

Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

“DISEÑO GEOMÉTRICO DE 3.9 KM DEL TRAMO ENTRADA DEL ESTADIO MUNICIPAL DE BASEBALL – COMUNIDAD EL MOJÓN, MUNICIPIO DE CONDEGA, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ, 2025 ”

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Brayan Josué
Rocha Araica
Carnet: 2019-0595U

Br. Alejandro Antonio
Altamirano Lezama
Carnet: 2019-0657U

Tutor:

Ing. Oliver Josué
Rivera Gutiérrez

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza, mi guía y la fuente inagotable de sabiduría que me permitió llegar hasta este momento tan importante de mi vida.

A mi madre, por su amor infinito, sus sacrificios silenciosos y sus palabras de aliento que nunca me permitieron rendirme. Gracias por creer en mí incluso cuando el camino parecía difícil. Este logro también es tuyo.

A mi padre, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Gracias por cada consejo y por impulsarme siempre a seguir adelante con determinación.

A mis hermanos, por acompañarme en cada etapa de este proceso, por su apoyo incondicional, su comprensión y por recordarme que nunca camino solo. Su cariño ha sido un motor para alcanzar esta meta.

A mi querida mamita, quien, con su inmenso amor, sus oraciones, su ternura y sus sabios consejos ha sido un refugio en los momentos de dificultad. Gracias por abrazarme con el corazón, por confiar siempre en mí y por ser una inspiración constante de fortaleza y bondad. Llevaré siempre conmigo cada una de sus enseñanzas y este logro también le pertenece.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que, de una u otra manera, me brindaron su apoyo, sus palabras de ánimo y su confianza durante este recorrido. Cada gesto de cariño y cada muestra de apoyo fueron fundamentales para culminar esta etapa con éxito.

Con profundo amor y gratitud, dedico este logro a mi familia, porque ustedes han sido el pilar sobre el cual he construido cada uno de mis sueños. Que este trabajo sea una pequeña muestra del inmenso agradecimiento que siento por todo lo que han hecho por mí.

Br. Alejandro Antonio Altamirano Lezama.

DEDICATORIA

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

A mis padres Carola Araica Membreño y Oswaldo Rocha por brindarme su apoyo incondicional, por su amor hacia mí y por su crianza, por enseñarme a no rendirme y siempre dar lo mejor de uno, siempre recordando de dónde vengo y mantenerme humilde. A mi gran amiga Elba Mariam Zelaya, cuya generosidad y entrega fueron clave en este proceso. Gracias por su invaluable apoyo emocional, por su grata compañía en todo momento y por ese respaldo integral que me dio la tranquilidad necesaria para conquistar esta meta.

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

Br. Brayan Josué Rocha Araica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios todopoderoso, por darnos la vida y su bendición cada día, por la salud, fuerza y sabiduría para luchar por este sueño, a nuestros padres por nunca dejarnos solos y estar ahí en los momentos de mayor incertidumbre que tuvimos que pasar en este trayecto, por nunca dejar de motivarnos para lograr terminar este proyecto.

También queremos agradecer a nuestro tutor, Ing. Oliver Josué Rivera Gutiérrez, a quien le debemos gran parte de los conocimientos adquiridos, por su paciencia, dedicación y confianza en nosotros.

RESUMEN DEL TEMA

El presente estudio titulado **“DISEÑO GEOMÉTRICO DE 3.9 KM DEL TRAMO ENTRADA DEL ESTADIO MUNICIPAL DE BASEBALL – COMUNIDAD EL MOJÓN, MUNICIPIO CONDEGA, DEPARTAMENTO ESTELÍ, 2025”** ofrece la información esencial y los criterios fundamentales para el diseño de un tramo de carretera, aplicando el manual SIECA 2011.

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

CAPITULO I. GENERALIDADES

Aborda las generalidades del tema, tales como la introducción, la macro y micro localización, los objetivos y la justificación de la importancia del diseño para mejorar las condiciones actuales del tramo y promover el desarrollo socioeconómico de las comunidades adyacentes.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

Se presenta el marco teórico que abarca los estudios necesarios para el desarrollo integral de este proyecto. Estos estudios comprenden un análisis detallado de diversas áreas clave: en primer lugar, el estudio topográfico, que proporciona información precisa sobre las características del terreno. En segundo lugar, el estudio de tránsito, que evalúa los volúmenes, la clasificación por tipos de vehículos y el cálculo del TPDA. Por último, tenemos el Diseño Geométrico **que** abarca las normas de la SIECA 2011 sobre los elementos del diseño que garantizan la seguridad y comodidad en el transporte.

CAPITULO III. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos de los tres estudios realizados para este trabajo, los cuales son fundamentales para el proyecto.

1. Estudio topográfico: Se obtuvieron las mediciones del terreno a lo largo de los 3.9 kilómetros. Estos datos permitieron representar el relieve actual,

identificar las elevaciones y procesar los datos en Civil 3D que sirven como base.

2. Estudio de tránsito: A través del conteo de vehículos, se determinó el flujo de tráfico actual y se realizó una proyección de los vehículos que transitarán en el futuro.
3. Diseño Geométrico Vial: Se determinaron los elementos geométricos del tramo en función de su velocidad de diseño. Esto incluye desde el peralte y radio de curvatura hasta las distancias de visibilidad. Toda la ingeniería de detalle, desde el modelado de superficies hasta el diseño de perfiles de rasante y subrasante.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones ofrecen una síntesis de los resultados obtenidos de los estudios llevados a cabo para el diseño del tramo “Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad el Mojón”. Estas conclusiones no solo son cruciales para la futura construcción del tramo en cuestión, sino que también deben ser consideradas para el desarrollo de otros diseños de infraestructura vial similares.

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1	Introducción	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Justificación	3
1.4	Objetivos	4
1.4.1	Objetivo general	4
1.4.2	Objetivos específicos.....	4
1.5	Localización del tramo	5
1.5.1	Macro localización	5
1.5.2	Micro localización	6

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1	Marco teórico	8
2.1.1	Topografía	8
2.1.2	Levantamiento topográfico	8
2.1.3	Planimetría y altimetría.....	8
2.1.4	Punto de Control Geodésico (PCG)	9
2.1.5	Banco maestro (BM).....	9
2.1.6	Punto Auxiliar.....	9
2.1.7	Pendiente.....	9
2.1.8	Perfil longitudinal y transversal.....	9
2.2	Estudio de tránsito	10
2.2.1	Aforo vehicular	10
2.2.2	Clasificación vehicular	10
2.2.3	Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)	11

2.2.4	Proyección del TPDA	11
2.3	Diseño Geométrico	12
2.3.1	Vehículo de diseño	12
2.3.2	Velocidad de diseño	12
2.3.3	Alineamiento horizontal	12
2.3.4	Alineamiento vertical	13
2.3.5	Distancia máxima en tangente	13
2.3.6	Curvas circulares simple	13
2.3.7	Elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple 13	
2.3.8	Rasante	14
2.3.9	Pendiente.....	14
2.3.10	Curvas verticales	15
2.3.11	Sección transversal	15
2.3.12	Ancho de carril.....	15
2.3.13	Bombeo	15
2.3.14	Drenaje superficial.....	16
2.3.15	Radio mínimo.....	16
2.3.16	Peralte	16
2.3.17	Grado de curvatura máximo	16

CAPITULO III:ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1	Estudio topográfico	19
3.1.1	Generalidades	19
3.1.2	Metodología.....	19
3.1.3	Levantamiento topográfico	20
3.1.4	Puntos geodésicos	20

3.1.5	Coordenadas iniciales y finales del tramo.....	20
3.1.6	Equipo utilizado en el levantamiento topográfico.....	21
3.1.7	Establecimiento de BMs.....	22
3.1.8	Seccionamiento del tramo.....	23
3.1.9	Análisis del levantamiento topográfico con Civil 3D.....	24
3.2	Estudio de tránsito.....	36
3.2.1	Metodología.....	37
3.2.2	Aforo Vehicular.....	37
3.2.3	Tránsito Promedio Diario Diurno (TPDi).....	39
3.2.4	Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	40
3.2.4.1	Identificación de factores de correspondencia.....	40
3.2.4.2	Estaciones de conteo.....	41
3.2.4.3	Cálculo del TPDA.....	44
3.2.5	Tasa de crecimiento.....	49
3.2.5.1	Tasa de crecimiento vehicular.....	49
3.2.5.2	Tasa de crecimiento poblacional.....	50
3.2.5.3	Tasa de crecimiento producto interno bruto.....	52
3.2.5.4	Cálculo de la tasa de crecimiento seleccionada.....	54
3.2.6	Proyección de trafico.....	55
3.2.6.1	Cálculo de la tasa de crecimiento seleccionada.....	55
3.3	Diseño Geométrico.....	58
3.3.1	Generalidades.....	58
3.3.2	Clasificación de la carretera.....	58
3.3.3	Vehículo de diseño.....	58
3.3.4	Velocidad de diseño.....	60

3.3.5	Número de carriles.....	60
3.3.6	Ancho de carril de rodamiento.....	61
3.3.7	Ancho de hombros.....	62
3.3.8	Ancho de corona.....	62
3.3.9	Distancia de visibilidad de parada.....	63
3.3.10	Alineamiento Horizontal.....	64
3.3.10.1	Sobreelevación máxima.....	64
3.3.10.2	Factor de fricción máxima.....	64
3.3.10.3	Radio mínimo y grado de curvatura.....	65
3.3.10.4	Longitud de transición.....	66
3.3.10.5	Pendiente Transversal o Bombeo.....	68
3.3.10.6	Pendiente Relativa.....	69
3.3.10.7	Sobreancho.....	70
3.3.10.8	Curvas horizontales simples.....	71
3.3.10.9	Curvas Espirales.....	74
3.3.11	Alineamiento Vertical.....	79
3.3.11.1	Pendientes para el control de diseño.....	79
3.3.11.2	Curvas Verticales.....	79
3.3.11.2.1	Curvas Verticales en columpio.....	80
3.3.11.2.2	Curvas Verticales en cresta.....	80
3.3.11.2.3	Resultados de alineamiento vertical.....	80
CAPITULO IV: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y ANEXOS		
4.1.	Conclusiones.....	85
4.2.	Recomendaciones.....	86
ANEXOS.....		I

INDICES DE FIGURAS

Figura 1 Macro localización municipio de Condega, departamento de Estelí, Nicaragua	5
Figura 2. Micro localización tramo en estudio entrada del Estadio Municipal de Baseball - comunidad el mojón, municipio de Condega, departamento de Estelí.	6
Figura 3 Mapa Satelital de Inicio y Fin del tramo	21
Figura 4 Archivo de Texto obtenido del Levantamiento Topográfico	24
Figura 5 Configuración de dibujo	25
Figura 6 Georreferenciación, selección sistema de coordenadas UTM, WGS84	25
Figura 7 Georreferenciación, definición de la zona 16N.....	26
Figura 8.Creación de puntos	27
Figura 9. Importar Puntos.....	27
Figura 10. Selección de Puntos obtenidos	28
Figura 11. Selección de formato de los puntos.....	28
Figura 12. Creación de grupo de puntos	29
Figura 13. Ejecución del comando "zoom extents"	29
Figura 14. Activar "Map Aerial"	30
Figura 15. Creación de la superficie	30
Figura 16. Definición de Grupo de Puntos para la superficie	31
Figura 17. Superficie generada.....	31
Figura 18. Edición de propiedades de la superficie	32
Figura 19. Edición de la superficie con la herramienta "Swap Edge"	33
Figura 20. Perfil Longitudinal del Terreno Natural del Tramo.....	34
Figura 21 Comportamiento vehicular por día EST 0+000	39
Figura 22 Composición vehicular del tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón, correspondiente a la estación 0+000.	46
Figura 23 Porcentaje de vehículos livianos y pesados del tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón, estación 0+000.....	47

Figura 24. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Cabezal con Remolque (WB-15).....	59
Figura 25 Estado actual del tramo EST 1+120	I
Figura 26 Ausencia de estructuras de drenaje en la EST 0+500	I
Figura 27 Curva horizontal muy cerrada (sin diseño) EST 3+100.....	II
Figura 28 Final del tramo comunidad El Mojón	II
Figura 29 Tipología y descripción vehicular de conteo de tráfico	III

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de Puntos Geodésicos	20
Tabla 2. Coordenadas Cartográficas de Inicio y Fin del tramo	20
Tabla 3. Equipo utilizado en el levantamiento topográfico	21
Tabla 4. Cálculo de Pendientes a cada 100 metros.....	35
Tabla 5. Clasificación de terreno en función de la pendiente.....	36
Tabla 6. Resumen de resultados del aforo vehicular, realizado en la estación 0+000.....	38
Tabla 7. Tránsito Promedio Diario Diurno	40
Tabla 8. Vector Geográfico	41
Tabla 9. Tránsito Promedio Diario, Estación 1802 San Marcos-Masatepe, Tramo Condega-Pueblo Nuevo	42
Tabla 10. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) por tipo de vehículo correspondiente a la estación 3805, tramo Condega – Pueblo Nuevo.	43
Tabla 11. Factores de expansión a TPDA segundo cuatrimestre del año mayo – agosto de la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe	45
Tabla 12. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón, estación 0+000.....	48
Tabla 13. Tasas de crecimiento Vehicular.	50
Tabla 14. Tasas de crecimiento poblacional.	52
Tabla 15. Tasa de crecimiento Producto Interno Bruto (PIB).....	54
Tabla 16. Proyecciones del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón.....	56
Tabla 17. Clasificación funcional de las carreteras.	57
Tabla 18. Dimensiones Típicas de Vehículos	58
Tabla 19. velocidad de diseño y velocidad de ruedo.....	60
Tabla 20. Número de carriles en función a la clasificación de la funcional.....	61
Tabla 21. Anchos mínimos de hombros y aceras.	62
Tabla 22. Distancias de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical	63

Tabla 23. Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño, usando valores de "e" y "f"	65
Tabla 24. Peralte, recomendado, Longitud de Transición y Distancia de Bombeo	68
Tabla 25. Bombeo normal de la calzada	69
Tabla 26. Máximas Pendientes Relativas de la Orilla del Pavimento.	69
Tabla 27. Cálculo de sobreancho	70
Tabla 28. Tabla de Elementos de curvas horizontales simples	73
Tabla 29 Tabla de cálculo de curva en espirales	77
Tabla 30 Tabla de cálculo de curva en espirales	78
Tabla 31. Pendiente Máxima para Carreteras Colectoras Rurales.....	79
Tabla 32. Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de Parada.....	81
Tabla 33. Tabla de Elementos de Curvas Verticales	83
Tabla 34. Matriz de parámetros de diseño.	84
Tabla 35 Formato para conteo de Tránsito vehicular por día	IV

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

El estado de las vías de comunicación de un país es un reflejo de su nivel de crecimiento económico y social. Por esta razón, el diseño de proyectos de infraestructura vial adquiere una importancia fundamental, ya que debe responder a las necesidades de los usuarios y contribuir al desarrollo sostenible.

El diseño geométrico de un tramo vial desempeña un papel crucial en la seguridad, funcionalidad y eficiencia del transporte. Una planificación adecuada permite optimizar la movilidad, reducir accidentes y mejorar la conectividad entre comunidades, lo que a su vez impulsa el desarrollo económico y eleva la calidad de vida de la población.

El tramo de carretera objeto de estudio se encuentra ubicado en el departamento de Estelí, Nicaragua, lo que corresponde a su macro localización. En cuanto a la micro localización, el tramo inicia en las proximidades de la entrada al Estadio Municipal de Baseball de Condega, cuyas coordenadas geográficas son (13°22'20.95"N, 86°24'0.39"W), y finaliza en la comunidad El Mojón, localizada en las coordenadas (13°22'18.26"N, 86°25'52.85"W).

Para lograr este objetivo, se realizará un levantamiento topográfico para obtener la característica física del tramo. Además, se llevará a cabo un estudio de tránsito para determinar el TPDA de la vía, aplicando los criterios establecidos en el Anuario de Aforos de Tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Con esta información, se procederá al diseño geométrico del tramo en estudio, utilizando el software Civil 3D y siguiendo las normas del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011).

1.2 Antecedentes

La comunidad de El Mojón ha enfrentado históricamente grandes dificultades de acceso vial, especialmente durante las temporadas lluviosas, donde las condiciones del camino se deterioran drásticamente, volviéndose intransitable para vehículos livianos y pesados. Esta situación afecta directamente las actividades productivas, educativas y sociales de la población local.

Durante visitas de campo realizadas, se documentaron con fotografías los problemas del tramo existente: zonas de acumulación de agua, tramos con pendientes pronunciadas, y falta de obras de drenaje que aceleran el deterioro del camino. Estas evidencias visuales reflejan el estado crítico de la vía, justificando la necesidad de una intervención técnica. (Ver anexo, Figura 25)

A lo largo del tramo, se observan varios surcos pequeños formados por el escurrimiento superficial de las aguas pluviales, especialmente durante la temporada de lluvias. Estos surcos no solo afectan la comodidad de circulación, sino que también contribuyen a la degradación progresiva del camino. La falta de obras de drenaje adecuadas favorece la concentración del agua en ciertos puntos, lo que incrementa la erosión del terreno y el deterioro del camino en general.

1.3 Justificación

Para el diseño geométrico del tramo de 3.9 km: Entrada del Estadio Municipal de Baseball-Comunidad El Mojón, Municipio de Condega, Departamento de Estelí, se hace necesario un análisis detallado para mejorar sus condiciones actuales y promover el desarrollo socioeconómico de las comunidades adyacentes.

La correcta planificación del diseño geométrico no solo optimiza la seguridad y comodidad de los usuarios, sino que también permite anticiparse a la expansión urbana. Un diseño inadecuado podría generar conflictos con futuras vialidades, dificultar el acceso a nuevas áreas residenciales o comerciales y encarecer modificaciones posteriores.

En este estudio, se aborda el diseño de un tramo que une dos comunidades, con la visión de garantizar una infraestructura segura y eficiente que facilite el tránsito actual y se adapte a las necesidades futuras de la zona, donde está previsto un proyecto de urbanización, el futuro proyecto Bismark Martínez, acorde a información brindada por la Oficina de proyectos de la Alcaldía Municipal de Condega.

Para un desarrollo local, un adecuado diseño geométrico contribuirá a mejorar la conexión entre el municipio de Condega con la comunidad el Mojón y así mismo en un futuro tener una vía rápida y directa que conecten los municipios de Condega y Pueblo Nuevo, facilitando el acceso a servicios básicos como educación, salud y comercio. Asimismo, favorecerá el transporte de productos agrícolas y comerciales, lo que impulsará la economía de la zona.

Actualmente, este tramo presenta deficiencias geométricas que afectan la fluidez del tránsito y aumentan el riesgo de accidentes. La falta de un diseño óptimo puede generar problemas como baja velocidad operativa, desgaste prematuro de la vía y dificultades para la transitabilidad en temporadas de lluvias.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Realizar diseño geométrico de 3.9 Km del tramo entrada del Estadio Municipal de Baseball – comunidad El Mojón, municipio Condega, departamento Estelí.

1.4.2 Objetivos específicos

- Ejecutar un levantamiento topográfico del tramo, para la obtención de las características físicas del terreno como elevaciones y pendientes.
- Realizar un estudio de tránsito para la determinación del TPDA actual que circula en el tramo, tomando los criterios establecidos en el Anuario de aforos de tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- Elaborar el diseño geométrico del tramo empleando el software Civil 3D, conforme a las Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA 2011.

1.5 Localización del tramo

El tramo de carretera objeto de estudio se encuentra ubicado en el departamento de Estelí, Nicaragua, lo que corresponde a su macro localización. En cuanto a la micro localización, el tramo inicia en las proximidades de la entrada al Estadio Municipal de Baseball de Condega, cuyas coordenadas geográficas son (13°22'20"N y 86°24'00"W), y finaliza en la comunidad El Mojón, localizada en las coordenadas (13°22'18"N y 86°25'52"W).

1.5.1 Macro localización

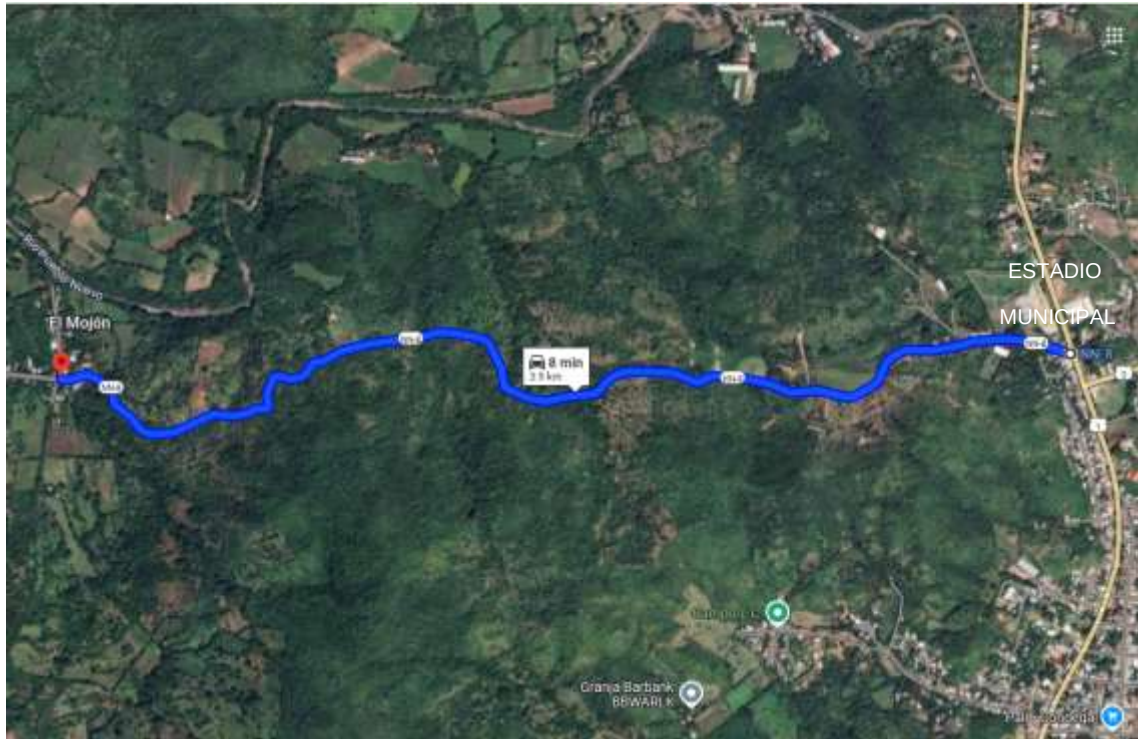
Figura 1 Macro localización municipio de Condega, departamento de Estelí, Nicaragua



Fuente: INIDE, Mapas Municipales.

1.5.2 Micro localización

Figura 2. Micro localización tramo en estudio entrada del Estadio Municipal de Baseball - comunidad el mojón, municipio de Condega, departamento de Estelí.



Fuente: Google Maps 2025

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico

2.1.1 Topografía

La topografía es una ciencia aplicada que, a partir de principios, métodos y con la ayuda de instrumentos permite representar gráficamente las formas naturales y artificiales que se encuentran sobre una parte de la superficie terrestre, como también determinar la posición relativa o absoluta de puntos sobre la Tierra. (Jiménez, 2007, pág. 1)

2.1.2 Levantamiento topográfico

Los Levantamientos topográficos determinan la ubicación de características o accidentes naturales y artificiales, así como las elevaciones usadas en la elaboración de mapas. se clasifican en dos categorías generales: geodésicos y planos. La distinción principal reside en las hipótesis en las que se basan los cálculos, aunque las mediciones de campo para los levantamientos geodésicos se efectúan normalmente con mayor precisión que para el caso de los levantamientos planos. (Wolf & Ghilani, 2016, pág. 37)

2.1.3 Planimetría y altimetría

La planimetría es una rama de la topografía que se encarga de medir y representar a escala los detalles de una superficie terrestre sobre un plano horizontal, tomado como referencia; en el que se realizan todos los análisis de ángulos, y distancias.

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

2.1.4 Punto de Control Geodésico (PCG)

Es un punto previamente establecido y marcado en el terreno y cuyas coordenadas van a ser asignadas mediante un levantamiento geodésico. El levantamiento deberá estar referido al marco de referencia geodésico adoptado en Nicaragua, conocido como Sistema Geodésico Mundial WGS-84. Este marco de referencia está materializado en las estaciones de la Red Geodésica Nacional (Norma Técnica Funcional NT 4.1 No. 0705/270408 SPM/DF, pág. 10).

2.1.5 Banco maestro (BM)

Es un punto permanente en el terreno de origen natural o artificial cuya elevación es conocida. El BM puede estar referenciado al Nivel Medio del Mar (NMM) o ser asumido para ciertos trabajos de campo. Existen BM de cota fija los que son colocados por el INETER los que constituyen una red geodésica en nuestro país, estos son monumentos localizados comúnmente en estribos de puentes, aceras o contruidos de concreto. (Navarro, 2010, pág. 6)

2.1.6 Punto Auxiliar

Es una estación de paso o vértice provisional establecido por el topógrafo durante el levantamiento para dar continuidad a una poligonal de apoyo. Se utiliza para sortear obstáculos visuales o extender el alcance del equipo topográfico desde un punto de control conocido, y su ubicación se determina mediante métodos de radiación o poligonación relativa al sistema local de la obra (García Márquez, F., 2015, p. 82).

2.1.7 Pendiente

Es el ángulo formado por una línea respecto al plano de referencia. De manera general la pendiente se calcula por unidad lineal y se calcula por la división de la diferencia de altura entre dos puntos y la longitud del segmento. (Navarro, 2010, pág. 7)

2.1.8 Perfil longitudinal y transversal

El perfil longitudinal es la traza que el eje del proyecto marca sobre el plano vertical. Un perfil longitudinal se puede construir a partir de las curvas de nivel.

Las secciones transversales son perfiles perpendiculares al eje de referencia del proyecto. Las secciones transversales se utilizan para el cálculo del volumen del movimiento de tierra necesarios en la construcción de un proyecto. (Casanova, 2002, pág. 246)

2.2 Estudio de tránsito

Aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación segura y eficiente, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte motorizado y no motorizado. (Spindola, 2018, pág. 33)

2.2.1 Aforo vehicular

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

2.2.2 Clasificación vehicular

Para el levantamiento de información en campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, ya que difieren unos de otros, actualmente en nuestro país hay gran variedad de vehículos, para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en cuatro categorías (ver anexo figura 28, pág. 3):

- **Motocicletas:** Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos, motorizados, con o sin transporte, esta categoría incluye scooters, motonetas, motocarros, cuadra ciclos, y otros triciclos a motor.
- **Vehículos Livianos:** son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, automóviles, jeep, camionetas y microbuses de uso personal.
- **Vehículos pesados de pasajeros:** son vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los

microbuses pequeños (hasta de 15 pasajeros) y microbuses medianos de 25 pasajeros y los buses medianos y grandes.

- Vehículos pesados de cargas: son los vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4, 5 y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2), camiones C3, C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos de clasificaciones especiales, tales como agrícolas y de construcción.

2.2.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

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

2.2.4 Proyección del TPDA

Es el volumen horario crítico previamente seleccionado que se pueden fijar las normas de diseño, dándose relaciones porcentuales que son habitualmente consistentes entre dichos volúmenes horarios que reflejan la capacidad de un tramo de carretera.

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

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1. \text{ Ec 1, Anuario de foro vehicular, 2019)}$$

Dónde:

TC =Tasa de Crecimiento

TPDA_i =Tráfico Promedio Diario Actual

TPDA₀ =Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base.

n= La diferencia de años

2.3 Diseño Geométrico

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

2.3.1 Vehículo de diseño

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

2.3.2 Velocidad de diseño

La velocidad de diseño (también conocida como Velocidad Directriz) es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. Excepto para calles locales donde los controles de velocidad son incluidos intencionalmente, debe hacerse un esfuerzo para usar una velocidad de diseño que sea práctica para obtener un deseado grado de seguridad, movilidad y eficiencia bajo las restricciones de la calidad del ambiente e impactos económicos, estéticos y sociales o políticos. (SIECA, 2011, pág. 41)

2.3.3 Alineamiento horizontal

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

2.3.4 Alineamiento vertical

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

El alineamiento vertical de una carretera está controlado principalmente por la:

Clasificación Funcional del Camino y Composición del Tránsito

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

2.3.5 Distancia máxima en tangente

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

2.3.6 Curvas circulares simple

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. (Cárdenas, 2013, pág. 38)

2.3.7 Elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple

Tomando el sentido de avance de izquierda a derecha, dichos elementos son:

- PI = Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva.
- PC = Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.
- PT = Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.
- = Centro de la curva circular.
- Δ = Ángulo de deflexión de las tangentes: ángulo de deflexión principal. Es igual al ángulo central subtendido por el arco PC-PT.
- R = Radio de la curva circular simple.
- T = Tangente o subtangente: distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.
- L = Longitud de curva circular: distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.
- CL = Cuerda larga: distancia en línea recta desde el PC al PT.
- E = Externa: distancia desde el PI al punto medio de la curva A.
- M = Ordenada media: distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B.

2.3.8 Rasante

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

2.3.9 Pendiente

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

principalmente por consideraciones de seguridad y comodidad. (SIECA, 2011, pág. 117)

2.3.10 Curvas verticales

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

2.3.11 Sección transversal

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

2.3.12 Ancho de carril

El ancho de carril es para determinar capacidad, que es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito. Asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto en análisis (SIECA, 2011, pág. 57)

2.3.13 Bombeo

Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad. (SIECA, 2011, pág. 139)

2.3.14 Drenaje superficial

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

2.3.15 Radio mínimo

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

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

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(e_{max} + f_{max})} \text{ Ec 2, SIECA 2011, pág 87}$$

En donde;

R_{min} =Radio mínimo de curva, m

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

$f_{máx}$ =Factor de fricción lateral

V =Velocidad de diseño, en KPH.

2.3.16 Peralte

Es la inclinación que se le da a la corona de una carretera en los tramos en curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrípeta que actúa sobre un vehículo en movimiento. (SIECA, 2011, pág. 82)

2.3.17 Grado de curvatura máximo

El grado de curvatura es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definición “arco” como el ángulo central subtendido por un “arco” de 20 metros. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión:

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R} \text{ Ec 3 (SIECA, 2011, pág 88)}$$

En donde:

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

R = Radio de la curva

CAPITULO III: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

3.1 Estudio topográfico

3.1.1 Generalidades

El análisis topográfico es fundamental en el diseño vial porque permite conocer con precisión el comportamiento real del terreno. Estos datos son los que nos ayudan a elegir la mejor ruta, evitando excavaciones o rellenos excesivos que elevarían el costo de la obra o dañarían el medio ambiente.

La topografía es el punto de partida para cualquier proyecto vial, ya que define los límites reales sobre los que se realizará el diseño. El análisis de estos datos permite clasificar técnicamente el terreno como llano, ondulado, montañoso o escarpado, asegurando que el trazado propuesto sea factible y se adapte fielmente al relieve. Esto se logra mediante la generación del Modelo Digital del Terreno a partir de la nube de puntos obtenida en campo, la cual permite visualizar con precisión las elevaciones, depresiones y pendientes naturales de la zona de estudio.

En esta sección se mostrarán los resultados de los procesos realizados y el levantamiento topográfico del tramo de carretera que inicia en las proximidades de la Entrada del Estadio Municipal de Baseball ($13^{\circ}22'20.95''\text{N}$, $86^{\circ}24'0.39''\text{W}$) y finaliza en Comunidad el Mojón ($13^{\circ}22'18.26''\text{N}$, $86^{\circ}25'52.85''\text{W}$).

3.1.2 Metodología del estudio topográfico

El estudio topográfico se realizó mediante la recolección de datos en el sitio y su posterior organización en gabinete. El proceso consistió en obtener las coordenadas y elevaciones de los puntos característicos del terreno para luego verificarlos y limpiarlos digitalmente. De esta forma, la información del levantamiento se convirtió en una base técnica que permite entender cómo es el relieve y las condiciones reales del tramo estudiado.

Para la ejecución de este estudio, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Visita de Reconocimiento.
- Localización de puntos de referencia.
- Levantamiento de detalles.

- Seccionamiento transversal del tramo cada 20 metros aproximadamente.
- Procesamiento de datos en gabinete.
- Modelado Digital del Terreno.

3.1.3 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó con dos instrumentos de alta precisión (Estación Total Sokkia iM-50 y Estación Total Sokkia CX-105), el cual se apoyó de 3 puntos de georreferenciación proporcionados por Grupo Integra, ubicados aproximadamente en la estación 2+270 proporcionados por Grupo Integra. Debido a esto, el levantamiento se ejecutó partiendo de estos 3 puntos teniendo dos frentes simultáneamente.

3.1.4 Puntos geodésicos

Para garantizar la precisión espacial del proyecto, se solicitó a Grupo Integra el suministro de tres puntos geodésicos oficiales. Una vez proporcionados, se utilizaron como base para el amarre de la estación total, asegurando la georreferenciación del levantamiento.

Los datos técnicos de estos puntos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Coordenadas de Puntos Geodésicos

Descripción	Este (X)	Norte (Y)	Elevación (Z)
PCG_1	562957.835	1478536.340	580.145
PCG_2	562919.212	1478540.079	577.563
PCG_3	562939.247	1478470.750	574.764

Fuente: Grupo integra

3.1.5 Coordenadas iniciales y finales del tramo

Tabla 2. Coordenadas Cartográficas de Inicio y Fin del tramo

Coordenadas Cartográficas (UTM - ZONA 16N)			
Estación	Este (X)	Norte (Y)	Elevación (Z)
0+000	564955.707	1478406.804	559.090
3+900	561574.160	1478315.913	574.250

Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Mapa Satelital de Inicio y Fin del tramo



Fuente: Google Earth

3.1.6 Equipo utilizado en el levantamiento topográfico

Los equipos utilizados para realizar el levantamiento topográfico del tramo en estudio, son los que se muestran en la tabla 2.

Tabla 3. Equipo utilizado en el levantamiento topográfico

Equipo utilizado en el levantamiento	
Descripción	Ilustración
Estación Total Sokkia iM-50 y Estación Total Sokkia CX-105	
Prisma modelo Sokkia	

GPS de mano	
Trípodes	
Cinta de 30 m	
Bastón	

Fuente: Elaboración propia

3.1.7 Establecimiento de BMs

Para garantizar la continuidad del levantamiento a lo largo de los 4 kilómetros, fue necesario establecer puntos de control intermedio conocidos como estaciones auxiliares o BM (Bench Marks). Debido a que los puntos de georreferenciación proporcionados se encontraban aproximadamente en el centro del tramo, estas estaciones auxiliares permitieron desplazar las estaciones totales hacia los extremos del tramo sin perder el amarre original.

Siguiendo las recomendaciones del Manual de Revisión de estudios topográficos del MTI, se ubicaron los bancos de nivel (BM) de forma estratégica a lo largo del camino. El método consistió en colocar estos puntos con una separación máxima de 250 metros, asegurando que siempre hubiera visibilidad entre ellos para facilitar el amarre y control de las mediciones.

3.1.8 Seccionamiento del tramo

Se realizó un avance combinado que integró la colocación de estaciones auxiliares con el seccionamiento detallado del corredor. Este método permitió que, tras establecer cada nuevo punto de control y verificar el amarre con la estación anterior, se procediera a la toma de puntos de relleno y seccionamiento del tramo, donde los elementos levantados fueron:

- Centro de camino.
- Hombros de camino.
- Cercos Privados.

Las estaciones en el tramo se establecieron cada 20 metros en secciones rectas y entre 5 a 10 metros en secciones curvas para lograr una mayor exactitud, tal como lo plantea el Manual para la Revisión de Estudios Topográficos del MTI (2008, pág. 38).

A partir del levantamiento topográfico, se creó un archivo de puntos con extensión “.txt” en formato PNEZD delimitado por comas. Para una revisión detallada de los resultados obtenidos, se adjunta el siguiente enlace:

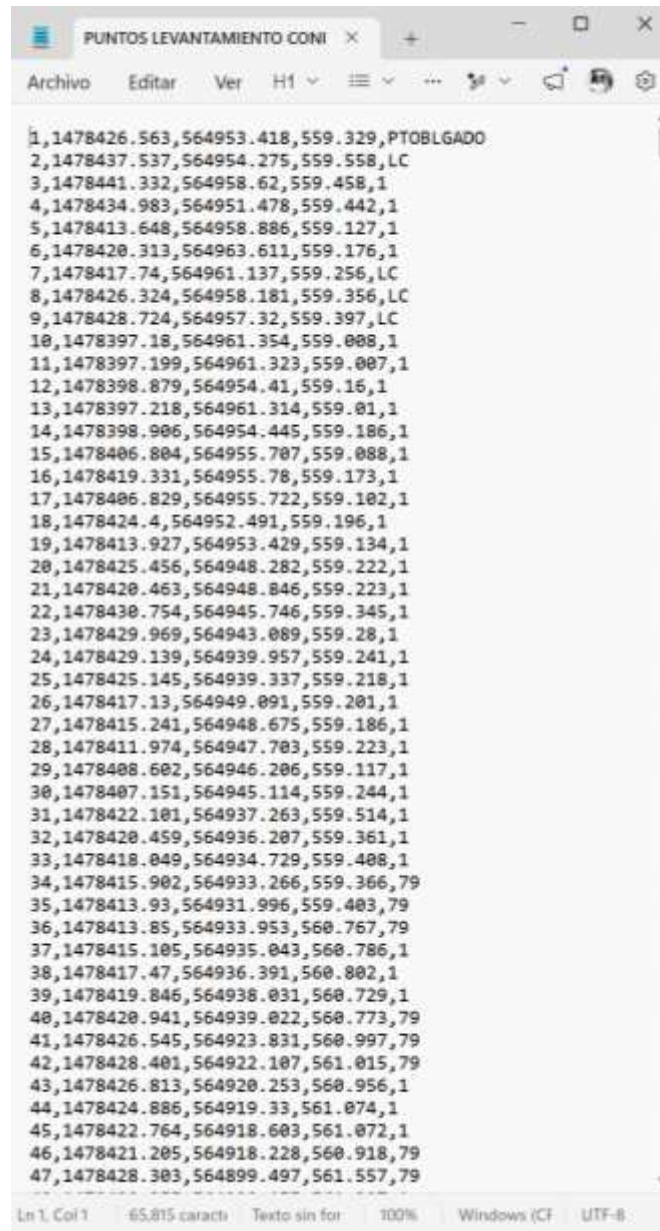


<https://drive.google.com/file/d/1iOjBcLe9nj8qPWYzrlq6EW651oigu5VR/view?usp=sharing>

3.1.9 Análisis del levantamiento topográfico con Civil 3D

Una vez terminado el levantamiento en campo, se descargó el archivo de texto desde la Estación Total. Estos datos se importaron en Civil 3D siguiendo el formato PNEZD, el cual desglosa cada registro en: número de punto, abscisa, ordenada, elevación y descripción.

Figura 4 Archivo de Texto obtenido del Levantamiento Topográfico



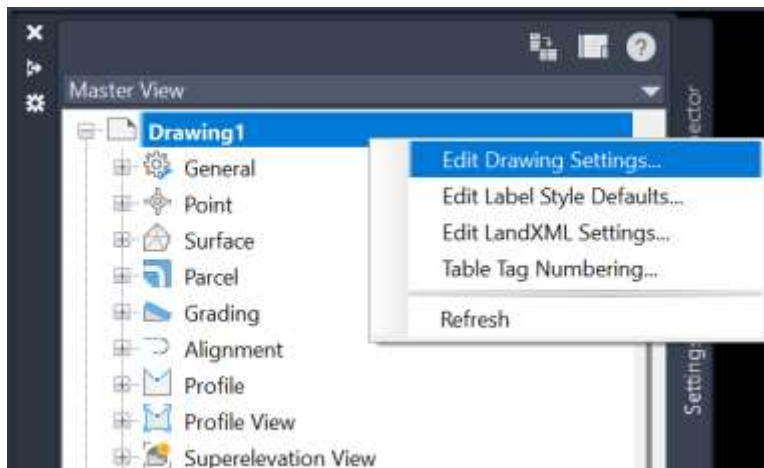
```
PUNTOS LEVANTAMIENTO CONI
1,1478426.563,564953.418,559.329,PTOBLGADO
2,1478437.537,564954.275,559.558,LC
3,1478441.332,564958.62,559.458,1
4,1478434.983,564951.478,559.442,1
5,1478413.648,564958.886,559.127,1
6,1478420.313,564963.611,559.176,1
7,1478417.74,564961.137,559.256,LC
8,1478426.324,564958.181,559.356,LC
9,1478428.724,564957.32,559.397,LC
10,1478397.18,564961.354,559.088,1
11,1478397.199,564961.323,559.007,1
12,1478398.879,564954.41,559.16,1
13,1478397.218,564961.314,559.01,1
14,1478398.906,564954.445,559.186,1
15,1478406.804,564955.707,559.088,1
16,1478419.331,564955.78,559.173,1
17,1478406.829,564955.722,559.102,1
18,1478424.4,564952.491,559.196,1
19,1478413.927,564953.429,559.134,1
20,1478425.456,564948.282,559.222,1
21,1478420.463,564948.846,559.223,1
22,1478430.754,564945.746,559.345,1
23,1478429.969,564943.089,559.28,1
24,1478429.139,564939.957,559.241,1
25,1478425.145,564939.337,559.218,1
26,1478417.13,564949.091,559.201,1
27,1478415.241,564948.675,559.186,1
28,1478411.974,564947.703,559.223,1
29,1478408.602,564946.206,559.117,1
30,1478407.151,564945.114,559.244,1
31,1478422.101,564937.263,559.514,1
32,1478420.459,564936.207,559.361,1
33,1478418.049,564934.729,559.408,1
34,1478415.902,564933.266,559.366,79
35,1478413.93,564931.996,559.403,79
36,1478413.85,564933.953,560.767,79
37,1478415.105,564935.043,560.786,1
38,1478417.47,564936.391,560.802,1
39,1478419.846,564938.031,560.729,1
40,1478420.941,564939.022,560.773,79
41,1478426.545,564923.831,560.997,79
42,1478428.401,564922.107,561.015,79
43,1478426.813,564920.253,560.956,1
44,1478424.886,564919.33,561.074,1
45,1478422.764,564918.603,561.072,1
46,1478421.205,564918.228,560.918,79
47,1478428.303,564899.497,561.557,79
```

Fuente: Datos procesados por Sustentantes

3.1.9.1 Importación de datos en el software Civil 3D

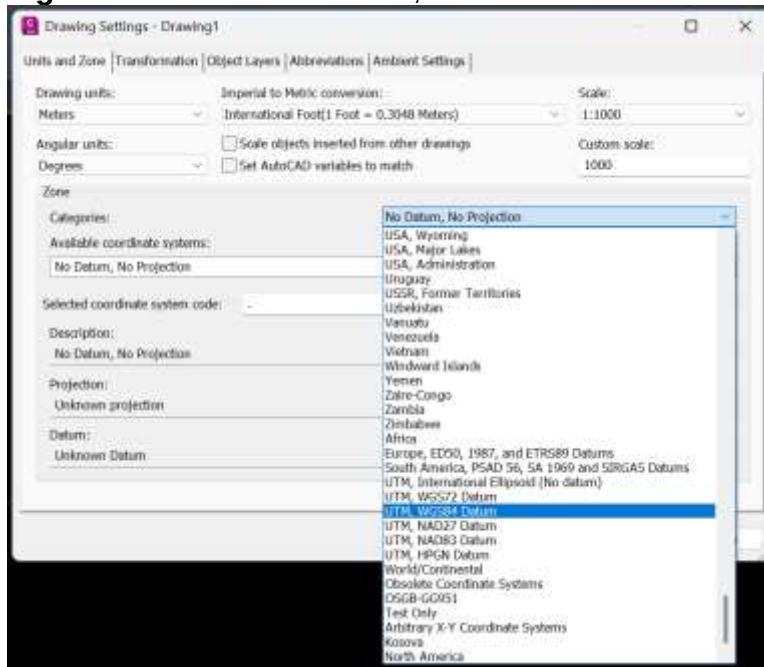
Previo a la importación de los datos, se realizó la georreferenciación del archivo (.dwg) configurando el sistema de coordenadas WGS84, UTM Zona 16 Norte; esto debido a que los dibujos nuevos carecen de una referencia espacial por defecto.

Figura 5 Editar configuración de dibujo



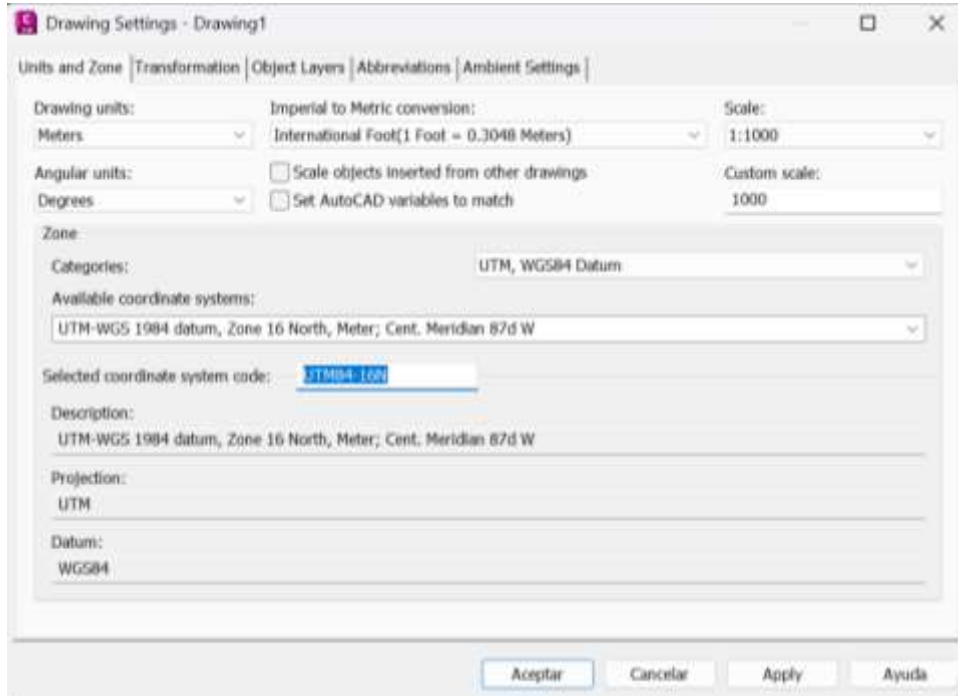
Fuente: Elaboración propia

Figura 6 Georreferenciación, selección sistema de coordenadas UTM, WGS84



Fuente: Elaboración propia

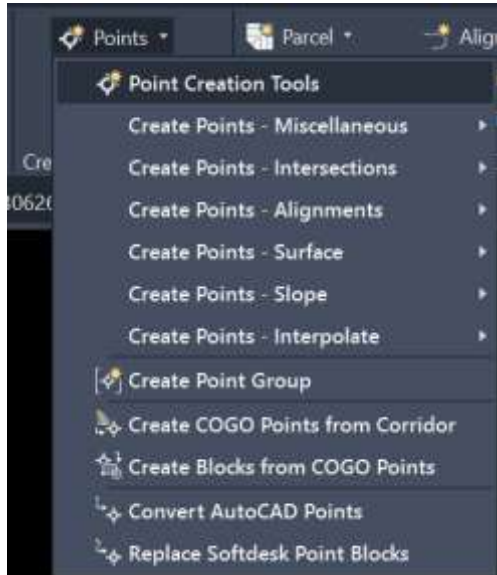
Figura 7 Georreferenciación, definición de la zona 16N



Fuente: Elaboración propia

Una vez establecido el sistema, el procesamiento de los datos inició con la importación del archivo de texto mediante las herramientas de creación de puntos de Civil 3D. Una vez seleccionado el archivo fuente, la correcta elección del formato de importación fue determinante para que el programa reconociera con exactitud nuestros datos, asegurando que cada columna se asignara correctamente a sus respectivos atributos de coordenadas y descripciones. Adicionalmente, se utilizó la opción Add Points to Point Group para agrupar la totalidad de la información bajo un nombre específico, lo cual facilitó la gestión y estilo de los puntos dentro de la base de datos del proyecto, optimizando así su posterior uso en la generación de la superficie.

Figura 8. Creación de puntos



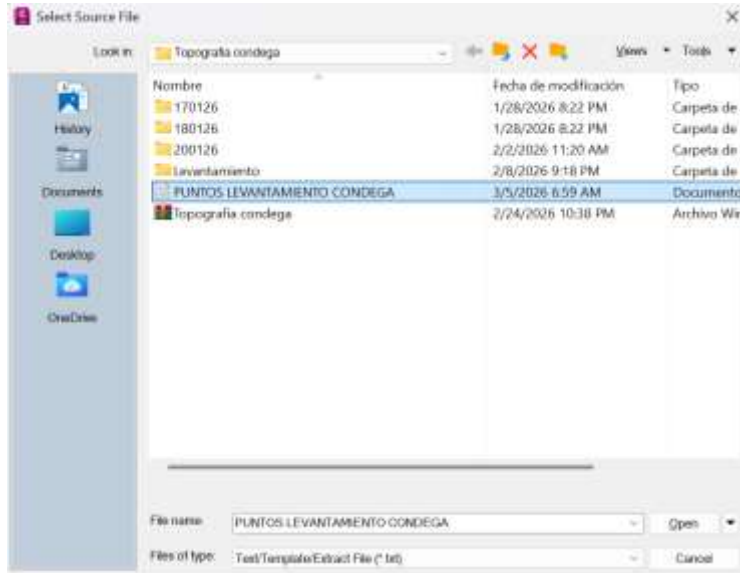
Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Importar Puntos



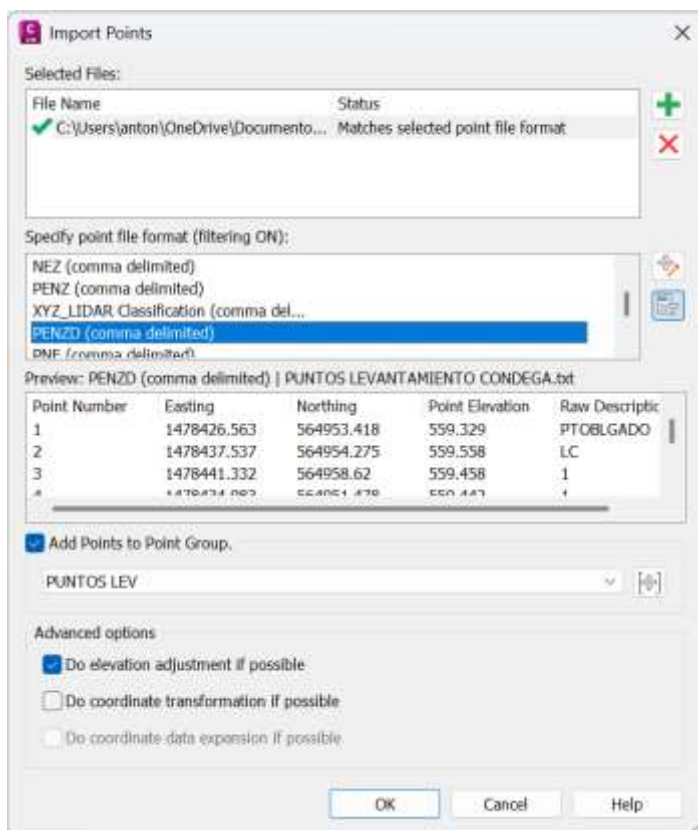
Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Selección de Puntos obtenidos



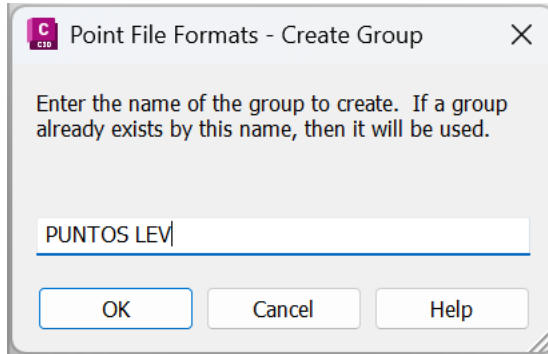
Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Selección de formato de los puntos



Fuente: Elaboración propia

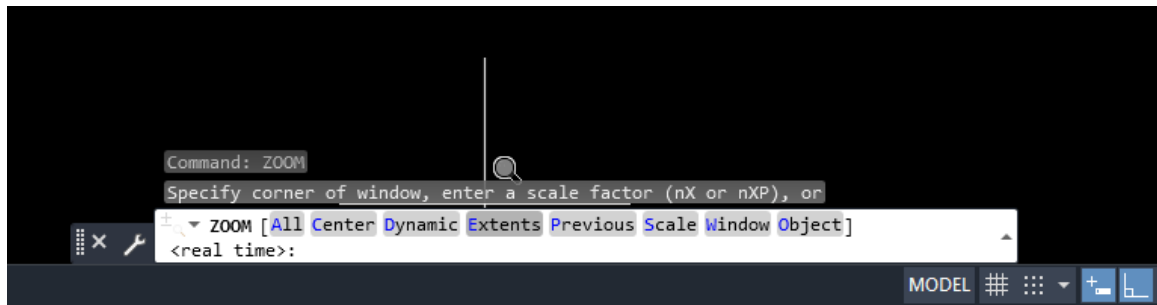
Figura 12. Creación de grupo de puntos



Fuente: Elaboración propia

Una vez importados los puntos, y dado que el entorno de trabajo inicial se sitúa por defecto en las coordenadas origen (0,0), se ejecutó el comando Zoom Extents para encuadrar y visualizar la totalidad de la nube de puntos en su ubicación real.

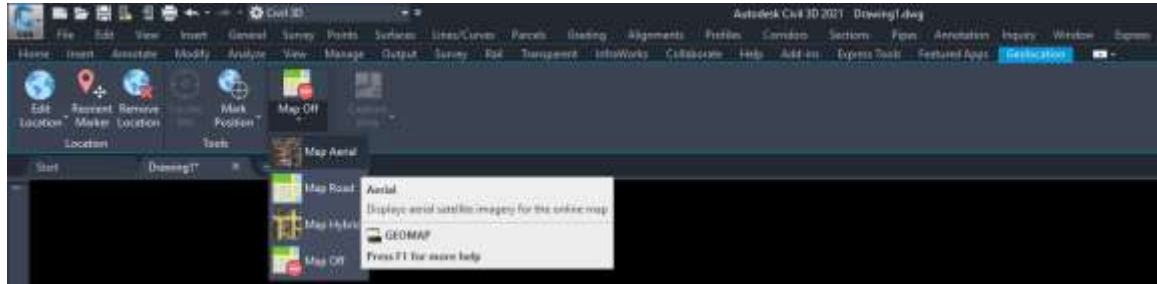
Figura 13. Ejecución del comando "zoom extents"



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se accedió a la pestaña Geolocation y se activó la opción Mapa Aerial para verificar la correspondencia espacial del levantamiento sobre el mapa base; esto permitió confirmar que los datos se encuentran correctamente posicionados en el sistema UTM WGS 84, Zona 16N, facilitando una mejor validación de los elementos levantados en relación con el entorno geográfico.

Figura 14. Activar “Map Aerial”

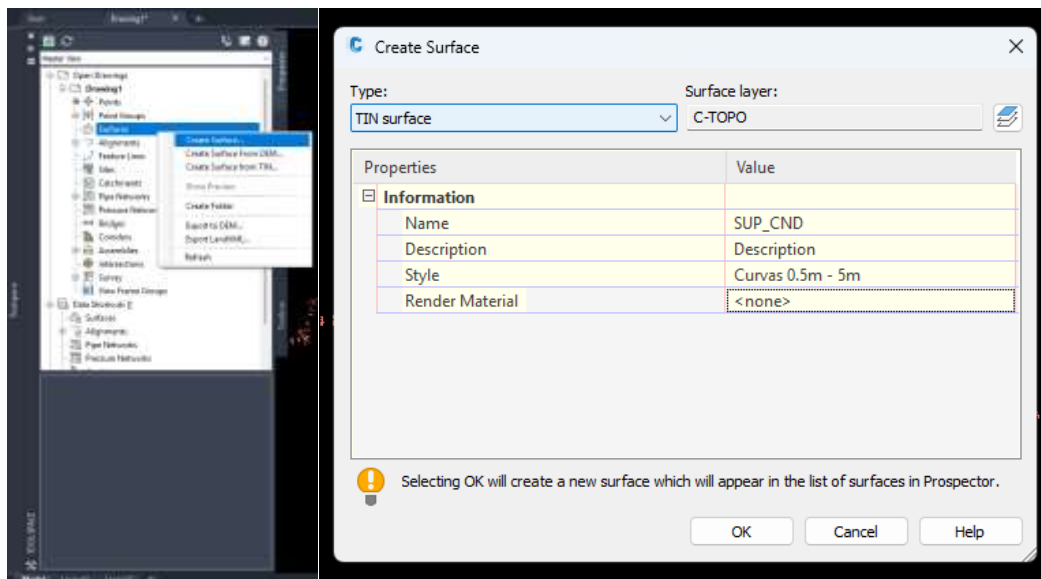


Fuente: Elaboración propia

3.1.9.2 Curvas de Nivel

Para la generación de las curvas de nivel, el paso fundamental es la creación de la superficie. Utilizando la herramienta Create Surface, se definió inicialmente una superficie de tipo TIN (Triangulated Irregular Network). Asimismo, se definió el nombre de la superficie y se modificó el estilo de esta, estableciendo las curvas maestras a cada 5 metros y las curvas secundarias a cada 0.5 metros de separación para una mejor apreciación de estas mismas.

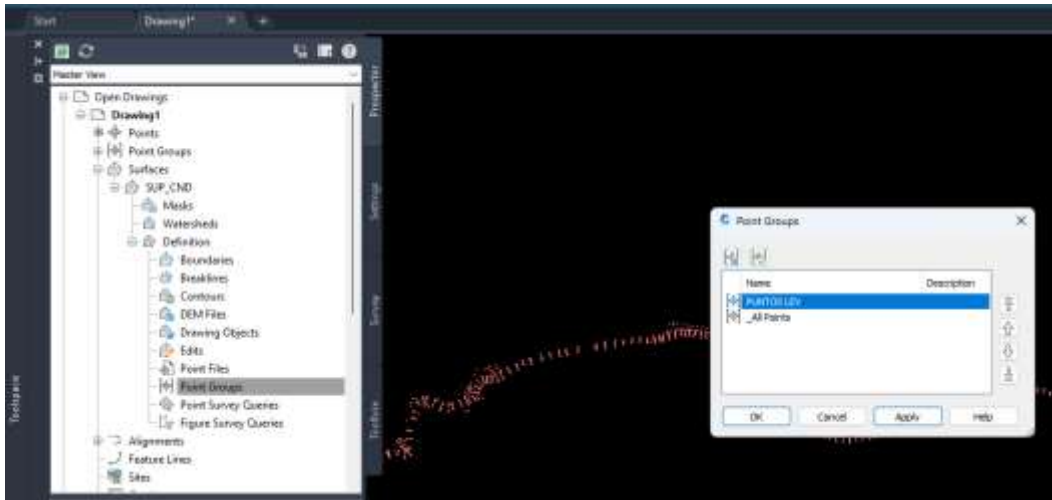
Figura 15. Creación de la superficie



Fuente: Elaboración propia

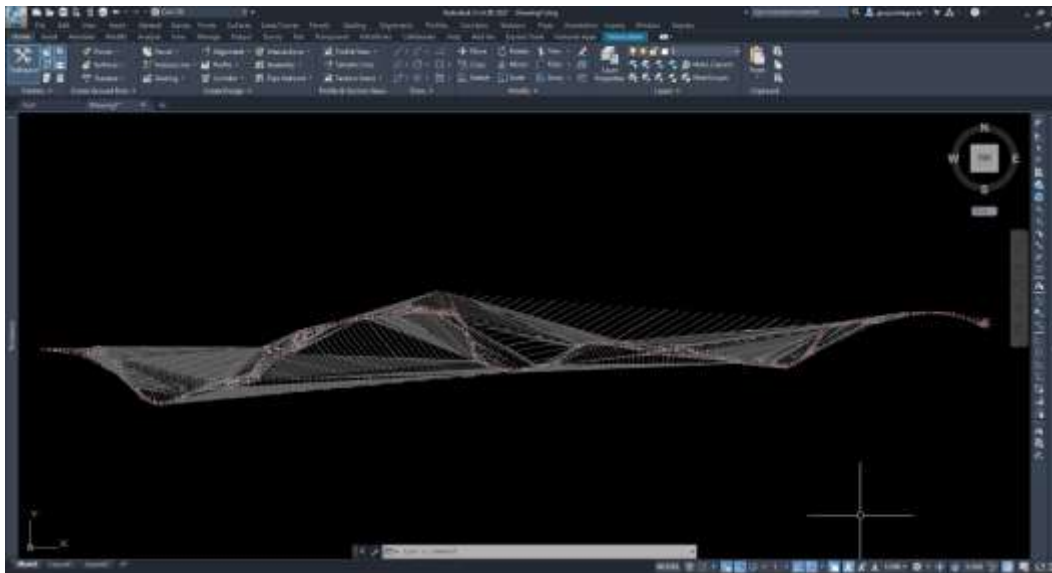
Una vez creada, se utilizó la opción Add Point Groups para vincular el grupo de puntos previamente organizado. Esto permitió que el software procesara las elevaciones y realizará la triangulación necesaria para proyectar automáticamente las curvas de nivel que representan el relieve del área, como se aprecia en la figura “17”

Figura 16. Definición de Grupo de Puntos para la superficie



Fuente: Elaboración propia

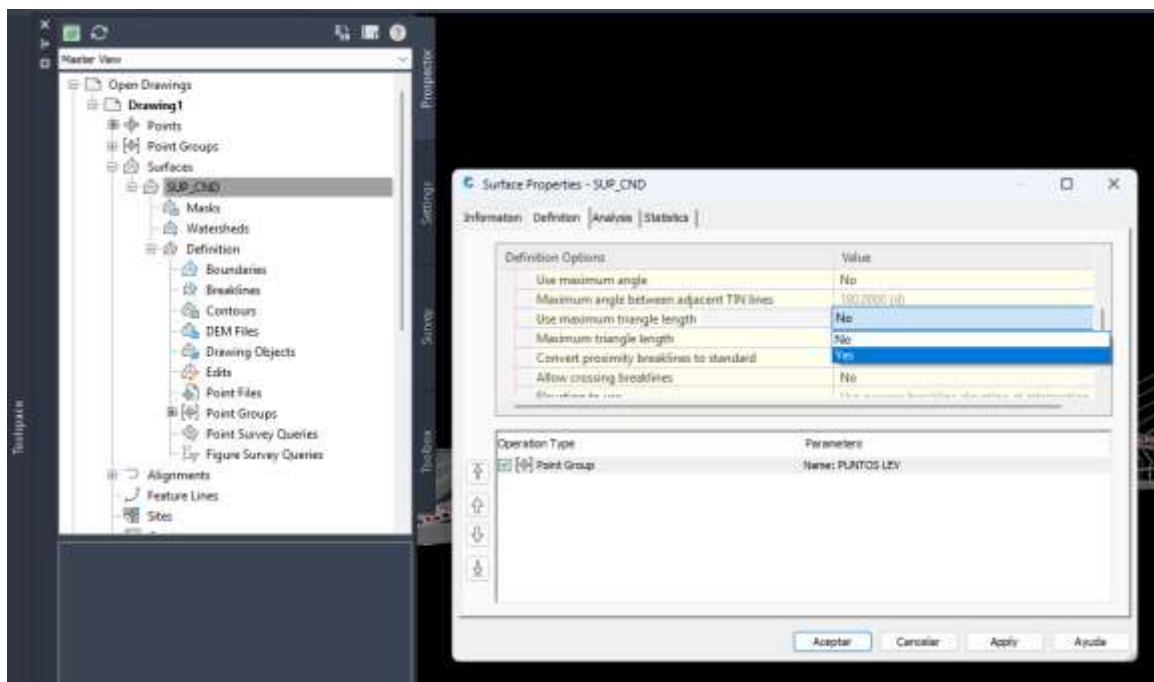
Figura 17. Superficie generada



Fuente: Elaboración propia

Una vez generada la superficie base y sus curvas de nivel, se identificó la necesidad de refinar el modelo, ya que el software suele realizar interpolaciones automáticas que no siempre reflejan con total fidelidad la realidad física del terreno. Para corregir estas imprecisiones, se procedió con la edición de la superficie mediante dos métodos complementarios. En primer lugar, se aplicó un ajuste automático limitando la Maximum Triangle Length en las propiedades de definición, eliminando así las triangulaciones innecesarias en zonas con baja densidad de puntos.

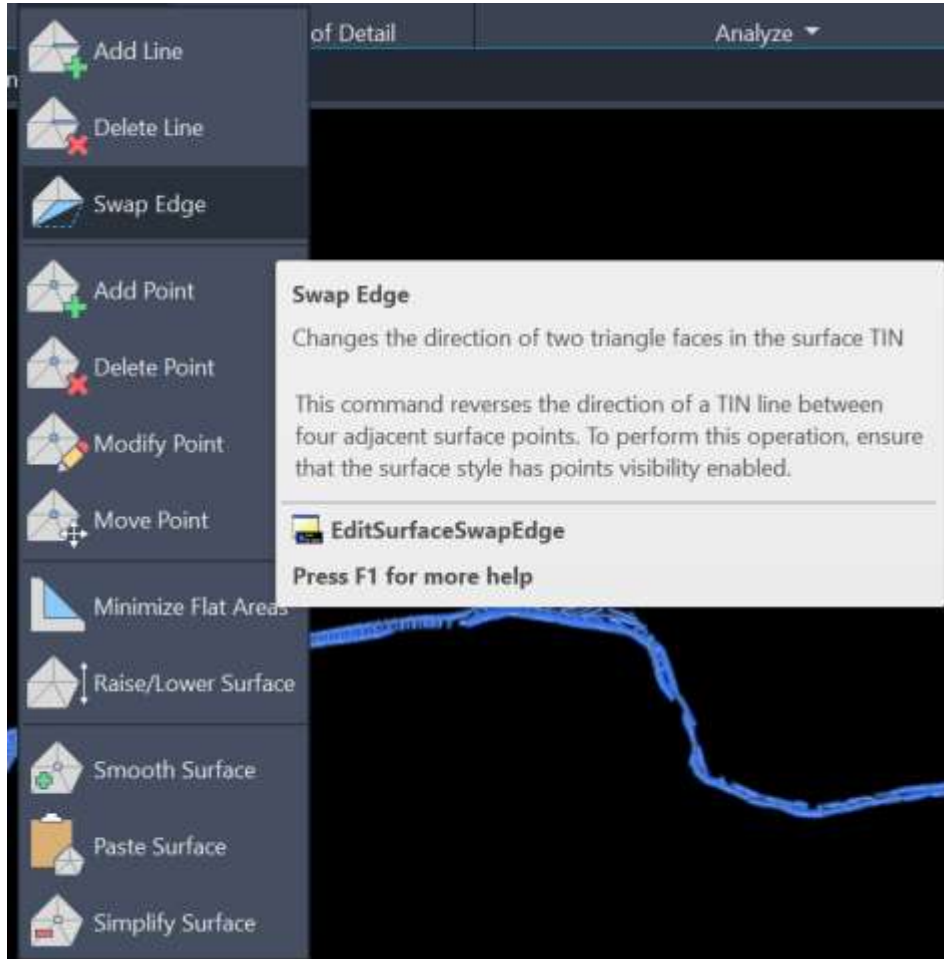
Figura 18. Edición de propiedades de la superficie



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se realizó una edición manual detallada utilizando la herramienta Swap Edge para redirigir las líneas de triangulación en puntos críticos; este proceso permitió que las curvas de nivel tengan una mayor similitud con las pendientes y quiebres observados en campo.

Figura 19. Edición de la superficie con la herramienta "Swap Edge"



Fuente: Elaboración propia

3.1.9.3 Pendiente del terreno natural del tramo

Como paso previo a la visualización del perfil, se generó el alineamiento horizontal del tramo mediante la herramienta **Create Alignment from Objects**. Este proceso definió la geometría del eje y su correspondiente estacionado, estableciendo la base necesaria para la extracción de las elevaciones del terreno y posterior creación del **Profile View**. A partir de esta representación, se tomó como referencia la línea central (LC) para evaluar las pendientes naturales mediante un estacionado a cada 100 metros, lo que facilitó el análisis y la categorización del relieve a lo largo del trayecto, tal como se observa en la siguiente figura:

Figura 20. Perfil Longitudinal del Terreno Natural del Tramo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Cálculo de Pendientes a cada 100 metros

No.	Estación Inicial	Elevación	Estación final	Elevación	Distancia	Pendiente (%)	Tipo de Terreno
1	0+000.00	559.088	0+100.00	561.962	100.00	2.87%	Llano o Plano
2	0+100.00	561.962	0+200.00	566.509	100.00	4.55%	Llano o Plano
3	0+200.00	566.509	0+300.00	571.180	100.00	4.67%	Llano o Plano
4	0+300.00	571.180	0+400.00	579.041	100.00	7.86%	Ondulado
5	0+400.00	579.041	0+500.00	588.706	100.00	9.66%	Ondulado
6	0+500.00	588.706	0+600.00	593.146	100.00	4.44%	Llano o Plano
7	0+600.00	593.146	0+700.00	592.591	100.00	-0.55%	Llano o Plano
8	0+700.00	592.591	0+800.00	601.753	100.00	9.16%	Ondulado
9	0+800.00	601.753	0+900.00	601.243	100.00	-0.51%	Llano o Plano
10	0+900.00	601.243	1+000.00	596.973	100.00	-4.27%	Llano o Plano
11	1+000.00	596.973	1+100.00	593.065	100.00	-3.91%	Llano o Plano
12	1+100.00	593.065	1+200.00	589.023	100.00	-4.04%	Llano o Plano
13	1+200.00	589.023	1+300.00	589.148	100.00	0.13%	Llano o Plano
14	1+300.00	589.148	1+400.00	587.680	100.00	-1.47%	Llano o Plano
15	1+400.00	587.680	1+500.00	586.138	100.00	-1.54%	Llano o Plano
16	1+500.00	586.138	1+600.00	580.302	100.00	-5.84%	Ondulado
17	1+600.00	580.302	1+700.00	577.800	100.00	-2.50%	Llano o Plano
18	1+700.00	577.800	1+800.00	579.607	100.00	1.81%	Llano o Plano
19	1+800.00	579.607	1+900.00	576.797	100.00	-2.81%	Llano o Plano
20	1+900.00	576.797	2+000.00	574.191	100.00	-2.61%	Llano o Plano
21	2+000.00	574.191	2+100.00	575.476	100.00	1.28%	Llano o Plano
22	2+100.00	575.476	2+200.00	575.911	100.00	0.43%	Llano o Plano
23	2+200.00	575.911	2+300.00	573.831	100.00	-2.08%	Llano o Plano
24	2+300.00	573.831	2+400.00	567.528	100.00	-6.30%	Ondulado
25	2+400.00	567.528	2+500.00	572.929	100.00	5.40%	Ondulado
26	2+500.00	572.929	2+600.00	580.229	100.00	7.30%	Ondulado
27	2+600.00	580.229	2+700.00	583.784	100.00	3.55%	Llano o Plano
28	2+700.00	583.784	2+800.00	583.827	100.00	0.04%	Llano o Plano
29	2+800.00	583.827	2+900.00	585.964	100.00	2.14%	Llano o Plano
30	2+900.00	585.964	3+000.00	593.277	100.00	7.31%	Ondulado
31	3+000.00	593.277	3+100.00	598.201	100.00	4.92%	Llano o Plano
32	3+100.00	598.201	3+200.00	598.539	100.00	0.34%	Llano o Plano
33	3+200.00	598.539	3+300.00	595.855	100.00	-2.68%	Llano o Plano
34	3+300.00	595.855	3+400.00	587.963	100.00	-7.89%	Ondulado
35	3+400.00	587.963	3+500.00	584.912	100.00	-3.05%	Llano o Plano
36	3+500.00	584.912	3+600.00	580.205	100.00	-4.71%	Llano o Plano
37	3+600.00	580.205	3+700.00	568.905	100.00	-11.30%	Ondulado
38	3+700.00	568.905	3+800.00	568.394	100.00	-0.51%	Llano o Plano
39	3+800.00	568.394	3+900.00	574.250	100.00	5.86%	Ondulado
40	3+900.00	574.250	4+000.00	567.996	100.00	-6.25%	Ondulado

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que la pendiente máxima alcanza el 11.30% en la estación 3+600, mientras que la mínima desciende al 0.04% en la estación 2+700. En base a la clasificación de terrenos por pendiente Tabla 4, pág. 35, el tramo se define mayoritariamente como plano o llano, representando el 70% del total analizado (28 estaciones), frente a un 30% (12 estaciones) que presenta características de terreno ondulado.

Tabla 5. Clasificación de terreno en función de la pendiente

Tipo de Terreno	Rango de Pendientes
Llano o Plano	$P < 5$
Ondulado	$5 < P < 15$
Montañoso	$15 < P < 30$

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

3.2 Estudio de tránsito

Para el desarrollo del diseño geométrico de una vía es fundamental realizar un estudio y análisis detallado del tránsito, ya que el conocimiento de la composición vehicular incluyendo tipos y volúmenes de vehículos que circulan permite establecer parámetros de diseño acordes a la demanda real, garantizando precisión y funcionalidad en la propuesta técnica.

El estudio de tránsito constituye uno de los factores determinantes en el proceso de diseño, debido a que proporciona información actualizada sobre el comportamiento vehicular y posibilita la elaboración de proyecciones futuras. Esto asegura que la infraestructura vial responda adecuadamente a las condiciones presentes y mantenga su operatividad a lo largo del período de vida útil previsto.

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos del aforo vehicular y el análisis correspondiente al tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball–Comunidad El Mojón, tomando como referencia la metodología establecida por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

3.2.1 Metodología del estudio de tránsito

Como parte de la recolección de datos, se realizará un aforo vehicular durante tres días (martes, miércoles y jueves), con 12 horas de conteo por día en el tramo en estudio, tomando en consideración las recomendaciones del Anuario de Tráfico del MTI y sus registros históricos en estaciones cercanas al tramo de carretera en estudio.

Los datos recolectados serán procesados en Microsoft Excel para calcular el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), utilizando factores de expansión correspondientes a la estación seleccionada y sus vectores de ajuste.

Se obtendrá el Tránsito de Diseño (TD), en base al tránsito promedio diario anual (TPDA) y aplicando una serie de factores establecidos por el Anuario de Tráfico del MTI, resultando en un Tránsito de Diseño por carril proyectado según el número de años y la clasificación de la vía.

3.2.2 Aforo Vehicular

Con el propósito de determinar el volumen y la composición vehicular que circulan por el tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón, se realizó un único punto de aforo ubicado en la entrada del tramo, específicamente en la estación 0+000. La selección de este punto respondió a que en el segmento en estudio no existen intersecciones ni bifurcaciones que alteren el flujo vehicular, lo que permitió registrar de manera integral la totalidad de los vehículos que ingresan y transitan por la vía sin necesidad de establecer estaciones adicionales de conteo.

El aforo vehicular se llevó a cabo durante tres días consecutivos: martes 19, miércoles 20 y jueves 21 de agosto de 2025. Cada jornada tuvo una duración de 12 horas continuas, comprendidas entre las 6:00 a.m. y las 6:00 p.m., garantizando así la obtención de datos representativos del comportamiento del tránsito en días hábiles y permitiendo un análisis más preciso de las condiciones reales de circulación en el tramo estudiado.

Los resultados del aforo vehicular en el punto de aforación ubicadas en las estaciones 0+000 están representadas en la siguiente tabla:

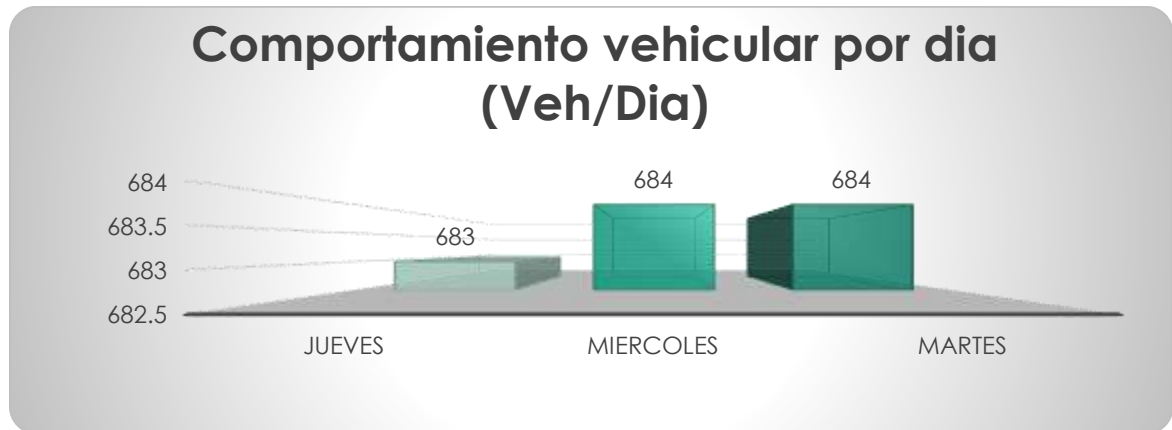
Tabla 6. Resumen de resultados del aforo vehicular, realizado en la estación 0+000

Tramo:	ENTRADA DEL ESTADIO MUNICIPAL DE BASEBALL – COMUNIDAD EL MOJÓN								EST	0+000									
Sentido:	Ambos Sentidos								Fecha:	Del Martes 19/08/2025 al Jueves 21/08/2025									
Fecha	Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga								Equipos Pesados		Total vehiculos 12h
			Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	
Martes	0	311	108	35	142	17	7	5	32	20	4	2	0	0	0	0	0	1	684
Miercoles	0	316	106	36	144	16	6	5	30	19	4	2	0	0	0	0	0	0	684
Jueves	0	321	104	34	145	15	6	5	27	21	5	0	0	0	0	0	0	0	683
Total Vehículos	0	948	318	105	431	48	19	15	89	60	13	4	0	0	0	0	0	1	2051
Total	1884								167										2051
Vehículos 12h%	0%	46%	16%	5%	21%	2%	1%	1%	4%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
% de vehículos	92%								8%										100%
Trafico Promedio diario Semanal (TPDS)	0	316	106	35	144	16	6	5	30	20	4	1	0	0	0	0	0	0	683

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados presentados en la tabla 6 correspondientes al aforo vehicular, los días martes y miércoles registraron el mayor volumen de tránsito, ambos con un total de 684 vehículos, mientras que el jueves presentó una leve disminución con 683 vehículos. A continuación, se presentan las gráficas para una mejor apreciación e interpretación de los datos obtenidos.

Figura 21 Comportamiento vehicular por día EST 0+000



Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Tránsito Promedio Diario Diurno (TPDi)

Es el promedio de cada clase de vehículos que transitan en los días de aforación, en las siguientes tablas están representados los promedios de cada estación utilizando la siguiente ecuación:

$$TPDi = \frac{TvD1 + TvD2 + TvD3}{TDA} \text{ (Ec 4)}$$

Donde:

TPDI = Tránsito Promedio Diario Diurno

TvD1 = Total de vehículo día uno

TvD2 = Total de vehículos día 2

TvD3= Total de vehículos día 3

TDA = Total de días aforados

Tabla 7. Tránsito Promedio Diario Diurno

Tramo:	ENTRADA DEL ESTADIO MUNICIPAL DE BASEBALL – COMUNIDAD EL MOJÓN											EST	0+000								
Sentido:	Ambos Sentidos											Fecha:	Del Martes 19/08/2025 al Jueves 21/08/2025								
Dia	Bici	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga							Equipos Pesados		Volumen Diurno (12 horas)			
			Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	C4	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A		V.C		
Trafico Promedio diario (TPDi)	0	316	106	35	144	16	6	5	30	20	4	1	0	0	0	0	0	0	683		
Total Vehiculos 12h %	0%	46.27%	15.52%	5.12%	21.08%	2.34%	0.88%	0.73%	4.39%	2.93%	0.59%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
	91.95%								8.05%												100%
	Vehículos Livianos								Vehículos de Carga												

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

En base a la metodología que plantea el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) para calcular el tránsito promedio diario anual (TPDA), se basa en identificar los vectores de correspondencia como lo son el vector geográfico y el vector de tráfico además la aplicación de factores de ajuste.

3.2.4.1 Identificación de factores de correspondencia

Para la estación de conteo establecida, se identifican los siguientes vectores que influyen en las características del tránsito:

- Vector geográfico.
- Volumen total de tráfico.

En la tabla 5 correspondiente se detalla la clasificación del vector geográfico para el área de estudio Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón, la cual corresponde al vector 3, en función de su ubicación dentro de la región central norte del país, conforme a los criterios de zonificación establecidos por la normativa vigente.

Tabla 8. Vector Geográfico

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

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

Para la selección del vector volumen estará basado en la categorización plantea el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2020, pág. 7) donde especifica que en base al Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) se selecciona uno de los tres intervalos dependiendo de la cantidad de vehículos, siendo los intervalos V1: TPDA mayor de 5000, V2: TPDA de 300 a 5000 y V3:TPDA menores de 300, donde el vector seleccionado en este estudio es el V2 debido a que el TPDA calculado se encuentra en el intervalo de 300 a 5000 vehículos.

3.2.4.2 Estaciones de conteo

La selección de la estación de conteo 3805, correspondiente al tramo Condega – Pueblo Nuevo (NIC NN-8), se fundamentó en criterios de ubicación geográfica y conectividad vial. La comunidad El Mojón se localiza entre los municipios de Condega y Pueblo Nuevo, constituyendo un punto intermedio dentro de este corredor vial; asimismo, para desplazarse desde Condega hacia Pueblo Nuevo es necesario transitar por la comunidad El Mojón.

Debido a esta condición estratégica de paso obligatorio, se consideró que la información proveniente de dicha estación resulta representativa y coherente con el comportamiento del tránsito en el tramo en estudio Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón, garantizando mayor precisión en la estimación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Tabla 9. Tránsito Promedio Diario, Estación 1802 San Marcos-Masatepe, Tramo Condega-Pueblo Nuevo

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos - Masatepe	NN-4	7704	ECS	Las Sabanas - Cusmapa
	NN-5	127	ECS	Somoto - Guasuyuca - El Limón
	NN-7	3208	ECS	Emp. La Fraternidad - La Pava
	NN-7	3209	ECS	La Pava - Río Grande
	NN-8	3805	ECS	Condega - Pueblo Nuevo
	NN-10	1503	ECS	Totogalpa - El Cuje
	NN-11	1504	ECS	Dipilto - Ococona
	NN-13	8305	ECS	El Arrayan - Ciudad Antigua
	NN-13	8306	ECS	Ciudad Antigua - Telpaneca
	NN-15	2904	ECD	San Fernando - Las Camelias
	NN-16	8101	ECD	Emp. Santa Clara - Susucayán
	NN-16	8102	ECS	Susucayan - Las Vueltas - Las Cruces

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico MTI (2020, pág. 68)

En la tabla 6 se presentan los datos históricos del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) correspondientes a la estación previamente seleccionada, 3805 Condega – Pueblo Nuevo, utilizada como referencia para el análisis del tramo en estudio Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón.

Tabla 10. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) por tipo de vehículo correspondiente a la estación 3805, tramo Condega – Pueblo Nuevo.

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta	McBus < 15 pas.	MnBus 15-30 pas.	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	Otros	TPDA
337	NN-8	3805	ECS	Condega-Pueblo Nuevo	2015	133	5	9	87			6	50	2									292
					2011	55	2	3	7				1										68
					2009	18	1	1	19				10	3									52
					2004	12	3	8	53				16	12									104
					2002	22		15	36				1	9	1							0	84
				EMC:1802																			
				Tasa Crecimiento: 6,74%	2020	184	7	12	121			8	69	3									405
						Liv. 324				Pasaj. 8		Pesado 72											
						80%				2%		18%											

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico MTI (2020, pág. 231)

3.2.4.3 Cálculo del TPDA

Para el cálculo del Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) utilizado la ecuación:

$$TPDA = TPDI * FD * FS * FE \text{ (Ec 5)}$$

Donde:

- TPDA = Tránsito Promedio Diario Anual.
- FD = Factor Día.
- FS = Factor de semana.
- FE = Factor de expansión.

La metodología empleada considera los diferentes factores que intervienen en el cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). En este caso, se excluyó el factor de fin de semana (FFS), debido a que el aforo vehicular fue realizado en días hábiles (martes, miércoles y jueves), por lo que no corresponde aplicar un ajuste asociado a variaciones propias de fines de semana.

En la siguiente tabla se presentan los factores aplicados para cada tipo de vehículo, utilizados en la estimación del TPDA a partir del Tránsito Promedio Diario Diurno (TPDi) previamente determinado. El aforo se efectuó durante la tercera semana del mes de agosto del año 2025; por tanto, los valores de los factores empleados corresponden al segundo cuatrimestre del año (mayo – agosto), conforme a la clasificación establecida en la normativa vigente.

Tabla 11. Factores de expansión a TPDA segundo cuatrimestre del año mayo – agosto de la estación de mayor cobertura 1802 San Marcos – Masatepe

Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1,37	1,33	1,19	1,24	1,28	1,25	1,36	1,20	1,26	1,20	1,00	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,09
Factor Semana	0,98	1,06	1,10	1,03	0,94	0,91	0,89	0,92	0,85	0,88	1,00	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85
Factor Fin de Semana	1,05	0,87	0,81	0,93	1,19	1,33	1,43	1,30	1,78	1,51	1,00	1,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,82
Factor Expansión a TPDA	1,02	0,99	0,95	1,00	1,02	0,89	1,01	0,97	1,01	1,01	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66

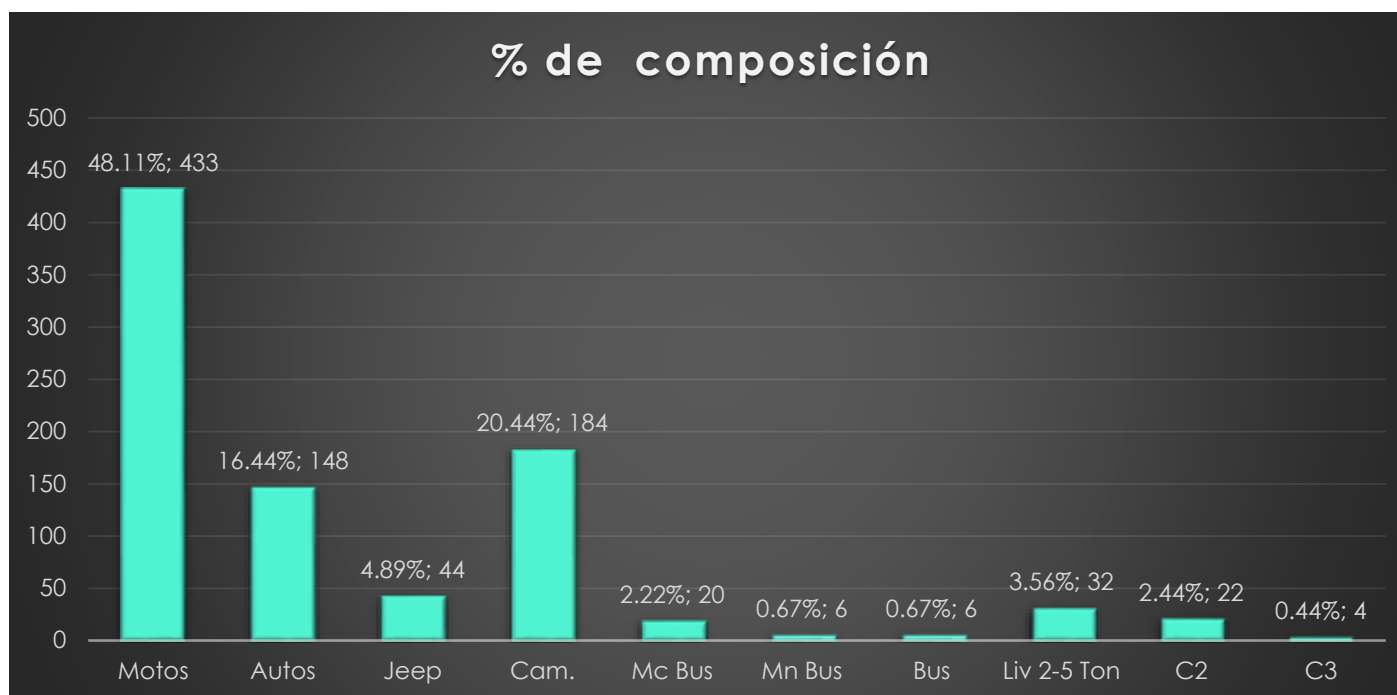
Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico MTI (2020, pág. 385)

Los resultados obtenidos del cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) por tipo de vehículo se presentan en la tabla correspondiente, determinándose un valor total de 900 vehículos para la única estación de conteo ubicada en la estación 0+000 del tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón.

En cuanto a la composición vehicular, se estableció que el 93.44% corresponde a vehículos livianos (motocicletas, automóviles, jeep, camionetas, livianos de 2 a 5 toneladas y microbús), mientras que el 6.56% corresponde a vehículos pesados (camiones, minibuses, buses y categorías C2 y C3).

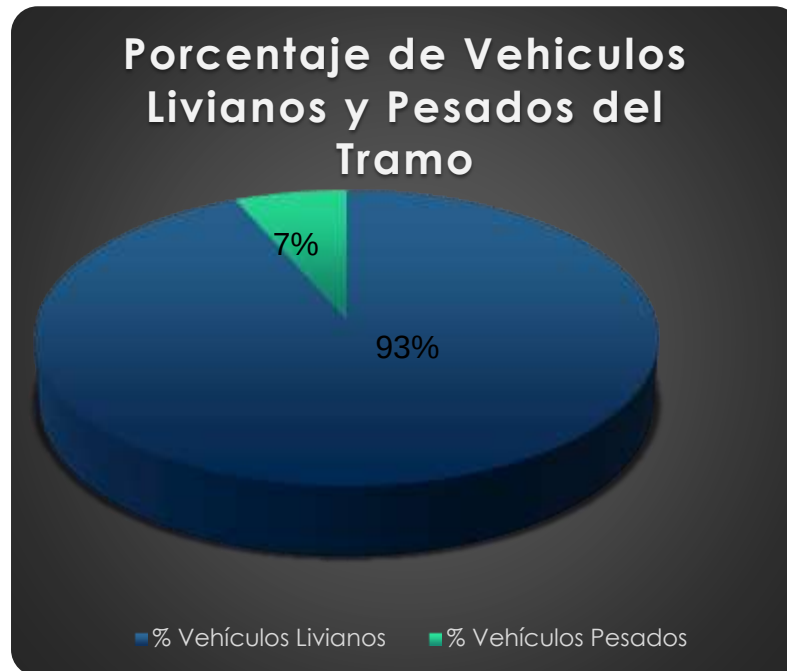
En las siguientes figuras se presenta gráficamente la composición vehicular determinada para la estación en estudio.

Figura 22 Composición vehicular del tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón, correspondiente a la estación 0+000.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Porcentaje de vehículos livianos y pesados del tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón, estación 0+000.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón, estación 0+000.

	Motos	Autos	Jeep	Cam.	Mc Bus	Mn Bus	Bus	Liv 2-5 Ton	C2	C3	T2S1 T2S2 T3S1	T2S3 T2S2 T3S3	C2-R2	C3R2 C3R3	V.A	V.C	Volumen Diurno (12 horas)
TPDi	316	106	35	144	16	6	5	30	20	4	1	0	0	0	0	0	
Factor Día	1.37	1.33	1.19	1.24	1.28	1.25	1.36	1.2	1.26	1.2	1	1.38	1	1	1	1	
Factor Semana	0.98	1.06	1.1	1.03	0.94	0.91	0.89	0.92	0.85	0.88	1	0.84	1	1	1	1	
Factor Expansión a TPDA	1.02	0.99	0.95	1.00	1.02	0.89	1.01	0.97	1.01	1.01	1	1.9	1	1	1	1	
TPDA	433	148	44	184	20	6	6	32	22	4	1	0	0	0	0	0	900
% de composición	48.11%	16.44%	4.89%	20.44%	2.22%	0.67%	0.67%	3.56%	2.44%	0.44%	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100%
% Vehículo Liviano	93.44%							% Vehículo Pesado			6.56%						

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento está basada principalmente en los conteos vehiculares además de esto influyen factores en gran manera como lo es el crecimiento poblacional de la zona de estudio (POB) y del mismo modo condiciones socioeconómicas como el producto interno bruto (PIB). Para la realización de las proyecciones del crecimiento del tránsito se utilizaron y analizaron los datos de distintas tasas de crecimiento, empleadas en ecuaciones para el TPDA, POB y PIB.

3.2.5.1 Tasa de crecimiento vehicular

Se tomaron como referencia los datos y registros históricos de los conteos vehiculares de la estación con mayor similitud en cuanto a porcentaje de composición vehicular y proximidad geográfica, a fin de garantizar correspondencia en las características socioeconómicas con el tramo en estudio Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón. La estación seleccionada fue la 3805 Condega – Pueblo Nuevo (NIC NN-8), clasificada como Estación de Corta Duración (ECS), cuyos datos fueron obtenidos del Anuario de Aforos de Tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Vinculando los datos históricos entre las tres variables que interfieren (TPDA, POB, PIB), se tomó como referencia el año 2009 con el propósito de nivelar los datos históricos entre las variables para obtener resultados correctos y mayor precisión. Para el cálculo de la tasa de crecimiento vehicular se empleará la siguiente fórmula:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1 \text{ (Ec 6, Anuario MTI, pág 14.)}$$

Donde:

TC = Tasa de crecimiento.

TPDA i = Tráfico Promedio Diario Anual del año actual

TPDA 0= Tráfico Promedio Diario Anual del año anterior

n= Diferencia de años

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los cálculos de la tasa de crecimiento vehicular entre cada uno de los años que se tienen datos históricos de TPDA

Tabla 13. Tasas de crecimiento Vehicular.

Año	TPDA	Tasa de crecimiento
2009	52	
2011	68	14.35%
2015	292	43.95%
2020	405	6.76%
TF =		6.76%

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.2 Tasa de crecimiento poblacional

Para el cálculo de las tasas de crecimiento se basó en los datos históricos de los anuarios estadísticos publicados por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE). Para este estudio se tomaron los datos históricos de la población desde el año 2006 hasta el año 2024. Para calcular la tasa de crecimiento poblacional se empleó la siguiente fórmula en base a datos de años continuos:

$$TC = \left[\left(\frac{POB_n}{POB_{n-1}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] (Ec 7, Anuario MTI, pág 15.)$$

Donde:

- TC = Tasa de Crecimiento Poblacional
- POB n = Población actual
- POB n-1 = Población de año anterior
- n = Diferencia de años

Con las tasas de crecimiento obtenidas entre cada uno de los años desde el 2006 hasta el 2024 se calcula en base a estas la tasa de crecimiento final para lo cual se empleó la siguiente fórmula:

$$Tf = [(TC1 * TC2 * ... * TCn)^{1/n} - 1] \text{ (Ec 8, Anuario MTI, pág 15.)}$$

Donde:

- TF = Tasa final de crecimiento
- TC 1,2,3.... = Tasas de crecimiento de cada año
- n = Cantidad de tasas crecimiento

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los cálculos de las tasas de crecimiento y la tasa de crecimiento final:

Tabla 14. Tasas de crecimiento poblacional.

Año	POB	Tasa de crecimiento
2006	5,522.6	-
2007	5,595.5	1.01
2008	5,668.9	1.01
2009	5,742.3	1.01
2010	5,815.5	1.01
2011	5,996.6	1.03
2012	6,071.0	1.01
2013	6,134.3	1.01
2014	6,198.2	1.01
2015	6,262.7	1.01
2016	6,327.9	1.01
2017	6,393.8	1.01
2018	6,460.4	1.01
2019	6,527.7	1.01
2020	6,595.7	1.01
2021	6,664.4	1.01
2022	6,733.8	1.01
2023	6,803.9	1.01
2024	6,874.7	1.01
TF =		1.22%

Fuente: Anuario Estadístico INIDE (2023, pág. 30)

3.2.5.3 Tasa de crecimiento producto interno bruto

Las tasas de crecimiento se calcularon utilizando los datos históricos del producto interno bruto (PIB) orientado en la producción de los anuarios de estadística microeconómicas establecidas por el banco central de Nicaragua, para el estudio se seleccionaron los datos desde el año 2006 hasta el año 2024. Estas tasas fueron calculadas en base a la siguiente ecuación en función de datos de años continuos:

$$TC = \left[\left(\frac{PIB_n}{PIB_{n-1}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] (Ec\ 9, Anuario\ MTI, \text{pág}\ 15.)$$

Donde:

- TC = Tasa de crecimiento de producto interno bruto
- PIB_n = Producto interno bruto actual
- PIB_{n-1} = Producto interno bruto actual
- n = Diferencia de años

Con los datos obtenidos de los cálculos de las tasas de crecimiento de cada año, se calcula la tasa de crecimiento final con la siguiente ecuación:

$$Tf = [(TC1 * TC2 * ... * TCn)^{1/n} - 1] \text{ (Ec 10, Anuario MTI, pág 15.)}$$

Donde:

- TF = Tasa final de crecimiento
- TC 1,2,3.... = Tasas de crecimiento de cada año
- n = Cantidad de tasas crecimiento

En la siguiente tabla se mostrarán los datos obtenidos de los cálculos de las tasas de crecimiento y la tasa de crecimiento final del producto interno bruto:

Tabla 15. Tasa de crecimiento Producto Interno Bruto (PIB).

Año	PIB	Tasa de crecimiento
2006	118,837.7	-
2007	124,870.3	1.05
2008	129,160.5	1.03
2009	124,907.7	0.97
2010	130,416.3	1.04
2011	138,654.2	1.06
2012	147,661.4	1.06
2013	154,936.8	1.05
2014	162,351.3	1.05
2015	170,131.6	1.05
2016	177,894.9	1.05
2017	186,133.6	1.05
2018	179,873.3	0.97
2019	174,662.6	0.97
2020	170,756.2	0.98
2021	188,607.7	1.10
2022	195,303.8	1.04
2023	203,951.4	1.04
2024	211,268.8	1.04
TF =		3.25%

Fuente: Anuario Estadístico INIDE (2023, pág. 30)

3.2.5.4 Cálculo de la tasa de crecimiento seleccionada

Para el cálculo de la tasa de crecimiento seleccionada, se utilizan las tres tasas de crecimiento anteriormente calculadas (TPDA, PIB, POB) de las cuales se calculará el promedio con la siguiente:

$$TC = \frac{TPDA + POB + PIB}{n}. (Ec\ 11)$$

Donde:

- TPDA = Tasas de crecimiento de (TPDA)
- PIB = Tasas de crecimiento de (PIB)
- POB = Tasa de crecimiento de (POB)
- n = Cantidad de tasas de crecimiento

Efectuando la fórmula se obtuvo que:

$$TC = \frac{6.74\% + 3.25\% + 1.22\%}{3} = 3.74\%$$

En conclusión, basándonos en los factores que influyen en la tasa de crecimiento vehicular se obtuvo una tasa 3.74% la cual será efectuada a los datos obtenidos del tramo estudio.

3.2.6 Proyección de trafico

3.2.6.1 Cálculo de la tasa de crecimiento seleccionada

De acuerdo a las características del tramo de estudio y en base al TPDA obtenido en las proyecciones realizadas por cada tipo de vehículo en la (Tabla 16, pág. 69) en el cual se determinó el TPDA final con un valor de 1567 vehículos.

Tabla 16. Proyecciones del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo Entrada del Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón.

PROYECCIONES DE TPDA (Estadio Municipal de Baseball – Comunidad El Mojón)								$TPDA_{futuro} = (TPDA_0)(1 + TC)^n$				
TIPO DE VEHICULO		Vehículos pasajeros						Vehículos de Carga			Equipo Pesado	TOTAL
		Motos	Auto	Jeep	Cam	Mc Bus	Bus	Liv 2-5 t	C2	C3	T3S2	
1	TPDA 2026	450	154	46	191	27	7	34	23	5	2	939
2	TPDA 2027	466	160	48	199	28	7	35	24	5	2	974
3	TPDA 2028	484	166	50	206	30	7	36	25	5	2	1011
4	TPDA 2029	502	172	51	214	31	7	38	26	5	2	1048
5	TPDA 2030	521	178	53	222	32	8	39	27	5	2	1087
6	TPDA 2031	540	185	55	230	33	8	40	28	5	2	1126
7	TPDA 2032	560	192	57	238	34	8	42	29	6	2	1168
8	TPDA 2033	581	199	60	247	35	9	43	30	6	2	1212
9	TPDA 2034	603	206	62	257	37	9	45	31	6	2	1258
10	TPDA 2035	626	214	64	266	38	9	47	32	6	2	1304
11	TPDA 2036	649	222	66	276	39	9	48	33	6	2	1350
12	TPDA 2037	673	230	69	286	41	10	50	35	7	2	1403
13	TPDA 2038	698	239	71	297	42	10	52	36	7	2	1454
14	TPDA 2039	724	248	74	308	44	11	54	37	7	2	1509
15	TPDA 2040	752	257	77	320	46	11	56	39	7	2	1567

Fuente: Elaboración propia.

Con el resultado obtenido se establece que es una carretera Colectora Menor Rural debido a que el rango del TPDA es de 500 – 3000, esta corresponde a la función Colector Menor como se observa en (Tabla 17, pág. 57)

Tabla 17. Clasificación funcional de las carreteras.

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA (1)	NOMENCLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6.00
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20	4.00
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20	4.00
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20	4.00
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20	4.00
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1

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

3.3 Diseño Geométrico

3.3.1 Generalidades

Basándose en la normativa SIECA-2011, se determinarán los elementos geométricos del tramo en función de su velocidad de diseño. Esto incluye desde el peralte y radio de curvatura hasta las distancias de visibilidad. Toda la ingeniería de detalle, desde el modelado de superficies hasta el diseño de perfiles de rasante y subrasante.

3.3.2 Clasificación de la carretera

Según los resultados obtenidos en el estudio de tránsito, se calculó un valor de TPDA de 1567 el cual se encuentra en el rango de valores de carretera colector menor rural como se aprecia en la (Tabla 17, pág. 57)

3.3.3 Vehículo de diseño

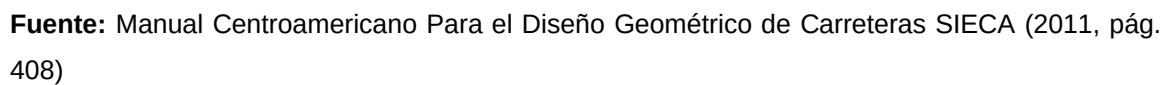
Considerando el flujo vehicular del tramo y su clasificación como carretera colectora menor rural, se seleccionó el vehículo de mayor capacidad observado como referencia para el diseño. Este corresponde a un cabezal con semirremolque (WB-15). Por consiguiente, el cálculo de los componentes geométricos se basará en las dimensiones típicas de este vehículo, las cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 18. Dimensiones Típicas de Vehículos

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

Fuente: Manual Centroamericano Para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA (2011, pág. 38)

Figura 24. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Cabezal con Remolque (WB-15)



3.3.4 Velocidad de diseño

La velocidad de diseño se estableció correlacionando la clasificación funcional de la vía y la topografía del entorno. Al tratarse de una carretera colectora menor rural (Tabla 17, pág. 57) en un terreno mayormente plano (Tabla 5, pág. 36), el manual SIECA (2011, pág. 56) define un rango de operación entre 30 km/h y 80 km/h. Con base en estos lineamientos, se seleccionó una velocidad de diseño de 40 km/h para el presente proyecto.

Tabla 19. *velocidad de diseño y velocidad de ruedo*

VELOCIDAD DE DISEÑO KPH	VELOCIDAD DE RUEDO KPH
20	20
30	30
40	40
50	47
60	55
70	63
80	70
90	77
100	85
110	91
120	98

Fuente: Manual Centroamericano Para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA (2011, pág. 85)

3.3.5 Número de carriles

Según la normativa SIECA 2011 el número de carriles se determina en base a la clasificación de la carretera, al ser una carretera colectora menor rural se establece una cantidad de dos carriles para un tráfico de diseño de 500-3000 vehículos por día como muestra la siguiente tabla:

Tabla 20. Número de carriles en función a la clasificación de la funcional

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

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

3.3.6 Ancho de carril de rodamiento

El ancho de carril es uno de los elementos de mayor influencia en la seguridad y el confort del usuario. Según lo establecido por el Manual SIECA (2011), aunque el ancho deseable para carreteras rurales es de 3.60 m para optimizar la capacidad y separación vehicular, la normativa reconoce y admite el uso de dimensiones menores ante condicionantes específicas.

Para el presente diseño, se ha seleccionado un ancho de carril de **3.30 m**, fundamentado en lo que el manual define como valor mínimo recomendable cuando existen restricciones por derecho de vía.

3.3.7 Ancho de hombros

De acuerdo con el Manual de la SIECA (2011), el rango normativo para una vía Colectora Menor Rural (CR) es de 1.2 m a 1.6 m (Tabla 21). No obstante, para este proyecto se adoptó un ancho de **0.60 m** debido a las restricciones del derecho de vía y a una topografía limitada. La aplicación estricta del estándar ideal generaría movimientos de tierra elevados, y la necesidad de expropiaciones costosas en los márgenes de la ruta. Por tanto, bajo criterios de diseño flexible y optimización del entorno, se ajustó la sección para minimizar el impacto socioambiental y constructivo, garantizando la viabilidad técnica del proyecto sobre el terreno existente.

Tabla 21. Anchos mínimos de hombros y aceras.

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

Fuente: Manual Centroamericano Para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA (2011, pág. 142)

3.3.8 Ancho de corona

El ancho de corona del proyecto es de **7.80 m**. Esta medida se obtiene al sumar la calzada de 6.60 m (dos carriles de 3.30 m cada uno) y 1.20 m de los dos hombros de 0.60 m cada uno. Esta sección transversal permite una circulación segura y se ajusta al espacio disponible en el terreno.

3.3.9 Distancia de visibilidad de parada

Esta es la distancia que le toma al conductor detener el vehículo, cuando acontece una situación de riesgo delante de su trayectoria. Esta se establece en base a la velocidad, tiempo de percepción y reacción del conductor, tomando como referencia la (Tabla 22, pág. 63) se seleccionó un valor de 50 m de diseño con respecto a una velocidad de 40 Km/h.

Tabla 22. Distancias de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical

VELOCIDAD (KPH)		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
PENDIENTE EN ASCENSO +i%	12	17	29	41	56	72	90	110	131	154	179	205
	11	17	29	42	57	73	91	111	133	156	181	208
	10	17	29	42	57	74	92	112	134	158	184	211
	9	18	29	43	58	75	93	114	136	160	186	214
	8	18	30	43	58	75	94	115	138	162	189	217
	7	18	30	43	58	76	95	117	139	164	191	220
	6	18	30	44	59	77	97	118	141	167	194	223
	5	18	30	44	60	78	98	119	143	169	197	227
	4	18	30	44	60	79	99	121	145	172	198	231
	3	19	31	45	61	80	100	123	148	174	203	234
	2	19	31	45	62	81	102	125	150	177	207	239
	1	19	31	46	63	82	103	127	152	180	210	243
CALCULADO HORIZONTAL	0	18.5	31.2	46.2	63.4	83.0	104.9	129.0	155.5	184.2	215.2	248.6
REDONDEADO HORIZONTAL	0	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250
PENDIENTE EN DESCENSO -i%	1	20	32	47	64	85	106	131	158	187	218	252
	2	20	32	48	65	85	108	133	161	191	223	257
	3	20	32	50	66	87	110	136	164	194	227	263
	4	20	33	50	67	88	112	138	167	198	232	269
	5	20	33	50	68	90	114	141	171	203	238	275
	6	20	35	50	70	92	116	144	174	207	243	281
	7	20	35	51	71	93	119	147	178	212	249	289
	8	20	35	52	72	95	121	151	183	218	256	297
	9	20	35	53	74	97	124	154	187	223	262	304
	10	21	36	53	75	99	127	158	192	230	270	314
	11	21	36	54	77	102	131	163	198	236	279	323
	12	21	37	56	78	105	134	167	204	244	287	334

Fuente: Manual Centroamericano Para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA (2011, pág. 77)

3.3.10 Alineamiento Horizontal

3.3.10.1 Sobreelevación máxima

La sobreelevación o peralte máximo es una pendiente necesaria que debe tener la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de los vehículos que circularán en las curvas horizontales.

En base a lo recomendado en el SIECA 2011, pág. 83 apartado 3.2.1. Tasas de Peralte y Factor de Ficción Lateral, las tasas que se consideran son las siguientes:

- 1) Tasa máxima de 0.10 en áreas rurales montañosas, siempre que no exista nieve o hielo, también 0.12 puede ser en utilizable en algunos casos.
- 2) 0.08 es reconocido como valor máximo razonable.
- 3) 0.06 en área suburbana.
- 4) 0.04 en áreas urbanas.

se estableció una sobreelevación del 6.0% debido a que es un valor equilibrado que no llega al máximo permitido que es del 8% y por condiciones de seguridad el 4% debe limitarse a áreas urbanas.

3.3.10.2 Factor de fricción máxima

En relación a la velocidad de diseño seleccionada de 40 Km/h, se toma el valor del coeficiente de fricción de la (Tabla 23, pág. 67) establecida en el manual de la SIECA, siendo este valor de 0.23.

Tabla 23. Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño, usando valores de "e" y "f"

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 4%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 6%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	8.1	8	143°14'	7.7	8	143°14'
30	0.28	22.1	22	32°03'	20.6	21	34°34'
40	0.23	46.7	47	24°23'	43.4	43	26°20'
50	0.19	85.6	86	13°19'	78.7	79	14°30'
60	0.17	135.0	135	08°29'	123.2	123	09°19'
70	0.15	203.1	203	05°39'	183.7	184	06°14'
80	0.14	280.0	280	04°06'	252.0	252	04°33'
90	0.13	375.2	375	03°03'	335.7	336	03°25'
100	0.12	492.1	492	02°20'	437.4	437	02°37'
110	0.11				560.4	560	02°03'
120	0.09				755.9	756	01°31'

Fuente: Manual Centroamericano Para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA (2011, pág. 89)

3.3.10.3 Radio mínimo y grado de curvatura

Teniendo ya definidos el factor de sobreelevación o peralte máximo y la velocidad de diseño, los radios mínimos de curvatura horizontal se calcularon utilizando la ecuación proporcionada por el SIECA 2011, pág. 87:

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

En donde:

R_{min} = Radio mínimo de curva, m

e_{max} = Tasa de sobreelevación en fracción decimal

f_{max} = Factor de fricción lateral

V = Velocidad de diseño, en KPH

$$R_{min} = \frac{40^2}{127(0.06 + 0.25)} = 43.44m$$

Aplicando la fórmula nos da que el radio mínimo es de 43.44 m redondeado sería 43m, y como podemos observar en la tabla 23, pág. 81, nos dice que el radio mínimo recomendado es de 43 m.

El grado de curvatura es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definición “arco” como el ángulo central subtendido por un “arco” de 20 metros. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión dada por el SIECA 2011, pág. 88:

$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R} (Ec 3)$$

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

R = Radio de curva, m

El manual SIECA (2011) facilita la determinación de los radios mínimos y grados de curvatura a través del Cuadro 3.6. En este se sintetizan los valores normativos calculados a partir de los coeficientes de fricción y peraltes sugeridos, tomando como parámetro principal de entrada la velocidad de diseño. Dicho cuadro se especifica en la tabla 23, pág. 81

3.3.10.4 Longitud de transición

El diseño de longitudes de transición, en el alineamiento horizontal, incluye la transición del bombeo normal de una sección transversal en tangente al peralte necesario en curva y las curvas de transición entre tangente y curva circular que se incorporan en el alineamiento horizontal.

La longitud mínima de transición, debe determinarse de la siguiente manera:

$$L_s = \frac{(w * n_1) * e_d}{\Delta} (b_w). (Ec 12, SIECA 2011, \text{pág. 92})$$

En donde:

w = Ancho de un carril de tráfico, m

n_1 = Número de carriles a rotar

e_d = Tasa de Peralte de diseño, porcentaje

Δ = Máxima pendiente relativa, porcentaje (ver tabla 26, pág. 69)

b_w = Factor de ajuste por número de carriles rotados (SIECA 2011, pág. 94)

Desarrollando la fórmula tenemos:

$$L_s = \frac{(3.30 * 1) * 6\%}{0.70\%} (1) = 28.286m$$

Como referencia podemos ocupar el cuadro 3.10 del SIECA 2011, pág.97, teniendo en cuenta que utilizando esas longitudes de transición estamos sobre diseñando ligeramente, puesto que nuestro ancho de carril es menor al utilizado para calcular el cuadro 3.10 del SIECA 2011.

Tabla 24. Peralte, recomendado, Longitud de Transición y Distancia de Bombeo

e máximo = 6.0%

B.N. = 3.0%

ANCHO DE CALZADA = 7.20 m

RADIO	20 KPH			RADIO	30 KPH			RADIO	40 KPH			RADIO	50 KPH			RADIO	60 KPH		
	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db
2000	B.N.			2000	B.N.			2000	B.N.			2000	B.N.			2000	B.N.		
1500	B.N.			1500	B.N.			1500	B.N.			1500	B.N.			1500	B.N.		
1000	B.N.			1000	B.N.			1000	B.N.			1050	B.N.			1040	B.N.		
500	B.N.			500	B.N.			735	1.5	22		750	2.0	28		1030	2.0	34	
400	B.N.			450	B.N.			525	2.0	22		668	2.2	28		919	2.2	34	
350	B.N.			421	1.5	17		465	2.2	22		690	2.4	28		825	2.4	34	
300	B.N.			299	2.0	17		415	2.4	22		540	2.6	28		746	2.6	34	
250	B.N.			265	2.2	17		372	2.6	22		488	2.8	28		676	2.8	34	
200	B.N.			236	2.4	17		334	2.8	22		443	3.0	28	28	615	3.0	34	34
130	B.N.			212	2.6	17		300	3.0	22	22	402	3.2	28	26	561	3.2	34	32
127	2.0	17		190	2.8	17		269	3.2	22	21	364	3.4	28	25	511	3.4	34	30
113	2.2	17		170	3.0	17	17	239	3.4	22	19	329	3.6	28	23	465	3.6	34	28
100	2.4	17		152	3.2	17	16	206	3.6	22	18	294	3.8	28	22	422	3.8	34	27
90	2.5	17		133	3.4	17	15	178	3.8	22	17	261	4.0	28	21	380	4.0	34	26
80	2.8	17		113	3.6	17	14	155	4.0	22	17	234	4.2	28	20	343	4.2	34	24
71	3.0	17	17	95	3.8	18	14	135	4.2	22	16	210	4.4	28	19	311	4.4	34	23
62	3.2	17	16	96	3.9	18	14	114	4.6	23	15	190	4.6	28	18	283	4.6	34	22
53	3.4	17	15	82	4.0	19	14	110	4.6	24	16	172	4.8	28	18	258	4.8	34	21
43	3.6	17	14	72	4.2	20	14	102	4.8	24	15	158	5.0	28	17	235	5.0	34	20
36	3.8	17	13	63	4.4	21	14	96	4.8	25	16	148	5.1	28	16	213	5.2	34	20
31	4.0	18	14	56	4.6	22	14	95	4.8	25	15	142	5.2	29	17	214	5.2	34	20
27	4.2	19	14	54	4.6	22	14	88	5.0	26	16	128	5.4	30	17	195	5.4	34	19
24	4.4	20	14	50	4.8	23	14	79	5.2	27	16	115	5.6	31	17	176	5.6	34	18
21	4.6	21	14	45	5.0	24	14	71	5.4	28	16	102	5.8	32	17	156	5.8	35	18
19	4.8	21	13	40	5.2	25	14	63	5.6	29	16	79	6.0	33	17	123	6.0	36	18
15	5.2	19	11	36	5.4	26	14	56	5.8	30	16								
13	5.4	18	10	32	5.6	27	14	43	6.0	31	16								
12	5.6	17	9	30	5.7	27	14												
10	5.8	15	8	28	5.8	26	13												
8	6.0	14	7	21	6.0	22	11												

Fuente: Manual Centroamericano Para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA (2011, pág. 97)

3.3.10.5 Pendiente Transversal o Bombeo

Es la pendiente que se le da a la calzada en dirección perpendicular al eje de la carretera, con el objetivo de facilitar el escurrimiento superficial del agua, un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad.

En el siguiente cuadro facilitado por el SIECA 2011, pág. 139 se presentan los rangos recomendables:

Tabla 25. Bombeo normal de la calzada

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

Fuente: Manual Centroamericano Para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA (2011, pág. 89)

Debido a que el tipo de superficie es bajo, el valor seleccionado para el bombeo o pendiente transversal es del 3%

3.3.10.6 Pendiente Relativa

Tomando como referencia la SIECA 2011, establece que la pendiente relativa está relacionada con la velocidad de diseño, para una velocidad de diseño de 40 km/h le corresponde una pendiente relativa de 0.70% lo cual equivale a 1:143 como se aprecia en la (Tabla 26, pág. 71)

Tabla 26. Máximas Pendientes Relativas de la Orilla del Pavimento.

Velocidad de Diseño KPH	Máxima Pendiente Relativa (%)	Talud Máximo Relativo Equivalente
20	0.80	1:125
30	0.75	1:133
40	0.70	1:143
50	0.65	1:154
60	0.60	1:167
70	0.55	1:182
80	0.47	1:200
90	0.44	1:213
100	0.41	1:227
110	0.38	1:244
120	0.35	1:263

Fuente: Manual Centroamericano Para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA (2011, pág. 94)

3.3.10.7 Sobreancho

Para el cálculo de los sobre anchos en las curvas horizontales se utiliza la normativa SIECA 2011, debido a que los conductores tienen dificultades en mantener los vehículos dentro del carril correspondiente, ya que estos abarcan en espacio mayor al carril cuando atraviesan una curva. Este se obtiene empleando la siguiente fórmula:

$$s_a = n \left[R - \left(\sqrt{R^2 + L^2} \right) \right] + \frac{0.10V}{\sqrt{R}}. (Ec 13)$$

s_a = valor del sobreancho

V = Velocidad de diseño

R = Radio de curvatura

L = Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño

n = Número de carriles

Aplicando la ecuación para la curva No.1

$$s_a = 1 \left[450 - \left(\sqrt{450^2 + 15.24^2} \right) \right] + \frac{0.10(40)}{\sqrt{450}} = 0.4467$$

Tabla 27. Cálculo de sobreancho

No. Curva	PC	PI	PT	R	Sa	Sa a utilizar
1	44.08	156.14	268.21	450	0.4467	0.45
2	314.59	335.17	355.75	150	1.1028	1.1
3	389.67	415.93	442.19	150	1.1028	1.1
4	923.96	943.28	960.6	100	1.5681	1.57
5	991.3	1017.6	1043.91	100	1.5681	1.57
6	1098.64	1112.13	1125.63	200	0.8643	0.86
7	1173.35	1193.29	1213.24	200	0.8643	0.86
8	1264.68	1283.21	1301.74	95	1.6408	1.64
9	1304.88	1342.04	1379.21	95	1.6408	1.64
10	1425.9	1449.77	1473.63	100	1.5681	1.57
11	2315.27	2336.09	2356.91	120	1.3368	1.34
12	2659.61	2692.47	2725.33	120	1.3368	1.34
13	3172.82	3195.64	3218.45	120	1.3368	1.34

Fuente: Elaboración propia.

3.3.10.8 Curvas horizontales simples

Para el cálculo de los elementos de las curvas horizontales simples y utilizaron las siguientes ecuaciones

Longitud de Curva (Lc)

$$Lc = \frac{\Delta R \pi}{180} \text{ (Ec 14, Cárdenas Grisales, 2013)}$$

Donde:

Δ = Angulo de Deflexión

R= Radio de Curva

Tangente (T):

$$T = R * \tan \frac{\Delta}{2} \text{ (Ec 15, Cárdenas Grisales, 2013)}$$

Donde:

R= Radio de Curva

Δ = Angulo de Deflexión

Externa (E):

$$E = R * \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right) \text{ (Ec 16, Cárdenas Grisales, 2013)}$$

Donde:

R= Radio de Curva

Δ = Angulo de Deflexión

Media ordenada (Mo):

$$Mo = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2}\right). \text{ (Ec 17, Cárdenas Grisales, 2013)}$$

Donde:

R = Radio de Curva

Δ = Angulo de Deflexión

Tomando los datos de la curva No.1:

$$\Delta = 28^\circ 32' 12'' = 28.536^\circ$$

$$R = 450 \text{ m}$$

$$Lc = \frac{28.536^\circ * 450 * \pi}{180} = 224.126$$

$$T = 450 * \tan \frac{28.536^\circ}{2} = 114.439$$

$$E = 450 * \left(\frac{1}{\cos \frac{28.536^\circ}{2}} - 1 \right) = 14.323$$

$$Mo = 450 * \left(1 - \cos \frac{28.536^\circ}{2} \right) = 13.882$$

El cálculo de los elementos de cada curva se resumen en la tabla 28, pág. 73

Tabla 28. *Tabla de Elementos de curvas horizontales simples*

No. Curva	Sentido	Deflexión	Radio	Longitud de Curva	Tangente	Externa	Media ordenada	PC	PI	PT
1	izq.	28° 32' 11.85"	450	224.126	114.439	14.323	13.882	0+044.08	0+156.14	0+268.21
2	izq.	15° 43' 21.83"	150	41.162	20.711	1.423	1.41	0+314.59	0+335.17	0+355.75
3	Der.	20° 03' 44.96"	150	52.523	26.533	2.329	2.293	0+389.67	0+415.93	0+442.19
4	lzq.	20° 59' 30.30"	100	36.638	18.526	1.702	1.673	0+923.96	0+943.28	0+960.60
5	Der.	30° 08' 34.34"	100	52.609	26.929	3.562	3.44	0+991.30	1+017.60	1+043.91
6	lzq.	07° 43' 53.21"	200	26.988	13.514	0.456	0.455	1+098.64	1+112.13	1+125.63
7	lzq.	11° 25' 34.73"	200	39.885	20.009	0.998	0.993	1+173.35	1+193.29	1+213.24
8	lzq.	22° 21' 09.17"	95	37.062	18.77	1.836	1.802	1+264.68	1+283.21	1+301.74
9	Der.	44° 49' 31.23"	95	74.323	39.181	7.763	7.176	1+304.88	1+342.04	1+379.21
10	lzq.	27° 21' 02.15"	100	47.736	24.332	2.918	2.835	1+425.90	1+449.77	1+473.63
11	lzq.	19° 52' 54.45"	120	41.64	21.032	1.829	1.802	2+315.27	2+336.09	2+356.91
12	lzq.	31° 22' 51.067"	120	65.724	33.709	4.645	4.472	2+659.61	2+692.47	2+725.33
13	lzq.	21° 47' 22.89"	120	45.636	23.097	2.203	2.163	3+172.82	3+195.64	3+218.45

Fuente: Elaboración propia.

3.3.10.9 Curvas Espirales

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

$$e_{max} = 0.06$$

$$f_{max} = 0.23$$

Ancho de carril = 3.0 m

No. de carril = 2

$$V_d = 40$$

Longitud de cuerda = 68.095m

Deflexión = 44.457

Grado de curvatura 19.404

Longitud de espiral a considerar 25

Radio de curva mínimo

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

$$R_{min} = \frac{40^2}{127(0.06 + 0.23)} = 43.44m$$

Radio de curva

$$R_{min} = \frac{1145.92}{G_c}$$

$$R_{min} = \frac{1145.92}{19.404} = 59.056 = 60m$$

Parámetro K de la espiral

$$K = \sqrt{R_c * L_e}$$

$$K = \sqrt{60 * 25} = 38.73$$

Angulo de deflexión de la espiral

$$\theta_e = \frac{R_c * L_e}{40}$$

$$\theta_e = \frac{60 * 25}{40} = 12.128^\circ = 0.212$$

Coordenadas cartesianas de la curva espiral

$$X_c = L_e \left(1 - \frac{\theta_e^2}{10} + \frac{\theta_e^4}{216} - \frac{\theta_e^6}{9360} + \dots \right)$$

$$X_c = 25 \left(1 - \frac{0.212^2}{10} + \frac{0.212^4}{216} - \frac{0.212^6}{9360} + \dots \right) = 24.891$$

$$Y_c = L_e \left(\frac{\theta_e}{3} - \frac{\theta_e^3}{42} + \frac{\theta_e^5}{1320} - \frac{\theta_e^7}{75600} + \dots \right)$$

$$Y_c = 25 \left(\frac{0.212}{3} - \frac{0.212^3}{42} + \frac{0.212^5}{1320} - \frac{0.212^7}{75600} + \dots \right) = 1.731m$$

Coordenadas cartesianas k y p

$$p = \text{disloque} = Y_c - [R_c(1 - \cos \theta_e)]$$

$$p = \text{disloque} = 1.731 - [60(1 - \cos 12.128^\circ)] = 0.392$$

$$k = X_c - (R_c \sin \theta_e)$$

$$k = 24.891 - (60 \sin 12.128^\circ) = 12.285$$

Tangente de la curva espiral circular espiral

$$T_e = k + (R_c + p) \tan \frac{\Delta}{2}$$

$$T_e = 12.285 + (60 + 0.392) \tan \frac{0.212}{2} = 18.711$$

Cuerda larga

$$CL_e = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$$

$$CL_e = \sqrt{24.891^2 + 1.731^2} = 24.951m$$

Deflexión del EC o ángulo de la cuerda larga

$$\varphi_c = \arctan \frac{y_c}{x_c}$$

$$\varphi_c = \arctan \frac{1.731}{24.891} = 14.356$$

Externa de la curva espiral circular espiral

$$E_e = (R_c + p) \left[\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} \right] - R_c$$

Tangente larga de la espiral

$$T_L = x_c - \frac{y_c}{\tan \theta_e}$$

Tangente corta de la espiral

$$T_c = \frac{y_c}{\sin \theta_e}$$

Angulo central de la curva circular

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_e$$

Tabla 29 *Tabla de cálculo de curva en espirales*

Spiral #	A Value	Radius	Length	Start Direction	Start Point	End Point
S1	54.77	INFINITY	30.00	S88° 39' 40.17"W	(564434.88,1478421.45)	(564404.97,1478419.25)
S2	54.77	100.00	30.00	S39° 12' 56.41"W	(564344.74,1478383.97)	(564328.20,1478358.98)
S3	60.00	INFINITY	30.00	S30° 37' 16.69"W	(564315.55,1478337.61)	(564299.22,1478312.47)
S4	60.00	120.00	30.00	N84° 22' 35.43"W	(564192.62,1478266.56)	(564163.14,1478271.98)
S5	54.77	INFINITY	30.00	S71° 27' 56.38"W	(563752.63,1478325.15)	(563723.77,1478317.05)
S6	54.77	100.00	30.00	N75° 59' 17.09"W	(563678.93,1478319.43)	(563651.09,1478330.53)
S7	60.00	INFINITY	30.00	S88° 56' 43.60"W	(563511.56,1478351.20)	(563481.63,1478349.40)
S8	60.00	120.00	30.00	S54° 37' 31.75"W	(563429.31,1478328.48)	(563406.39,1478309.15)
S9	105.83	INFINITY	80.00	S81° 51' 49.61"W	(563242.44,1478252.16)	(563162.82,1478248.43)
S10	83.67	140.00	50.00	N30° 25' 17.96"W	(563062.15,1478316.10)	(563042.16,1478361.85)
S11	52.92	INFINITY	35.00	N20° 11' 24.96"W	(563032.28,1478388.71)	(563017.87,1478420.52)
S12	52.92	80.00	35.00	N67° 32' 09.47"W	(562981.14,1478451.20)	(562947.27,1478459.72)
S13	45.83	INFINITY	35.00	S48° 40' 04.58"W	(562419.56,1478346.96)	(562391.27,1478326.58)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30 *Tabla de cálculo de curva en espirales*

Spiral #	A Value	Radius	Length	Start Direction	Start Point	End Point
S14	45.83	60.00	35.00	S75° 29' 09.52"W	(562381.31,1478323.04)	(562346.50,1478320.99)
S15	41.83	INFINITY	35.00	N87° 48' 09.92"W	(562337.17,1478321.34)	(562302.46,1478318.63)
S16	41.83	50.00	35.00	S42° 34' 37.00"W	(562280.98,1478304.88)	(562283.99,1478274.48)
S17	52.92	INFINITY	35.00	S22° 31' 24.31"W	(562260.48,1478266.00)	(562244.78,1478234.80)
S18	52.92	80.00	35.00	S75° 47' 10.99"W	(562198.94,1478203.20)	(562164.20,1478199.63)
S19	80.62	INFINITY	50.00	S66° 31' 48.52"W	(561976.17,1478150.47)	(561929.20,1478133.56)
S20	72.11	130.00	40.00	N37° 23' 56.49"W	(561797.90,1478181.54)	(561777.01,1478215.61)
S21	60.00	INFINITY	30.00	N28° 35' 03.45"W	(561758.64,1478249.32)	(561743.21,1478275.03)
S22	69.28	120.00	40.00	N80° 55' 39.85"W	(561664.74,1478323.42)	(561624.83,1478325.31)

Fuente: Elaboración propia.

3.3.11 Alineamiento Vertical

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

3.3.11.1 Pendientes para el control de diseño

El terreno en estudio, según clasificación de pendientes en función de las pendientes naturales, se clasificó como un terreno plano, de manual de la SIECA 2011, la pendiente máxima permitida es de 7%, para una velocidad de 40 kph, tratando de adaptarnos al terreno, así se muestra en la tabla ~.

Tabla 31. Pendiente Máxima para Carreteras Colectoras Rurales

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA 2011, pág. 119

3.3.11.2 Curvas Verticales

El alineamiento vertical de una carretera está ligado estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo), expresadas usualmente en porcentajes. Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Visibilidad y accidentalidad.
- Composición del tránsito.
- Relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

3.3.11.2.1 Curvas Verticales en columpio

Estas curvas son aquellas donde la curva se ubica sobre el encuentro de las pendientes, la de entrada y la de salida, a éstas se les conoce como curvas en Columpio, debido a que su forma se asemeja a un columpio.

3.3.11.2.2 Curvas Verticales en cresta

Estas curvas son aquellas donde la curva se ubica bajo el encuentro de la pendiente de entrada y la de salida, también llamadas curvas en Cresta, debido a que tiende a ser una cresta en la parte superior.

3.3.11.2.3 Resultados de alineamiento vertical

Debido a que en el tramo de estudio de diseñaran curvas verticales es necesario determinar la distancia de visibilidad de parada y valores de tasa de curva vertical (K) la cual está establecida en relación a la velocidad de diseño. Los valores seleccionados fueron una distancia de visibilidad de parada de 50 m y un valor mínimo de K de 4 como se muestra en la (Tabla 32, pág. 81).

Tabla 32. Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de Parada

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95

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

Longitud de curva mínima:

$$LC_{min} = (K_{min}) * (A). (Ec 18, SIECA 2011)$$

Donde

K_{min} = valor mínimo de tasa de curvatura vertical

A = Gradiente o diferencia de pendientes

Longitud de curva:

$$LC = (K) * (A). (Ec 19, SIECA 2011)$$

Donde

K = valor de tasa de curvatura vertical

A = Gradiente o diferencia de pendientes

Longitud vertical:

$$Lv = \frac{(A)(dvp)^2}{404}. (Ec\ 20, SIECA\ 2011)$$

Donde

A = Gradiente o diferencia de pendientes.

dvp = Distancia de visibilidad de parada.

En el tramo de estudio se determinaron 8 curvas verticales están compuestas por 4 crestas y 4 columpios los elementos geométricos de todas las curvas están contemplados en la (Tabla 33, pág. 83)

Tabla 33. Tabla de Elementos de Curvas Verticales

No. Curva	EST PVI (m)	ELEV PVI (m)	P1 (%)	P2 (%)	A (%)	Tipo de Curva	LC (m)	K	Radio	Velocidad de Diseño
	0+000.00m	559.330m		4.00%						
1	0+310.50m	571.750m	4.00%	5.90%	1.90%	Columpio	150.000m	78.947	8000.000m	40 km/h
2	0+860.00m	604.170m	5.90%	-5.40%	11.30%	Cresta	390.000m	34.513	3000.000m	40 km/h
3	1+167.84m	587.547m	-5.40%	1.00%	6.40%	Columpio	222.000m	34.688	3000.000m	40 km/h
4	1+428.62m	590.155m	1.00%	-5.80%	6.80%	Cresta	204.000m	30	3000.000m	40 km/h
5	1+636.36m	578.106m	-5.80%	-1.10%	4.70%	Columpio	144.000m	30.668	3000.000m	40 km/h
6	2+383.24m	569.856m	-1.10%	4.40%	5.50%	Columpio	168.000m	30.52	3000.000m	40 km/h
7	3+071.68m	600.147m	4.40%	-4.60%	9.00%	Cresta	449.309m	49.923	5000.000m	40 km/h
8	3+469.48m	581.849m	-4.60%	-3.20%	1.40%	Columpio	97.351m	69.388	7000.000m	40 km/h
	3+917.55m	567.524m	-3.20%							

Fuente: Elaboración propia.

Con el propósito de sintetizar los principales criterios técnicos adoptados durante el desarrollo del diseño geométrico de la vía, se presenta la siguiente tabla de parámetros de diseño:

Tabla 34. Matriz de parámetros de diseño.

Parámetro	Unidad	Valor normativo	Valor adoptado en el proyecto	Norma / Referencia
Longitud del proyecto	km	—	3.90	Levantamiento topográfico
Sistema de coordenadas	—	WGS84 UTM	UTM Zona 16 Norte	MTI
Software	—	—	AutoCAD Civil 3D	Autodesk
Tipo de terreno	—	Según clasificación	Llano o plano	SIECA 2011
Pendiente máxima natural	%	—	11.30	Levantamiento
Pendiente mínima natural	%	—	0.04	Levantamiento
Norma principal	—	—	Manual SIECA 2011	SIECA
Velocidad de diseño	km/h	Según SIECA	40	SIECA 2011
Radio mínimo	m	Según SIECA	43	SIECA 2011
Peralte máximo	%	Según SIECA	6	SIECA 2011
Bombeo	%	Según SIECA	3	SIECA 2011
Número de carriles	unidad	Según SIECA	2	SIECA 2011
Ancho de carril	m	Según SIECA	3.30	SIECA 2011
Ancho de hombro	m	Según SIECA	0.60	SIECA 2011

Fuente: Elaboración propia.

4.1. Conclusiones

- El levantamiento topográfico realizado en el tramo de estudio permitió obtener información precisa sobre las características físicas del terreno, identificándose una topografía predominantemente plana, con pendientes suaves y condiciones favorables para el desarrollo del diseño geométrico. Los datos obtenidos sirvieron como base fundamental para la definición del alineamiento horizontal y vertical de la carretera.
- Mediante el estudio de tránsito efectuado conforme a los criterios establecidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), se determinó un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 900 vehículos por día. Este volumen de tránsito permitió clasificar la vía como una carretera colectora menor rural, categoría que responde a la función de conexión y movilidad que desempeña dentro de la red vial.
- El diseño geométrico desarrollado en Civil 3D se realizó de acuerdo con las disposiciones establecidas en las Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA 2011, adoptando una velocidad de diseño de 40 km/h acorde con la clasificación funcional de la vía y las condiciones del terreno. Como resultado, se diseñaron 13 curvas horizontales simples, 10 curvas con espiral de transición y 8 curvas verticales, garantizando condiciones adecuadas de seguridad, comodidad y operación para los usuarios.

4.2. Recomendaciones

- Buscar la opción más eficiente que se ajuste a la topografía y a las limitaciones en los tramos donde el espacio sea reducido. Sin embargo, en los sectores que sí tengan las condiciones, se respetarán los parámetros de la norma SIECA (como radios mínimos, transiciones, ancho de carril y hombros) para garantizar que los vehículos circulen de manera segura y cómoda.
- Utilizar los datos del aforo vehicular procesado y la tasa de crecimiento vehicular calculada en este estudio como antecedentes actualizados en sus anuarios para el corredor secundario Condega - El Mojón - Pueblo Nuevo, permitiendo mantener un monitoreo real de la demanda en la Región Central Norte.
- Integrar de manera formal este diseño geométrico dentro de los planes de inversión pública a corto o mediano plazo. La zona cuenta con proyecciones de expansión urbana habitacional inmediata, por lo que ejecutar este alineamiento evitará conflictos de derecho de vía y encarecimientos futuros por modificaciones en el trazado.
- El MTI deberá realizar un estudio hidrotécnico para analizar el movimiento de las precipitaciones en la zona para asegurar que el diseño de las cunetas y alcantarillas sea el correcto, evitando así que el agua estancada dañe la estructura del pavimento o cause erosión prematura.
- El MTI deberá realizar pruebas de suelo a lo largo de todo el tramo para conocer la capacidad de soporte del terreno y poder definir el tipo de pavimento y los materiales adecuados para cada tramo. Esto es lo que evitará que la vía presente grietas, hundimientos o baches poco tiempo después de ser construida.

BIBLIOGRAFÍA

- Cárdenas, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras* (2.^a edición ed.). Bogotá: ECOE Ediciones.
- Casanova, L. (2002). *Topografía Plana*. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería departamento de vías. Mérida: Taller de publicaciones Facultad de Ingeniería.
- Hernández, S. (2014). *Metodología de investigación* (6.^a Edición ed.). México D.F: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Jiménez, G. (2007). *Topografía para ingenieros civiles*. Armenia: Universidad del Quindío.
- Márquez, F. (1994). *Curso Básico de Topografía*. México D.F: Árbol Editorial S.A.
- Navarro, S. (2010). *Nivelación. Apuntes De Topografía II*. Estelí: UNI Norte.
- SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico* (3.^a Edición ed.).
- Spindola, C. y. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones* (9.^a edición ed.). Cuauhtémoc, Ciudad de México: Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V.
- Wolf, & Ghilani. (2016). *Topografía*. Ciudad de México: Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V.

ANEXOS

Figura 25 Estado actual del tramo EST 1+120



Nota: El ancho de la calzada es muy angosto.

Fuente: Elaboración propia

Figura 26 Ausencia de estructuras de drenaje en la EST 0+500



Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Curva horizontal muy cerrada (sin diseño) EST 3+100



Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Final del tramo comunidad El Mojón



Fuente: Elaboración propia

Figura 29 Tipología y descripción vehicular de conteo de tráfico

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

Fuente: Anuario de aforos de tráfico 2019, pág. 26

Tabla 35 Formato para conteo de Tránsito vehicular por día

Uni-Universidad Nacional de Ingeniería																			
Camino:		Estación: 0+000		Tramo:		Periodo:		Días:		Horas:		Mes/Año:		Km:		Sentido:		Fecha de	
Conteo:		Aforador:																	
Hora		Moto	Vehículo de Pasajeros						Vehículo de carga						Equipo Pesado			Total	
			Auto	Jeep	Camioneta	McBus	MnBus	Bus	Liv	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx - Rx	Cx - Rx	V.A	V.C		Otros
						< 15 s	15 - 30 s	30 + s	2-5 t	5 + t		< = 4 e	> = 5 e	< = 4 e	> = 5 e				
06:00	07:00																		
07:00	08:00																		
08:00	09:00																		
09:00	10:00																		
10:00	11:00																		
11:00	12:00																		
12:00	01:00																		
01:00	02:00																		
02:00	03:00																		
03:00	04:00																		
04:00	05:00																		
05:00	06:00																		

Fuente: Anuario estadístico de aforos del MTI-2020, Pág. 312.