tramo La Ceibita – San Juan de Tronquera, municipio de San Juan de Limay, departamento de Estelí, aplicando el Método AASHTO – 93.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar un estudio topográfico, mediante un levantamiento plani-altimétrico, determinando el relieve del tramo a través de curvas de nivel.
- ✓ Efectuar un estudio de tránsito, a través de un aforo vehicular, permitiendo el cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y el número de repeticiones esperadas de ejes equivalentes (ESAL´S) durante el periodo de diseño.
- ✓ Analizar las características físico-mecánicas del suelo, brindada por la Alcaldía Municipal de San Juan de Limay a lo largo del tramo y de los bancos de materiales cercanos para la realización del diseño de la estructura de pavimento aplicando las normas AASHTO-93 y NIC 2019.
- ✓ Calcular los espesores de la estructura de pavimento articulado, aplicando el método de la AASHTO-93.
- ✓ Realizar el diseño geométrico del tramo, empleando la norma del Manual Centroamericano para el diseño Geométrico de Carreteras Regionales SIECA 2011 y el Software Civil 3D.



CAPITULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1. 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. (García Márquez, 1994)

El presente capítulo muestra el resultado del levantamiento topográfico para conocer las características espaciales, naturales y condiciones actuales de la zona, así como la identificación de objetos relevantes que se encuentran en el tramo empalme la Ceibita - San Juan de la Tronquera, del municipio de San Juan de Limay del departamento de Estelí. Este estudio, será base para el diseño geométrico del tramo de interés.

2.2. Metodología

El procedimiento utilizado para el levantamiento topográfico fue por el método de perfil longitudinal y secciones transversales, ya que es uno de los métodos más adecuados para proyectos de vías terrestres. (MTI, 2008)

Para llevar a cabo el estudio del levantamiento topográfico, se realizó la siguiente metodología:

- Establecimiento de puntos de control.
- Amojonamiento para el establecimiento de la línea base.
- Seccionamiento del tramo en rectas a cada 20 m y en curvas a cada 10 m, levantando banda izquierda, banda derecha, Eje central, Derecho de vía y detalles.
- Importación de datos al software Civil 3D 2021.

2.3. Levantamiento topográfico

Los levantamientos topográficos se realizan para localizar objetos y medir el relieve, los accidentes del terreno o las variaciones tridimensionales de la superficie terrestre. Proporcionan información detallada sobre las elevaciones y la ubicación de elementos naturales (edificios, caminos, corrientes, etc), de tal forma que es posible dibujar la información completa en planos topográficos. (McCormac, 1998)

En levantamiento topográfico en el tramo se efectuó con: GPS spectra modelo SP60, para la ubicación de puntos geodésicos a lo largo del tramo y se utilizó la Estación Total modelo Trimble M3, para la toma de lectura de puntos del eje central, Banda derecha e izquierda, terreno natural y colocación de BM.

2.3.1. Puntos geodésicos

Es una señal informativa permanente que podemos encontrar en el campo, que nos indica la altura exacta de ese punto sobre el nivel del mar, y que forma parte de una red de triángulos cuyas coordenadas se han calculado con la mayor precisión posible.

Se hizo el recorrido del tramo para la determinación y ubicación de los cilindros de concreto los cuales tienen un diámetro de 15 cm, una altura de 30 cm con su respectivo perno de cabeza redonda.

Luego se plantó la base de control del GPS spectra SP60, que tiene una precisión de 5mm en vertical y 3mm en horizontal, en un lugar adecuado donde no se moviera y se procedió la marcación de los 4 puntos geodésicos con la antena, a una distancia de 70 m entre el GPS-1, GPS-2 y una distancia de 400m entre el GPS-3, GPS-4 donde no sean removidos por cualquier accidente laboral o natural y tenga una visibilidad uno de otro. La alcaldía municipal de San Juan de Limay, nos apoyó y facilitó el equipo GPS spectra para realizar este proceso.

Los puntos geodésicos para la base de control, se ubicaron sobre el tramo en estudio los cuales se muestran en la tabla 2:

Tabla 1 Puntos base de control

Estación	Elevación	Norte	Este	Descripción
0+010	361.81	546384.91	1462597.02	GPS-1
0+080	363.20	546423.33	1462664.29	GPS-2
1+110	372.13	546385.48	1463185.44	GPS-3
1+510	389.31	536368.25	1464109.31	GPS-4

Fuente: Elaborado por sustentante

Una vez realizado el levantamiento con el GPS spectra , se exportaron los datos y procedimos a importarlos a la estación total Trimble m3 para el levantamiento de la línea base.

2.3.2. Establecimiento de la línea base

“Objeto natural o artificial relativamente permanente, que tiene un punto fijo marcado, cuya elevación arriba o abajo de un plano de referencia adoptado se conoce o se supone”. (Wolf & Ghilani, 2016)

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

Una vez establecido nuestros puntos georreferenciados, se procedió a plantar el equipo en el GPS-2 y posteriormente su configuración para luego visar el GPS-1 de esta manera georreferenciamos la estación total y procedimos con el levantamiento de la línea base, donde se establecieron 8 bancos de nivel por la visibilidad del tramo, los cuales se muestran las coordenadas cartográficas y elevaciones en la siguiente tabla. (Ver tabla 3, Pág. 10)

Tabla 2 Bancos de nivel de la línea base

Punto	Este	Norte	Elevación	Descripción
561	546402.376	1462599.3	361.253	BM1
563	546420.652	1462736.13	365.234	BM2
564	546396.882	1462973.55	372.523	BM3
565	546399.581	1463201.36	371.962	BM4
566	546392.045	1463384.25	376.15	BM5
567	546372.046	1463622.77	383.426	BM6
568	546361.633	1463873.64	391.054	BM7
569	546365.028	1464050.37	390.438	BM8

Fuente: Elaboración propia

Ubicados estos puntos de la línea base a través de una poligonal abierta, se procedió a exportar los datos del equipo y posterior mente importarlos al software de Civil 3d 2021 donde se realizó la compensación del alineamiento.

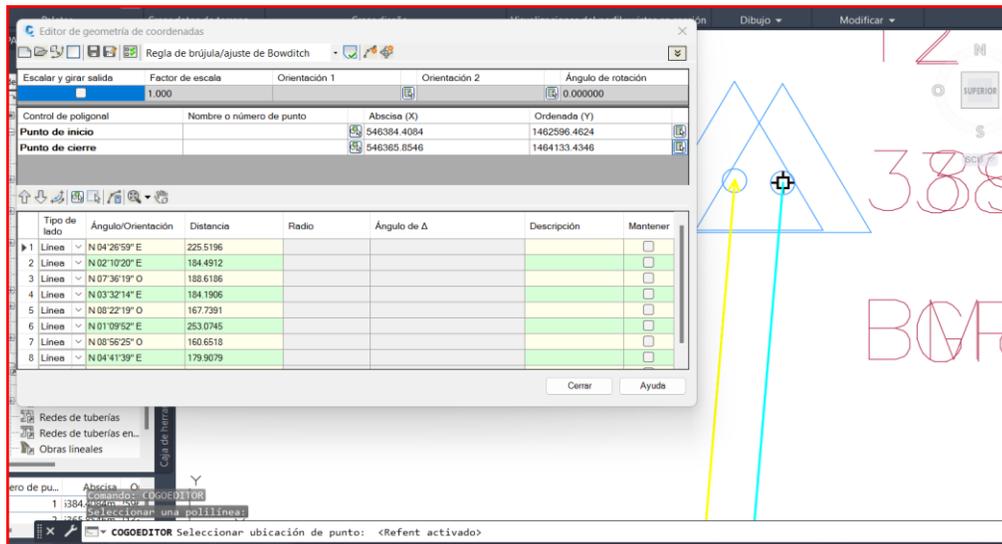
2.4. Compensación de la poligonal base

La compensación o ajuste de una poligonal, es el procesamiento mediante el cual se establece la congruencia geométrica entre ángulos y longitudes de una poligonal abierta. (Ramos, 2014)

En el programa de Civil 3D se utilizó el método del compás, para el ajuste de la poligonal como se muestra en la siguiente ilustración. (Ver ilustración 3-4, pág.11)

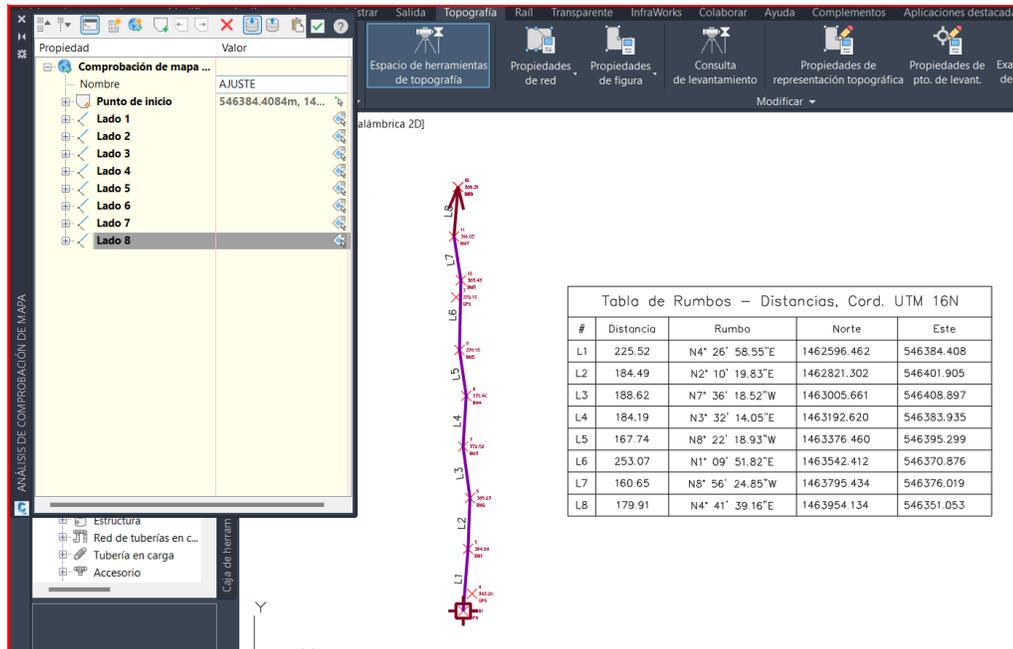
Las tablas 3-4, muestran los resultados obtenidos del programa de la compensación del polígono.

Ilustración 3 Selección del método del compás (regla de la brújula)



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4 Poligonal base ajustada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Datos de la poligonal

Datos de poligonal					
Lado	Orientación	Ángulo	Distancia	Norte	Este
1	N 04°26'59" E	0°00'00"	225.52	1462821.302	546401.9051
2	N 02°10'20" E	177°43'21"	184.491	1463005.661	546408.898
3	N 07°36'19" O	170°13'21"	188.619	1463192.62	546383.9347
4	N 03°32'14" E	191°08'33"	184.191	1463376.46	546395.2987
5	N 08°22'19" O	168°05'27"	167.739	1463542.412	546370.8762
6	N 01°09'52" E	189°32'11"	253.075	1463795.434	546376.0191
7	N 08°56'25" O	169°53'43"	160.652	1463954.134	546351.0531
8	N 04°41'39" E	193°38'04"	179.908	1464133.438	546365.7762

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4 Ajustes de la poligonal

Ajuste de poligonal								
Regla de brújula/ajuste de Bowditch								
Lado	Orientación	Distancia	ΔY	ΔX	Ángulo de Δ	Distancia de Δ	Norte	Este
1	N 04°27'09" E	225.52	-0.0005	0.0115	0°00'10"	0	1462821.302	546401.917
2	N 02°10'30" E	184.491	-0.0004	0.0094	0°00'10"	0	1463005.66	546408.919
3	N 07°36'09" O	188.617	-0.0004	0.0096	0°00'10"	-0.002	1463192.619	546383.965
4	N 03°32'24" E	184.191	-0.0004	0.0094	0°00'10"	0	1463376.458	546395.339
5	N 08°22'09" O	167.737	-0.0004	0.0085	0°00'10"	-0.002	1463542.409	546370.924
6	N 01°10'02" E	253.074	-0.0006	0.0129	0°00'10"	0	1463795.431	546376.08
7	N 08°56'15" O	160.65	-0.0004	0.0082	0°00'10"	-0.002	1463954.131	546351.122
8	N 04°41'49" E	179.908	-0.0004	0.0091	0°00'10"	0	1464133.435	546365.855

Fuente: Elaboración propia

2.5. Levantamiento de detalles

Una vez establecida las correcciones de la poligonal base se realizó el levantamiento de relleno. El manual de revisión de estudios topográficos indica que el levantamiento de detalles, que corresponderá a la ubicación de todas y cada una de las infraestructuras existentes a todo lo largo de la trayectoria del camino, que deberá estar enmarcado en el mismo sistema de coordenadas y referido a los Puntos de la Línea Base (PLB). A lo largo de los 1.5 kilómetros que comprenden el tramo en estudio, se ejecutó el levantamiento topográfico de detalles, tomando lectura en la banda izquierda, banda derecha, línea central, terreno natural, cerco, etc. Los datos antes mencionados permitieron conocer las características plani altimétricas del tramo en estudio, se muestran en la Tabla 48 (Ver anexos, pág. III-XXVI).

2.5.1. Planimetría

“Estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo”. (García Márquez, 1994)

❖ Alineamiento horizontal

Para el alineamiento horizontal se comenzó en el estacionamiento 0+000 en el empalme La Ceibita y finalizando en la comarca San Juan de la Tranquera en la estación 1+500.

Se midió el eje central del camino para el levantamiento de las secciones transversales a cada 20m en línea recta y a cada 10m en curvas, el derecho de vía varía entre 5 y 10 metros por los linderos de propiedades privadas, tomando también en consideración puntos del tendido eléctrico y árboles, permitiendo una mayor referencia del tramo en estudio.

2.5.2. Altimetría

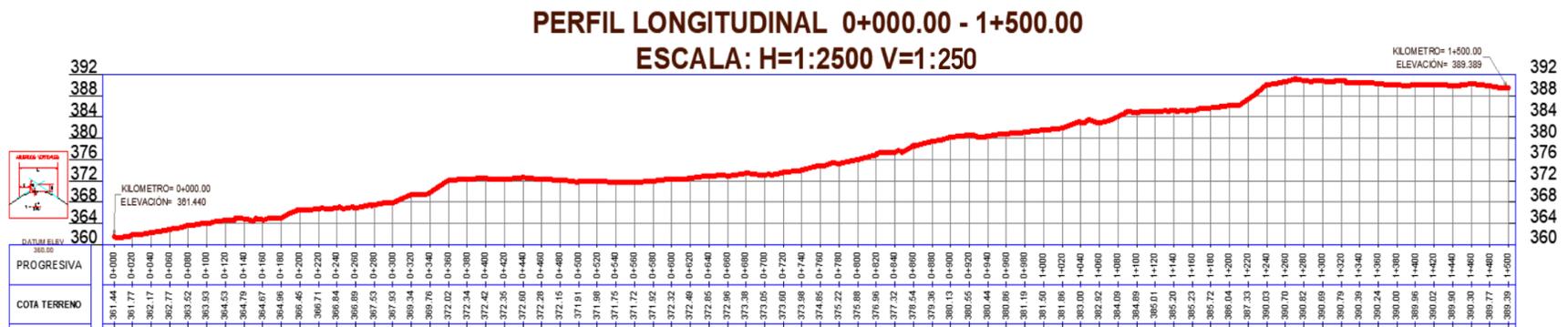
“Determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, generalmente correspondiente al nivel medio del mar”.
(García Márquez, 1994)

❖ Perfil longitudinal

Es la proyección más fielmente posible a lo largo del eje de la vía sobre una superficie vertical paralela obteniendo cotas de puntos que sean representativos del terreno, es decir, un cambio de pendiente, denominado también rasante, aquí se detallan los alineamientos verticales, su gradiente longitudinal, así como las curvas verticales con sus parámetros más importante. (García Márquez, 1994, pág. 143)

Una vez obtenido los datos del levantamiento topográfico, se importa el archivo txt para generar el perfil longitudinal del tramo en estudio auxiliándose del software Civil 3D 2021, el cual se muestra en forma gráfica en la ilustración 5, pág. 15.

Ilustración 5. Perfil longitudinal del tramo Empalme la Ceibita-San Juan de la Tronquera



Fuente: Elaboración propia

2.6. Pendientes

“La pendiente de un terreno entre dos puntos ubicados en dos curvas de nivel significativas es igual a la relación entre el intervalo de las curvas de nivel o equidistancia y la distancia longitudinal que los separa”. (CASANOVA MATERA, 2002, págs. 9-1)

Normalmente se utiliza la ecuación de la pendiente para su determinación del terreno natural, en el tramo de estudio, este cálculo se realizó a través del software Civil 3D donde se determina la pendiente por áreas, como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 6 Representación de las pendientes por áreas en Civil 3d, Est. 0+180 – Est. 0+240



Fuente: Elaboración propia

El software nos brinda una tabla de porcentajes de pendiente, donde se muestran los rangos de pendientes a través de las áreas en toda su longitud y podemos observar que la pendiente con mayor área, es de color gris, la cual oscilan entre 5-15%, así como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 5 Pendientes del tramo

Tabla de Pendientes				
Número	Pendiente Mínima	Pendiente Máxima	Color	Área
1	0.00%	5.00%	Yellow	66,789.26
2	5.00%	15.00%	Grey	90,115.04
3	15.00%	30.00%	Blue	36,320.15

Fuente: Elaboración propia

Entonces, acorde con la clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales, recomendada por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA 2011), el tramo en estudio es clasificado como un Terreno Ondulado, así como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

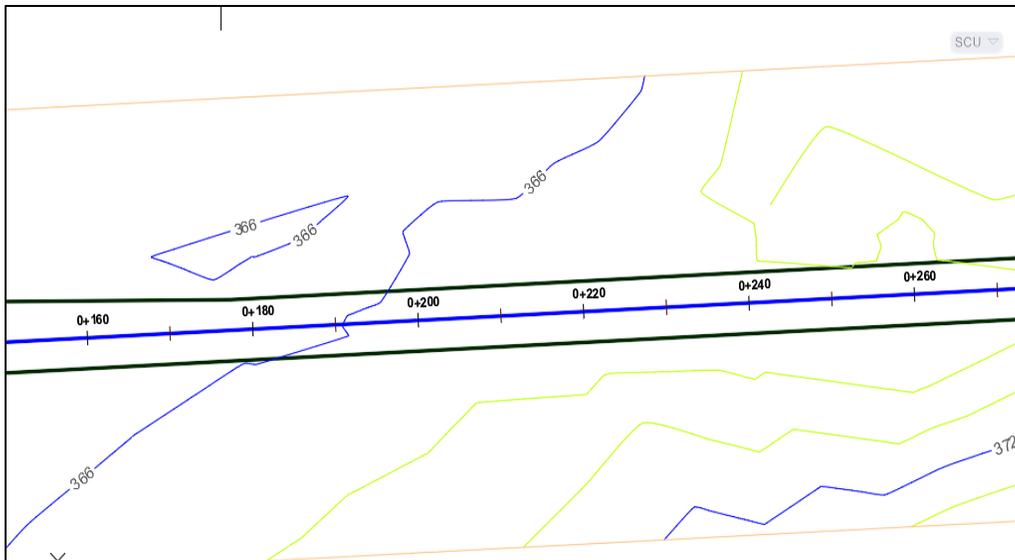
Tipo de Terreno	Rango de Pendientes P (%)
Llano o plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 < P \leq 15$
Montañoso	$15 < P \leq 30$

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

2.7. Curvas de nivel

Una curva de nivel, es una línea que une puntos de igual elevación. En los mapas, las curvas de nivel representan la localización planimétrica de las trazas de las superficies de nivel para diferentes elevaciones. (Wolf & Ghilani, 2016)

Ilustración 7 Curva de nivel



Fuente: Elaboración propia



CAPITULO III: AFORO VEHÍCULAR

3.1. Generalidades

El estudio de tránsito se encarga de estimar los volúmenes de tránsito esperados en el momento de dar en servicio la vía y su comportamiento a lo largo de la vida útil de ésta; En este capítulo, se muestran los resultados obtenidos del aforo vehicular realizado en el tramo Empalme La Ceibita – La Tronquera San Juan de Limay. En base a dicho estudio, se realizó la proyección del tráfico para un período de diseño de 15 años, determinando una tasa de crecimiento vehicular. en base al PIB y el crecimiento poblacional.

El ESAL de diseño, se realizó con referencia a la proyección del tráfico, cuyos datos obtenidos influyen directamente en el diseño de espesores de pavimento de acuerdo a las solicitudes de carga.

3.2. Metodología

En este caso se detalla la metodología que se tomó para este estudio, la cual es la recomendada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI):

- Se seleccionó un punto de aforo sobre el tramo en estudio, para registrar la cantidad de vehículos que circulan, durante siete días (lunes a domingo), por doce horas de conteo.
- Se procesa los datos del aforo en Microsoft Excel para la determinación del tránsito promedio diario semanal (TPDS).
- Seleccionamos la estación más cercana geográficamente al tramo y que posea similitud con los porcentajes de composición vehicular, auxiliándose de los vectores de correspondencia contenidos en el Anuario de Tráfico del MTI 2020.
- Se identifica la estación de mayor cobertura a la cual pertenece la estación seleccionada.

- Calculamos el tránsito promedio diario anual (TPDA), considerando los factores de expansión de la estación de mayor cobertura y comparar con los datos de la estación seleccionada.
- Se determino la tasa de crecimiento con la cual se diseñará la estructura de pavimento articulado, tomando en consideración los históricos del TPDA de la estación seleccionada. Así como los datos históricos del producto interno bruto (PIB) y población (POB).
- Calculamos el ESAL de diseño de la estructura de pavimento, considerando los pesos por ejes de carga.

3.3. Tipos de vehículos

Se describen los tipos de vehículos que transitaron en el tramo La Ceibita – La Tronquera San Juan de Limay, durante el periodo que se realizó el aforo vehicular. La División de Administración Vial, en el Anuario de Aforo de Tráfico (MTI 2020), los describe de la siguiente manera:

- **Motocicleta:** Incluye todo tipo de motocicletas, tales como: minimitos, cuadriciclos, mototaxis, etc.
- **Automóvil:** Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que se puede mencionar: vehículos Hyundai, Honda, station wagon entre otros.
- **Jeep:** Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4x4, en diferentes tipos de marcas, tales como: toyota, land rover, jeep, etc.
- **Camionetas:** Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros, y aquellas que por su diseño están destinadas a trabajos de carga.
- **Microbús:** Se considera como microbús a aquellos que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.

- **Bus:** Se consideran como todos tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor a 30 pasajeros sentados.
- **Liviano de Carga (C25TON):** Se consideran aquellos camiones tipo C2 (2 ejes), cuyo peso es mayor a las 5 toneladas
- **C3 y C2:** Son aquellos camiones con 3 ejes, denominados C3, con un peso superior a las 5 toneladas.
- **T2S2:** Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
- **C.A:** 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).

3.3.1. Clasificación vehicular por sus ejes

La constante circulación de vehículos sobre el pavimento en el periodo al cual ha sido diseñado, conlleva a producir un amplio espectro de ejes de carga, con una distancia entre ejes diferentes debido al tipo de vehículo, originado así, una gran variedad de esfuerzos y deformaciones en un determinado punto de la estructura. Para clasificar el vehículo de acuerdo al número y disposición de sus ejes, se presenta el Diagrama de Cargas Permisible. (Ver anexos, Ilustración 29 Pág. XXXI)

3.4. Aforo vehicular

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

La estación de conteo vehicular fue la 0+750 (13°14'10.61" N y 86°34'18.67" O), (ver la Ilustración 8) la cual permitió recolectar la cantidad de vehículos durante la semana del lunes 23 de mayo al domingo 29 de enero del año 2023, durante doce horas diarias (6:00 am a 6:00 pm)

Ilustración 8 Ubicación de estación de aforo del tramo La Ceibita – San Juan de la Tronquera



Fuente: <https://earth.google.com/web/@13.23671661,-86.57274649,375.57157043a,2227.02130327d,35y,-75.55694323h,1.23371225t,0r/data=OgMKATA>

Dicho conteo se realizó en ambos sentidos de la vía utilizando el formato de aforo proporcionado por el anuario estadístico del MTI (2020). (Ver anexos, tabla 52, pág. XXXII)

Se realizó el estudio y los datos por día de aforo se muestran en las tablas de la 52 a la 59 (Ver anexo, pág. XXXIII - XXXIX). El resultado del consolidado que se obtuvo se resume en la tabla 7 a continuación.

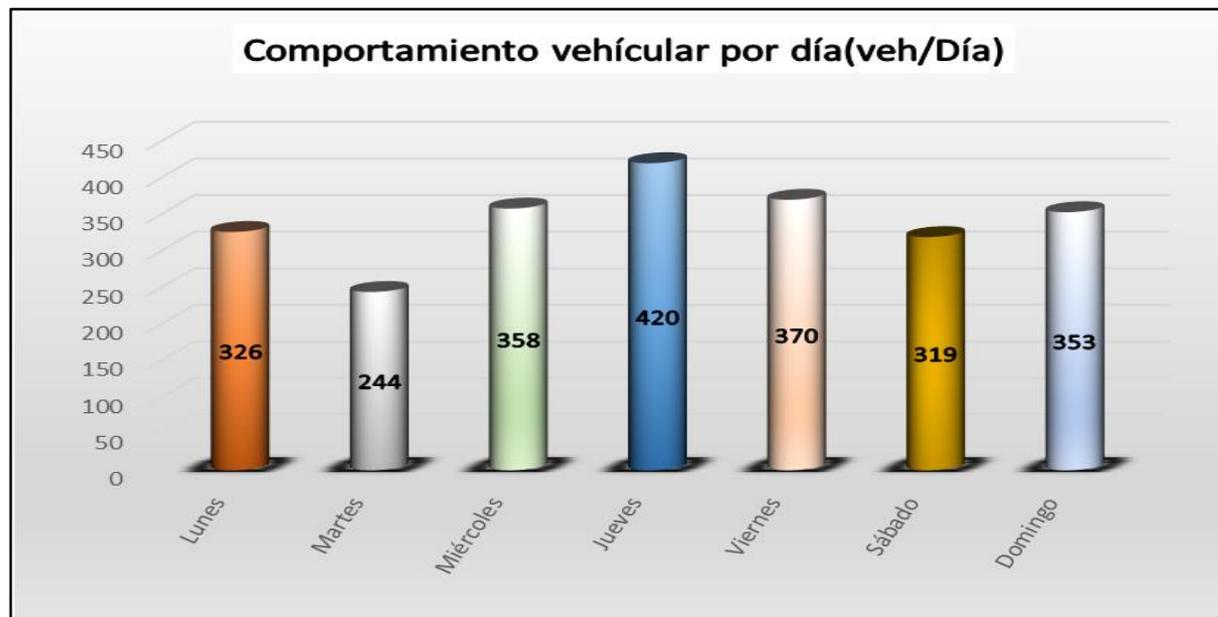
Tabla 7 Consolidado de aforo vehicular semanal, tramo empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera

Tramo: Empalme La Ceibita - San Juan de la Tronquera Sentido: Ambos								EMC: 1802 - San Marcos - Masatepe ECS: 3806 - San Juan de Limay - Paso Hondo					Equipos Pesados V.A	Total Veh 12 hrs
Fecha	Día	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						
		Moto	Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2			
23/01/2023	Lunes	147	47	54	56	1	3	6	4	4	4	0	326	
24/01/2023	Martes	128	30	31	34	1	3	6	9	0	2	0	244	
25/01/2023	Miércoles	127	63	71	77	0	3	3	11	1	1	1	358	
26/01/2023	Jueves	127	89	77	104	0	3	4	6	6	4	0	420	
27/01/2023	Viernes	107	58	87	89	1	3	7	9	4	5	0	370	
28/01/2023	Sábado	107	55	59	76	0	3	8	8	1	1	1	319	
29/01/2023	Domingo	151	53	57	61	2	3	8	12	3	2	1	353	
Total Veh.		894	395	436	497	5	21	42	59	19	19	3	2390	
Total		2248						142					2390	
Veh / 12 hrs (%)		37.41%	16.53%	18.24%	20.79%	0.21%	0.88%	1.76%	2.47%	0.79%	0.79%	0.13%	100.00%	
		% Veh. Liv.		92.97%	% Veh. De Pasaj.	1.09%	% Veh. Pesad.	5.94%						

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos se creó un gráfico donde se refleja el comportamiento vehicular por día de aforo, en el grafico 1. Se observa que los días miércoles y jueves son los que presentan mayor volumen de tránsito y que los días martes y sábado circula menor cantidad de vehículos

Gráfico 1 Resultado de aforo vehicular Tramo Empalme La Ceibita – San Juan de la Tronquera



Fuente: Elaboración propia

3.5. Transito promedio diario semanal (TPDS)

La cantidad de vehículo total que pasan durante una semana dividido entre los 7 días que contiene la semana, así como se muestran en la tabla 8, se observa el cálculo del tránsito promedio diario semanal (TPDS), a manera de ejemplo, se muestra el cálculo del TPDS para las camionetas:

Tabla 8 Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

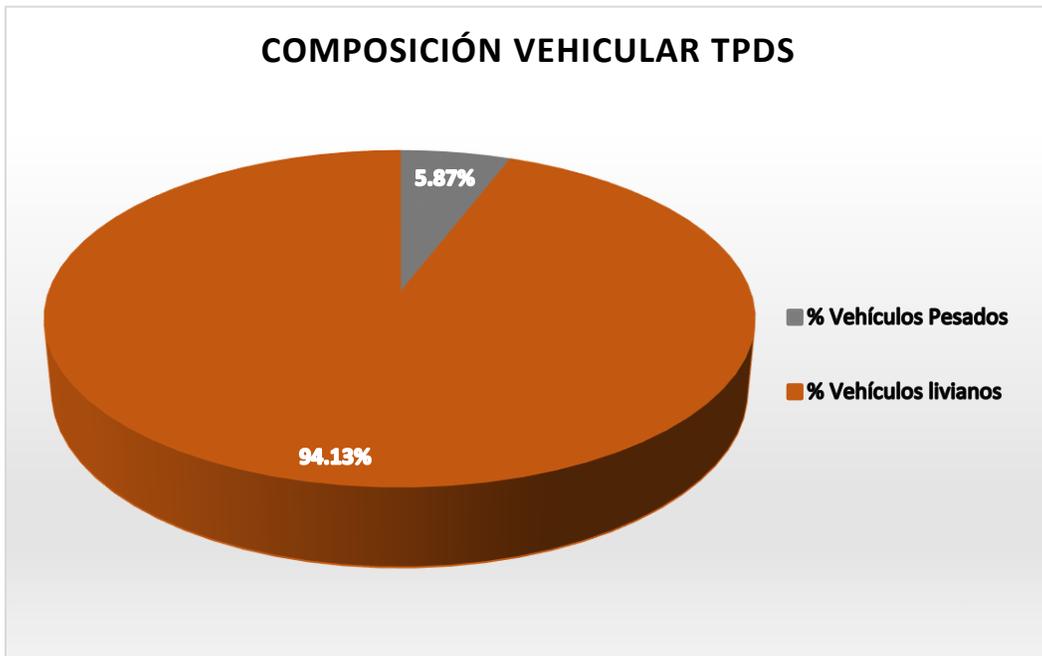
Descripción	Vehículos pasajeros						Vehículos de Carga				Equipo Pesado	Total
	Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
TPDS	128	56	62	71	1	3	6	8	3	3	0	341
TOTAL	321						20					341
%	37.54%	16.42%	18.18%	20.82%	0.29%	0.88%	1.76%	2.35%	0.88%	0.88%	0.00%	100.00%
	94.13%						5.87%					100%
	% Vehículos livianos						% Vehículos Pesados					

Fuente: Elaboración propia

$$TPDS = \frac{56 + 31 + 71 + 77 + 87 + 59 + 57}{7} = 71veh/día$$

En el grafico 2, se muestra el comportamiento del tránsito promedio diario semanal (TPDS), por clasificación vehicular.

Gráfico 2 Composición del TPDS



Fuente: Elaboración propia

3.6. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El método propuesto por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), para el cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA), se identifican los vectores de correspondencia, la clasificación y dependencia de estaciones por las categorías de vectores, así como la determinación los factores de ajustes.

Al efectuar una evaluación de tránsito para una carretera determinada, se debe tomar en cuenta la localización geográfica en la red vial y áreas que las circundan, con la idea de tomar en cuenta el incremento del flujo vehicular de la carretera proyectada.

3.6.1. Identificación de los vectores de correspondencia

Se identificó el vector con incidencia y rangos de variaciones en las características del tráfico: **Vector Geográfico – R, Volumen Total del Tráfico – V.**

En la tabla 9, se muestra la clasificación del vector geográfico para el tramo en estudio Empalme La Ceibita– San Juan de la Tronquera, que corresponde a un vector R3, región central norte, perteneciente al departamento de Estelí.

Tabla 9 Vector geográfico

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

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (MTI, 2020, pág. 7)

Según lo que establece el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2020):

$$V1 > 5,000 \text{ veh/día}$$

$$300 \text{ veh/día} \geq V2 \leq 5,000 \text{ veh/día}$$

$$V3 < 300 \text{ veh/día}$$

El vector identificado para el tramo en estudio es el V2, ya que en el conteo vehicular se muestra que la cantidad de vehículos se encuentra en el intervalo de 300 a 5,000 vehículos por día.

3.6.2. Estación de conteo

La estación que se seleccionó para el tránsito promedio diario anual (TPDA), geográficamente la más cercana es la estación 3806 San Juan de Limay – Paso Hondo; ya que se encuentra en el tramo en estudio, además de que se clasifican como estación de conteo sumaria y pertenecen a la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe (ver anexos, tabla 50, pág. XXX)

3.6.3. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA)

Para obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), se tomó en cuenta el factor de expansión apropiado y el factor día correcto, los cuales se tomaron del anuario estadístico del MTI (2020), teniendo en cuenta la estación 3806 San Juan de Limay – Paso Hondo, siendo esta seleccionada, por presentar un porcentaje de composición del comportamiento del flujo vehicular más análogo.

Los factores implementados para realizar la expansión de TPDS a TPDA pertenecen al primer cuatrimestre del año, de acuerdo a los registros del conteo realizado por el MTI, y el aforo vehicular en estudio que se realizó en la cuarta semana del mes de enero, cumpliendo con el periodo que lo rige, ver tabla siguiente.

Tabla 10 Factores de expansión TPDA 1er cuatrimestre (enero-abril)

Factore del primer cuatrimestre del año Enero-Abril	Vehiculos pasajeros					Vehiculos de Carga				Equipo Pesado
	Auto	Jeep	Camioneta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A
										
Factor Día	1.29	1.18	1.25	1.23	1.38	1.15	1.20	1.21	1.00	1.00
Factor Semana	0.96	1.00	0.97	0.92	0.89	0.91	0.83	0.86	1.00	1.00
Factor fin de semana	1.11	0.99	1.08	1.30	1.44	1.33	2.07	1.68	1.00	1.00
Factor Expansión TPDA	1.15	1.35	1.13	1.20	1.16	1.15	1.04	1.27	1.00	1.00

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico MTI 2020, Pág. 385

El cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA) del tramo en estudio, haciendo uso de los factores día y factor expansión de la tabla 10, se calcula mediante la ecuación 2:

Ecuación 2

$$TPDA = \text{Tráfico Promedio Diurno (12 horas)} * F_d * F_s * F_t * F_{fs} * F_e$$

Fuente: Tomado de (MTI,2020)

Donde:

TD_{12H}: Tránsito promedio diurno 12 hora

F_D: Factor día

F_S: Factor de semana

F_t: Factor temporada

F_{fs}: Factor fin de semana

F_e: Factor expansión

Los resultados obtenidos de expansión del TPDS a TPDA por cada vehículo se muestran en la tabla 11, expresando un valor general de TPDA de 511veh/día.

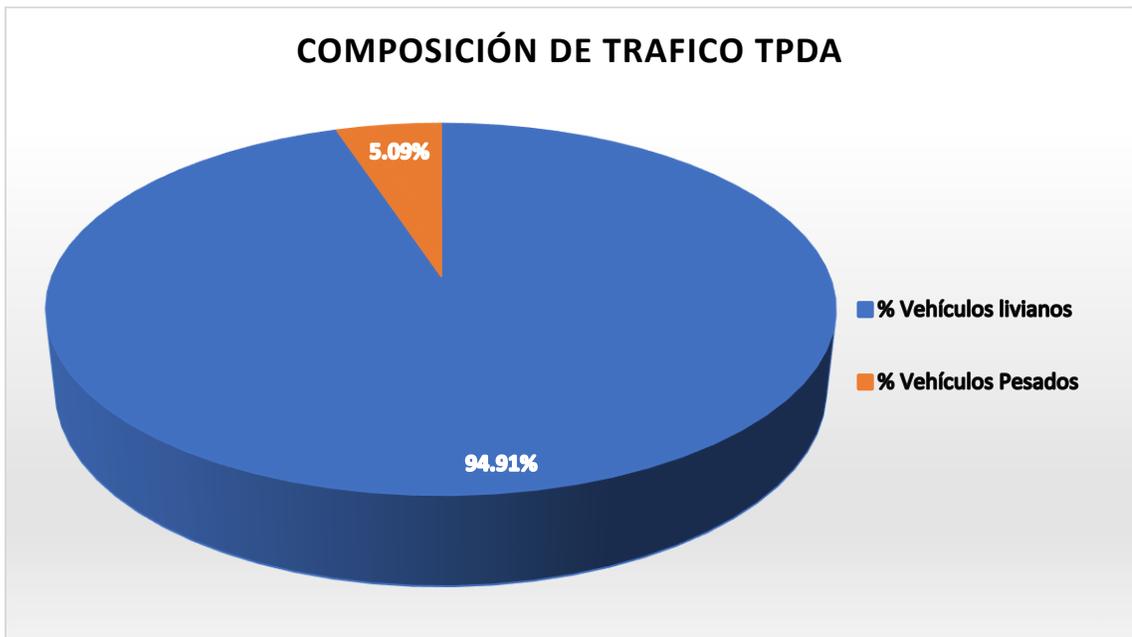
Tabla 11 Transito promedio anual (TPDA) del tramo Empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera

Tramo: Empalme La Ceibita - San Juan de la Tronquera							Est: 0+750					
Sentido: Ambos							Fecha: lunes, 23 de enero de 2023					
	Vehículos pasajeros						Vehículos de Carga				Equipo Pesado	Total Veh 12 hrs
	Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
TPDS	128	56	62	71	1	3	6	8	3	3	0	341
Factor día	1.34	1.29	1.18	1.25	1.23	1.38	1.15	1.20	1.21	1.00	1.00	
Factor expansión TPDA	1.15	1.15	1.35	1.13	1.20	1.16	1.15	1.04	1.27	1.00	1.00	
TPDA	197	83	99	100	1	5	8	10	5	3	0	511
TOTAL	485						26					
%TPDA	38.55%	16.24%	19.37%	19.57%	0.20%	0.98%	1.57%	1.96%	0.98%	0.59%	0.00%	100.00%
	94.91%						5.09%					100.00%
	% Vehículos livianos						% Vehículos Pesados					

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos en la tabla 11, se determinó de forma porcentual la composición vehicular, la cual se compone de la siguiente manera: de los 511veh/día, el 94.91% corresponde a los vehículos livianos (autos, jeep, camionetas, micro bus, bus) y el 5.09%, representa los vehículos pesados (liviano de carga, C2, C3, T2S2, vehículo de Agrícolas), observe el grafico 3.

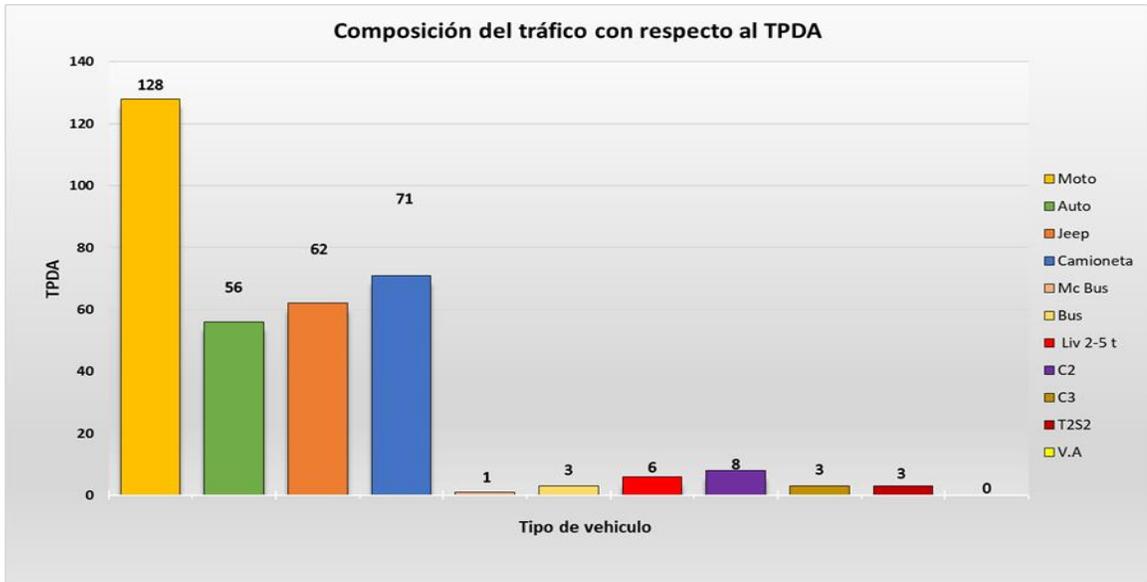
Gráfico 3 Composición vehicular TPDA (%) del tramo Empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera



Fuente: Por sustentante

El grafico 3, se refleja que la mayor incidencia que presenta la proyección del TPDA, son las motos, con una cantidad de 128, seguido por las camionetas con 71, en tercer lugar, se encuentran los Jeep con 62 seguido por el de los autos livianos con un 56 dejando al resto entre un rango de 8 a 1.

Gráfico 4 Composición vehicular TPDA del tramo empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera



Fuente: Por sustentante

En la tabla 62 (Ver anexos, pág. XLI), podemos comparar los porcentajes de vehículos livianos y pesados del TPDA de la estación de mayor cobertura 1802, San Marcos Masatepe, dado que presenta un 91.1% de vehículos livianos y 8.8% de vehículos pesados en comparación con el tramo Empalme La Ceibita – San Juan de la Tronquera cuyos porcentajes son de 94.91% para vehículos livianos y 5.09% para vehículos pesados como se refleja en el grafico 3.

3.7. Tasa de crecimiento

Unos de los parámetros el cual depende no solo de los registros estadísticos que se obtienen de los conteos vehiculares, sino también de otros factores como Condiciones socioeconómicas tal es el producto interno bruto (PIB) y el crecimiento poblacional en la zona (POB) es la tasa de crecimiento.

En las proyecciones de crecimiento del tránsito se analizaron diferentes tasas de crecimiento, donde se utilizó la ecuación 3.

Ecuación 3

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

Fuente: Tomado de (MTI, 2020, pág. 14)

Donde:

TC = Tasa de crecimiento

TPDA_i = Tráfico Promedio Diario Actual.

TPDA₀ = Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base.

n = Diferencia de años.

3.7.1. Tasa de crecimiento vehicular

Cabe recalcar que para calcular la tasa de crecimiento se seleccionaron valores de los registros históricos de conteos vehiculares de la estación con mayor similitud en porcentaje de composición vehicular y características socioeconómicas al tramo en estudio (Empalme La Ceibita – San Juan de la Tronquera), para la cual la Estación de Conteo Sumaria 3806 San Juan de Limay – Paso Hondo, dicho registro histórico, se presenta en la versión del anuario estadístico del MTI (2020). (Ver en anexo tabla 60, pág. XL).

Este paso se repite con la serie de años de la cual se cuenta con el registro para proceder con los cálculos de la tasa de crecimiento final aplicando la ecuación 4.

Ecuación 4

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

Fuente: Tomado de (MTI, 2020, pág. 14)

Donde:

Tf = Tasa de crecimiento final

TC_n = Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica

n = Cantidad de tasas de crecimiento

Recalco que solo se tomaron datos de Tc menor a 10 y mayores a 0 de los cuales solo un dato del 2018-2020 se tomaron en cuenta, ya que los otros arrojaron datos negativos, además de promediar los datos ya que no son consecutivos al año respectivamente, obteniendo un resultado promedio de crecimiento histórico final de TPDA del 6.81%, así como se muestran en la tabla 12.

Tabla 12 Resumen histórico de TPDA, ECS San Juan de Limay – Paso Hondo

Año	TPDA	Tasa de crecimiento
2002	96	
2007	17	-29.26
2015	173	33.64
2017	700	101.15
2018	149	-78.71
2020	170	6.81
TF =		6.81

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (MTI, 2020, pág. 195)

3.7.2. Tasa de crecimiento poblacional

Para este paso se sacan los datos que el Instituto nacional de información de desarrollo (INIDE), el cual realiza publicaciones de anuarios estadísticos, en los que presentan información de los principales sectores del país. En este caso, se seleccionaron los históricos de población desde el año 2008 hasta el 2022. A continuación, se presenta el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional, utilizando la ecuación 4:

Al igual tomando los criterios anteriores de la TC en la tabla 12 se muestran el resumen de los resultados, en la que se obtuvieron los siguientes resultados de una tasa de crecimiento promedio para POB de 1.60%

Tabla 13 Resumen histórico de población estimada

Año	POB	Tasa de crecimiento
2008	5688	
2009	5771	1.46
2010	5856	1.47
2011	5843	-0.22
2012	6031	3.22
2013	6119	1.47
2014	6209	1.46
2015	6299	1.45
2016	6389	1.44
2017	6481	1.43
2018	6572	1.42
2019	6664	1.40
2020	6756	1.38
2021	6664	-1.35
2022	6733	1.04
TF =		1.33

Fuente: Anuario Estadístico INIDE (2022, pág. 34)

3.7.3. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB)

Los datos han sido extraídos del Banco Central de Nicaragua a través del anuario de estadísticas macroeconómicas 2022, presenta valores históricos del producto interno bruto con enfoque en la producción. En este caso, se seleccionaron los históricos de producto interno bruto (PIB) desde el año 2008 hasta el 2020.

En la tabla 14 se muestran el resumen de los resultados, en la que se obtuvieron los siguientes resultados de una tasa de crecimiento promedio para PIB de 4.24%

Tabla 14 Resumen histórico de producto interno bruto (PIB)

Año	PIB	Tasa de crecimiento
2008	129.16	
2009	124.91	-3.29
2010	130.42	4.41
2011	130.65	0.18
2012	147.66	13.02
2013	154.94	4.93
2014	162.35	4.79
2015	170.13	4.79
2016	177.89	4.56
2017	186.13	4.63
2018	179.87	-3.36
2019	174.66	-2.90
2020	171.58	-1.77
2021	189.33	10.35
2022	196.43	3.75
TF =		4.24

Fuente: Anuario Estadístico Macroeconómica (Banco Central de Nicaragua, 2022, pág. 10-11)

3.7.4. Selección de la tasa de crecimiento

Para la selección de la tasa de crecimiento vehicular, se realizó un promedio de las tasas que corresponden al TPDA, PIB que es el que rige a nuestro país y crecimiento poblacional, demostrando el cálculo a continuación:

Ecuación 5

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

Donde:

TC-TPDA: tasa de crecimiento del tránsito promedio diario anual.

TC-PIB: tasa de crecimiento del producto interno bruto.

TC-POB: tasa de crecimiento de poblacional.

$$TC = \frac{6.81\% + 4.24\% + 1.33\%}{3} = 4.13\%$$

Se usará una tasa de crecimiento del 4.22% en el tramo en estudio.

3.8. Proyección de tránsito

Acorde con Montejo Fonseca (2002), el Tránsito de Diseño (TD), es una proyección que se realiza para el periodo de diseño, dicha proyección, se efectúa con una serie de datos históricos de tránsito, obteniendo así, un tráfico futuro, para ello, se debe tomar en cuenta la Ecuación 6

Ecuación 6

$$TD = TPDA * FC * Fds * 360$$

Fuente: Tomada de (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2018)

Donde:

TD: Tránsito de Diseño

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

Fds: Factor de Distribución por Sentido.

Fc: Factor por Distribución por Carril.

365: Constante equivalente a la estimación para los 365 días del año

3.8.1. Periodo de diseño

Es el tiempo total para el cual se diseña el pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considera apropiado para que las condiciones del entorno comiencen alterar, el funcionamiento del pavimento.

El volumen actual de tránsito de la carretera en estudio se clasifica de acuerdo a la AASHTO 93 como colectora rural (encontrándose en la zona rural del municipio de San Juan de Limay, y presenta un TPDA de 511 vpd como se muestra en la tabla 10, pág. 23), eligiéndose el valor medio de 15 años como período de diseño, de acuerdo a lo planteado por la SIECA (2011). (Ver tablas 15 y 16, pág. 32).

Tabla 15 Clasificación de las carreteras

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA (1)	NOMECC	TPD (2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	autopista	aa	>20,000	6-8
	arterial rural	ar	10,000 - 20,000	4-6
	arterial urbana	au	10,000 - 20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	arterial menor rural	amr	30,000 - 10,000	2
	arterial menor urbana	amu	30,000 - 10,000	2
COLECTORA MAYOR	colectora mayor rural	cmr	10,000 - 20,000	
	colectora mayor urbana	cmu	10,000 - 20,000	4-6
COLECTORA MENOR	colectora menor rural	cr	500 - 3,000	2
	colectora menor urbana	cu	500 -3,000	2
LOCAL	local rural	lr	100 - 500	2
	local urbana	lu	100 -500	2
	rural	r	<100	1-2

Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO-93, 2006, pag.170)

Tabla 16 Periodo de Diseño según 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: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, (SIECA, 2011 Cap.7, pág. 3)

3.8.2. Tránsito de diseño

Factor de crecimiento

El factor de crecimiento de acuerdo a la tasa de crecimiento vehicular, se obtuvo utilizando la ecuación 6, cuyo resultado se muestra en la tabla 14.

Ecuación 7

$$FC = \left[\frac{(1 + TC)^n - 1}{TC} \right]$$

Fuente: Tomada de (SIECA, 2011)

Donde:

FC: Factor de Crecimiento.

TC: Tasa de Crecimiento.

n: Período de Diseño.

Tabla 17 Factor de crecimiento

TC	Factor de Crecimiento
4.13%	20.21

Fuente: Elaboración propia

Factor de distribución por dirección

El factor de distribución por dirección de acuerdo al número de carriles que en este caso son dos. La característica más general es que el tránsito se divide equitativamente 50/50, por lo que se tomó el valor de 50% mostrado en la tabla 18.

Tabla 18 Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	LD¹⁰
2	50%
4	45%
6 o más	40%

Fuente: Guía de Diseño de Estructura de Pavimento (AASHTO-93, pág. 57)

Factor de distribución por carril

En la tabla 19, se presenta el factor de distribución por carril seleccionado para el tramo Empalme La Ceibita – San Juan de las Tronquera, a partir del número de carriles en una sola dirección, que para este caso tiene un valor de 1.

Tabla 19 Factor de distribución por carril

Tabla 31. Número de carriles en una sola dirección	LC¹¹
1	1
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Guía de Diseño de Estructura de Pavimento (AASHTO-93, pág. 58)

En la tabla 20, se muestran el tránsito de diseño para cada tipo de vehículo, calculado a partir de la ecuación 7, tomando en cuenta los factores definidos anteriormente, donde se obtuvo un total de 1,166,064 vehículos para el periodo de diseño de 15 años

Tabla 20 Factor de distribución por carril

Descripción	Vehículos pasajeros					Vehículos de Carga				Equipo Pes	Total
	Auto	Jeep	Cam	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
TPDS	1689	2014	2035	20	102	163	203	102	61	0	6,389
Tránsito de Diseño	308,227	367,644	371,357	3,714	18,568	29,709	37,136	18,568	11,141	0	1,166,064

Fuente: Elaboración propia

3.9. Calculo equivalente (ESAL o W18)

3.9.1. Factor de equivalentes (FESAL)

En este caso los estudios de pruebas de la AASHTO nos permitieron determinar el factor de Equivalencia, en los que sometieron muestras de pavimentos a diferentes configuraciones de ejes y cargas, con el objetivo de analizar el daño que se ocasionó a la estructura. En dichos estudios, se presentan pesos de los ejes a partir de 2 kip hasta 50 kip, definiendo los pesos en números pares en el rango.

Tomar siempre en cuenta que, para determinar el factor, los pesos por eje de cada tipo de vehículos los cuales presentan las cargas en toneladas se deben convertir a KIPS (ver anexos, tabla 51, pág. XXX e Ilustración 29 pág. XXXI).

Acorde al capítulo tres del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA, para calcular los ESAL' es necesario asumir en primera instancia, el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas y que en la mayoría de los casos se selecciona, como primera aproximación, un valor de SN = 3,0; además de asumir también el índice de serviciabilidad final aceptable, de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario según el tipo de carretera ya que los factores de equivalencia varían en dependencia del tipo de eje (sencillo, doble) (Coronado Iturbide, 2002, pág. 5-6). (Ver anexos, tablas 63 - 64, págs. XLII - XLIII)

Una vez estimadas las cargas, a partir del SN asumido, y concluido el diseño real del paquete estructural, se compara el SN obtenido con el SN asumido, hasta que la diferencia entre ambos SN sea menor a 0.5 (Corredor M, 2008, pág. 21).

Como el tramo en estudio se trata de una carretera colectora menor rural ya que posee un tránsito menor, se asumió valor de serviciabilidad de 2 y un SN igual a 3.

Además, si los pesos de los ejes no se encuentran en las tablas proporcionadas por la AASHTO se deben de Interpolarse dichos valores, aplicando la ecuación 8.

Ecuación 8

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

Fuente: Tomado de (Spiegel / Stephens, 2009)

En la tabla 18, mediante interpolación se definen los factores de equivalencia para los ejes cuyos pesos no se encuentran en los resultados de las pruebas de la AASHTO.

Tabla 21 CBR de diseño para subrasante FESAL

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	0.0038
6	0.011		
8	0.036	8.8	0.0576
10	0.090		
10	0.090	11	0.1395
12	0.189		
16	0.613	17.6	0.9226
18	1.00		
18	1.00	19.8	1.504
20	1.56		
20	1.56	22	2.35
22	2.35		
30	0.623	30.8	0.703
32	0.823		
34	1.07	35.2	1.256
36	1.38		
36	1.38	36.3	1.4325
38	1.73		

Fuente: Elaboración propia

3.9.2. ESAL de diseño

Una vez obtenido los factores de equivalencia (FESAL), se realiza el cálculo del ESAL de diseño mediante la aplicación de la Ecuación 10

Ecuación 10

$$ESAL = TD * FESAL$$

Fuente: Tomado del capítulo 3 (SIECA, 2002, pag.27)

Donde:

ESAL: Equivalent Simple Axial Load (Ejes Equivalentes).

TD: Tránsito de Diseño.

FESAL: Factor de Equivalencia.

A manera de ejemplo, se determinó el ESAL de diseño con los datos correspondientes a la camioneta, el cual presenta dos ejes con pesos diferentes, el eje delantero tiene un peso de 2.2 kip, y el eje trasero 4.4 kip, por lo que el FESAL es diferente, presentando para el primer eje un valor de 0.00038 y para el segundo de 0.0038, asimismo, presenta un tránsito de diseño de 371,357, demostrándose a continuación el resultado:

$$ESAL_1 = 371,357 * 0.00038 = 141\text{psi} \quad ESAL_2 = 371,357 * 0.0038 = 1411\text{psi}$$

$$ESAL(W18) = 141 + 1,411 = 1,552\text{psi}$$

El ESAL de diseño para la camioneta, es de 1,552 psi.

En la Tabla 22, se presenta el ESAL total de 231,582 psi, obtenido para el tramo Empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera, los valores representan las repeticiones equivalentes a 18 Kips, siendo esto acumulado en un periodo de

diseño de 15 años. Las motocicletas no se tomaron en cuenta, debido a que no ejercen una carga considerable al pavimento articulado.

Tabla 22. 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
Vehículos de pasajeros	Auto	308,227	2.2	Simple	0.00038	117	234
			2.2	Simple	0.00038	117	
	Jeep	367,644	2.2	Simple	0.00038	140	280
			2.2	Simple	0.00038	140	
	Camioneta	371,357	2.2	Simple	0.00038	141	1,552
			4.4	Simple	0.0038	1411	
	Mc Bus	3,714	4.4	Simple	0.0038	14	228
			8.8	Simple	0.0576	214	
Bus	18,568	11	Simple	0.1395	2590	46,225	
		22	Simple	2.35	43635		
Vehículos de carga	Liv 2-5 t	29,709	8.8	Simple	0.0576	1711	29,121
			17.6	Simple	0.9226	27410	
	C2	37,136	11	Simple	0.1395	5180	92,450
			22	Simple	2.35	87270	
	C3	18,568	11	Simple	0.1395	2590	29,189
			36.3	Doble	1.4325	26599	
	T2S2	11,141	11	Simple	0.1395	1554	32,303
			19.8	Simple	1.504	16756	
35.2			Doble	1.256	13993		
ESAL DE DISEÑO =							231,582

Fuente: Elaboración propia



**CAPITULO IV:
ESTUDIO DE SUELO**

4.1. Generalidades

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos del estudio geotécnico realizado en el empalme la Ceibita San Juan de Limay – Los llanos, el cual fue proporcionado por la Alcaldía Municipal de San Juan de Limay, departamento de Estelí. Este estudio nos permitirá conocer las características físico-mecánicas del suelo, tomando en cuenta los parámetros que se deben cumplir con lo establecido por el Manual para la revisión de Estudios Geotécnicos (MTI, 2017).

Esta etapa tiene como objetivo verificar, si el suelo existente en la zona de estudio cumple con las especificaciones requeridas para material de Base y Subbase, así como analizar los datos existentes de los diferentes Bancos de Préstamo disponibles para el proyecto.

4.2. Clasificación de los suelos

Un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

- Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2mm).
- Arena gruesa: de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 (0.425 mm).
- Arena fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz N0. 200 (0.075 mm).
- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm. Las propiedades de plasticidad que se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg:
 - Límite líquido o LL: Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido
 - Límite plástico o LP: Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo

- Índice plástico o IP: es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

Para conocer la calidad de capa subrasante y el suelo que la componen se deben realizar estudios de suelo según la normativa AASHTO de los cuales se puede mencionar lo siguiente:

Análisis granulométrico de los suelos: La finalidad es obtener la distribución por tamaño de una muestra de suelo, así como su clasificación mediante sistemas como AASHTO o SUCS. Este ensayo es importante pues en este se basa el criterio de aceptación de los suelos para ser utilizados en bases o sub bases de carreteras u otras obras. Para obtener la distribución por tamaño, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

Límites de consistencias del suelo: La determinación de los límites de consistencias de un suelo proporciona una idea clara de la calidad de suelo que posee. Este estudio se realiza a los suelos finos presente en la muestra y se utiliza directamente en la especificación para controlar los suelos a utilizar en terraplenes. Con este estudio se determina el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

4.3. Trabajo de campo

Para realizar la presente exploración geotécnica, se efectuaron siete (7) perforaciones manuales separadas a 250 metros una de otra, con profundidades de 1.50 metros y ubicadas alternamente a lo largo de la vía.

El muestreo de los sondeos se hizo con pala pastadora y barra, clasificándose el material en el sitio visualmente y al tacto. Dichas muestras fueron trasladadas al laboratorio para su clasificación definitiva, formándose grupos afines de suelos con los que se realizaron igual número de ensayos de penetración (CBR),

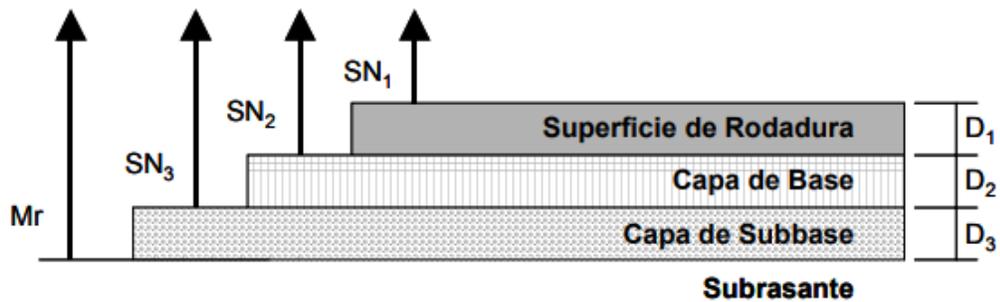
necesarios para el diseño. A las muestras recopiladas se le realizaron los siguientes ensayos:

Tabla 23 Ensayos de suelo de acuerdo a normas AASHTO

No	Prueba	Norma
1	Análisis Granulométrico.	AASHTO T-88
2	Limite Líquido.	AASHTO T-89
3	Limite Plástico e Índice de Plasticidad.	AASHTO T-90
4	Clasificación HRB Y S.U.C.S.	AASHTO T-145
5	Proctor Estándar	AASHTO T-99
6	CBR	AASHTO T-193

Fuente: Estudio Geotécnico del tramo Empalme la Ceibita-Los Llanos (Alcaldía Municipal de San Juan de Limay)

Ilustración 9 Espesores mínimos en función del número estructural



Fuente: AASHTO 1993, Cap. 7, pág. 8.

4.4. Condiciones del terreno

El tramo Empalme la Ceibita - San Juan de La Tronquera, en general los problemas geotécnicos se asocian a pequeños baches a lo largo de la ruta, debido a la baja capacidad de carga que presenta el material de rodamiento, además se presentan problemas de circulación, debido a la falta del drenaje longitudinal y transversal a lo largo de la vía.

Durante la realización de los Estudios Geotécnicos, se observaron algunas escorrentías superficiales, que han provocado socavamientos considerables en la vía, para lo cual será necesario considerar alguna medida preventiva tales como levantar los niveles de rasante ó perfilar adecuadamente las cunetas, con el fin de facilitar la evacuación de las aguas superficiales.

4.5. Resultados de sondeos de línea

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir del análisis de cada una de las muestras clasificándolo de acuerdo a AASHTO los sondeos manuales, se muestran a continuación, detallando cada una de las características correspondientes de su estratigrafía:

Se logró encontrar desde la superficie del terreno hasta aproximadamente 0.35 metros de profundidad, la clasificación del suelo les corresponde a estratos intercalados, de grava limo arenoso, de baja plasticidad, color café claro, mezclado con fragmentos pétreos, que tienen clasificación A-2-4 (0). Estos suelos tienen limite líquido que varía de 32% a 34% e índice plástico de 8.1% a 10.1%

También subyacen estratos intercalados de textura arcillo arenosa, de mediana plasticidad, color café, que tiene clasificación A-7-5(9) IG=8 y 10. En la siguiente tabla 24, se muestran en resumen las características de las diferentes muestras de materiales encontrados a lo largo de los 1.5 Km proporcionados por la Alcaldía de San Juan de Limay.

Tabla 24 Resumen de resultados de ensayos en cada uno de los sondeos manuales

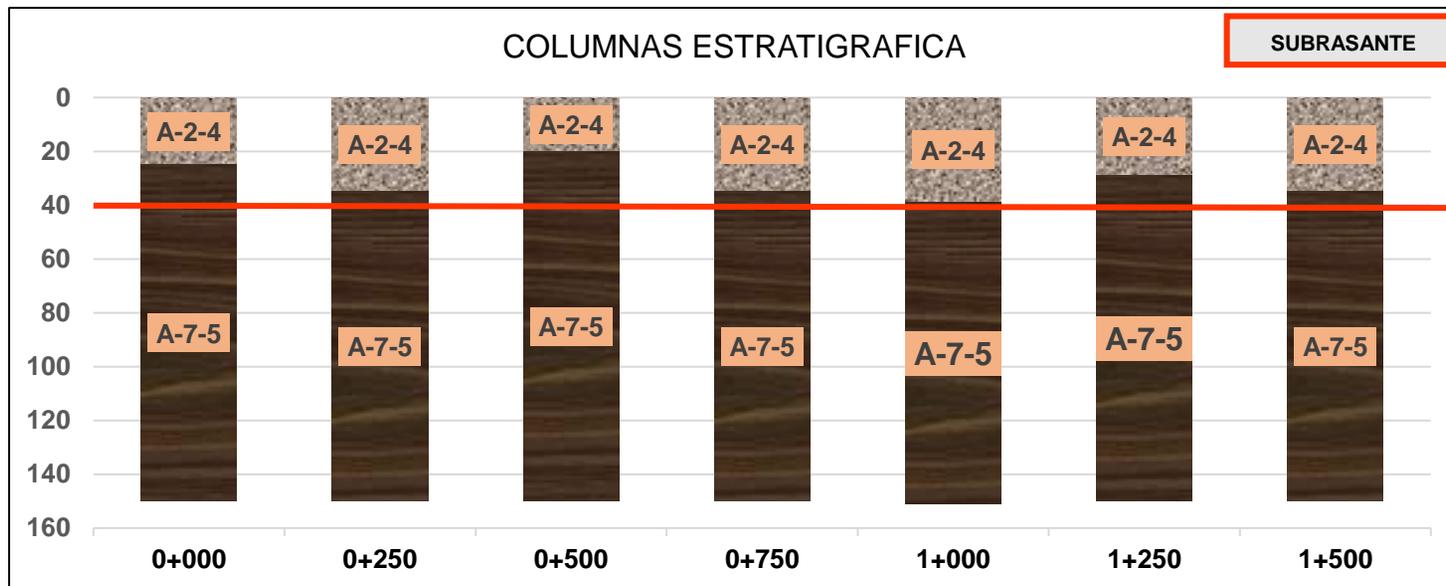
SONDEOS DEL TRAMO EMPALME LA CEIBITA-SAN JUAN DE LA TRONQUERA													
Sondeo	Desviación	Muestra	Profundidad (CM)	Granulometría				Límite %		Clasificación AASHTO	CBR. A compat.		
				4	10	40	200	LL	LP		90%	95%	100%
S1	Derecha	1	0-25	50.6	45.6	32.4	20.6	32.2	8.1	A-2-4(0)	39.2	57.6	65.7
		2	25-150	43.2	30.7	21.2	17.6	44.6	17.6	A-7-5(10)	4.8	6.9	10.4
S2	Izquierda	3	0-35	51.1	43.8	30.1	21	32.5	8.1	A-2-4(0)	34.6	50.7	70.3
		4	35-150	43.9	36.6	22.9	17.9	43.6	17.9	A-7-5(10)	5.1	7.4	9.7
S3	Derecha	5	0-20	51.4	45.7	32.56	21.6	32	8.1	A-2-4(0)	27.7	42.6	62.2
		6	20-150	44.5	38.8	25.66	18.3	44.4	18.1	A-7-5(8)	5.3	7.6	10.4
S4	Izquierda	7	0-35	50.9	42.3	30.8	20.8	33.1	8.1	A-2-4(0)	34.6	50.7	71.4
		8	35-150	43.5	34.9	23.4	18.9	43.8	18.6	A-7-5(9)	4.4	6.5	10.2
S5	Derecha	9	0-39	52.2	39.6	27.6	21.2	33.5	8.1	A-2-4(0)	34.6	50.7	73.7
		10	39-150	44.3	36.7	24.7	18.5	44.1	19.3	A-7-5(8)	5.3	7.4	9.9
S6	Izquierda	11	0-29	51.4	44.8	32.1	21.8	34	8.1	A-2-4(0)	39.2	57.6	80.7
		12	29-150	44.1	38.9	27.2	19	43.9	18.5	A-7-5(10)	5.3	7.4	9.9
S7	Derecha	13	0-35	52	43.7	29.8	20.7	32.6	8.1	A-2-4(0)	36.9	54.2	73.7
		14	35-150	44.6	37.3	23.4	19.2	43.8	17.7	A-7-5(10)	5.1	7.6	10.4

Fuente: Estudio Geotécnico del tramo Empalme la Ceibita-Los Llanos (Alcaldía Municipal de San Juan de Limay)

4.5.1. Estratigrafía de los suelos

Además, se realizó las columnas estratigráficas de los suelos por cada sondeo realizado, en la misma que indica las clases de suelo de acuerdo a las profundidades, proponiendo un nivel de subrasante de 0.40 cm por debajo del terreno natural existente, por la variación de altura en el mejoramiento que se realizó anteriormente, esto en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, como se refleja en la siguiente ilustración.

Ilustración 10 Columnas Estratigráficas (Est. 0+000 a 1+500)



Fuente: Elaboración propia

4.6. Resultados del estudio de suelos de los bancos de materiales

4.6.1. Banco N°1: Sr. Marvin Blanco

Localizado en los terrenos del Sr. Marvin Blanco, ubicado de la estación 0+550, a 60m de la carretera. El cual presenta materiales granulares, correspondiendo a un suelo de clasificación A-2-4 según la AASTHO es de baja compresibilidad y de media plasticidad. Corresponde a Grava limosa. El valor de s CBR es de, 66.8% y su densidad seca máxima es de 2,210 kg/m³ y su humedad óptima es de 9.1%. Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados se muestran en la Tabla 25, pág. 47)

4.6.2. Banco N°2: Sr. Roberto Casco

Se encuentra ubicado en la estación 2+000 a 100m de la estación, en terrenos del Sr. Roberto Casco que presenta las características físico mecánicas obtenidas a través de los ensayos de laboratorio, dicho material corresponde a una grava, roca y arena, su clasificación **AASTHO** es A-1-a, tiene características de compacidad No-Plásticas. EL valor de CBR es de, 84.1% respectivamente. El Peso Volumétrico Seco Máximo es de 2,032 kg/m³ y su humedad óptima es de 10.2% que se muestran en la Tabla 25, pág. 47.

Tabla 25 Resumen de suelos de bancos de materiales

PVSS	PVSC	Densidad Máxima	Humedad óptima	C.B.R	% Que Pasa por el Tamiz										L.L.	I.P.	AASHTO
					2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200			
Banco de Préstamo N°1 "Sr. Marvin Blanco"																	
1,810	1,984	2,210	9.1	66.8	96	73	49	37	28	22	13	6	3	2	23	5	A-2-4 (0)
Banco de Préstamo N°2 "Sr. Roberto Casco"																	
1,588	1,802	2,032	10.2	84.1	100	93	82	73	56	36.4	24.5	17.5	15.4	11.6	-	NP	A-1-a
Observaciones: PVSS = Peso Volumétrico Seco Suelto PVSC = Peso Volumétrico Seco Compacto L.L. = Limite Líquido I.P. = Índice de Plasticidad																	

Fuente: Estudio geotécnico del tramo la Ceibita-Los Llanos, (Alcaldía de San Juan de Limay)

4.7. Análisis de bancos de materiales

Cada banco de material sugerido para usarse en la capa base y sub base en la estructura de pavimento, deberán cumplir los requerimientos de las normas NIC 2019, los cuales se presentan en la Tabla 26, pág.48.

Tabla 26 Especificaciones de los materiales para base y sub base granular

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

Fuente: Nic 2019 sección 1003.8 (a y b pág. 809)

El resultado obtenido a partir del estudio de suelo realizado al banco de material N°1, se presenta a continuación en la Tabla 27, pág. 48, en la cual se comparan dichos resultados con los requisitos de la norma NIC 2019.

Tabla 27 Evaluación del banco de material N°1

Ensayo		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite Líquido		AASHTO T 89	25 máx.	23	Cumple
Índice de Plasticidad		AASHTO T 90	6 máx.	5	Cumple
CBR	Base	AASHTO T 190	80 % mín.	66.8%	Cumple
	Subbase		30 % mín.		Cumple

Fuente: Elaboración propia

Aplicando los mismos requisitos de la NIC 2019 para los estudios de suelo del banco de material N°1, se presenta a continuación en la tabla 28 de los resultados obtenidos del banco de material N°2.

Tabla 28 Evaluación del banco de material N°2

Ensayo		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite Líquido		AASHTO T 89	25 máx.	-	Cumple
Índice de Plasticidad		AASHTO T 90	6 máx.	NP	Cumple
CBR	Base	AASHTO T 190	80 % mín.	84.1%	Cumple
	Subbase		30 % mín.		Cumple

Fuente: Elaboración propia

4.7.1. Elección de los bancos de material

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

Para la capa subbase se debe usar el banco de materiales N°1 perteneciente al Sr. Marvin Blanco, posee un CBR 66.8 % sobrepasando el 30 % requerido por NIC 2019. (Ver Tabla 27. pág 48)

Según el banco de materiales N°2 perteneciente al Sr. Roberto Casco, se sugiere usarlo como base granular, el cual posee un CBR de 84.1 % sobrepasando el 80 % requerido por NIC 2019. (Ver Tabla 28. pág 49)

4.8. CBR de diseño

Ensayo que se encarga de medir la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y que también evalúa la calidad del terreno ya sea para trazar una subrasante, tirar una sub base y base de pavimentos, todo esto llevado a cabo mediante condiciones debidamente controladas de humedad y densidad. (Crespo Villalaz, 2004).

Los valores del CBR del tramo deben cumplir con lo establecido en la norma NIC 2019, las cuales se anidan en la Tabla 29. El valor del CBR se tomó a una profundidad de subrasante de 0.40 metros debido a la inestabilidad del suelo así como se muestra en los perfiles estratigráficos. Ver ilustración 10, pág. 45.

Tabla 29 Especificaciones de terraplén y Subrasante

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

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

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

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

4.8.1. Identificación de la subrasante

El espesor de la carpeta de rodamiento actual, correspondiente a terracería, es aproximadamente de 0.40 m en la mayoría de los estacionamientos, por lo que la subrasante se estudia a la profundidad antes mencionada.

Los suelos encontrados a partir de los sondeos manuales realizados corresponden a suelos del tipo A-2-4 (0), A-7-5(9) IG=8 y 10, los cuales se clasifican como: Limo arenoso y arcillas arenosa. De los cuales en su mayoría de acuerdo a lo establecido por la AASHTO son considerados en la escala de regular a malos para usar en la Subrasante.

El CBR de la subrasante es un parámetro importante, a partir de él se determinarán otros parámetros de diseño de la estructura de pavimento como el Módulo de Resiliencia (MR). Los valores de CBR proporcionados por la Alcaldía Municipal de San Juan de Limay, siendo mostrado en la Tabla 31, pág. 52.

El valor del percentil para la determinación del CBR de diseño de la subrasante, se logra obtener a partir de la Tabla 30.

Tabla 30 Percentil de diseño para Subrasante

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

Fuente: Elaboración propia

En base a la Tabla 30 y sabiendo que el ESAL de diseño es de 231,582 psi (Ver Tabla 22, pág. 39), el cual se toma en consideración el valor del percentil, 75% del porcentaje de los valores mayores o iguales. Los valores de CBR acumulados, se utilizaron para encontrar el valor de CBR de diseño de la subrasante del tramo en estudio conforme al tipo de suelo que se encuentra Tabla 31, pág. 52.

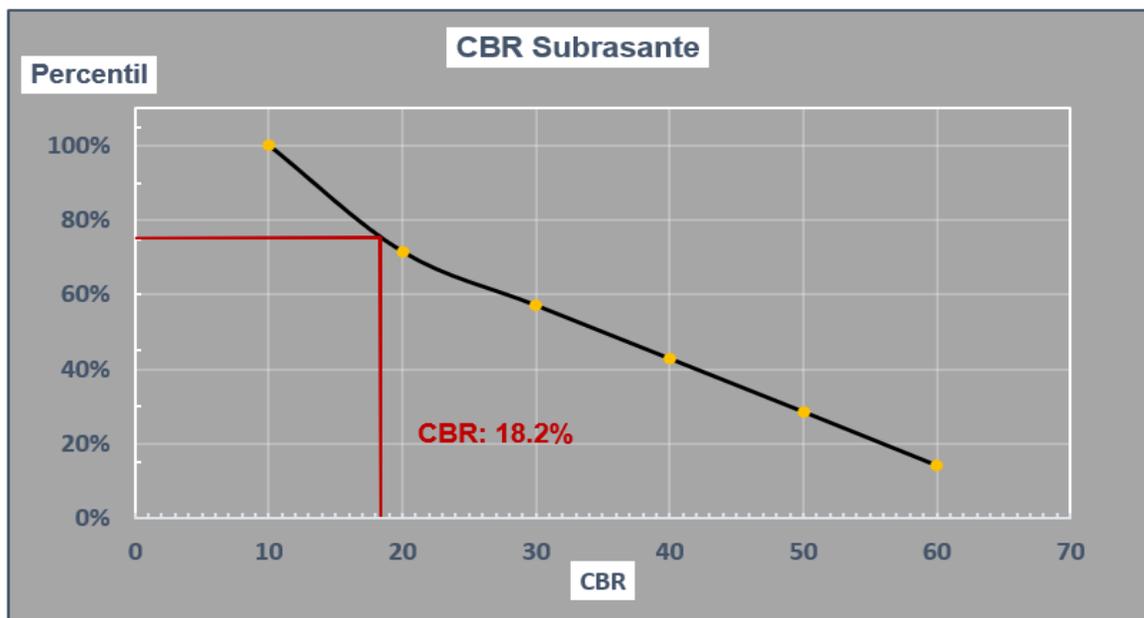
Tabla 31 Selección de CBR de diseño para subrasante

Clasificación AASHTO	CBR	Frecuencia	Cantidades Mayores o Iguales	%
A-7-5(8)	7.6%	2	7	100%
A-7-5(9)	6.5%	1	5	71.43%
A-7-5(10)	6.9%	1	4	57.14%
	7.4%	1	3	42.85%
	7.4%	1	2	28.57%
	7.6%	1	1	14.28%
Sumatoria		7		

Fuente: Elaboración propia

En base a la Tabla 31 se elabora la curva grafica para obtener el CBR de diseño, se hace la interpolación del percentil del 75% y se obtiene un CBR de diseño para la subrasante de 18.2% como se muestra en el Grafico 5.

Gráfico 5 CBR de diseño para subrasante



Fuente: Elaboración propia



**CAPITULO V:
DISEÑO Y ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO ARTICULADO**

5.1. Generalidades

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

En el presente capítulo, se muestran los aspectos relativos al diseño de pavimento articulado del tramo Empalme la Ceibita-San Juan de Limay, el cual se ha realizado tomando como referencia lo establecido en la Norma SIECA 2002, aplicando el método de diseño AASHTO – 93.

5.2. Método AASHTO-93

Para el diseño de pavimento Flexible con forme a la AASHTO se basa en una ecuación de la cual se obtiene el número estructural (SN), valor que indica el nivel de carga exigida por el proyecto para la estructura de pavimento; se encuentra en función del tránsito y la confiabilidad de los datos y el CBR que mediante distintas correlaciones se puede definir el Módulo Resiliente de nuestro suelo de apoyo, además de tener en cuenta otros factores que influyen en este diseño.

Ecuación 11.

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

Fuente: Tomada de (AASHTO 93)

Donde:

Wt18: Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 kN) calculadas conforme el tránsito vehicular.

ZR: Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

So: Desviación estándar de las variables

Δ PSI: Pérdida de Serviciabilidad

MR: Módulo Resiliente de la subrasante.

SN: Número Estructural.

5.3. Variable de diseño

Para el diseño de la estructura de pavimento se deben considerar los siguientes parámetros:

5.3.1. Periodo de diseño

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

Los periodos de diseño recomendados son los que se muestran en la Tabla 13, pág. 33. En base al tipo de carretera del tramo en estudio, correspondiente a una colectora rural, se selecciona un valor de periodo de diseño de 15 años.

5.3.2. ESAL

Esto se refiere al diseño en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. (SIECA, 2002, pág. 3).

Concluyendo, en nuestro capítulo de estudio de tránsito tenemos un valor de 230,186 psi siendo este nuestro ESAL.

5.3.3. Confiabilidad (R)

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. (SIECA, 2002, pág. 142)

En base a los parámetros establecidos en la norma de AASHTO 93, los valores de confiabilidad sugeridos se especifican en la Tabla 32, acorde a los tipos de carreteras el valor se selecciona como se muestran a continuación.

Tabla 32 Niveles de confiabilidad

Tipo de Carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias Principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Diseño de Pavimentos, AASHTO 93.

Nuestro valor R (confiabilidad) según nuestro tipo de carretera es 80%, esto debido a que nuestro tramo en estudio está conectado con otras comunidades del municipio de San Juan de Limay.

5.3.4. Desviación estándar

Tiene el mismo significado para parámetros flexibles, es decir que se refiere al grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones. (SIECA, 2002, pág. 196)

Según las características de nuestro terreno y las normas del diseño de pavimento en SIECA 2002 es un pavimento flexible y su valor S_o de 0.4, ver Tabla 33.

Tabla 33 Desviación estándar

Condición	S_o
Pavimento Flexible	0.4-0.5
Construcción nueva	0.35-0.4
Sobre capas	0.5

Fuente: SIECA 2002

5.3.5. Criterios de serviciabilidad

La serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto).

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. La inicial (p_o) es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final ó terminal (p_t) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador. (SIECA, 2002).

Para nuestro camino el valor que optaremos de serviciabilidad inicial será el 4.2 de pavimento flexible y una final de 2.0 debido a que la zona en que se encuentra el camino es un camino vecinal, obteniendo así un tránsito menor, mostrado en la Tabla 34, pág. 56.

Tabla 34 Valores de serviciabilidad

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

Fuente: SIECA 2002, capítulo 7, pág. 4

El valor de la perdida por serviciabilidad es determinado por la siguiente ecuación:

Ecuación 12

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Fuente: SIECA (2002)

Seleccionando el valor $P_o = 4.2$ y $P_t = 2$ entonces la perdida por serviciabilidad es de: 2.2 según aplicando la ecuación 12.

5.3.6. Módulo de resiliencia de la subrasante

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

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

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

Ecuación 13

$$MR = 1,500 * CBR$$

Fuente: Tomado de (MONTEJO FONSECA 2002)

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

Ecuación 14

$$MR = 4,326 * \ln(CBR) + 241$$

Fuente: Tomado de (MONTEJO FONSECA 2002)

En el Capítulo IV se determinó el CBR promedio de la línea principal del tramo de carretera, de acuerdo al Gráfico 5 (pág. 51), resultando un valor de 18.2 %. El módulo de resiliencia para la subrasante se calcula usando la Ecuación 14, porque es la que más se aproxima, dando como resultado lo siguiente:

$$MR = 4,326 * \ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4,326 * \ln(18.2) + 241$$

$$MR = 12,792.550 \text{ PSI}$$

5.3.7. Coeficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje, es un factor importante para determinar el comportamiento de la estructura del pavimento dentro de su vida útil, igual manera en su diseño. “La selección de estos valores debe estar basada en el buen juicio y experiencia del proyectista” AASTHO 93 Cap. 8, Pág. 186

La AASHTO 93, recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de diseño, los cuales se aprecian en la Tabla 35, pág. 58.

Debido a que se asume una buena capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman el pavimento, el coeficiente de drenaje a utilizar es de $m_i = 1.00$ (Ver tabla 36, pág.58)

Tabla 35 Capacidad del drenaje para remover la Humedad

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

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

Tabla 36 Coeficiente de drenajes

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	>25%
CALIFICACIÓN				
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, Cap. 7, Pág. 148.

5.3.8. Coeficientes estructurales de capa.

El cálculo de los coeficientes estructurales de capa, son necesarios para la determinación de los espesores de la estructura de pavimento, para poder determinar dichos coeficientes es necesario el uso de gráficos de la norma (SIECA 2002).

Cada uno de estos coeficientes representa una medida de capacidad relativa de cada material para su funcionamiento al formar parte de la estructura de pavimento, la representación de estos coeficientes son los siguientes:

a 1: Para la carpeta de rodamiento.

a 2: Para la base.

a 3: Para la sub base.

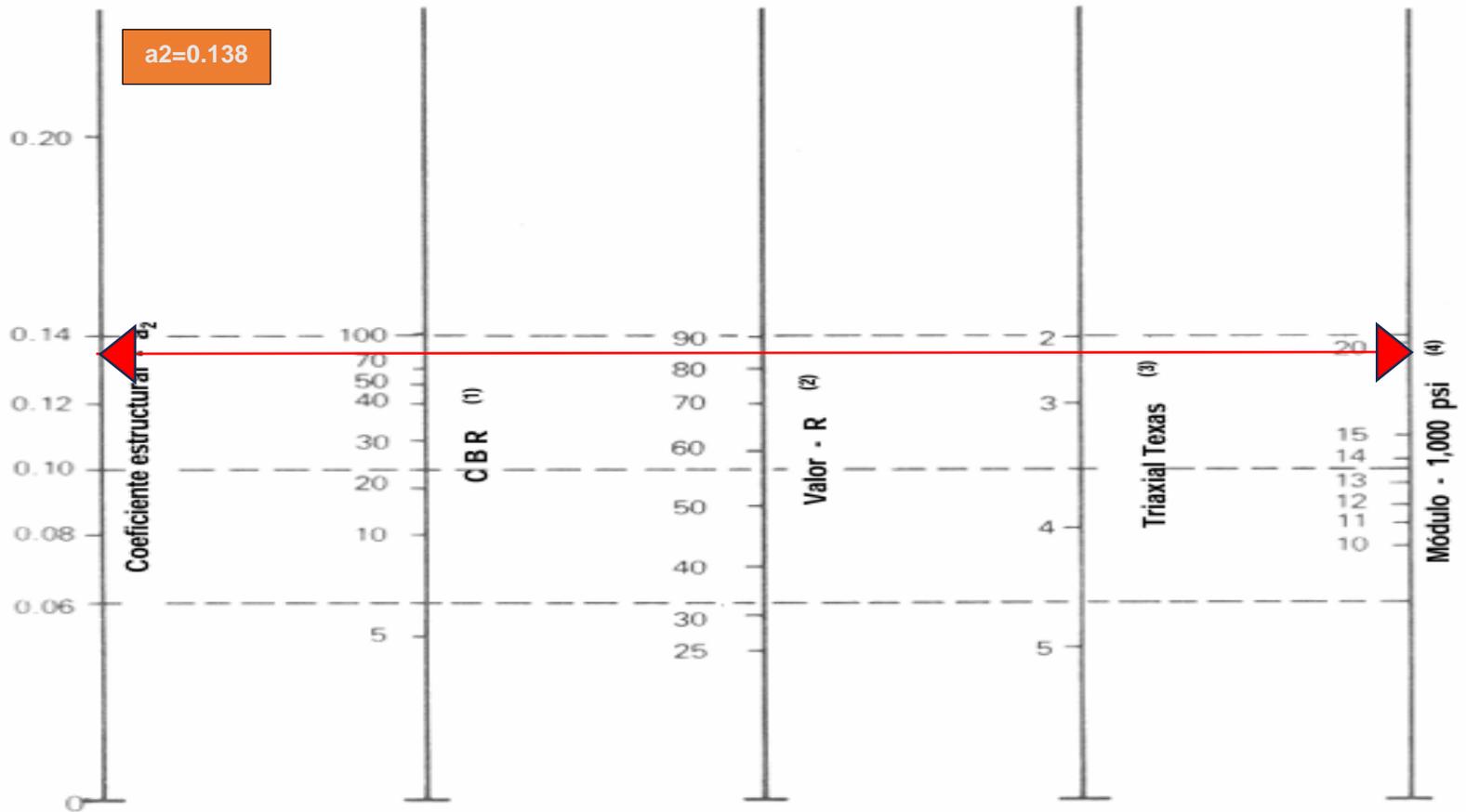
El coeficiente estructural para el diseño de espesores con adoquín ya está definido en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, en el capítulo 7, página 107, cuyo valor es de $a_1=0.45$.

La determinación del coeficiente estructural a_2 se realizó en base a la aplicación del nomograma para base y subbase granular no tratada proporcionado por la Guía para Diseño de Estructuras de Pavimentos (AASHTO 1993).

Para obtener el valor del coeficiente de capa de la base granular a_2 , se interpola el CBR del banco de material N°2, que es del 84.1%, dando como resultado un valor de 0.138 como se muestra en la ilustración 11.

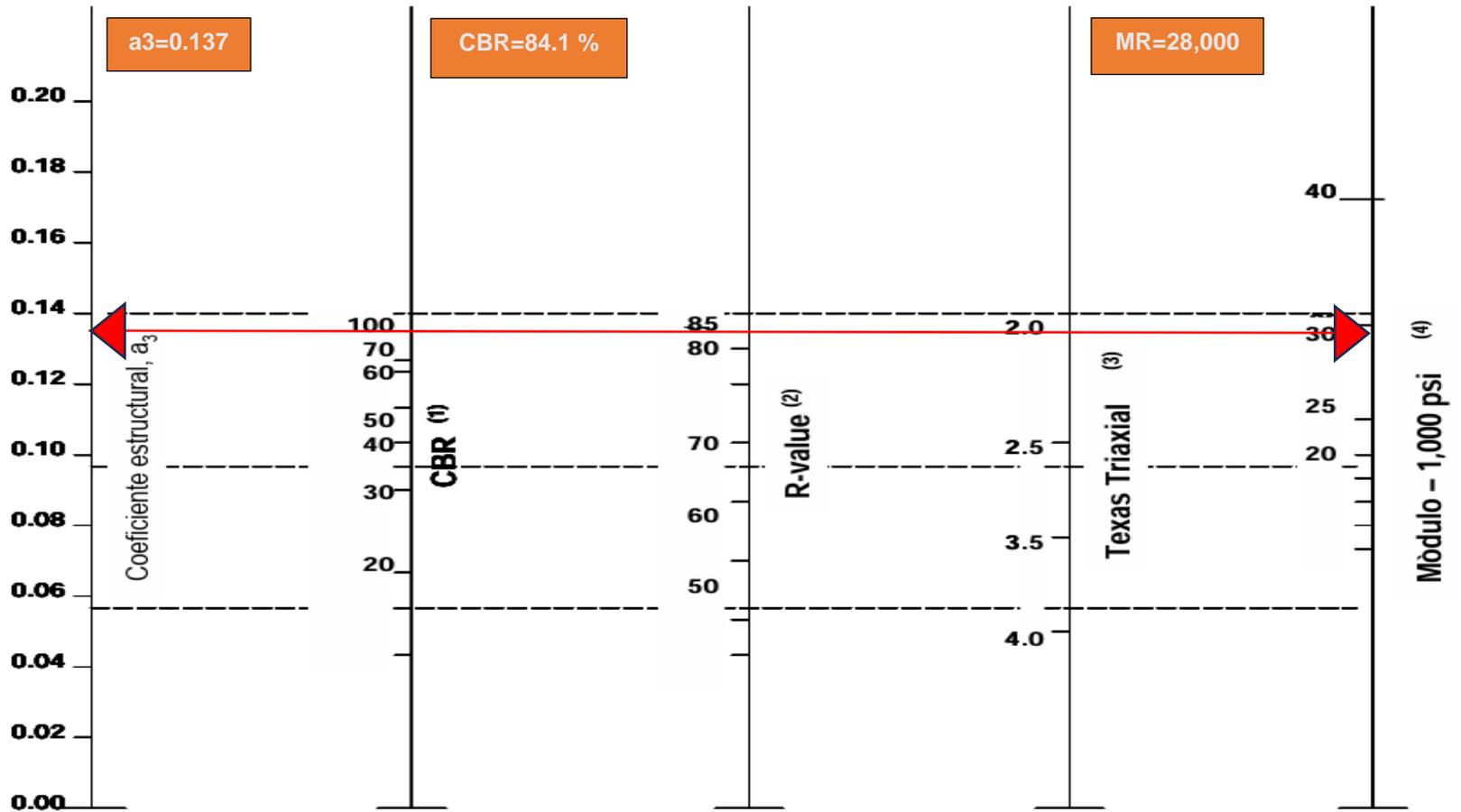
El resultado de a_3 , es el coeficiente de capa de la subbase, se determina utilizando el valor del CBR del banco de materiales N°2, que es del 84.1%, dando como resultado un valor de 0.137, como se muestra en la ilustración 12.

Ilustración 11 Coeficiente de capa base granular a2



Fuente: AASHTO 93

Ilustración 12 Coeficiente de sub base granular a3



Fuente: AASHTO 93

5.3.9. Módulo de resiliencia de la base y sub base.

El módulo resiliente reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. Es importante utilizar valores a la densidad y contenido de humedad que los suelos desarrollaran cuando se encuentren en servicio. (AASHTO-93, 2001)

El módulo de resiliencia a utilizar en la base y en la sub base de la estructura de pavimento, se determina a través del uso de los nomogramas mostrados en las ilustraciones anteriores 11 y 12 pág. 60-61

El resultado del módulo de resiliencia de la base es de 19 Ksi.

El valor para la subbase es de 28 Ksi.

5.3.10. Número estructural.

SN es llamado el número estructural. El número estructural se convierte a una combinación de espesores de capa, combinando coeficientes que representan la capacidad estructural relativa del material de cada capa, en donde se representan las capas de acuerdo a la siguiente ecuación:

Ecuación 15

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3$$

Fuente: Tomada de AASHTO 93

Donde:

a_{1,2,3}: Coeficientes estructurales de capa.

D_{1,2,3}: Espesores de capa

m_{1,2,3}: Coeficientes de drenaje de capas

Para la determinación del número estructural de la subrasante SN, se toman los datos mostrados en la tabla 37 y mediante la interpolación en el monograma mostrada en la ilustración 13, pág. 64.

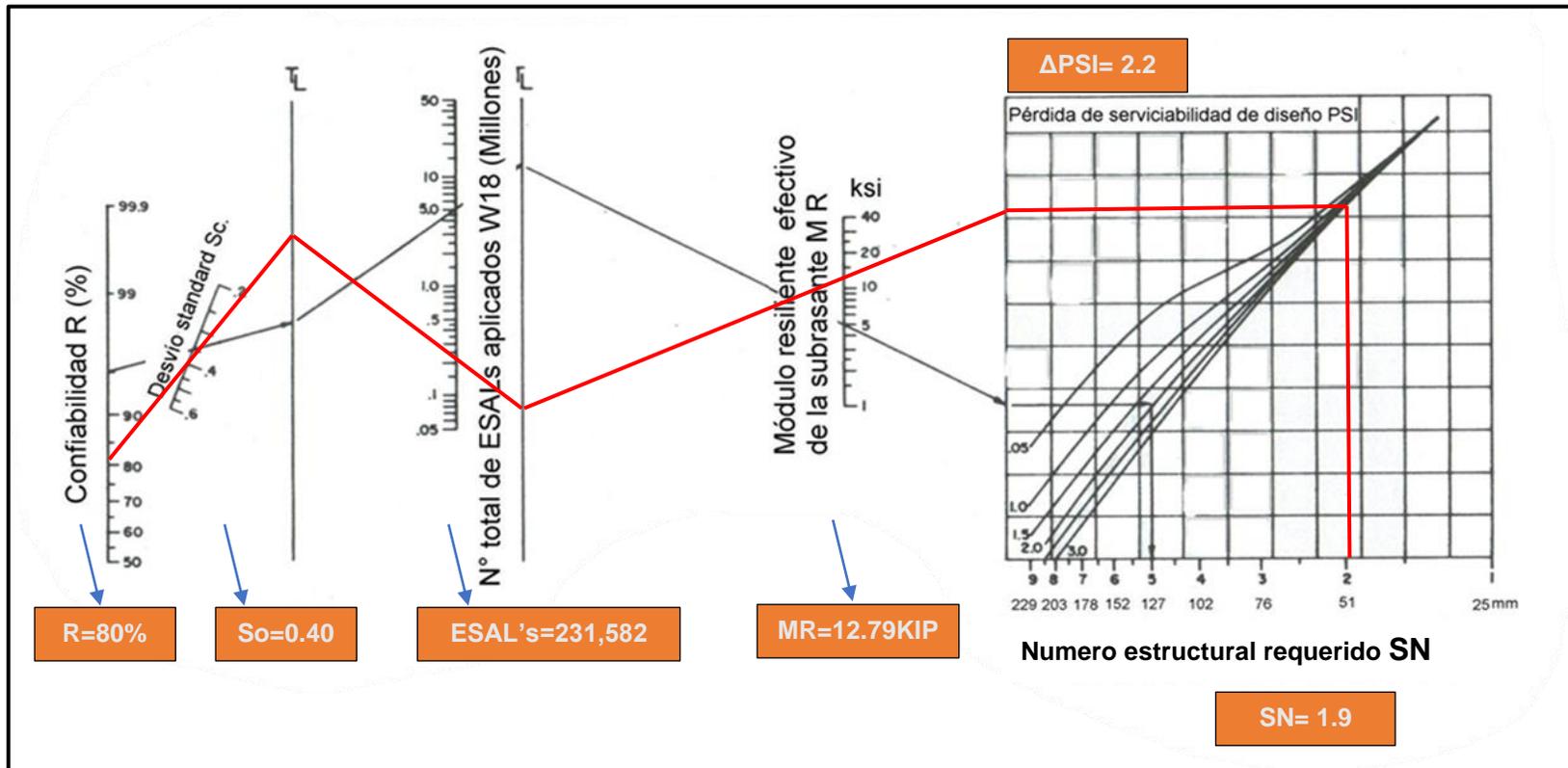
Tabla 37 Resumen de datos para interpolación

Variables de diseño	
Período de diseño	15
ESAL	231,582
Confiabilidad R	80
Desviación estándar	0.4
Serviciabilidad inicial	4.2
Serviciabilidad final	2
Serviciabilidad	2.2
CBR Sub rasante	18.2
Módulo de Resiliencia Sub rasante SN	12792.55
Módulo de Resiliencia Subbase SN2	28000
Módulo de Resiliencia la base SN1	19000

Fuente: Por sustentante

Para el cálculo del Número Estructural (SN) se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para Diseño de Estructura de Pavimentos (AASHTO 93), obteniendo un requerido SN= 1.9. Los valores de SN, se comprobaron en Software de la AASTHO 93. (Ver anexos, Ilustración 30, págs. XLV).

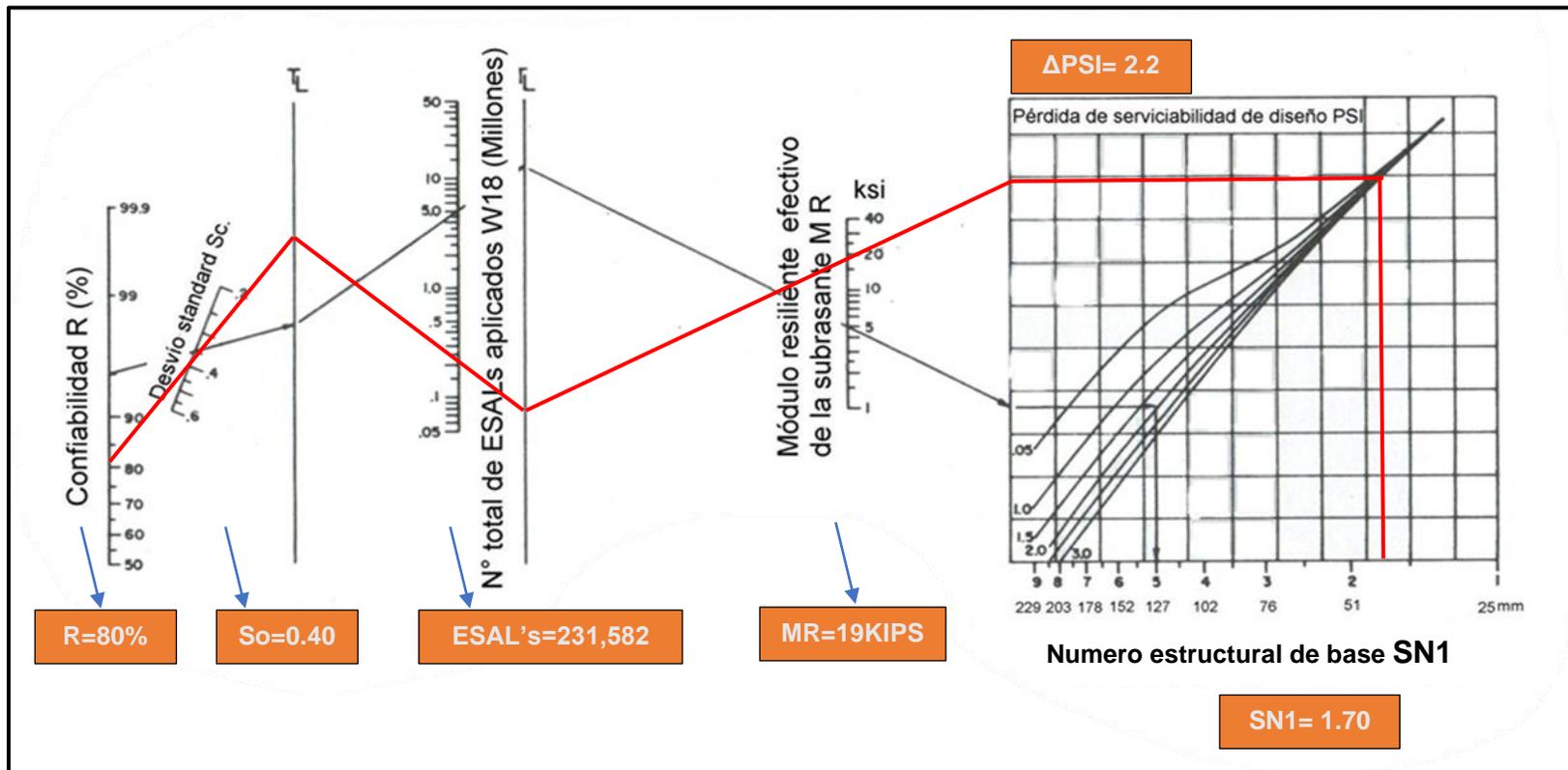
Ilustración 13 Diseño del número estructural (SN)



Fuente: AASHTO 93 Pág. 3-40

Para el cálculo del Número Estructural (SN1) base, se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para Diseño de Estructura de Pavimentos (AASHTO 93), obteniendo un SN1= 1.70. Los valores de SN, se comprobaron en Software de la AASTHO 93. (Ver anexos, Ilustración 31, págs. XLVI).

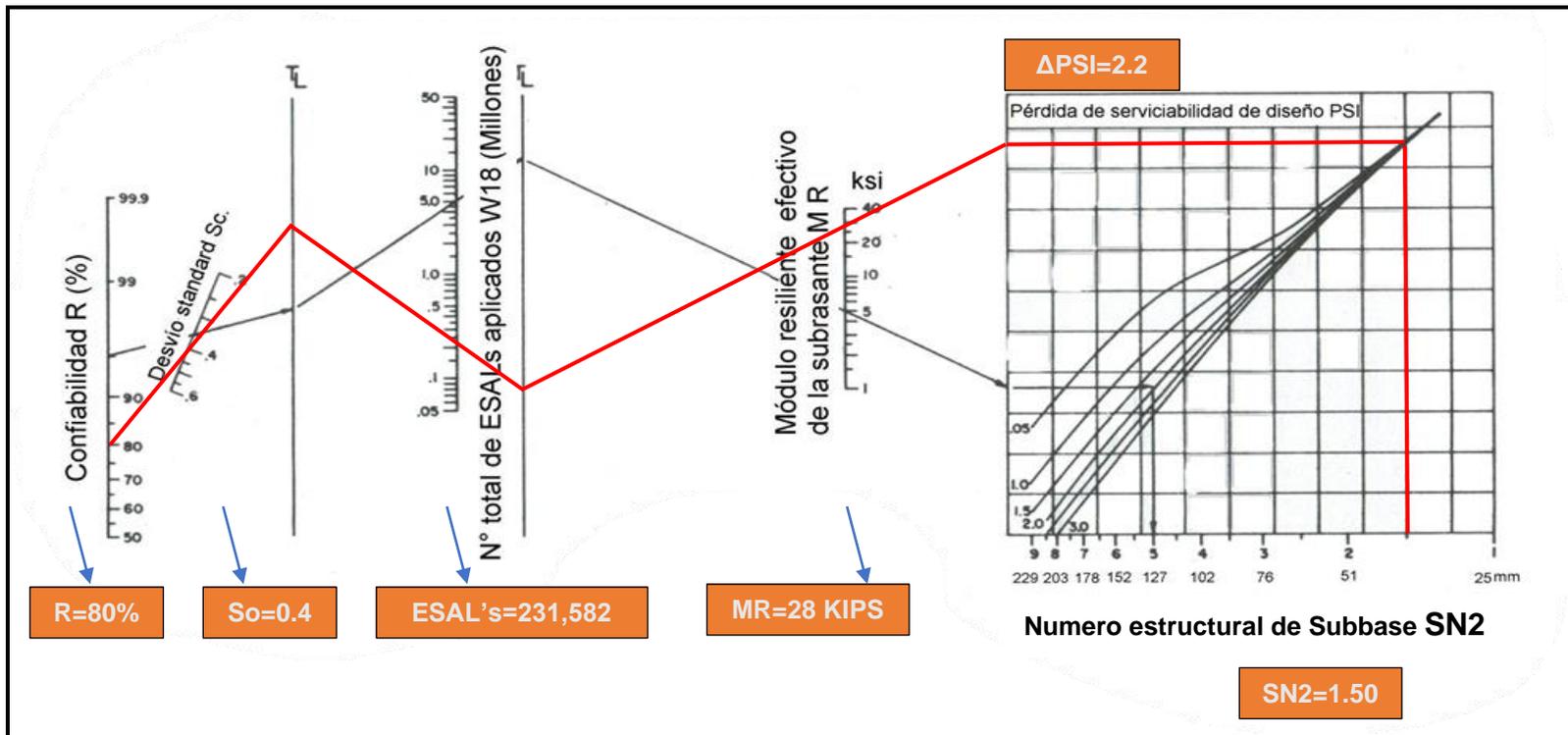
Ilustración 14 Diseño del número estructural (SN1)



Fuente: AASHTO 93 Pág. 3-40

Para el cálculo del Número Estructural (SN2) de la Sub base, se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 93), obteniendo un SN2= 1.50. Los valores de SN, se comprobaron en Software de la AASTHO 93. (Ver anexos, Ilustración 32, págs. XLVII).

Ilustración 15 Diseño del número estructural (SN2)



Fuente: AASHTO 93 Pág. 3-4

5.4. Cálculo de espesores.

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

5.4.1. Espesor de base granular

Para nuestro estudio proponemos utilizar una carpeta de rodamiento de bloques de adoquín, por lo tanto, el espesor de la carpeta de rodamiento ya se encuentra determinada como medida estándar de 4 pulgadas y aplicando la ecuación, en donde $D_1 = 4$ pulgadas y $a_1 = 0.45$ según lo anterior.

Ecuación 16

$$SN_1 = a_1 D_1$$

Fuente: Tomada de (SIECA 2002)

Sustituyendo en la ecuación se obtiene:

$$SN_1 = a_1 D_1$$

$$SN_1 = 0.45 * 4$$

$$SN_1 = 1.8$$

5.4.2. Espesor de base granular

Tomando en cuenta que se conoce el valor de $SN_1 = 1.8$, $SN_2 = 1.50$, $a_2 = 0.137$, $m_2 = 1$ entonces partiendo de la ecuación del método AASHTO 93 se tiene que:

Ecuación 17

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

Fuente: Tomada de (SIECA 2002)

Sustituyendo:

$$D_2 = \frac{1.50 - 1.8}{0.137 * 1} = -2.19$$

∴ No cumple la condición

Atendiendo la recomendación de la AASHTO el valor obtenido de D2 no cumple con el espesor mínimo para la base granular, Por lo tanto, se propone el espesor mínimo de D2= 4 pulgadas de acuerdo al ESAL'S, para luego recalcular el SN2.

Este será capaz de soportar las cargas verticales que actúan sobre la misma, en base al método AASHTO 93, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 38 Espesores de estructura de pavimento

Número de ESAL'S	Espesor mínimo en (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. Capítulo 8. Pág. 175

Ecuación 18

$$SN_2 = a_2 * m_2 * D_2$$

Fuente: Tomada de (SIECA 2002)

$$SN_2 = 0.137 * 1 * 4 = 0.54$$

5.4.3. Cálculo de espesor de Subbase

El espesor de la subbase se calcula utilizando los valores del SN1* y SN2* calculados anteriormente, de igual manera el coeficiente de capa $a_3 = 0.137$ y el coeficiente de drenaje de $m_3 = 1$, aplicando la siguiente ecuación se determina D3:

Ecuación 19

$$D_3 = \frac{SN - (SN_2 + SN_1)}{a_3 * m_3}$$

Fuente: Tomada de (AASHTO 93)

Sustituyendo:

$$D_3 = \frac{1.9 - (0.54 + 1.8)}{0.137 * 1} = -3.21$$

∴ No necesita subbase

Según indica AASHTO 93, pág. 188 orienta que, si el número resultante correspondiente al espesor de la sub base es negativo, entonces esta capa no es necesaria.

Comprobando los resultados obtenidos se comprueban en base a la condición:

Ecuación 20

$$SN_1 + SN_2 > SN$$

Fuente: Tomada de (AASHTO 93)

Sustituyendo:

$$1.8 + 0.54 > 1.9$$

$$1.8 + 0.54 = 2.34 \geq 1.9$$

∴ Si se cumple la condición, el diseño tendrá una capa base granular únicamente.

5.4.4. Consolidados de espesores para el diseño

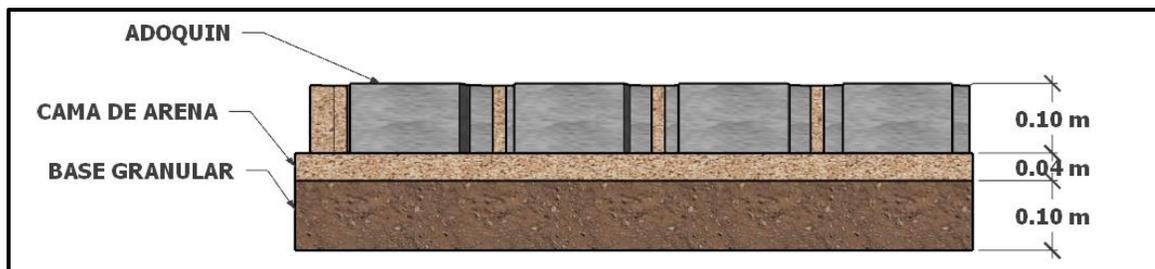
Después de haber realizado los cálculos pertinentes para el diseño de espesores de la estructura de pavimento del tramo Empalme la Ceibita-San Juan de la Tronquera, de acuerdo a los resultados según indican los cálculos, se determina que la carpeta de rodamiento tomando en cuenta que no será necesario utilizar una capa sub base. Ver consolidados en la tabla 39 e ilustración 16.

Tabla 39 Consolidado de espesores de pavimento

Capa	Resultado de espesores	
	Pulgadas	Centimetro
Adoquín	4	10.16
Colchón de Arena	1.6	4
Base Granular	4	10.16
Espesor TOTAL	12	24.32

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 16 Estructura de pavimento articulado



Fuente: Elaboración propia



CAPITULO VI: DISEÑO GEOMETRICO

6.1. Generalidades

Es importante mencionar que el diseño geométrico es la parte más esencial ya que a través de él se establece su configuración geométrica tridimensional, con el fin de asegurar su funcionalidad, seguridad, comodidad, estética, económica y que este sea compatible con el medio ambiente.

Se les estará mostrado a continuación, cada uno de los criterios utilizados para realizar el diseño geométrico del tramo Empalme la Ceibita – San Juan de la tronquera, el cual se ha realizado de acuerdo a la normativa SIECA 2011.

6.2. Metodología

Para este capítulo nos apegaremos como referencia los datos del TPDA y el tipo de terreno, se toman las características de la calzada y tipo de carretera según establecen las normas (ASSHTO-93, 2004) y (SIECA, 2011), y se configuran en el software Civil 3D 2023.

Ya que hemos exportados los estudios topográficos en el software Civil 3D 2021 se genera la superficie, se trazará el alineamiento horizontal, cumpliendo con los parámetros que se establecen en la (ASSHTO-93, 2004) y (SIECA, 2011), en cuanto a los elementos de las curvas horizontales, sobreeanchos y peraltes.

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

Se crea el juego de planos haciendo uso del software Civil 3D 2021, en el que se elabora el juego de planos de planta – perfil y secciones transversales, con la información requerida para la fácil ejecución del proyecto.

6.3. Parámetro de diseño usados en el proyecto.

Los criterios considerados para el diseño geométrico del tramo en estudio se desglosan de la siguiente manera:

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

El valor de velocidad de diseño seleccionado de acuerdo a la clasificación del tipo de carretera de la normativa SIECA, según el tipo de carretera que presenta el tramo en estudio corresponde a 60 km/h, por clasificarse esta como Colectora Rural Ondulada. (Ver Anexos, Tabla 66, pág. XLVIII)

- **Vehículo de diseño**, Los vehículos de diseño son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por las carreteras regionales, por lo que, al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación de cada uno de ellos, se brinda al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños para posibilitar y facilitar su circulación irrestricta. (SIECA, 2004)

El vehículo de diseño utilizado es el WB – 15, por poseer una clasificación de carretera del tramo en estudio correspondiente a colectora rural, el cual se muestra (Ver Anexos, Tabla 66, pág. XLVIII e Ilustración 33, pág. XLVIII).

6.3.1. Característica de sección transversal

Los elementos que componen la sección transversal de la vía se muestran a continuación:

6.3.1.1. Diseño geométrico horizontal

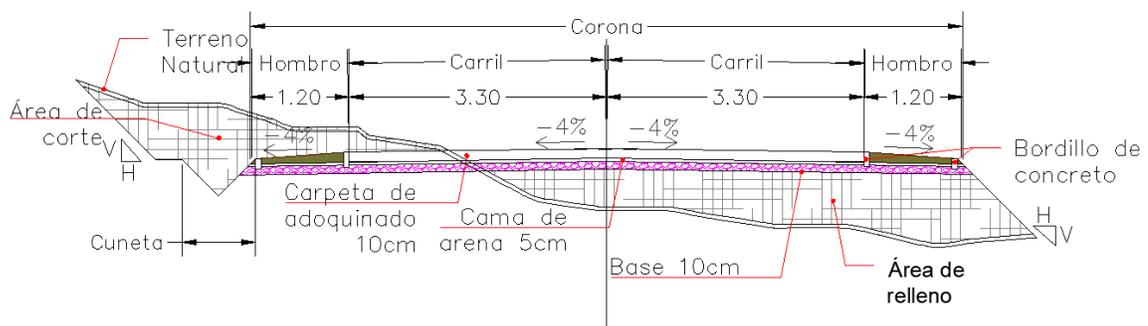
Los principios geométricos para lograr trazados eficientes y seguros del diseño de carretera, incluye la definición de curvas, pendientes y radios de giro, elementos en los cuales la optimización del flujo vehicular, la seguridad y los costos son objetivos clave.

6.3.1.2. Carril

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

La velocidad de diseño, el ancho de carril se selecciona en base al tipo de carretera, obteniendo un valor de 3.3 m haciendo uso de la (Ver Anexos, Tabla 66, pág. XLVIII). Así mismo, contará con 2 carriles para distribuir el tráfico en dos direcciones. (Ver Ilustración 17)

Ilustración 17 Elemento de la sección transversal de la vía



Fuente: Elaboración Propia

6.3.1.3. Hombros o espaldones

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

Los valores del ancho de los hombros se debe elegir un valor entre 1.2 a 1.5 m, para lo cual se seleccionó el valor de 1.2 m. (Ver Anexos, Tabla 66, pág. XLVIII).

6.3.1.4. Longitud máxima de rectas

Se toma en consideración el criterio establecido por la SIECA (2011) que establece, lo descrito en la ecuación 21

Ecuación 21

$$L = 20 * V$$

Fuente: Tomada de SIECA (2011)

Donde

L= Longitud de la recta, m

V= Velocidad de diseño, Km/h

En el caso del tramo en estudio, la longitud máxima en recta, se calcula implementando la Ecuación 21

$$L = 20m * h/km * 60 \frac{km}{h}$$

$$L = 1200m$$

6.3.2. Diseño geométrico horizontal

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

6.3.2.1. Peralte

Es la pendiente que se le da a la corona de una carretera en los tramos en curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrípeta que actúa sobre un vehículo en movimiento (SIECA, 2011, pág. 139). Esta misma también establece que los valores de peralte en base a los tipos de zona y de terreno donde se encuentra la carretera.

En concordancia con el tipo de terreno y zona, el tramo Empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera, se clasifica como un área rural plana, por lo tanto, el valor del peralte es de 8%, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 40 Tasa de peralte (e)

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

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

Los valores de peralte máximos obtenidos en el Diseño Geométrico del tramo en estudio se muestran en la (Tabla 41, pág. 77), los cuales se calcularon en el software Civil 3D.

6.3.2.2. Radio mínimo

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

Ecuación 22

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

Fuente: Tomada de SIECA (2011)

Donde:

Rmín = Radio mínimo de la curva, m

V = Velocidad de diseño, KPH

emáx = Tasa de sobreelevación en fracción decimal

fmáx = Factor de fricción lateral

$$R_{min} = \frac{60^2}{127(0.08 + 0.17)} = 113.4 \approx 113$$

En la Tabla 69, (Ver Anexos, pág. LI), se muestra el radio de curvatura recomendado de acuerdo a la velocidad de diseño y al peralte seleccionado, obteniéndose un valor de 113 m

6.3.2.3. Grado mínimo

Se expresa como la “agudeza” de una curva y para la definición de “arco” como el ángulo central subtendido por un arco de 20 metro. (SIECA, 2011)

A partide de esta se obtiene la siguiente expresión:

Ecuación 23

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

Fuente: Tomada de SIECA (2011)

Donde:

D20 = Grado de curvatura, para un arco de 20 m.

R = Radio de la curva, m

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{113} = 10^{\circ}08'$$

Al comparar estos datos con los propuestos en la Tabla 69, (Ver Anexos, pág. LI), concuerdan con los calculados anteriormente. En el caso del radio de curvatura de 68 m el grado de curvatura es de 10° 08'.

6.3.2.4. Bombeo normal

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

En la Tabla 41, se muestran los valores del bombeo para los tipos de superficie de pavimento.

Tabla 41 Bombeo normal de la calzada

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

Fuente: AASHTO (2004, pág. 310)

El valor del bombeo seleccionado en el tramo en estudio, es del 4%, tomando en consideración que el tipo de superficie es bajo.

6.3.2.5. Sobreancho

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 (SIECA, 2011, pág. 108).

El valor calculado se selecciona interpolando en las Tablas 70-71, (Ver anexos, págs. LII), corresponde al Sobreancho de las curvas de acuerdo al radio de curvatura calculado y la velocidad de diseño en el tramo.

En la Tabla 42 y 43, pág. 78, se muestran los sobre anchos del tramo en estudio en dos sentidos banda izquierda y banda derecha, utilizando el software Civil 3D.

Tabla 42 Sobreanchos, banda izquierda del Tramo Empalme la Ceibita - San Juan de Limay

CURVA	Sobreanchos de la banda izquierda
1	1.85m

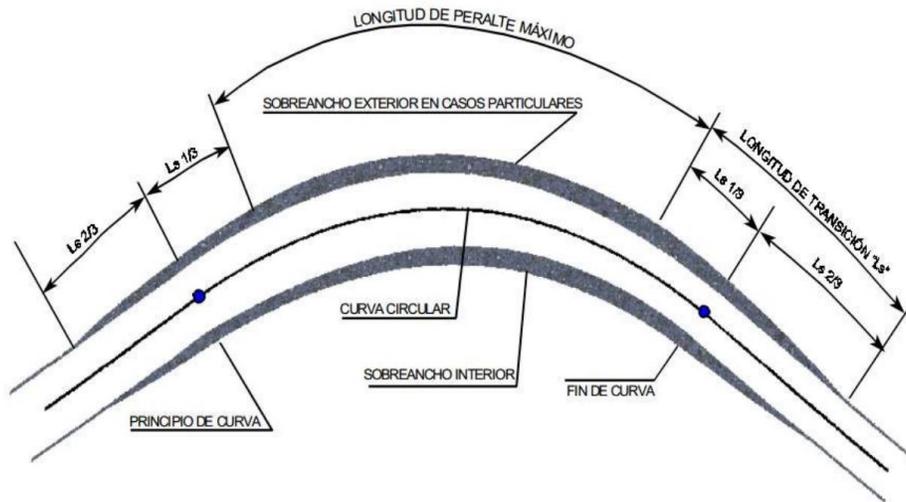
Fuente: Elaboración propia

Tabla 43 Sobreanchos, banda derecha del Tramo Empalme la Ceibita - San Juan de Limay

CURVA	Sobreanchos de la banda izquierda
2	0.68m

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18 Sobreancho de curvas



Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2004). cap.4, pág. 5

6.3.2.6. Curvas horizontales simples

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

Acorde con Lambe & Whitman (2016), pág. 710, los elementos de curvas horizontales son los siguientes:

PI: Punto de intersección

PC: Punto de curvatura

PT: Punto de tangencia

TC: Tangente de la curva

R: Radio de curvatura

CP: Cuerda principal

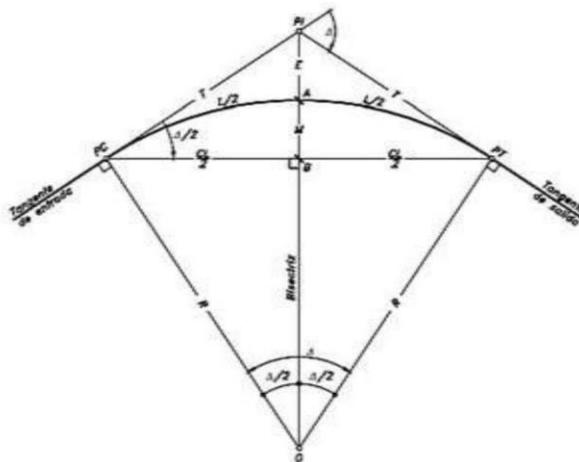
L: Longitud de la cuerda

M: La ordenada central o medida

PEC: Punto en la curva

PET: Punto en una tangente y G: Grado de la curva.

Ilustración 19 Elementos geométricos de curvas horizontales



Fuente: Diseño Geométrico de Carretera Grisales, 2013

El cálculo de los elementos geométricos de la curva a manera de ejemplo se muestra a continuación: Tomando como ejemplo, la curva No 1 del tramo, la cual se encuentra en la estación:

$$PC = 100.93$$

$$R = 113m$$

$$\Delta = 14^{\circ}28'43''$$

✓ **Tangente**

Ecuación 24

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

Fuente: Tomada de SIECA (2011)

$$T = 113 * \tan \frac{14^{\circ}28'43''}{2} = 14.35m$$

✓ **Cuerda larga**

Ecuación 25

$$CL = 2R \text{Sen} \frac{\Delta}{2}$$

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$CL = 2(113) \text{Sen} \frac{14^{\circ}28'43''}{2} = 28.48m$$

✓ **Externa**

Ecuación 26

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

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$E = 113 * \left(\frac{1}{\cos 14^\circ 28' 43'' / 2} - 1 \right) = 0.91m$$

✓ **Ordenada media**

Ecuación 27

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

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$M = 113 * \left(1 - \cos \frac{14^\circ 28' 43''}{2} \right) = 0.90m$$

✓ **Grado de Curvatura**

Ecuación 28

$$G^\circ c = 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{c}{2R} \right)$$

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$G^\circ c = 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{10}{2 * 113} \right) = 5^\circ 4' 19.48''$$

✓ **Longitud de curva**

Ecuación 29

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

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$Lc = \frac{\pi * 113 * 14^\circ 28' 43''}{180} = 28.56m$$

✓ **Estación PT**

Ecuación 30

$$PT = PC + Lc$$

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$PT = 100.93 + 28.56 = 129.48$$

✓ **Estación PI**

Ecuación 31

$$PI = PC + T$$

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$PI = 100.93 + 14.35 = 115.28m$$

✓ **Deflexión por metro**

Ecuación 32

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

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$\delta = \frac{5^\circ 4' 19.48''}{2 * 10} = 0^\circ 15' 12.97''$$

✓ **Deflexión por cuerda unitaria**

Ecuación 33

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

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

$$\delta = \frac{5^\circ 4' 19.48''}{2} = 2^\circ 32' 9.74''$$

Las curvas horizontales del Diseño Geométrico del tramo Empalme La Ceibita-San Juan de la Tronquera, se obtuvieron mediante el software Civil 3D; se muestran en la Tabla 44, pág. 83.

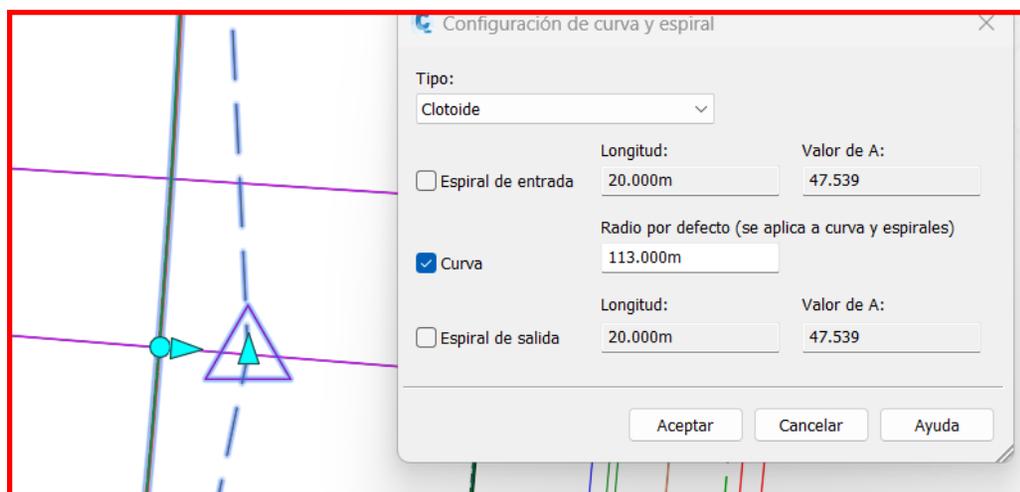
Se anexo una segunda curva horizontal en la estación 0+677 del tramo, siguiendo el criterio sugerido por la SIECA 2011, donde se recomienda según la ecuación 3-3, no exceder la longitud tangencial máxima. Ver Ec.21 pág. 74.

Tabla 44 Curvas horizontales del tramo empalme la Ceibita - San Juan de la Tronquera

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL													
Número PI	Dirección	Deflexión (Δ)	Radio	T	L	LC	E	M	PC	PI	PT	PI NORTE	PI ESTE
PI:1	N 4° 32' 31" E	14° 28' 43"	113	14.35	28.56	28.48	0.91	0.9	0+100.93	0+115.28	0+129.48	1762704.2	546417.03
PI:2	N 4° 26' 02" W	0° 31' 37"	426.3	1.96	3.92	3.92	0	0	0+677.02	0+678.98	0+680.94	1463267.4	546390.49

Fuente: Diseño Geométrico de Carretera Grisales, 2013

Ilustración 20 Configuración para el diseño de curva horizontal



Fuente: Elaboración Propia

6.3.3. Diseño geométrico vertical

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

6.3.3.1. Pendiente de diseño

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

El tramo en estudio posee un terreno montañoso, por lo tanto, en la Tabla 40 del manual AASHTO, se define que la pendiente máxima para una carretera colectora rural con una velocidad de diseño de 60 km/h es de 10%

Tabla 45 Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales

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

Fuente: AASHTO, (2004), pág. 382

6.3.3.2. Curvas verticales

Según R. Wolf & D. Ghilani (2016, pág. 748) existen dos tipos básicos de curvas verticales, las cuales se definen a continuación:

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

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

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

- **Est. PIV:** 0+087.35
- **Cota PIV:** 363.418
- **Pendiente de entrada:** 2.46%
- **Pendiente de salida:** 3.22%

✓ Comprobación de longitud de curva vertical

Ecuación 34

$$L_{mín} = K_{mín} * a$$

$$L_{mín} = 18(2.46\% - 3.22\%) = 13.68m$$

$$LCV = K * a = 18(2.46\% - 3.22\%) = 13.68m$$

$$LCV \geq LCV_{mín}$$

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

✓ Cálculo de Estación PCV

Ecuación 35

$$Est. PCV = Est. PIV - \frac{LCV}{2}$$
$$Est. PCV = 87.35 - \frac{13.68}{2} = 80.51$$

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

✓ **Cálculo de Estación PTV**

Ecuación 36

$$Est. PCV = Est. PIV + \frac{LCV}{2}$$
$$Est. PCV = 87.35 + \frac{13.68}{2} = 94.19$$

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

✓ **Determinación de la cota PCV**

Ecuación 37

$$Cota. PCV = Cot. PIV - m \frac{LCV}{2}$$
$$Cota. PCV = 363.418 - (0.0246) \frac{13.68}{2} = 363.25m$$

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

✓ **Determinación de la cota PTV**

Ecuación 38

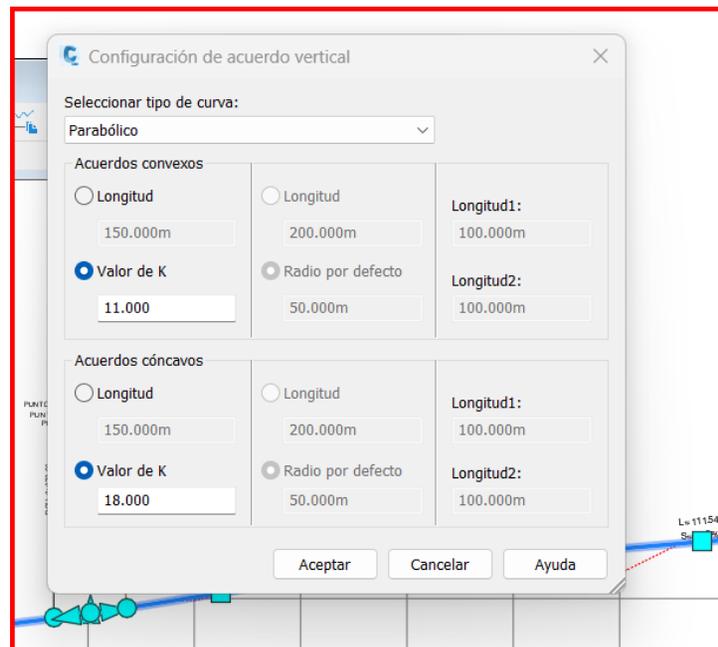
$$Cota. PTV = Cot. PIV - n \frac{LCV}{2}$$
$$Cota. PTV = 363.418 - (0.0322) \frac{13.68}{2} = 363.198m$$

Fuente: Tomada de (Cárdenas Grisales, 2013)

6.3.3.3. Tasa de curvatura K

El valor de la tasa de curvatura, de acuerdo a las velocidades de diseño, en el caso de las curvas en cresta, la velocidad de diseño es de 60 km/h, para lo cual el valor de K es de 11, tomando como referencia a la Tabla 67 (Ver anexos, pág. LIV) Para las curvas en columpio, el valor de la tasa de curvatura K es de 18, considerando la velocidad de diseño de 60 km/h. Dicho valor se toma a partir de la Tabla 70-71. (Ver anexos, pág. LII)

Ilustración 21 Configuración para el diseño de curva vertical



Fuente: Elaboración propia

Tabla 46 Curvas verticales del Diseño Geométrico del tramo Empalme la Ceibita - San Juan de la Tronquera

Curvas Verticales												
N. Curva	Est. PVC	Elev. PCV (m)	Est. PIV	Elev. PIV (m)	Est. PTV	Elev. PTV (m)	Valor de k	Lon. Cv	Pendiente		LCV	Tipo de Curva
									Entrada	Salida		
1	00+080.51	363.25	0+087.35	363.418	0+094.19	363.198	18	13.576	2.46%	3.22%	13.68	Columpio
2	00+122.73	364.781	0+131.14	365.052	0+139.56	364.91	11	16.834	3.22%	1.69%	16.83	Cresta
3	00+251.16	367.074	0+280.86	367.576	0+310.56	366.094	18	59.525	1.69%	4.99%	59.4	Columpio
4	00+351.57	371.107	0+378.57	372.455	0+405.58	372.433	11	54.081	4.99%	0.08%	54.01	Cresta
5	00+583.22	372.611	0+592.40	372.618	0+601.58	372.517	18	18.497	0.08%	1.10%	18.36	Columpio
6	00+704.08	373.852	0+725.59	374.089	0+747.10	373.338	18	42.945	1.10%	3.49%	43.02	Columpio
7	00+870.86	379.158	0+881.36	379.525	0+891.87	379.359	11	21.04	3.49%	1.58%	21.01	Cresta
8	00+984.93	381.158	1+008.87	381.536	1+032.81	380.521	18	48.018	1.58%	4.24%	47.88	Columpio
9	01+074.81	384.336	1+089.00	384.938	1+103.19	384.702	11	28.405	4.24%	1.66%	28.38	Cresta
10	01+131.54	385.646	1+173.22	386.338	1+214.90	385.008	54.481	83.091	1.66%	3.19%	83.35593	Columpio
11	01+247.07	388.691	1+297.68	390.305	1+348.29	390.421	29.597	101.124	3.19%	-0.23%	101.22174	Cresta
12	01+422.15	390.02	1+432.22	389.997	1+442.29	390.088	30.061	20.102	-0.23%	-0.90%	20.14087	Cresta

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22 Entidades de perfil para curvas horizontales

PUNTO ALTO PROGRESIVA: 0+139.56
 PUNTO ALTO ELEVACIÓN: 365.19
 PIV PROGRESIVA: 0+131.14
 PIV ELEVACIÓN: 365.05
 K: 11.00
 LCV: 16.83

PUNTO BAJO PROGRESIVA: 0+973.58
 PUNTO BAJO ELEVACIÓN: 365.28
 PIV PROGRESIVA: 0+973.58
 PIV ELEVACIÓN: 365.42

No	Apoyar	Tipo de curva d...	P.K. de VAV	Elevación de VAV	Inclínación de rasante T.E.	Inclínación
1			0+000.00m	361.440m		
2		Cóncavo	0+080.35m	363.418m	2.46%	
3		Convexo	0+131.14m	365.052m	3.22%	
4		Cóncavo	0+280.86m	367.576m	1.69%	
5		Convexo	0+378.57m	372.455m	4.99%	
6		Cóncavo	0+592.40m	372.618m	0.08%	
7		Cóncavo	0+725.59m	374.089m	1.10%	
8		Convexo	0+881.36m	379.525m	3.49%	
9		Cóncavo	1+008.87m	381.536m	1.58%	
10		Convexo	1+089.00m	384.938m	4.24%	
11		Cóncavo	1+173.22m	386.338m	1.66%	
12		Convexo	1+297.68m	390.305m	3.19%	

Fuente: Elaboración propia

6.3.4. Resumen de parámetros de diseño

En la tabla 47, se presenta un consolidado de los criterios utilizados en el diseño geométrico del tramo Empalme la Ceibita – San Juan de la Tronquera.

Tabla 47 Consolidado de criterios de diseño

Descripción/Criterio	Forma	Unidad	Valores
Clasificación Funcional	Colectora Rural Montañosa		
Velocidad de Diseño	Vd	KHM	60
Vehículo de Diseño	Veh	Tipo	WB-15
Radio de Curvatura mínimo	R	m	113
Grado de Curvatura	G°c	G. Min. Seg	5°04'19.48"
Número de carriles de rodamiento	Nc	Unidad	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	%	4
Bombeo de hombros	Hm%	%	5
Peralte o sobreancho	emáx%	%	8
Pendiente máxima	Pend%	%	8
Sobreancho	Sa	m	1.8
Curvas verticales (Crestas)	DVP	Unidad	6
Curvas verticales (Columpio)	DVA	Unidad	6
Tipo de carpeta de rodamiento	Srod	Tipo	Adoquín

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO VII:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Se finalizó el trabajo monográfico de 1.5 km del diseño geométrico y estructura pavimento articulado del tramo empalme la Ceibita-San Juan de la Tronquera del Municipio de San Juan de Limay y de acuerdo a los objetivos inicialmente planteados se ha concluido:

- ❖ Se realizó el estudio topográfico de 1.5 kilómetros del tramo empalme la Ceibita, como punto inicial (Est 0+000), hasta la comunidad San Juan de la Tronquera, punto final (Est. 1+500), dicho estudio posee el levantamiento de las secciones transversales y establecimiento de BM, el cual nos permitirá elaborar el diseño geométrico y se determinó por las pendientes encontradas que se clasifica como un terreno ondulado.

- ❖ En relación al segundo objetivo, el estudio de tránsito realizado en la Estación 0+750 del tramo empalme la Ceibita-San Juan de la Tronquera, durante 7 días consecutivos, por doce horas diarias, se logra consolidar que el TPDA es de 511 vehículos por día y un TPDS de 341 vehículos por día, se determinó la tasa de crecimiento vehicular a implementar, la cual es de 4.22%. El ESAL de diseño obtenido es de 231,582 repeticiones valor que será muy útil para el diseño de las capas estructurales de pavimento del tramo en mención.

- ❖ Se analizaron los datos del estudio geotécnico brindado por la alcaldía de San Juan de Limay del cual se realizaron 7 sondeos con barra posteadora con la profundidad máxima de 1.50 m. Los materiales predominantes a lo largo del tramo, son corresponden a estratos intercalados, de grava limo arenoso, de baja plasticidad, color café claro, mezclado con fragmentos pétreos, que tienen clasificación A-2-4 (0). Estos suelos tienen límite líquido que varía de 32% a 34% e índice plástico de 8.1% a 10.1% También subyacen estratos intercalados de textura arcillo arenosa, de mediana plasticidad, color café, que tiene clasificación A-7-5(9) IG=8 y 10.

El cálculo del CBR de la Sub - Rasante resulto de 18.2%, este cálculo se realizó tomando un percentil de 75% ya que nuestro ESAL's de 231,582 repeticiones equivalentes a 18,000 libras. Para capa de Base se utilizará el Banco N°2 del Sr. Roberto Carrasco, ya que el (CBR) cumple con lo establecido en la sección II del Artículo– 1003.23 de la NIC– 2019, en donde se plantean los requisitos que debe cumplir un material utilizado como base granular; el cual presenta un CBR de resistencia de 84.1% siendo mayor que lo establecido.

❖ En el diseño de estructura de pavimento articulado, se utilizó el método de AASHTO-93, por otra parte, los valores de SN, se comprobaron en Software de la AASTHO 93 obteniendo como resultado una carpeta de rodamiento de adoquín de 4 pulgada de espesor y una capa de arena de 1.6 pulgadas, utilizando el banco de materiales N°2 para la conformación de la base granular que será de 4 pulgadas.

❖ Utilizando los datos del levantamiento topográfico del tramo en estudio, con ayuda del software Civil 3D; se realizó el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y sus secciones transversales, basándose en los parámetros de diseño de la norma SIECA 2011 y AASHTO 93. Se determinaron los siguientes datos, Velocidad de Diseño = 60 km/hr. Radio de curvatura mínimo = 113 m; Peralte de Diseño = 8%; Grado de curvatura máxima = 5°04'19.48". Además, se diseñaron 2 curvas horizontales simples y 12 curvas verticales, de las cuales 6 son en cresta y 6 en columpio.

7.2.Recomendaciones

❖ Se recomienda utilizar el Banco N°2 para conformación de base granular, el cual posee un CBR de 84.1 % sobrepasando el 80 % que estipula la normativa NIC 2019, con el cual se diseñó la estructura de pavimento articulado, ya que cuenta con las especificaciones necesarias.

❖ Verificar que los adoquines y arena a emplearse cumplan con las especificaciones de calidad y resistencia expuestas en las normas AASHTO.

❖ Garantizar el cumplimiento de las especificaciones NIC 2019 y especificaciones complementarias abordadas en este documento para la construcción de las capas de la estructura de pavimento que se soliciten.

❖ Utilizar la mano de obra calificada en todas las etapas constructivas del proyecto.

❖ Retomando los datos calculados se recomiendan los siguientes espesores: carpeta de rodamiento (adoquín) = 4 plg, colchón de arena que servirá a los adoquines no deberá ser menor de 3 cm ni mayor de 5 cm según las normas de la NIC-2019.

❖ Realizar una adecuada compactación para evitar asentamientos y deformaciones sobre esta.

❖ Se enfatiza que, durante el proceso de ejecución de la obra se cumpla con una adecuada supervisión tanto del control severo de la calidad de los materiales, así como del proceso de construcción a realizar en el proyecto.

7.3. Bibliografía

AASHTO-93. (2001). *Manual de Diseño de Pavimentos en Base al Método AASHTO - 93*. La Paz.

ENACAL. (2021). *Caracterizaciones municipales departamentales del municipio de Estelí*. <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Esteli/SanJuanDeLimay.html>.

García Márquez, F. (1994). *Curso Básico de Topografía*. México, D.F: árbol editorial.

Grisales, J. C. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. Bogotá: Andrea Sierra Gómez.

McCormac, J. (1998). *Topografía*. Limusa Wiley.

Moreno, M. d. (20 de Abril de 2021). Deterioro del tramo la lamilla- Paso Hondo. . (S. J. Valdivia., Entrevistador)

MTI. (2008). *MANUAL PARA REVICION DE ESTUDIOS TOPOGRAFICOS*. Managua: Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF).

MTI. (2017). *Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos*. Managua, Nicaragua: Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF).

MTI. (2021). *RED VIAL DE NICARAGUA DEL 2020*. Managua: Oficina-inventario de la infraestructura de transporte.

NIC. (2019). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes*.

Olivas, A. O. (13 de Mayo de 2004). *Reparan Carretera Pueblo Nuevo Limay*. *La Prensa*, págs.

<https://www.laprensa.com.ni/2004/05/13/departamentales/935214-reparan-carretera-pueblo-nuevo-limay>.

Ramos, D. Q. (2014). *CONTROL HORIZONTAL, CÁLCULO Y COMPENSACION POR MINIMOS*. La Paz : UM-SAN ANDRES_EDIT.

SIECA. (2002). *MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTO*. Guatemala: Secretaría de Integración Económica.

Wolf, P., & Ghilani, C. D. (2016). *Topografía*. México, D.F: Alfaomega.

ANEXOS

Ilustración 23 Inicio del tramo 0+000 Empalme la Ceibita



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24 Tramo final 1+500 San Juan de la Tronquera



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25 GPS_1, Est. 0+000



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26 Levantamiento topográfico, Est. 1+210



Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Levantamiento topográfico

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
1	546381.641	1463697.837	385.305
2	546352.7572	1464109.166	389.3
3	546381.847	1463413.454	377.3
4	546416.9155	1462745.764	364.8
5	546376.7708	1463563.27	381.02
6	546389.0642	1463442.022	378.93
7	546393.0612	1463084.438	371.92
8	546414.3044	1462784.077	366.36
9	546401.7275	1462662.256	364.578
10	546402.3762	1462599.299	361.253
11	546393.4902	1462591.333	361.44
12	546395.9122	1462590.713	361.34
13	546397.3655	1462590.342	361.211
14	546399.3032	1462589.846	361.46
15	546391.0681	1462591.952	361.39
16	546389.6148	1462592.324	361.336
17	546387.1928	1462592.943	361.605
18	546398.4446	1462610.709	361.8
19	546400.8721	1462610.111	361.64
20	546402.3286	1462609.752	361.49
21	546404.2706	1462609.274	361.75
22	546396.0171	1462611.307	361.73
23	546394.5606	1462611.666	361.711
24	546392.1331	1462612.264	361.715
25	546403.0587	1462630.17	362.23
26	546405.4992	1462629.626	361.53
27	546406.9634	1462629.3	361.38
28	546408.9158	1462628.865	361.68
29	546400.6183	1462630.713	362.13
30	546399.154	1462631.039	362.048
31	546396.7136	1462631.583	362.4
32	546407.1399	1462649.749	362.8
33	546409.5876	1462649.24	362.75
34	546411.0562	1462648.935	362.7
35	546413.0144	1462648.528	363.24
36	546404.6921	1462650.258	362.75
37	546403.2235	1462650.563	362.7
38	546400.7758	1462651.071	363.505

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
39	546411.1962	1462669.333	363.62
40	546413.6593	1462668.899	363.67
41	546415.1372	1462668.638	363.52
42	546417.1077	1462668.291	363.77
43	546408.7331	1462669.768	363.44
44	546407.2552	1462670.028	363.354
45	546404.7921	1462670.462	363.7856
46	546412.6392	1462679.229	363.84
47	546415.1244	1462678.946	363.74
48	546416.6156	1462678.776	363.59
49	546418.6037	1462678.55	363.8012
50	546410.154	1462679.511	363.61
51	546408.6629	1462679.681	363.539
52	546406.1777	1462679.964	363.8956
53	546413.4565	1462689.195	363.96
54	546415.9481	1462688.991	363.79
55	546417.4431	1462688.868	363.661
56	546419.4364	1462688.705	363.99
57	546410.9649	1462689.399	363.71
58	546409.4699	1462689.522	363.569
59	546406.9782	1462689.726	364.2727
60	546414.2737	1462699.162	364.44
61	546416.7722	1462699.04	364.32
62	546418.2712	1462698.967	364.142
63	546420.2699	1462698.87	364.5554
64	546411.7753	1462699.283	364.22
65	546410.2763	1462699.356	364.083
66	546407.7779	1462699.478	364.7677
67	546414.4289	1462709.161	364.63
68	546416.9292	1462709.163	364.51
69	546418.4294	1462709.164	364.332
70	546420.4297	1462709.166	364.98
71	546411.9285	1462709.158	364.45
72	546410.4283	1462709.157	364.302
73	546407.928	1462709.154	365.0425
74	546414.2542	1462719.159	364.78
75	546416.7536	1462719.213	364.61

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
76	546418.2533	1462719.246	364.432
77	546420.2528	1462719.289	365.105
78	546411.7547	1462719.105	364.63
79	546410.2551	1462719.072	364.534
80	546407.7556	1462719.018	365.0125
81	546419.5471	1462721.14	365.03
82	546413.9963	1462729.156	364.86
83	546416.4953	1462729.229	364.76
84	546417.9947	1462729.272	364.61
85	546419.9938	1462729.331	364.92
86	546411.4974	1462729.083	364.74
87	546409.998	1462729.039	364.704
88	546407.4991	1462728.966	364.8825
89	546420.6523	1462736.126	365.234
90	546413.6709	1462739.15	364.94
91	546416.1687	1462739.257	364.24
92	546417.6674	1462739.321	364.062
93	546419.6657	1462739.406	364.845
94	546411.173	1462739.044	364.85
95	546409.6743	1462738.98	364.808
96	546407.1764	1462738.873	365.0175
97	546413.1437	1462749.136	364.77
98	546415.6398	1462749.277	364.61
99	546417.1375	1462749.361	364.527
100	546419.1343	1462749.473	365.19
101	546410.6477	1462748.996	364.71
102	546409.15	1462748.912	364.476
103	546406.654	1462748.771	365.6475
104	546411.9516	1462769.101	365.1
105	546414.4493	1462769.213	364.93
106	546415.948	1462769.28	364.847
107	546417.9462	1462769.369	366.105
108	546409.4538	1462768.989	365.06
109	546407.9551	1462768.922	364.691
110	546405.4573	1462768.811	366.5375
111	546411.3577	1462789.092	366.48
112	546413.8566	1462789.166	366.44

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (Z)
113	546415.3559	1462789.211	366.311
114	546417.3551	1462789.27	366.97
115	546408.8588	1462789.018	366.54
116	546407.3595	1462788.973	366.412
117	546404.8606	1462788.899	367.0525
118	546410.7638	1462809.083	366.78
119	546413.2621	1462809.18	366.66
120	546414.761	1462809.237	366.51
121	546416.7596	1462809.314	367.135
122	546408.2656	1462808.987	366.86
123	546406.7667	1462808.929	366.798
124	546404.2684	1462808.833	367.11
125	546406.1347	1462820.596	366.94
126	546409.8163	1462829.061	366.93
127	546412.3135	1462829.179	366.77
128	546413.8118	1462829.25	366.592
129	546415.8095	1462829.345	367.085
130	546407.3191	1462828.942	367.03
131	546405.8208	1462828.871	366.973
132	546403.3236	1462828.753	367.26
133	546408.8687	1462849.038	367.26
134	546411.3659	1462849.157	366.56
135	546412.8642	1462849.228	366.382
136	546414.862	1462849.323	367.435
137	546406.3715	1462848.92	367.4
138	546404.8732	1462848.849	367.309
139	546402.376	1462848.73	367.7625
140	546411.4573	1462864.887	367.04
141	546407.9211	1462869.016	367.64
142	546410.4178	1462869.146	367.47
143	546411.9158	1462869.223	367.292
144	546413.9131	1462869.327	368.09
145	546405.4245	1462868.886	367.8
146	546403.9265	1462868.808	367.612
147	546401.4298	1462868.679	368.5525
148	546406.7934	1462888.984	368.03
149	546409.2895	1462889.125	367.87

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
150	546410.7871	1462889.21	367.692
151	546412.7839	1462889.322	369.015
152	546404.2974	1462888.843	368.14
153	546402.7998	1462888.759	367.812
154	546400.3038	1462888.618	369.4525
155	546405.6657	1462908.952	369.44
156	546408.1618	1462909.093	369.32
157	546409.6594	1462909.178	369.17
158	546411.6562	1462909.291	369.89
159	546403.1697	1462908.811	369.52
160	546401.6721	1462908.727	369.258
161	546399.1761	1462908.586	370.5675
162	546400.5502	1462923.741	368.57
163	546404.538	1462928.92	370.32
164	546407.034	1462929.061	369.62
165	546408.5317	1462929.146	369.47
166	546410.5285	1462929.259	371.245
167	546402.042	1462928.779	370.37
168	546400.5444	1462928.695	369.981
169	546398.0484	1462928.554	371.9275
170	546403.4103	1462948.889	372.07
171	546405.9066	1462949.024	372.03
172	546407.4044	1462949.106	371.88
173	546409.4015	1462949.214	372.61
174	546396.8815	1462973.547	372.523
175	546400.914	1462948.753	372.14
176	546399.4162	1462948.671	372.001
177	546396.9199	1462948.536	372.695
178	546402.3662	1462968.861	372.24
179	546404.8662	1462968.927	372.35
180	546406.3662	1462968.966	372.2
181	546408.3662	1462969.019	372.78
182	546399.8662	1462968.796	372.37
183	546398.3663	1462968.756	372.274
184	546395.8663	1462968.691	372.7525
185	546402.36	1462988.861	372.47

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
186	546404.86	1462988.895	372.37
187	546406.36	1462988.915	372.241
188	546408.36	1462988.941	372.725
189	546399.86	1462988.828	372.64
190	546398.36	1462988.808	372.613
191	546395.86	1462988.775	372.7475
192	546406.4035	1463001.638	372.11
193	546401.8337	1463008.854	372.41
194	546404.3329	1463008.92	372.24
195	546405.8323	1463008.96	372.09
196	546407.8317	1463009.012	372.77
197	546399.3346	1463008.789	372.58
198	546397.8351	1463008.749	372.533
199	546395.336	1463008.683	372.77
200	546401.3074	1463028.847	372.63
201	546403.8061	1463028.933	372.46
202	546405.3052	1463028.984	372.31
203	546407.3041	1463029.052	372.77
204	546398.8088	1463028.762	372.77
205	546397.3096	1463028.711	372.645
206	546394.811	1463028.626	372.67
207	546400.4711	1463048.83	372.28
208	546402.9689	1463048.935	372.24
209	546404.4676	1463048.997	372.157
210	546406.4659	1463049.081	372.57
211	546397.9733	1463048.725	372.41
212	546396.4746	1463048.663	372.4
213	546393.9768	1463048.558	372.451
214	546399.6348	1463068.813	372.16
215	546402.1326	1463068.917	372.06
216	546403.6313	1463068.98	371.91
217	546405.6296	1463069.063	372.332
218	546397.137	1463068.708	372.28
219	546395.6383	1463068.645	372.275
220	546393.1405	1463068.541	372.302
221	546398.7985	1463088.795	371.934
222	546401.2963	1463088.9	371.764

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
223	546402.795	1463088.962	371.586
224	546404.7933	1463089.046	372.272
225	546396.3007	1463088.69	372.014
226	546394.802	1463088.628	371.959
227	546392.3042	1463088.523	372.236
228	546402.1729	1463103.338	371.76
229	546397.9622	1463108.778	371.98
230	546400.46	1463108.882	371.94
231	546401.9587	1463108.945	371.79
232	546403.957	1463109.028	372.2
233	546395.4644	1463108.673	372.11
234	546393.9657	1463108.61	372.108
235	546391.4679	1463108.506	372.1175
236	546397.1125	1463128.759	371.74
237	546399.6103	1463128.866	371.62
238	546401.1089	1463128.929	371.47
239	546403.1071	1463129.014	372.035
240	546394.6148	1463128.653	371.89
241	546393.1162	1463128.59	371.839
242	546390.6184	1463128.483	372.095
243	546396.2629	1463148.741	371.71
244	546398.7606	1463148.848	371.61
245	546400.2593	1463148.911	371.432
246	546402.2575	1463148.996	372.155
247	546393.7651	1463148.635	371.89
248	546392.2665	1463148.571	371.783
249	546389.7688	1463148.465	372.32
250	546395.4132	1463168.723	371.9
251	546397.911	1463168.83	371.86
252	546399.4096	1463168.893	371.731
253	546401.4078	1463168.978	372.485
254	546392.9155	1463168.617	372.08
255	546391.4168	1463168.553	371.95
256	546388.9191	1463168.447	372.6
257	546388.7782	1463183.941	372.6
258	546394.5636	1463188.705	372.3
259	546397.0613	1463188.812	372.27

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
260	546398.56	1463188.875	372.12
261	546400.5582	1463188.96	372.715
262	546392.0658	1463188.599	372.53
263	546390.5672	1463188.535	372.461
264	546388.0694	1463188.429	372.805
265	546399.5806	1463201.358	371.962
266	546393.7139	1463208.687	372.44
267	546396.2117	1463208.793	372.32
268	546397.7103	1463208.857	372.237
269	546399.7085	1463208.942	372.895
270	546391.2162	1463208.581	372.69
271	546389.7175	1463208.517	372.602
272	546387.2198	1463208.411	373.0425
273	546392.8643	1463228.669	372.8
274	546395.362	1463228.775	372.63
275	546396.8606	1463228.839	372.48
276	546398.8588	1463228.924	373.19
277	546390.3665	1463228.563	373.02
278	546388.8679	1463228.499	372.936
279	546386.3701	1463228.393	373.3575
280	546392.0146	1463248.651	373.01
281	546394.5123	1463248.757	372.91
282	546396.011	1463248.821	372.732
283	546398.0092	1463248.906	373.525
284	546389.5169	1463248.545	372.81
285	546388.0182	1463248.481	372.629
286	546385.5205	1463248.375	373.5345
287	546391.1649	1463268.633	373.34
288	546393.6627	1463268.739	373.3
289	546395.1613	1463268.803	373.122
290	546397.1595	1463268.888	373.544
291	546388.6672	1463268.527	373.5
292	546387.1686	1463268.463	373.478
293	546384.6708	1463268.357	373.589
294	546390.3153	1463288.615	373.02
295	546392.813	1463288.721	372.948
296	546394.3117	1463288.785	372.798

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
297	546396.3099	1463288.87	373.634
298	546387.8175	1463288.509	373.14
299	546386.3189	1463288.445	372.955
300	546383.8212	1463288.339	373.882
301	546393.751	1463304.362	373.22
302	546389.4656	1463308.597	373.6
303	546391.9634	1463308.703	373.48
304	546393.462	1463308.767	373.33
305	546395.4602	1463308.852	374.13
306	546386.9679	1463308.491	373.67
307	546385.4692	1463308.427	373.476
308	546382.9715	1463308.321	374.445
309	546388.616	1463328.579	373.98
310	546391.1137	1463328.685	373.94
311	546392.6124	1463328.749	373.762
312	546394.6106	1463328.834	374.76
313	546386.1182	1463328.473	374.01
314	546384.6196	1463328.409	373.708
315	546382.1218	1463328.303	375.2175
316	546387.7663	1463348.561	374.86
317	546390.2641	1463348.667	374.74
318	546391.7627	1463348.731	374.611
319	546393.7609	1463348.816	375.675
320	546385.2686	1463348.455	374.81
321	546383.7699	1463348.391	374.464
322	546381.2722	1463348.285	376.193
323	546386.9167	1463368.543	375.23
324	546389.4151	1463368.632	375.77
325	546390.9142	1463368.685	375.687
326	546392.913	1463368.757	376.711
327	546384.4182	1463368.454	375.17
328	546382.9191	1463368.4	374.694
329	546380.4206	1463368.311	377.0735
330	546392.0448	1463384.25	376.15
331	546386.3403	1463388.534	375.89
332	546388.8392	1463388.607	376.812
333	546390.3386	1463388.65	376.634

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
334	546392.3378	1463388.707	377.436
335	546383.8413	1463388.462	375.8
336	546382.3419	1463388.419	375.288
337	546379.843	1463388.347	377.848
338	546385.7639	1463408.526	376.982
339	546388.2628	1463408.6	377.22
340	546389.7621	1463408.644	377.137
341	546391.7612	1463408.703	378.26
342	546383.2649	1463408.452	376.912
343	546381.7656	1463408.408	376.505
344	546379.2667	1463408.334	378.54
345	546388.7151	1463412.352	377.36
346	546385.1606	1463428.517	377.34
347	546387.6594	1463428.592	378.46
348	546389.1587	1463428.638	378.282
349	546391.1578	1463428.698	378.82
350	546382.6617	1463428.442	377.27
351	546381.1624	1463428.396	376.834
352	546378.6635	1463428.321	379.015
353	546384.5573	1463448.508	378.5
354	546387.0561	1463448.583	378.34
355	546388.5555	1463448.629	378.19
356	546390.5545	1463448.689	379.21
357	546382.0584	1463448.433	378.39
358	546380.5591	1463448.387	378.079
359	546378.0602	1463448.312	379.6325
360	546383.954	1463468.499	379.4
361	546386.4528	1463468.574	379.24
362	546387.9522	1463468.62	379.111
363	546389.9513	1463468.68	380.055
364	546381.4551	1463468.423	379.32
365	546379.9558	1463468.378	379.056
366	546377.4569	1463468.303	380.3775
367	546383.3507	1463488.49	380.2
368	546385.8496	1463488.565	380.03
369	546387.3489	1463488.61	379.901
370	546389.348	1463488.671	380.7

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
371	546380.8518	1463488.414	380.08
372	546379.3525	1463488.369	379.904
373	546376.8537	1463488.294	380.785
374	546382.7474	1463508.481	380.65
375	546385.2463	1463508.556	380.53
376	546386.7456	1463508.601	380.447
377	546388.7447	1463508.662	380.87
378	546380.2485	1463508.405	380.48
379	546378.7492	1463508.36	380.367
380	546376.2504	1463508.285	380.931
381	546376.9891	1463522.966	380.13
382	546382.1441	1463528.472	380.54
383	546384.643	1463528.547	380.37
384	546386.1423	1463528.592	380.22
385	546388.1414	1463528.653	380.992
386	546379.6453	1463528.396	380.39
387	546378.1459	1463528.351	380.195
388	546375.6471	1463528.275	381.1695
389	546381.5408	1463548.462	380.934
390	546384.0386	1463548.573	380.774
391	546385.5373	1463548.639	380.691
392	546387.5356	1463548.728	381.347
393	546379.043	1463548.352	380.824
394	546377.5444	1463548.285	380.657
395	546375.0466	1463548.175	381.4918
396	546380.3742	1463568.428	381.24
397	546382.87	1463568.574	381.08
398	546384.3674	1463568.662	380.902
399	546386.364	1463568.778	381.6365
400	546377.8785	1463568.283	381.15
401	546376.381	1463568.195	380.989
402	546373.8853	1463568.049	381.794
403	546379.2076	1463588.394	381.523
404	546381.7034	1463588.54	381.353
405	546383.2008	1463588.628	381.152
406	546385.1974	1463588.744	381.9515
407	546376.7119	1463588.249	381.453

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
408	546375.2144	1463588.161	381.233
409	546372.7187	1463588.015	382.3315
410	546378.041	1463608.36	381.87
411	546380.5367	1463608.506	381.71
412	546382.0342	1463608.594	381.509
413	546384.0308	1463608.71	382.7115
414	546375.5453	1463608.214	381.83
415	546374.0478	1463608.127	381.539
416	546371.5521	1463607.981	382.9923
417	546372.0459	1463622.774	383.426
418	546376.8744	1463628.326	382.993
419	546379.3701	1463628.472	382.873
420	546380.8676	1463628.56	382.695
421	546382.8642	1463628.676	383.273
422	546374.3786	1463628.18	382.953
423	546372.8812	1463628.093	382.751
424	546370.3855	1463627.947	383.7597
425	546373.8092	1463635.949	383.07
426	546375.1245	1463658.275	383.435
427	546377.6226	1463658.381	382.833
428	546379.1214	1463658.444	382.632
429	546381.1199	1463658.528	384.2465
430	546372.6264	1463658.17	383.355
431	546371.1275	1463658.107	382.998
432	546368.6294	1463658.001	384.7833
433	546374.6057	1463678.268	384.98
434	546377.1049	1463678.333	384.82
435	546378.6044	1463678.372	384.737
436	546380.6037	1463678.424	385.32
437	546372.1066	1463678.204	384.87
438	546370.6071	1463678.165	384.743
439	546368.1079	1463678.1	385.38
440	546374.087	1463698.262	385.08
441	546376.5862	1463698.327	384.98
442	546378.0857	1463698.365	384.779
443	546380.085	1463698.417	385.44
444	546371.5879	1463698.197	385.05

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
445	546370.0884	1463698.158	384.944
446	546367.5892	1463698.093	385.475
447	546373.5683	1463718.255	385.16
448	546376.0674	1463718.32	385.06
449	546377.5669	1463718.359	384.931
450	546379.5663	1463718.411	385.51
451	546371.0691	1463718.19	385.18
452	546369.5696	1463718.151	385.069
453	546367.0705	1463718.086	385.6225
454	546373.0496	1463738.248	385.28
455	546375.5487	1463738.313	385.12
456	546377.0482	1463738.352	384.991
457	546379.0475	1463738.404	385.735
458	546370.5504	1463738.183	385.33
459	546369.0509	1463738.145	385.224
460	546366.5517	1463738.08	385.7525
461	546372.5308	1463758.242	385.67
462	546375.03	1463758.306	385.51
463	546376.5295	1463758.345	385.36
464	546378.5288	1463758.397	385.77
465	546370.0317	1463758.177	385.73
466	546368.5322	1463758.138	385.691
467	546366.033	1463758.073	385.885
468	546372.0121	1463778.235	385.89
469	546374.5105	1463778.331	385.19
470	546376.0095	1463778.388	384.989
471	546378.0082	1463778.465	386
472	546369.5138	1463778.139	385.99
473	546368.0147	1463778.081	385.778
474	546365.5164	1463777.985	386.84
475	546370.9961	1463798.209	386.13
476	546373.4929	1463798.336	385.97
477	546374.9909	1463798.412	385.769
478	546376.9884	1463798.514	387.68
479	546368.4993	1463798.082	386.28
480	546367.0013	1463798.006	385.667
481	546364.5045	1463797.879	388.7325

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
482	546366.4104	1463801.065	385.72
483	546369.9801	1463818.183	388.67
484	546372.4769	1463818.31	388.55
485	546373.975	1463818.386	388.467
486	546375.9724	1463818.488	389.785
487	546367.4833	1463818.056	388.82
488	546365.9853	1463817.98	388.411
489	546363.4885	1463817.853	390.4575
490	546368.9641	1463838.157	390.3
491	546371.4609	1463838.284	390.18
492	546372.959	1463838.361	389.979
493	546374.9564	1463838.462	391.13
494	546366.4673	1463838.03	390.43
495	546364.9693	1463837.954	390.211
496	546362.4725	1463837.827	391.3048
497	546370.7299	1463854.989	391.01
498	546367.9481	1463858.132	391.1
499	546370.4449	1463858.259	391.24
500	546371.943	1463858.335	391.039
501	546373.9404	1463858.436	391.4795
502	546365.4514	1463858.005	391.18
503	546363.9533	1463857.928	391.145
504	546361.4565	1463857.801	391.319
505	546361.6328	1463873.644	391.054
506	546366.9321	1463878.106	390.79
507	546369.4289	1463878.233	390.879
508	546370.927	1463878.309	390.729
509	546372.9244	1463878.41	391.1585
510	546364.4354	1463877.979	390.93
511	546362.9373	1463877.902	390.91
512	546360.4405	1463877.775	391.0113
513	546365.9161	1463898.08	390.57
514	546368.4129	1463898.207	390.598
515	546369.911	1463898.283	390.515
516	546371.9084	1463898.385	390.864
517	546363.4194	1463897.953	390.68
518	546361.9213	1463897.877	390.653

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (Y)	Elevación (Z)
519	546359.4245	1463897.75	390.7875
520	546360.8969	1463905.645	390.8
521	546364.9001	1463918.054	390.46
522	546367.3969	1463918.181	390.29
523	546368.895	1463918.257	390.112
524	546370.8924	1463918.359	390.711
525	546362.4034	1463917.927	390.58
526	546360.9053	1463917.851	390.561
527	546358.4085	1463917.724	390.656
528	546363.8841	1463938.028	390.412
529	546366.3809	1463938.155	390.292
530	546367.879	1463938.231	390.091
531	546369.8764	1463938.333	390.601
532	546361.3874	1463937.901	390.472
533	546359.8893	1463937.825	390.469
534	546357.3925	1463937.698	390.4837
535	546362.8682	1463958.002	390.23
536	546365.3663	1463958.103	390.07
537	546366.8652	1463958.163	389.987
538	546368.8637	1463958.243	390.3665
539	546360.37	1463957.902	390.31
540	546358.8711	1463957.842	390.302
541	546356.373	1463957.742	390.3415
542	546362.2826	1463977.994	389.943
543	546364.7815	1463978.067	389.823
544	546366.2809	1463978.111	389.3998
545	546368.28	1463978.169	390.3165
546	546359.7837	1463977.921	389.993
547	546358.2843	1463977.877	389.902
548	546355.7854	1463977.804	390.3582
549	546361.697	1463997.985	390.13
550	546364.196	1463998.058	389.97
551	546365.6953	1463998.102	389.769
552	546367.6945	1463998.161	390.4
553	546359.1981	1463997.912	390.1
554	546357.6988	1463997.868	390.024
555	546355.1998	1463997.795	390.4042

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (Z)
556	546361.1115	1464017.977	390.16
557	546363.6104	1464018.05	389.99
558	546365.1098	1464018.094	389.789
559	546367.1089	1464018.152	390.4085
560	546358.6126	1464017.903	390.09
561	546357.1132	1464017.86	390.02
562	546354.6143	1464017.786	390.371
563	546355.9287	1464031.226	390.1
564	546360.5259	1464037.968	390.087
565	546363.0249	1464038.041	389.987
566	546364.5242	1464038.085	389.786
567	546366.5234	1464038.144	390.3335
568	546358.027	1464037.895	389.957
569	546356.5277	1464037.851	389.898
570	546354.0287	1464037.778	390.1943
571	546365.0279	1464050.369	390.438
572	546359.9404	1464057.96	390
573	546362.4393	1464058.033	389.84
574	546363.9387	1464058.077	389.662
575	546365.9378	1464058.135	390.055
576	546357.4415	1464057.886	389.9
577	546355.9421	1464057.842	389.875
578	546353.4432	1464057.769	389.88
579	546359.3548	1464077.951	389.55
580	546361.8544	1464078.003	389.43
581	546363.3541	1464078.034	389.347
582	546365.3538	1464078.076	389.705
583	546356.8553	1464077.899	389.49
584	546355.3556	1464077.868	389.488
585	546352.856	1464077.816	389.4975
586	546359.1088	1464097.949	389.24
587	546361.6087	1464097.98	389.14
588	546363.1085	1464097.999	388.962
589	546365.1084	1464098.023	389.29
590	546356.609	1464097.919	389.22
591	546355.1091	1464097.9	388.975
592	546352.6093	1464097.869	390.201

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
593	546429.449	1462573.334	360
594	546439.811	1462573.356	360
595	546321.945	1462925.118	365
596	546328.942	1462915.427	365
597	546335.299	1462905.469	365
598	546342.956	1462891.542	365
599	546350.589	1462875.725	365
600	546355.713	1462861.309	365
601	546360.29	1462847.052	365
602	546363.371	1462836.752	365
603	546368.723	1462826.644	365
604	546377.465	1462812.927	365
605	546388.761	1462802.228	365
606	546395.939	1462793.59	365
607	546402.158	1462785.352	365
608	546407.562	1462770.182	365
609	546414.663	1462755.723	365
610	546419.055	1462739.639	365
611	546429.904	1462731.908	365
612	546437.889	1462723.921	365
613	546446.823	1462715.455	365
614	546455.486	1462702.551	365
615	546463.374	1462688.159	365
616	546385.275	1462667.878	365
617	546379.535	1462646.204	365
618	546364.404	1462633.98	365
619	546353.198	1462638.477	365
620	546345.849	1462647.784	365
621	546347.493	1462662.539	365
622	546355.478	1462678.39	365
623	546364.828	1462688.226	365
624	546377.553	1462696.46	365
625	546380.919	1462683.413	365
626	546385.275	1462667.878	365
627	546329.459	1463182.782	370
628	546339.271	1463176.399	370
629	546348.552	1463166.445	370

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
630	546359.484	1463159.325	370
631	546367.686	1463148.074	370
632	546373.207	1463135.774	370
633	546376.02	1463118.169	370
634	546378.516	1463101.423	370
635	546379.678	1463082.919	370
636	546379.319	1463064.239	370
637	546377.69	1463043.528	370
638	546374.324	1463023.202	370
639	546370.187	1462999.875	370
640	546367.665	1462982.008	370
641	546367.373	1462960.876	370
642	546369.875	1462946.081	370
643	546376.276	1462928.835	370
644	546382.307	1462912.468	370
645	546388.135	1462896.65	370
646	546393.177	1462880.811	370
647	546396.634	1462869.638	370
648	546400.045	1462858.6	370
649	546404.677	1462845.077	370
650	546411.123	1462832.795	370
651	546420.529	1462819.561	370
652	546430.768	1462809.16	370
653	546438.597	1462800.398	370
654	546446.607	1462791.924	370
655	546455.949	1462780.69	370
656	546325.054	1463352.423	375
657	546347.039	1463357.305	375
658	546365.613	1463358.289	375
659	546383.143	1463354.526	375
660	546395.681	1463347.244	375
661	546405.548	1463338.887	375
662	546413.503	1463328.3	375
663	546420.534	1463315.066	375
664	546425.875	1463298.318	375
665	546429.42	1463284.147	375
666	546433.491	1463270.866	375

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (Z)
667	546436.214	1463258.588	375
668	546438.498	1463246.728	375
669	546441.463	1463229.027	375
670	546446.851	1463214.437	375
671	546454.508	1463198.383	375
672	546462.808	1463185.029	375
673	546462.164	1463088.662	375
674	546449.778	1463067.141	375
675	546438.002	1463046.5	375
676	546428.254	1463027.008	375
677	546423.129	1463009.508	375
678	546419.249	1462989.093	375
679	546417.845	1462969.415	375
680	546418.419	1462950.278	375
681	546420.699	1462933.11	375
682	546423.198	1462914.221	375
683	546425.776	1462897.925	375
684	546428.352	1462879.85	375
685	546431.279	1462866.934	375
686	546435.142	1462854.433	375
687	546440.088	1462842.705	375
688	546446.721	1462831.655	375
689	546456.461	1462819.215	375
690	546326.718	1463638.278	380
691	546334.133	1463630.515	380
692	546344.392	1463618.873	380
693	546355.616	1463608.479	380
694	546362.214	1463599.454	380
695	546365.572	1463590.079	380
696	546367.175	1463572.837	380
697	546366.441	1463556.891	380
698	546362.633	1463537.872	380
699	546357.807	1463522.67	380
700	546353.361	1463506.81	380
701	546351.707	1463487.721	380
702	546353.413	1463470.984	380
703	546357.677	1463455.255	380

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (Z)
704	546361.944	1463448.566	380
705	546368.549	1463446.539	380
706	546379.049	1463447.512	380
707	546400.531	1463447.013	380
708	546409.593	1463443.681	380
709	546421.807	1463436.444	380
710	546432.991	1463429.225	380
711	546442.105	1463417.603	380
712	546448.093	1463404.659	380
713	546452.586	1463388.341	380
714	546457.806	1463373.615	380
715	546463.577	1463361.381	380
716	546462.357	1463026.384	380
717	546456.095	1463007.621	380
718	546451.649	1462987.702	380
719	546450.872	1462967.5	380
720	546451.859	1462948.862	380
721	546453.669	1462930.545	380
722	546455.693	1462912.316	380
723	546457.328	1462894.963	380
724	546459.709	1462876.133	380
725	546463.398	1462860.557	380
726	546459.186	1463450.759	385
727	546450.376	1463463.988	385
728	546442.002	1463477.227	385
729	546436.34	1463486.486	385
730	546431.991	1463495.695	385
731	546426.311	1463509.287	385
732	546421.073	1463524.418	385
733	546413.472	1463539.97	385
734	546404.143	1463551.446	385
735	546398.288	1463560.42	385
736	546395.633	1463570.58	385
737	546394.814	1463589.168	385
738	546394.266	1463605.399	385
739	546393.224	1463626.591	385
740	546390.082	1463641.595	385

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
741	546385.796	1463660.137	385
742	546381.202	1463676.917	385
743	546377.913	1463694.27	385
744	546373.435	1463711.228	385
745	546370.477	1463726.112	385
746	546369.515	1463745.009	385
747	546366.898	1463758.472	385
748	546361.674	1463770.476	385
749	546353.963	1463780.377	385
750	546345.985	1463790.751	385
751	546334.094	1463798.112	385
752	546320.602	1463800.792	385
753	546324.844	1464137.467	390
754	546330.628	1464135.701	390
755	546339.079	1464131.05	390
756	546348.991	1464122.298	390
757	546362.647	1464116.792	390
758	546376.517	1464110.169	390
759	546391.975	1464106.397	390
760	546400.778	1464098.566	390
761	546405.593	1464088.315	390
762	546405.035	1464069.561	390
763	546401.922	1464055.29	390
764	546394.359	1464042.884	390
765	546383.438	1464045.499	390
766	546372.503	1464052.461	390
767	546362.095	1464059.023	390
768	546357.501	1464053.622	390
769	546352.29	1464042.198	390
770	546347.17	1464024.893	390
771	546353.275	1464012.708	390
772	546366.863	1464009.857	390
773	546386.67	1464011.454	390
774	546401.501	1464009.141	390
775	546416.02	1463999.67	390
776	546427.715	1463989.604	390
777	546434.313	1463980.962	390

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
778	546438.354	1463972.114	390
779	546441.532	1463954.992	390
780	546443.633	1463938.568	390
781	546442.272	1463918.845	390
782	546439.795	1463907.208	390
783	546431.776	1463898.216	390
784	546419.086	1463893.627	390
785	546399.979	1463888.878	390
786	546380.853	1463883.664	390
787	546365.37	1463877.408	390
788	546355.686	1463865.565	390
789	546353.801	1463852.117	390
790	546355.726	1463836.512	390
791	546360.78	1463826.903	390
792	546368.861	1463818.93	390
793	546381.641	1463810.885	390
794	546393.507	1463802.089	390
795	546401.309	1463793.485	390
796	546405.152	1463783.045	390
797	546408.332	1463766.632	390
798	546410.412	1463750.366	390
799	546413.241	1463731.398	390
800	546414.18	1463713.075	390
801	546414.778	1463693.477	390
802	546416.527	1463675.198	390
803	546419.73	1463657.599	390
804	546425.227	1463639.962	390
805	546428.562	1463624.871	390
806	546431.845	1463607.854	390
807	546433.673	1463596.058	390
808	546435.908	1463583.988	390
809	546439.174	1463569.762	390
810	546442.709	1463556.521	390
811	546448.155	1463539.766	390
812	546453.06	1463523.13	390
813	546459.091	1463506.883	390
814	546417.051	1464134.082	395

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
815	546425.436	1464123.753	395
816	546433.185	1464113.636	395
817	546438.378	1464101.537	395
818	546441.04	1464088.938	395
819	546441.654	1464069.607	395
820	546441.843	1464053.209	395
821	546442.818	1464032.66	395
822	546444.824	1464016.719	395
823	546449.007	1463998.397	395
824	546453.99	1463981.638	395
825	546459.283	1463965.339	395
826	546465.304	1463950.168	395
827	546453.829	1463864.205	395
828	546441.795	1463843.498	395
829	546435.62	1463832.247	395
830	546434.585	1463823.797	395
831	546435.839	1463815.114	395
832	546437.557	1463798.6	395
833	546437.637	1463783.358	395
834	546436.998	1463760.965	395
835	546436.221	1463744.93	395
836	546435.723	1463722.023	395
837	546435.814	1463706.742	395
838	546437.171	1463685.163	395
839	546439.972	1463670.587	395
840	546445.048	1463651.567	395
841	546451.758	1463636.093	395
842	546458.179	1463620.01	395
843	546447.311	1464130.662	400
844	546453.349	1464115.316	400
845	546458.083	1464097.94	400
846	546460.284	1464081.158	400
847	546461.087	1464061.276	400
848	546461.412	1464044.17	400
849	546462.621	1464023.658	400
850	546465.198	1464007.756	400
851	546463.844	1463814.403	400

Fuente: Elaboración propia

Punto	Este (x)	Norte (y)	Elevación (z)
852	546458.87	1463793.8	400
853	546455.848	1463773.609	400
854	546452.808	1463752.401	400
855	546451.253	1463732.241	400
856	546450.11	1463712.849	400
857	546450.982	1463693.528	400
858	546454.608	1463676.261	400
859	546460.122	1463660.886	400
860	546464.405	1463718.955	405
861	546464.792	1463701.893	405
862	546399.3601	1462578.126	361.5
863	546391.1849	1462581.418	361.55
864	546387.1262	1462581.83	361.5
865	546383.3034	1462586.238	361.6
866	546370.3963	1462585.904	360.5
867	546361.7193	1462607.051	363
868	546469.4681	1464654.948	412
869	546472.4118	1463123.779	375

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Pendientes del Terreno

Punto	Elevación	Estación	Pendiente %
1	361.44	C0+000	
2	361.8	C0+020	1.8%
3	362.23	C0+040	2.2%
4	362.8	C0+060	2.8%
5	363.62	C0+080	4.1%
6	363.84	C0+090	1.1%
7	363.96	C0+100	0.6%
8	364.44	C0+110	2.4%
9	364.63	C0+120	0.9%
10	364.78	C0+130	0.7%
11	364.86	C0+140	0.4%
12	364.94	C0+150	0.4%
13	364.77	C0+160	-0.9%

Fuente: Elaboración propia

Punto	Elevación	Estación	Pendiente %
14	365.1	C0+180	1.7%
15	366.48	C0+200	6.9%
16	366.78	C0+220	1.5%
17	366.93	C0+240	0.8%
18	367.26	C0+260	1.6%
19	367.64	C0+280	1.9%
20	368.03	C0+300	1.9%
21	369.44	C0+320	7.1%
22	370.32	C0+340	4.4%
23	372.07	C0+360	8.8%
24	372.24	C0+380	0.9%
25	372.47	C0+400	1.2%
26	372.41	C0+420	-0.3%
27	372.63	C0+440	1.1%
28	372.28	C0+460	-1.8%
29	372.16	C0+480	-0.6%
30	371.934	C0+500	-1.1%
31	371.98	C0+520	0.2%
32	371.74	C0+540	-1.2%
33	371.71	C0+560	-0.2%
34	371.9	C0+580	0.9%
35	372.3	C0+600	2.0%
36	372.44	C0+620	0.7%
37	372.8	C0+640	1.8%
38	373.01	C0+660	1.0%
39	373.34	C0+680	1.6%
40	373.02	C0+700	-1.6%
41	373.6	C0+720	2.9%
42	373.98	C0+740	1.9%
43	374.86	C0+760	4.4%
44	375.23	C0+780	1.9%
45	375.89	C0+800	3.3%
46	376.982	C0+820	5.5%
47	377.34	C0+840	1.8%
48	378.5	C0+860	5.8%
49	379.4	C0+880	4.5%
50	380.2	C0+900	4.0%

Fuente: Elaboración propia

Punto	Elevación	Estación	Pendiente %
51	380.65	C0+920	2.2%
52	380.54	C0+940	-0.5%
53	380.934	C0+960	2.0%
54	381.24	C0+980	1.5%
55	381.523	C1+000	1.4%
56	381.87	C1+020	1.7%
57	382.993	C1+040	5.6%
58	383.435	C1+060	2.2%
59	384.98	C1+080	7.7%
60	385.08	C1+100	0.5%
61	385.16	C1+120	0.4%
62	385.28	C1+140	0.6%
63	385.67	C1+160	2.0%
64	385.89	C1+180	1.1%
65	386.13	C1+200	1.2%
66	388.67	C1+220	12.7%
67	390.3	C1+240	8.1%
68	391.1	C1+260	4.0%
69	390.79	C1+280	-1.6%
70	390.57	C1+300	-1.1%
71	390.46	C1+320	-0.6%
72	390.412	C1+340	-0.2%
73	390.23	C1+360	-0.9%
74	389.943	C1+380	-1.4%
75	390.13	C1+400	0.9%
76	390.16	C1+420	0.2%
77	390.087	C1+440	-0.4%
78	390	C1+460	-0.4%
79	389.55	C1+480	-2.2%
80	389.24	C1+500	-1.6%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27 Aforo vehicular, Est. 0+750



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 28 Aforo vehicular, Est. 0+750



Fuente: Elaboración propia

Tabla 50 EMC San Marcos Masatepe

ESTACIÓN DE MAYOR COBERTURA	NIC	N° ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos - Masatepe	Nic-38	3802	ECS	Rio grande - Achuapa
	Nic-38	3802 A	ECS	Achuapa - San Juan de Limay
	Nic-38	3806	ECS	San Juan de Limay - Paso Hondo
	Nic-38	123	ECS	Paso Hondo - Pueblo Nuevo
	Nic-38	3804	ECD	Pueblo Nuevo - Shell de Palacagüina
	Nic-39	3902	ECS	Granada (INTECNA) -Malacatoya
	Nic-39	3901	ECS	Malacatoya - El Papayal
	Nic-40	4001	ECS	Emp. El Transito - EL Transito - La Gloria
	Nic-41	4101	ECS	Emp. San Gabriel - Sisle
	Nic-41	4109	ECS	Sisle - La Porrita
	Nic-41	4110	ECS	La Porrita - Emp. Las Cruses
	Nic-43	4301	ECD	Llano de la Cruz - Emp. Dantalí

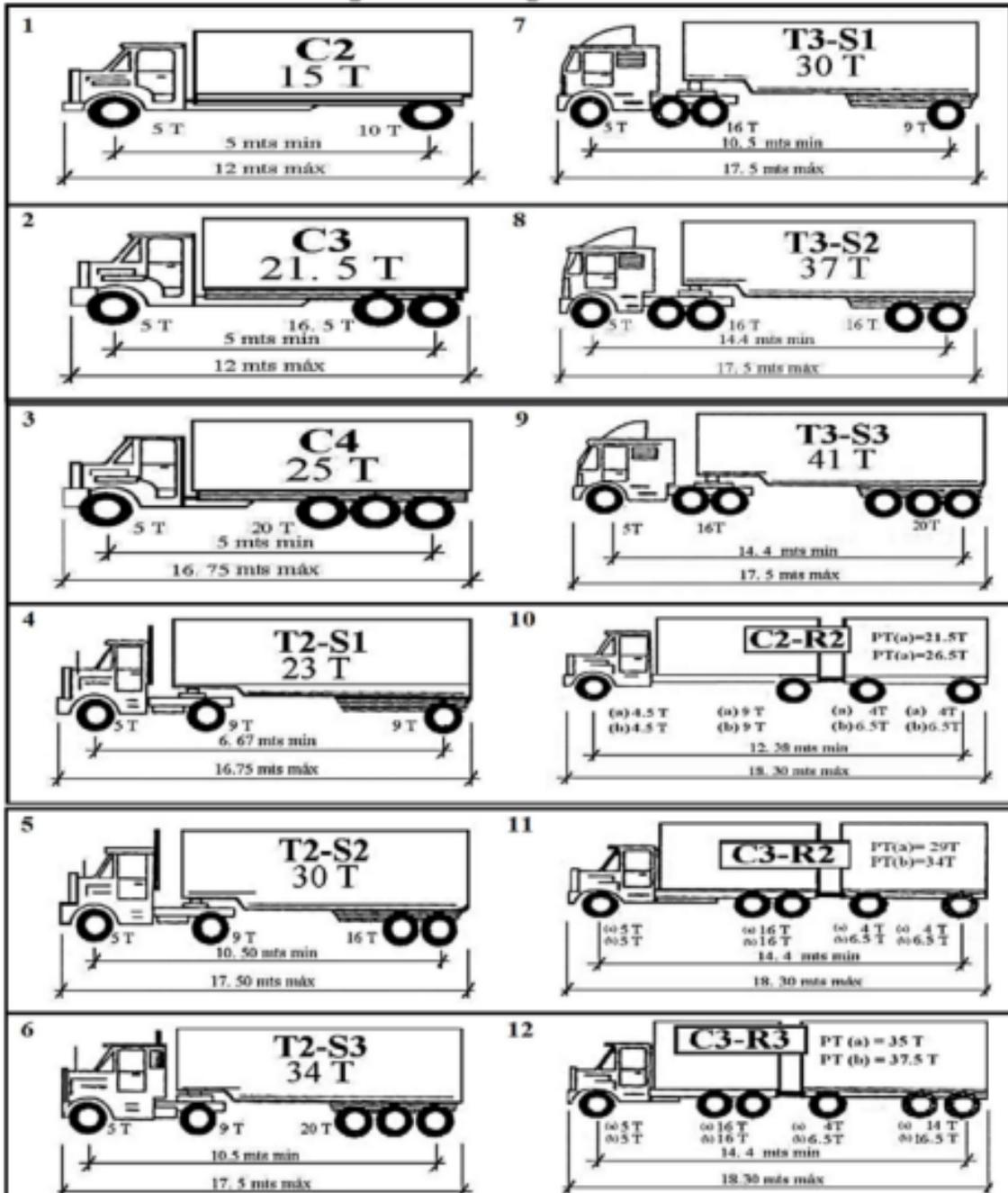
Fuente: Anuario de Aforo de Trafico, MTI 2020

Tabla 51 Peso por eje de vehículo liviano

Tipo de Vehículo	Peso por eje de TON	Peso por eje en Lbs
Automóvil	1/1	2200/2200
Jeep	1/1	2200/2200
Camioneta	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-LIV	4/8	8800/17600
BUS = C2	5/10	11000/22000

Fuente: Dirección General de Vialidad, Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI

Ilustración 29 Peso por eje de vehículos de carga



Fuente: Dirección General de Vialidad, Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI

Tabla 52 Formato para aforo vehicular

Tramo:														Est:					
Sentido:														Fecha:					
Hora		Bici	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga						Equipos			Total	
				Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus <15 s.	Mn Bus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2_5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx_Sx <=4 e.	Tx_Sx >=5 e.	Cx_Rx <=4 e.	Cx_Rx >=5 e.	V.A		V.C
6:00	7:00																		
7:00	8:00																		
8:00	9:00																		
9:00	10:00																		
10:00	11:00																		
11:00	12:00																		
12:00	1:00																		
1:00	2:00																		
2:00	3:00																		
3:00	4:00																		
4:00	5:00																		
5:00	6:00																		
Volumen (12 horas diurnas)																			

Fuente: *Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2020*

Tabla 53 Aforo vehicular del día lunes

Tramo: Empalme La ceibita - San Juan de la Tronquera		Est: 0+750										
Sentido: Ambos		Fecha: lunes, 23 de enero de 2023										
Hora	Moto	Vehiculos de Pasajeros					Vehiculos de Carga				Equipos Pesados	Volumen Horario
		Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
06:00	27	7	9	14	0	1	3	0	2	1	0	64
07:00	22	3	9	9	0	0	1	0	1	2	0	47
08:00	31	1	3	4	0	0	0	2	0	0	0	41
09:00	6	10	1	7	0	1	0	0	0	0	0	25
10:00	14	4	2	4	0	0	0	0	0	0	0	24
11:00	6	1	2	2	0	0	0	1	0	0	0	12
12:00	9	2	2	2	0	0	1	0	0	0	0	16
01:00	1	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	7
02:00	10	2	7	9	0	1	0	0	0	0	0	29
03:00	3	1	6	1	1	0	0	1	0	0	0	13
04:00	3	13	10	2	0	0	1	0	0	0	0	29
05:00	15	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	19
Volumen (12 horas diurnas)	147	47	54	56	1	3	6	4	4	4	0	326

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54 Aforo vehicular del día martes

Tramo: Empalme La ceibita - San Juan de la Tronquera							Est: 0+750					
Sentido: Ambos							Fecha: martes, 24 de enero de 2023					
Hora	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga				Equipos Pesados	Volumen Horario
		Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
06:00	20	5	8	11	0	0	0	2	0	1	0	47
07:00	18	8	2	3	0	1	0	1	0	0	0	33
08:00	14	1	7	3	0	0	4	0	0	0	0	29
09:00	10	4	4	0	1	1	1	0	0	0	0	21
10:00	17	3	1	3	0	0	1	0	0	0	0	25
11:00	10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	12
12:00	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5
01:00	13	1	5	3	0	0	0	0	0	0	0	22
02:00	2	0	2	3	0	1	0	1	0	0	0	9
03:00	3	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	8
04:00	4	3	1	2	0	0	0	1	0	0	0	11
05:00	16	1	0	4	0	0	0	0	0	1	0	22
Volumen (12 horas diurnas)	128	30	31	34	1	3	6	9	0	2	0	244

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55 Aforo vehicular del día miércoles

Tramo: Empalme La ceibita - San Juan de la Tronquera							Est: 0+750					
Sentido: Ambos							Fecha: miércoles, 25 de enero de 2023					
Hora	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga				Equipos Pesados	Volumen Horario
		Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
06:00	30	5	24	12	0	0	1	3	0	1	0	76
07:00	5	18	11	12	0	1	0	3	0	0	0	50
08:00	14	2	11	19	0	0	1	3	0	0	0	50
09:00	16	4	7	2	0	1	0	0	0	0	0	30
10:00	3	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	11
11:00	13	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	20
12:00	7	6	1	7	0	0	0	0	0	0	0	21
01:00	3	3	3	7	0	0	0	1	0	0	0	17
02:00	4	5	3	3	0	1	1	0	0	0	0	17
03:00	8	11	2	1	0	0	0	0	1	0	0	23
04:00	2	2	1	7	0	0	0	0	0	0	1	13
05:00	22	1	4	2	0	0	0	1	0	0	0	30
Volumen (12 horas diurnas)	127	63	71	77	0	3	3	11	1	1	1	358

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56 Aforo vehicular del día jueves

Tramo: Empalme La ceibita - San Juan de la Tronquera							Est: 0+750					
Sentido: Ambos							Fecha: jueves, 26 de enero de 2023					
Hora	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga				Equipos Pesados	Volumen Horario
		Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
06:00	9	11	7	22	0	0	1	4	1	1	0	56
07:00	15	5	4	13	0	1	1	0	3	2	0	44
08:00	10	9	10	6	0	0	0	1	0	0	0	36
09:00	9	16	4	6	0	1	0	0	0	0	0	36
10:00	12	4	7	10	0	0	1	0	0	0	0	34
11:00	6	4	4	9	0	0	0	0	0	0	0	23
12:00	9	12	4	12	0	0	0	0	0	0	0	37
01:00	8	5	6	6	0	0	0	0	1	0	0	26
02:00	18	3	9	5	0	1	0	0	0	0	0	36
03:00	0	11	7	7	0	0	0	1	0	0	0	26
04:00	27	3	9	1	0	0	1	0	0	0	0	41
05:00	4	6	6	7	0	0	0	0	1	1	0	25
Volumen (12 horas diurnas)	127	89	77	104	0	3	4	6	6	4	0	420

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57 Aforo vehicular del día viernes

Tramo: Empalme La ceibita - San Juan de la Tronquera							Est: 0+750					
Sentido: Ambos							Fecha: viernes, 27 de enero de 2023					
Hora	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga				Equipos Pesados	Volumen Horario
		Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
06:00	22	10	9	8	0	1	3	4	0	1	0	58
07:00	17	9	9	15	0	0	1	3	2	1	0	57
08:00	2	4	2	7	0	0	0	1	0	0	0	16
09:00	5	2	6	16	0	1	0	0	0	0	0	30
10:00	1	2	9	4	0	0	0	0	0	0	0	16
11:00	5	2	10	5	0	0	1	0	0	0	0	23
12:00	10	8	10	4	0	0	0	0	0	1	0	33
01:00	1	1	5	8	1	0	0	0	0	0	0	16
02:00	2	2	4	3	0	1	0	0	1	2	0	15
03:00	8	1	8	1	0	0	2	0	0	0	0	20
04:00	25	14	3	6	0	0	0	1	1	0	0	50
05:00	9	3	12	12	0	0	0	0	0	0	0	36
Volumen (12 horas diurnas)	107	58	87	89	1	3	7	9	4	5	0	370

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58 Aforo vehicular del día sábado

Tramo: Empalme La ceibita - San Juan de la Tronquera							Est: 0+750					
Sentido: Ambos							Fecha: sábado, 28 de enero de 2023					
Hora	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga				Equipos Pesados	Volumen Horario
		Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
06:00	14	9	20	17	0	1	0	1	0	0	1	63
07:00	18	9	2	9	0	0	0	5	0	0	0	43
08:00	0	4	3	11	0	0	5	0	0	0	0	23
09:00	2	4	7	2	0	1	0	1	0	0	0	17
10:00	1	8	1	3	0	0	0	0	1	0	0	14
11:00	0	2	15	1	0	0	0	0	0	0	0	18
12:00	2	8	1	13	0	0	2	0	0	0	0	26
01:00	18	2	0	11	0	0	0	0	0	0	0	31
02:00	11	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	15
03:00	21	2	1	4	0	0	0	1	0	0	0	29
04:00	8	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	13
05:00	12	6	6	1	0	0	1	0	0	1	0	27
Volumen (12 horas diurnas)	107	55	59	76	0	3	8	8	1	1	1	319

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59 Aforo vehicular del día domingo

Tramo: Empalme La ceibita - San Juan de la Tronquera							Est: 0+750					
Sentido: Ambos							Fecha: domingo, 29 de enero de 2023					
Hora	Moto	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de Carga				Equipos Pesados	Volumen Horario
		Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T2S2	V.A	
06:00	23	2	16	11	0	1	0	3	0	2	0	58
07:00	9	21	4	11	0	0	0	1	0	0	0	46
08:00	22	8	1	14	0	0	3	1	0	0	0	49
09:00	12	2	7	3	1	1	0	0	0	0	0	26
10:00	28	4	1	5	0	0	0	0	0	0	0	38
11:00	4	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	11
12:00	3	1	14	4	0	0	0	0	0	0	0	22
01:00	6	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	13
02:00	15	0	6	2	0	1	0	4	0	0	0	28
03:00	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
04:00	14	8	2	1	0	0	1	3	1	0	0	30
05:00	15	1	0	5	0	0	4	0	2	0	1	28
Volumen (12 horas diurnas)	151	53	57	61	2	3	8	12	3	2	1	353

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61 Factores de expansión a TPDA 1er cuatrimestre del año enero - abril

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx <=4	Tx-Sx >5	Cx-Rx <=4	Cx-Rx >5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1,34	1,29	1,18	1,25	1,23	1,14	1,38	1,15	1,20	1,21	1,00	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Factor Semana	0,95	0,96	1,00	0,97	0,92	0,93	0,89	0,91	0,83	0,86	1,00	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89
Factor Fin de Semana	1,15	1,11	0,99	1,08	1,30	1,22	1,44	1,33	2,07	1,68	1,00	1,69	1,00	1,00	1,00	1,00	1,48
Factor Expansión a TPDA	1,15	1,15	1,35	1,13	1,20	1,23	1,16	1,15	1,04	1,27	1,00	1,54	1,00	1,00	1,00	1,00	1,88

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico (MTI, 2020, pág. 385)

Tabla 60 Transito promedio diario anual histórico por tipo de vehículo de la estación 3806 – San Juan de Limay – Paso Hondo

Nº	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA					
232	NIC-38	3806	ECS	San Juan de Limay - Paso Hondo	2018	109	3	3	22			2	4	4									2	149				
					2017	135	147		176	5	4	10	33	30	30		48	6	3	5	7	61				700		
					2015	79	3	4	51	1		11	8	5	11												173	
					2007	5		1	6			1	2	2														17
					2002	26		9	34						12	6	7	1		1								96
EMC:1802																												
Tasa Crecimiento: 6,74%					2020	124	3	3	25			2	5	5									2	170				
						Liv.		156		Pasaj.		2		Pesado								11						
						92%		1%		7%																		

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico (MTI, 2020, pág. 195).

Tabla 62 Resumen de TPDA de estación de mayor cobertura

N°	EST.	NOMBRE DEL TRAMO	TPDA	Total Pesados	∑ Tx-Sx y Cx-Rx	% de Livianos	% de Pesados	% Tx-Sx y Cx-Rx Vehículos de Carga
1	101B	Zona Franca - La Garita	24,523	5,291	956	78.3%	21.6%	18.1%
2	1205	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega	10,585	2,614	934	75.0%	24.7%	35.70%
3	200	Entrada al INCAE - El Crucero	9,403	1,183	283	87.3%	12.6%	23.90%
4	1802	San Marcos - Masatepe	9,392	830	69	91.1%	8.8%	8.30%
5	401	Masaya - Granada	8,882	1,074	69	87.8%	12.1%	6.40%
6	107	Sébaco - Emp. San Isidro	7,877	1,797	463	77.0%	22.8%	25.8%
7	300	Sébaco - Quebrada Honda	6,270	1,459	200	76.5%	23.3%	13.70%
8	2803	Nagarote - La Paz Centro	6,058	2,227	1106	62.8%	36.8%	49.70%
9	2404	Chinandega - Corinto	5,471	1,754	1,110	67.7%	32.1%	63.30%
10	2400	Chinandega (Rotonda) - Rancheria	4,019	686	166	81.1%	17.1%	24.20%
11	700	Emp. San Francisco - Tecolostote	2,024	638	96	68.3%	31.5%	15.0%

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico (MTI, 2020, pág. 385)

Tabla 63 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $pt = 2.0$

Carga por eje		SN		pulg		(mm)	
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	17.8	.002	.003	.002	0.002	.002	.002
6	26.7	.009	.012	.011	0.10	.009	.009
8	35.6	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	44.5	.075	.085	.090	.085	0.79	.076
12	53.4	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	62.3	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	71.2	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: Capítulo 3. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93, pág. 22)

Tabla 64 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, pt = 2.0

Carga por eje		SN					
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267.0	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	275.9	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347.0	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	364.8	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	373.7	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	382.6	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	391.5	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	400.4	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: Capítulo 3. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (AASHTO-93, pág. 23)

Tabla 65 Clasificación de los suelos AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el número 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 (% pasa)							
No 10	50 máx.						
No 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasó No 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 número 200)						
	A-4			A-5		A-6	
Grupo de Clasificación							A-7-5 y A-7-6
Análisis de tamiz (% pasa)							
No 10							
No 40							
No 200	36 mín.		36 mín.		36 mín.		36 mín.
Características de la fracción que pasó No 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						

Fuente: DAS (2015)

Ilustración 30 Comprobación del SN de Subrasante

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is divided into several sections for data entry:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' with the value '0.40'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.2).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '12792.55 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. Below them, 'W18 =' is followed by a text box containing '216307'.
- Número Estructural:** 'SN =' is followed by a text box containing '1.99'.

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Software de la AASTHO 93

Ilustración 31 Comprobación del SN1 para base

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing '85 % Zr=-1.037' and an input field for 'So' with the value '0.40'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Input fields for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.2).
- Módulo resiliente de la subrasante:** Input field for 'Mr' (19000 psi).
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Input fields for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. All these fields are currently empty.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. The result 'W18 = 216307' is displayed next to the 'Calcular SN' option.
- Número Estructural:** The result 'SN = 1.70' is displayed in a separate box.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons are located at the bottom.

Fuente: Software de la AASTHO 93

Ilustración 32 Comprobación del SN2 para sub-base

The screenshot shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93" with the following fields and values:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible, Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 93 % $Z_r = -1.476$, So = 0.40
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.2
- Módulo resiliente de la subrasante:** Mr = 28000 psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:** (Empty fields for E_c , S_c , J , and C_d)
- Tipo de Análisis:** Calcular SN, Calcular W18
- Número Estructural:** SN = 1.50
- W18 =** 216307

Buttons: "Calcular" and "Salir"

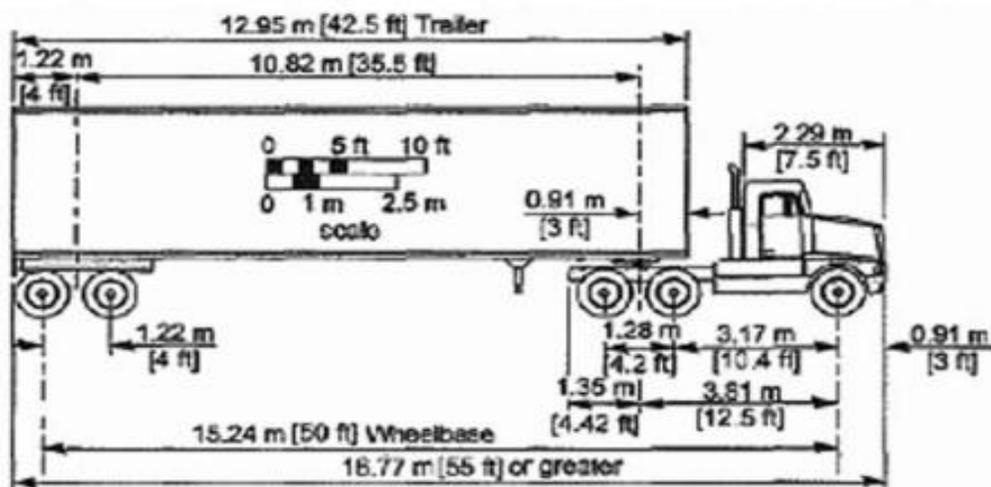
Fuente: Software de la AASTHO 93

Tabla 66 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales

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

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

Ilustración 33 Vehículo de Diseño (WB - 15)



Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carretera, SIECA (2011), pág. 408

Tabla 67 Valores de Sobreancho (400-3000)

Radio De Curva	Ancho de Calzada 7.20m						Ancho de Calzada 6.60 m						Ancho de calzada 6.0 m					
	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
3000	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2000	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1	1
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1	1.2	1.2

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011) Capítulo 3. Pág. 112

Tabla 68 Valores de Sobreancho (70-300)

Radio De Curva	Ancho de Calzada 7.20m						Ancho de Calzada 6.60 m						Ancho de calzada 6.0 m					
	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: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011) Capítulo 3. Pág. 112

Tabla 69 Radio y grado de curvatura recomendados

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

Fuente: SIECA (2011), cap. 3

Tabla 70 Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada

Velocidad de diseño (KPH)	Distancia de visibilidad de parada (m)	Taza 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 (2011, cap. 3, pág. 125)

Tabla 71 Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio

Velocidad de diseño (KPH)	Distancia de visibilidad de parada (m)	Taza 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 (2011, cap. 3, pág. 125)