Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Arquitectura y Construcción

"DISEÑO GEOMÉTRICO DE 2 KM DE CARRETERA (NIC-49A) EN EL TRAMO EMPALME EL PILÓN (EST 30+660) – EL SAUCE (EST 32+660), MUNICIPIO EL SAUCE, DEPARTAMENTO DE LEÓN, 2025-2026".

Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Civil.

Elaborado por:

Br. Jairo Antonio Gamboa Lanzas
Carnet: 2013-61208

Br. Maycol José Hernández Sánchez
Carnet: 2013-61427

Br. Palestina Brasilia Cortez Castañeda
Carnet: 2011-36545

Tutor:

Ing. Priscilla Molina López.

08 de Mayo de 2026
Managua, Nicaragua

Índice de Contenido

1.INTRODUCCIÓN 1
2.ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL 3
2.1. MARCO JURÍDICO, NORMATIVO Y PRINCIPIOS DE INGENIERÍA 5
2.1.1. Marco Jurídico e Institucional 5
2.1.2. Normas y Estándares de Referencia 5
2.1.3. Principios Ingenieriles Aplicables 6
3.OBJETIVOS 8
4.DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 9
5.FUNDAMENTOS TÉCNICOS 12
5.1 Principios de diseño geométrico de carreteras 12
5.1.1 Principios clave del diseño geométrico 13
5.2 Diseño geométrico de carretera 13
5.2.1 Geometría tridimensional de la vía 14
5.3 Fundamentos matemáticos y físicos aplicados 15
5.3.1 Flujo vehicular 15
5.3.2 Modelación del terreno 16
5.3.3 Análisis de tránsito 16
5.4 Sostenibilidad, eficiencia y diseño sensible al contexto 16
5.5 Innovación tecnológica: Civil 3D 17
5.6 Experiencias y referentes técnicos aplicables 18
6.METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN 19
6.1 Estudio Topográfico y Modelación Digital del Terreno 19
6.2 Estudio de Tránsito y Proyecciones 20
6.2.1. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). 20
6.2.2. Aforo vehicular. 20
6.3 Diseño Geométrico del Alineamiento Horizontal y Vertical 22
7.RESULTADOS 23

7.1. Estudio topográfico 23
7.1.1. Proceso de Georreferenciación 23
7.2. Estudio de tránsito. 28
7.2.1. Cálculo del TPDA. 30
7.2.2. Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). 31
7.2.3. Tránsito de diseño. 34
7.3. Diseño Geométrico 35
7.3.1. Configuración inicial y sistema de referencia 35
7.3.2. Importación y organización de puntos topográficos 35
7.3.3. Generación del Modelo Digital del Terreno 36
7.3.4. Vinculación con el estudio de tránsito y determinación de la clasificación funcional 36
7.3.5. Vehículo de diseño 38
7.3.6. Velocidad de diseño 41
7.3.7. Distancia de Visibilidad de Parada 41
7.3.8. Distancia de Visibilidad de Adelantamiento 42
7.3.9. Tasas de peralte (e) 43
7.3.10. Factor de fricción lateral (f) 43
7.3.11. Radio mínimo 44
7.3.12. Radio máximo 45
7.3.13. Creación del alineamiento horizontal 46
7.3.14. Diseño geométrico vertical 47
8.CONCLUSIONES 48
9.RECOMENDACIONES 50
10.REFERENCIAS 51
11.ANEXOS i

Índice de Tabla

Tabla 1 Formato de anotaciones de campo. 21
Tabla 2 Red de puntos de control geodésico 24
Tabla 3 Muestreo de puntos levantados..... 27
Tabla 4 Resultado semanal del conteo de 12 horas en ambos sentidos..... 29
Tabla 5 Distribución direccional del tránsito 30
Tabla 6 TPDA 2026. 31
Tabla 7 Tasas de crecimiento..... 32
Tabla 8 Proyección del tránsito total..... 33
Tabla 9 Resumen de las variables más representativas. xix
Tabla 10 Aplicación de logaritmo neperiano.....xx
Tabla 11 Periodo de diseño.....xx
Tabla 12 Proyección del tránsito normal. xxi
Tabla 13 Proyección del Transito Generado. xxii
Tabla 14 Factor de distribución por carril. xxiii
Tabla 15 Factor de distribución direccional. xxiii
Tabla 16 Tránsito de diseño a 20 años. xxiv

Índice de Figuras

Figura 1 Red de puntos BMs y GPS 25
Figura 2 Ubicación del aforo vehicular 28
Figura 3 Clasificación funcional de las carreteras (TPD/TPDA) 37
Figura 4 Criterio de período de diseño 38
Figura 5 Selección Vehículo de diseño 39
Figura 6 Radios Mínimos de Giro de los Vehículos de Diseño. 39
Figura 7 40
Figura 8 Distancia de visibilidad de parada. 42
Figura 9 Distancia de visibilidad adecuada para adelantar. 43
Figura 10 Factor de Fricción Máxima 44
Figura 11 Radio mínimo 45
Figura 12 Radio Máximo para el uso de curvas de transición en espiral 45
Figura 13 Macro localización del proyecto. i
Figura 14 Micro localización del proyecto ii
Figura 15 Dependencia de estaciones. iii
Figura 16 Factores de ajuste del primer cuatrimestre iii
Figura 17 Interfaz de Civil 3D 2025 iv
Figura 18 Mapa Mundial de Zonas UTM - WGS 84 iv
Figura 19 Menú de importación de puntos v
Figura 20 Importación de puntos v
Figura 21 Puntos importados y línea de BMs vi
Figura 22 Creación de grupos de puntos. vii
Figura 23 Puntos para LC viii
Figura 24 Detalle de etiquetas de puntos y BMs viii
Figura 25 Puntos y línea central georreferenciada con terreno ix
Figura 26 Superficie TIN creada ix
Figura 27 Superficie TIN mejorada x
Figura 28 Creación de polilínea para alineamiento x
Figura 29 Alineamiento creado xi
Figura 30 Tangentes y curvas creadas a partir del alineamiento xi

Figura 31 Etiquetas para alineación xii
Figura 32 Vista de una tangente en el alineamiento..... xii
Figura 33 Vista de una curva simple xiii
Figura 34 Detalles de tangente..... xiii
Figura 35 Alineamiento vertical, rasante trazada..... xiv
Figura 36 Detalles de corte y relleno basado en la rasante..... xiv
Figura 37 Cuadro 3.6. Factores de fricción lateral máximos y radios mínimos ..xv
Figura 38 Sustento sobre curvas de transición..... xvi
Figura 39 Condición para no usar espiral cuando R ≥ 1,500 m..... xvi
Figura 40 Referencia al ancho base de carril 3.60 m en las tablas xvii
Figura 41 Detalle de estaciones para curvas xviii
Figura 42 Detalle de estaciones para curvas xviii

1.INTRODUCCIÓN

El diseño geométrico de carreteras es un proceso de la ingeniería civil que establece la configuración física para garantizar un transporte seguro y eficiente. En Nicaragua, el deterioro de numerosos tramos carreteros representa un desafío logístico y económico, pues las superficies de rodamiento en mal estado limitan el traslado seguro e incrementan los costos operativos. En este contexto, el presente proyecto aborda de manera específica el "DISEÑO GEOMÉTRICO DE 2 KM DE CARRETERA (NIC-49A) EN EL TRAMO EMPALME EL PILÓN (EST 30+660) – EL SAUCE (EST 32+660), MUNICIPIO EL SAUCE, DEPARTAMENTO DE LEÓN, 2025-2026". Este tramo, clasificado funcionalmente como Carretera Colectora Rural, carece de una estructura de pavimento adecuada, al no contar con base, subbase o revestimiento que brinde condiciones mínimas de circulación. Esta deficiencia restringe la conectividad comunitaria, haciendo urgente una intervención técnica.

Desde la perspectiva de la relevancia profesional e impacto territorial, elaborar este diseño detallado bajo normativas internacionales es el paso crítico e indispensable para cualquier futura obra de pavimentación en el sector. Definir correctamente los parámetros viales resolverá problemas inmediatos de circulación y mejorará sustancialmente la movilidad local y regional. Al optimizar la infraestructura, se facilitará un flujo de transporte continuo que actuará como catalizador directo para dinamizar la economía de El Sauce y León, fortaleciendo sus vínculos comerciales y agro productivos.

El proyecto se sustenta en una rigurosa justificación integral. A nivel técnico, demanda estudios especializados indispensables: un levantamiento topográfico de precisión para modelar digitalmente el terreno y aforos vehiculares para determinar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). Estos datos empíricos nutrirán el diseño apoyándose en el software AutoCAD Civil 3D. Socialmente, la mejora vial asegura a las comunidades un acceso equitativo a servicios públicos esenciales, como la salud y la educación, reduciendo notablemente los tiempos de viaje. Académicamente, el trabajo demuestra la aplicación práctica de

conocimientos ingenieriles, asegurando el estricto cumplimiento del Manual Centroamericano de Normas (SIECA) y las directrices de la AASHTO.

En consonancia con las políticas públicas, la investigación se articula con el "Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022–2026", el cual prioriza fortalecer la infraestructura vial para reducir desigualdades territoriales y garantizar la integración socioeconómica. De igual forma, el trazado apoya los lineamientos del "Plan Nacional de Producción, Consumo y Comercio (PNPCC) 2025-2026", impulsando la productividad y competitividad mediante la conexión eficiente para el transporte de bienes. Adicionalmente, el enfoque en la Gestión de Riesgo y Seguridad Vial respalda las líneas de investigación institucionales orientadas a disminuir la vulnerabilidad de la infraestructura ante diversas amenazas naturales o antrópicas.

Finalmente, para cumplir los objetivos específicos, el contenido general del proyecto se estructura en tres áreas investigativas. Primero, se desarrollará el Estudio Topográfico, enfocado en procesar la información de campo recolectada para generar la superficie digital y detallada del terreno. Segundo, se presentará el Estudio de Tránsito, destinado a la cuantificación y clasificación vehicular para establecer los volúmenes exigidos por los parámetros normativos. Por último, se abordará el Diseño Geométrico de la Vía, fase culminante donde se propondrá el alineamiento definitivo que incluye el trazado del eje en planta, la definición de la rasante en el perfil longitudinal y la concepción de las secciones transversales.

2.ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL

En esta sección se establece el historial académico, técnico y normativo que fundamenta el proyecto de Diseño Geométrico de 2 km de carretera (NIC-49A) en el tramo Empalme El Pilón (EST 30+660) – El Sauce (EST 32+660), con el fin de identificar las bases de conocimiento y los vacíos técnicos previos que justifican la realización del diseño.

Nicaragua, a través del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), considera las carreteras como el principal medio de transporte que impulsa el desarrollo económico y social del país. El MTI, como ente normador en materia de infraestructura vial, busca el fortalecimiento de los principales corredores de la red vial nacional para garantizar la conectividad entre departamentos y municipios. La red vial del país ha experimentado un crecimiento histórico, pasando de 201 km en 1940 a 24,515 km en 2017, y el MTI publica anualmente información detallada sobre esta red (*Red Vial de Nicaragua 2017* publicado en 2018) (MTI, 2018).

En octubre del 2019, el Ministerio de Transporte e Infraestructura mediante el Programa de Integración Vial, Préstamo BID N° 3577/BL-NI invitó a varias firmas para presentar servicios de consultoría para: “Estudio de Factibilidad y Diseño para el mejoramiento del camino Villa Nueva (El Escudo) – El Sauce y Construcción de la Circunvalación de la Ciudad de León”, presentando Informes que sirvieron de apoyo para la realización de este documento.

- ***TEC, S. (2021).*** (TEC, Estudio de Factibilidad y Diseño para el Mejoramiento del Camino Villa Nueva (El Escudo) – El Sauce y Construcción de la Circunvalación de la Ciudad de León - Informe Técnico Topográfico Final, 2021): El informe describe de manera estructurada la realización metodológica del levantamiento topográfico con la georreferenciación de puntos de control base mediante GPS conectados a la red geodésica mundial, su monumentación en concreto con chapas de aluminio, y el uso del levantamiento estático relativo con receptores GNSS para obtener coordenadas precisas; posteriormente se aplicó un ajuste local de coordenadas UTM a coordenadas polares para evitar deformaciones y asegurar exactitud. También, describe el levantamiento

topográfico del terreno con Estación Total, desarrollando fases de monumentación, nivelación, trazo y balanceo de la poligonal, seccionamiento planialtimétrico y levantamiento de drenajes, complementados con la revisión y procesamiento de la información de campo.

- ***TEC, S. (2020).*** (TEC, Estudio de Factibilidad y Diseño del Camino Villa Nueva (El Escudo) – El Sauce. - Informe de Tráfico Final., 2020)***:*** en él se determinó el volumen de tráfico actual y proyectado, su composición por tipología vehicular, los patrones de origen y destino de los usuarios, las velocidades de operación y los niveles de servicio de la vía; además, busca estimar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), cuantificar el tráfico desarrollado, desviado, generado y total, identificar los orígenes y destinos de los viajes, evaluar las velocidades y demoras presentes, y establecer la capacidad y niveles de servicio futuros de la carretera junto con el análisis de sus intersecciones.

- Los (Br. Deglis Antonio Gaitán Cerda, 2023), presentaron una propuesta de señalización vial para la carretera Villa Nueva – El Sauce, en el tramo comprendido entre las estaciones 18+000 y 22+000, con el propósito de mejorar la seguridad de los usuarios y garantizar un tránsito ordenado. Para ello, se realizó un inventario vial que permitió diagnosticar las condiciones actuales del sector, se elaboró una propuesta de señalización conforme al Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2014), y se plantearon acciones específicas orientadas a incrementar la seguridad vial en la zona. En conjunto, estas medidas constituyen una base técnica y normativa que busca optimizar la circulación vehicular y reducir riesgos en el tramo carretero en estudio

2.1. MARCO JURÍDICO, NORMATIVO Y PRINCIPIOS DE INGENIERÍA

2.1.1. Marco Jurídico e Institucional

El proyecto se desarrolla bajo el ámbito de la infraestructura vial nacional de Nicaragua, regulado por:

- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI): Es la institución encargada de la infraestructura vial, generando publicaciones clave para la regulación de obras viales a ejecutar. Dichas publicaciones son tales como *Red Vial de Nicaragua* (MTI, 2018) y el *Anuario de Aforos de Tráfico* ((MTI), ANUARIO DE AFOROS DE TRÁFICO, 2022) El MTI también emite las *Especificaciones Generales de Construcción de Caminos, Calles y Puentes, NIC 2018* ((MTI), Especificaciones Generales de Construcción de Caminos, Calles y Puentes, NIC 2018, 2018).
- Ley de Derecho de Vía: La Ley de Derecho de Vía de Nicaragua, Decreto No. 46 de 10 de septiembre de 1956 (Nicaragua., 1952), establece la clasificación de carreteras (internacionales, interoceánicas, interdepartamentales y vecinales) y define anchos de derecho de vía. Para las carreteras interdepartamentales y vecinales, el ancho se limitó a 20 metros.

2.1.2. Normas y Estándares de Referencia

Las normas que aseguran que el diseño sea consistente, seguro y eficiente son las siguientes:

- ***Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial*** ((SIECA), 2011)***:*** constituye la referencia primaria en Centroamérica, ya que establece los criterios técnicos necesarios para definir los alineamientos horizontal y vertical de las vías, incorporando además aspectos de gestión de riesgo y seguridad vial para mejorar la infraestructura. Entre sus lineamientos destacan la

clasificación funcional de las carreteras, el cálculo de la velocidad de diseño y parámetros geométricos como radio mínimo, peralte y distancia de visibilidad

- **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets** (American Association of State Hightway and Transportation Offcials, 2004)**:** Se utiliza para complementar y validar parámetros de diseño geométrico, tales como el diseño de las curvas (radios mínimos y peraltes) y la trayectoria mínima de giro de los vehículos de diseño (ej. vehículo SU). A falta de información local, se adoptan las dimensiones de los vehículos de diseño indicadas en AASHTO.
- **Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2000)** (American Association of State Hightway and Transportation Offcials, 2004)**:** Aunque el proyecto es de diseño geométrico, el análisis de la eficiencia de la vía se realiza mediante el estudio de tránsito, que incluye la capacidad y los niveles de servicio. Los análisis de capacidad y niveles de servicio se basan en la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM). El software Highway Capacity Software (HCS) – 2000 se utiliza para aplicar la metodología del HCM-2000 en el análisis de las condiciones de tráfico de dos carriles.

2.1.3. Principios Ingenieriles Aplicables

El Diseño Geométrico requiere la aplicación de principios científicos y de ingeniería para definir la configuración tridimensional de la carretera.

- Geometría Tridimensional: La carretera queda definida geométricamente por el trazado de su eje en planta, perfil y sección transversal.
- Diseño Sensible al Contexto (DSC): El diseñador debe considerar las características del área, los valores de la comunidad, las necesidades de

los usuarios y los usos probables de la tierra en cada proyecto, lo que se conoce como Diseño Sensible al Contexto (DSC).

- Coordinación de Alineamientos: Es fundamental que el alineamiento horizontal (curvas y tangentes en planta) y el vertical (rasante o perfil longitudinal) estén coordinados para ofrecer seguridad y funcionalidad.
- Seguridad y Visibilidad: Los elementos de diseño, como peraltes, sobreanchos y visibilidad, deben determinarse cuidadosamente para garantizar la seguridad de los usuarios. La Distancia de Visibilidad de Parada (DVP) y la Distancia de Visibilidad de Rebase (DVR) son cálculos fundamentales en el diseño geométrico.
- Herramientas Tecnológicas: La implementación de programas CAD comerciales, como el software AutoCAD Civil 3D (Autodesk). Este software se recomienda para trabajos de diseño geométrico debido a su modelo de ingeniería que agiliza la finalización de proyectos viales.

3.OBJETIVOS

Objetivo General

- Realizar el diseño geométrico en 2 km de carretera (NIC-49A) en el tramo Empalme El Pilón (EST 30+660) – El Sauce (EST 32+660), municipio El Sauce, departamento de León, 2025.

Objetivos Específicos

- Realizar un estudio topográfico detallado permitiendo la modelación de la superficie definiendo el tipo de terreno del tramo.

- Desarrollar un estudio de tráfico, a través de un aforo vehicular manual, que permita el cálculo del TPDA y la Proyección del Transito al periodo de diseño.

- Diseñar el alineamiento horizontal y vertical del tramo aplicando los criterios establecidos en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011) utilizando el software Civil 3D 2025.

4.DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolla en el municipio de El Sauce, departamento de León (ver Anexos Figura 13, pág. i). El tramo comprende el empalme El Pilón (EST 30+660) y la comunidad de El Sauce (EST 32+660), sobre la ruta NIC-49A, esta vía forma parte de la red de infraestructura vial del occidente del país, contribuyendo a la integración territorial y al acceso hacia centros urbanos como León y Chinandega. Esta zona se caracteriza por una topografía predominantemente ondulada, con suelos de origen volcánico y un clima tropical de estación lluviosa marcada, factores que obligan a implementar obras de drenaje y de estabilización de taludes.

El municipio de El Sauce se distingue por una economía basada en la agricultura y la producción ganadera, complementada por pequeños comercios locales y actividades de transporte hacia centros urbanos como León y Chinandega. La población presenta un crecimiento sostenido y demanda infraestructura vial que facilite la movilidad, reduzca costos de transporte y mejore el acceso a servicios básicos. Todo esto contribuirá a una mayor integración territorial y flujo de la economía local.

Desde el punto de vista de su tipología, el proyecto corresponde al diseño de infraestructura de transporte terrestre, apoyado en herramientas de modelación digital del terreno y diseño asistido por computadora, principalmente mediante el uso del software Civil 3D, para la generación de superficies, trazado en planta, perfil longitudinal y secciones transversales del tramo en estudio. El foco central es definir la geometría tridimensional de la vía (eje horizontal, rasante y sección transversal) conforme a los criterios establecidos en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial ((SIECA), 2011) y en la AASHTO – (American Association of State Hightway and Transportation Offcials, 2004).

Según datos del Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE n. N., 2025), El Sauce cuenta con una extensión territorial de 692.97 km2, con 31,913 habitantes proyectados al 2024 con una densidad poblacional de 46.05 habitantes por cada km2. Directamente la población beneficiada se asienta en la Comunidad

Rural El Pilón ya que, el tramo comunica directamente al municipio de El Sauce. Adicionalmente, se estiman protagonistas indirectos cercanos en el uso de este tramo, los cuales proceden del municipio de Chinandega, teniendo como el más próximo al municipio de Villa Nueva con 32,611 habitantes proyectados al 2024.

En cuanto a sus alcances, el proyecto se enfoca:

- Desarrollar el diseño geométrico del tramo de 2 km, definiendo el alineamiento horizontal, vertical y la sección transversal de la vía, de acuerdo con los criterios de SIECA (2011) y AASHTO.
- Emplear información topográfica disponible y datos de tránsito recientes (TPDA) como base para justificar las decisiones de diseño.
- Generar planos de diseño con sus perfiles y secciones asociadas a los elementos principales de la geometría.

Limitaciones:

- No se desarrolla el diseño estructural del pavimento pues se considera como un enfoque independiente en la cual se puede dedicar otro trabajo investigativo.
- No se incluye un estudio de suelos, ni análisis de estabilidad de taludes a nivel de diseño de obras de contención; se asume que estos estudios se realizarán en fases posteriores, utilizando como base la geometría propuesta.
- No se formula un Estudio de Impacto Ambiental; únicamente se incorporan consideraciones generales.
- No se elabora un presupuesto de construcción detallado ni un cronograma de obra; el énfasis del proyecto es técnico-geométrico y metodológico.
- No se incluye un estudio se seguridad vial, señalización y diseño de drenajes a lo largo de la vía, puesto que incluirlos requiere inversión de tiempo y costos que serían difíciles de asumir.

El proyecto describe y desarrolla el diseño geométrico de un tramo estratégico de la NIC-49A, articulando la realidad territorial de El Sauce con los criterios técnicos internacionales de diseño y con las directrices institucionales nacionales, a fin de aportar una base sólida para futuros procesos de inversión y mejoramiento de la infraestructura vial en la región.

5.FUNDAMENTOS TÉCNICOS

El diseño geométrico de carreteras constituye un proceso ingenieril que integra criterios técnicos, principios científicos, normativa especializada y herramientas tecnológicas para definir la configuración tridimensional de una vía. Su objetivo principal es garantizar que la infraestructura vial se adapte adecuadamente a las condiciones del terreno, al comportamiento del tránsito y a los requerimientos de seguridad y comodidad de los usuarios.

En el presente proyecto, estos fundamentos orientan cada una de las decisiones adoptadas durante el trazado del tramo Empalme El Pilón – El Sauce (NIC-49A), asegurando coherencia técnica con la normativa regional establecida por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana ((SIECA), 2011) y con los estándares internacionales propuestos por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2011, 2012).

5.1 Principios de diseño geométrico de carreteras

El diseño geométrico tiene como finalidad establecer los elementos que permitan un desplazamiento seguro y eficiente, optimizando la interacción entre las características del vehículo, el conductor y la vía. De acuerdo con la ((SIECA), 2011), la carretera debe concebirse como un sistema integrado en el cual el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y la sección transversal se coordinen de manera armónica, con el fin de reducir riesgos, mejorar la movilidad y minimizar los costos de operación.

El manual de la AASHTO (2011, 2012) complementa estos criterios al señalar que la geometría vial debe responder al comportamiento real del usuario, considerando factores como la percepción, el tiempo de reacción, la velocidad de operación y la trayectoria del vehículo. Esto implica que el diseñador debe prever condiciones realistas de circulación y ajustar los elementos geométricos para evitar situaciones que comprometan la seguridad, como cambios bruscos de curvatura o deficiencias en la visibilidad.

5.1.1 Principios clave del diseño geométrico

Uno de los principios fundamentales del diseño geométrico es la coherencia geométrica, entendida como la necesidad de evitar variaciones abruptas de radio, pendiente o peralte que generen incertidumbre en el conductor (AASHTO, 2012). Asimismo, la seguridad vial se sustenta en parámetros obligatorios como la distancia de visibilidad de parada y la distancia de rebase, los cuales influyen directamente en la selección de radios mínimos, pendientes y longitudes de curvas verticales.

En zonas rurales con topografía ondulada, la ((SIECA), 2011) recomienda velocidades de diseño moderadas, generalmente entre 40 y 60 km/h, con el propósito de reducir movimientos excesivos de tierra y mantener una adecuada adaptación al relieve natural.

Finalmente, el diseño sensible al contexto promueve soluciones compatibles con la morfología del entorno, reduciendo impactos ambientales y favoreciendo la sostenibilidad del proyecto.

5.2 Diseño geométrico de carretera

El diseño geométrico de carreteras constituye una de las etapas más importantes dentro de la ingeniería vial, ya que define la forma física de la vía y condiciona directamente la seguridad, comodidad y eficiencia de la circulación vehicular. Este proceso consiste en la adecuada disposición de los elementos geométricos que conforman una carretera, considerando la interacción entre el vehículo, el conductor y el entorno (AASHTO, 2011).

El objetivo principal del diseño geométrico es permitir una circulación segura y fluida, adaptándose a las condiciones topográficas, características del tránsito y restricciones ambientales, sin perder de vista criterios técnicos, económicos y funcionales. Para ello, se establecen parámetros normalizados que buscan garantizar un equilibrio entre la seguridad vial, el nivel de servicio y los costos de construcción y mantenimiento (SIECA, 2011).

Entre los conceptos fundamentales del diseño geométrico se encuentra la velocidad de diseño, la cual representa la velocidad seleccionada como base para determinar las dimensiones mínimas de los distintos elementos geométricos de la

carretera. Esta velocidad influye directamente en el alineamiento horizontal y vertical, las distancias de visibilidad, los peraltes y las pendientes máximas permisibles, constituyéndose como uno de los parámetros de control más importantes del diseño geométrico (AASHTO, 2011).

Otro concepto clave es la clasificación funcional de las carreteras, que permite definir la función que cumple una vía dentro de la red vial, ya sea como arteria, colectora o camino local. Esta clasificación condiciona los criterios de diseño, tales como el ancho de calzada, el control de accesos y el nivel de servicio esperado, garantizando una adecuada jerarquización del sistema vial (SIECA, 2011).

El alineamiento horizontal se refiere a la proyección de la carretera en planta y está compuesto por tangentes y curvas, cuyo diseño debe garantizar la estabilidad del vehículo, el confort del usuario y niveles aceptables de seguridad. De igual manera, el alineamiento vertical define el perfil longitudinal de la vía mediante pendientes y curvas verticales, las cuales deben permitir una adecuada visibilidad y un desempeño eficiente de los vehículos, especialmente aquellos de carga (AASHTO, 2011).

Asimismo, la sección transversal constituye un elemento esencial del diseño geométrico, ya que define la configuración de la plataforma vial, incluyendo la calzada, los hombros, los taludes y los sistemas de drenaje. Su correcta definición influye directamente en la operación de la vía, la seguridad de los usuarios y la durabilidad de la infraestructura (SIECA, 2011).

Finalmente, el diseño geométrico debe incorporar criterios de seguridad vial, orientados a reducir la probabilidad y severidad de los accidentes de tránsito. Estos criterios incluyen la provisión de distancias de visibilidad adecuadas, transiciones geométricas suaves y una correcta adaptación de la vía al entorno, aspectos que contribuyen a un comportamiento más predecible del conductor y a una circulación más segura (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

5.2.1 Geometría tridimensional de la vía

El diseño geométrico de una carretera se estructura a partir de tres dimensiones fundamentales: el alineamiento en planta, el alineamiento en perfil y la sección

transversal. La correcta integración de estos elementos determina la funcionalidad, la capacidad y la seguridad de la vía.

- **Alineamiento en planta**

El alineamiento en planta define la trayectoria horizontal del eje de la vía mediante la combinación de rectas y curvas. La selección del radio mínimo de curvatura depende de la velocidad de diseño, del coeficiente de fricción lateral y del peralte máximo permitido, conforme a los criterios establecidos por la SIECA (2011).

- **Alineamiento en perfil vertical (rasante)**

El alineamiento en perfil determina la variación de elevación a lo largo del eje de la carretera. Las curvas verticales permiten transiciones suaves entre pendientes sucesivas y se modelan generalmente mediante funciones parabólicas, con el fin de garantizar condiciones adecuadas de visibilidad, confort y seguridad para el usuario (AASHTO, 2012).

- **Sección transversal**

La sección transversal comprende el ancho de los carriles, los hombros, los taludes y los elementos de drenaje superficial. Para carreteras colectoras rurales, la SIECA (2011) establece un ancho deseable de carril de 3.60 m, lo cual contribuye a una operación segura y eficiente del tránsito.

5.3 Fundamentos matemáticos y físicos aplicados

El proceso de diseño geométrico requiere la aplicación de principios matemáticos y físicos que permiten modelar el comportamiento del vehículo, la interacción con la vía y la adaptación al terreno.

5.3.1 Flujo vehicular

Desde la perspectiva del Flujo vehicular, el movimiento del vehículo condiciona parámetros como la distancia de frenado, la cual se calcula considerando un tiempo de reacción del conductor estimado en 2.5 segundos según la AASHTO, así como una desaceleración segura aproximada de 3.4 m/s².

Existe además una relación directa entre la curvatura y las fuerzas laterales, donde la fuerza centrífuga generada debe ser compensada mediante el peralte y la fricción lateral disponible. Estas relaciones permiten definir radios mínimos de curva, longitudes de transición y dimensiones adecuadas de curvas verticales.

5.3.2 Modelación del terreno

La modelación del terreno se basa en el levantamiento topográfico y en la interpolación de superficies, utilizando métodos geométricos para el cálculo de cotas y pendientes.

La generación de superficies TIN resulta fundamental para la construcción de modelos digitales del terreno, mientras que los ajustes estadísticos de los datos permiten depurar nubes de puntos y garantizar consistencia geométrica en el diseño.

5.3.3 Análisis de tránsito

El análisis de tránsito influye directamente en la selección de la velocidad de diseño, el ancho de carril y la capacidad operativa de la vía. El tránsito promedio diario anual y la composición vehicular se obtienen a partir de aforos recientes, ajustados mediante factores oficiales publicados en el Anuario de Aforos de Tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura ((MTI), ANUARIO DE AFOROS DE TRÁFICO, 2022)

Asimismo, el Highway Capacity Manual constituye la base internacional para evaluar el desempeño de carreteras de dos carriles y analizar los niveles de servicio bajo escenarios de demanda creciente (Transportation Research Board, 2000).

5.4 Sostenibilidad, eficiencia y diseño sensible al contexto

El diseño geométrico de carreteras, desde un enfoque moderno, debe concebirse como un proceso integral que no solo responda a criterios técnicos y funcionales, sino que también incorpore principios de sostenibilidad, eficiencia y sensibilidad al contexto en el que se desarrolla la infraestructura vial. Estos enfoques buscan armonizar la operación segura y eficiente de la vía con el entorno natural, social y económico, promoviendo soluciones que reduzcan los impactos ambientales,

optimicen el uso de los recursos y se adapten a las condiciones particulares del territorio, sin comprometer el nivel de servicio ni la seguridad vial (AASHTO, 2011; SIECA, 2011).

Desde la perspectiva del diseño sensible al contexto, se reconoce la importancia de respetar la forma natural del terreno, los sistemas de drenaje existentes, las zonas agrícolas y otros elementos ambientales relevantes, de manera que la infraestructura vial se integre adecuadamente al entorno y minimice alteraciones innecesarias (SIECA, 2011). Este enfoque favorece un equilibrio entre la funcionalidad de la carretera y la preservación de los recursos naturales y sociales del área donde se implanta.

Asimismo, un trazado geométrico adecuado contribuye significativamente a la eficiencia operativa de la vía, al permitir una circulación más fluida que reduce el consumo de combustible, el tiempo de viaje y los costos de operación vehicular. Estos aspectos se encuentran alineados con las tendencias actuales orientadas a la eficiencia energética y a la sostenibilidad del sistema de transporte (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

Finalmente, la correcta proporción y combinación de elementos geométricos como curvas, pendientes y distancias de visibilidad permite una mejor gestión del riesgo vial, disminuyendo la probabilidad de accidentes y contribuyendo a la durabilidad de la infraestructura, al reducir esfuerzos innecesarios sobre la vía y los vehículos que la utilizan.

5.5 Innovación tecnológica: Civil 3D

El software Civil 3D constituye la herramienta principal empleada en el desarrollo del proyecto. Su uso permite modelar superficies topográficas a partir de datos georreferenciados, generar corredores viales, perfiles longitudinales y secciones transversales, así como integrar parámetros de diseño conforme a la normativa SIECA y AASHTO.

Estas funcionalidades reducen la posibilidad de errores humanos, agilizan los procesos de revisión técnica y facilitan la exportación de planos y memorias con alta precisión, mejorando la trazabilidad del proyecto. Civil 3D se ha consolidado

como un estándar en el diseño de carreteras en Latinoamérica debido a su capacidad de integrar modelos tridimensionales, análisis geométrico y gestión de datos en una sola plataforma (Autodesk, 2023).

5.6 Experiencias y referentes técnicos aplicables

Dentro del diseño geométrico de carreteras, los elementos destinados al ordenamiento y control del tránsito cumplen una función fundamental en la organización de los movimientos vehiculares y en la reducción de conflictos entre usuarios. Desde una perspectiva general, estos elementos buscan guiar al conductor de manera clara y predecible, facilitando la comprensión del trazado y promoviendo maniobras seguras y eficientes dentro del sistema vial.

La incorporación de elementos geométricos de control permite canalizar adecuadamente las corrientes de tránsito, separar movimientos incompatibles y mejorar la legibilidad de la vía, especialmente en zonas donde convergen diferentes trayectorias vehiculares. Este ordenamiento contribuye a disminuir situaciones de riesgo, reducir la probabilidad de accidentes y mejorar el desempeño operativo de la infraestructura vial (AASHTO, 2011).

Asimismo, estos elementos cumplen un papel importante en la protección de usuarios vulnerables, como peatones y ciclistas, al delimitar espacios, reducir velocidades y mejorar la percepción del entorno vial. Desde el enfoque de gestión del riesgo y seguridad vial, su correcta concepción forma parte de una estrategia integral que busca minimizar errores de conducción y sus consecuencias (SIECA, 2011).

En este sentido, los elementos geométricos de control no deben considerarse únicamente como componentes aislados del diseño, sino como parte de un sistema coherente que integra funcionalidad, seguridad y eficiencia, contribuyendo al desarrollo de infraestructuras viales más seguras y ordenadas.

6.METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

La presente metodología describe los procedimientos técnicos, normas y herramientas que se emplearon para el desarrollo del "Diseño Geométrico de 2 km de carretera (NIC-49A) en el tramo Empalme El Pilón – El Sauce", asegurando el cumplimiento de los estándares establecidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) y la normativa regional.

6.1 Estudio Topográfico y Modelación Digital del Terreno

Para el cumplimiento de este objetivo se generó una representación del terreno existente para establecer las condiciones geométricas iniciales.

Se realizó una inspección preliminar del sitio para identificar la ruta existente. Así mismo se estableció Puntos de Control Base (PCB) mediante el uso de GPS para amarrar el proyecto a la red geodésica nacional, garantizando la precisión de las coordenadas.

Una vez obtenida las coordenadas se ejecutó un levantamiento topográfico de detalle a lo largo de los 2 km del tramo utilizando una Estación Total. Se aplicó el método de seccionamiento transversal, levantando puntos del eje central, bordes de camino, cunetas y cerco de derecho de vía, asegurando un ancho de banda suficiente (generalmente 20 metros a cada lado del eje) para el diseño.

Obtenida la información de campo se descargó en formato de texto (*.txt o *.csv) con la estructura Punto, Este, Norte, Elevación, Descripción (PENZD) para su importación y gestión.

Luego se utilizó el software AutoCAD Civil 3D 2025 para el procesamiento de datos; en este se generó una Red de Triangulación Irregular (TIN) para crear la superficie digital del terreno (DTM).

Se generó curvas de nivel (intervalos típicos de 1m y 5m) para interpretar el relieve (plano, ondulado o montañoso) que condiciona la velocidad de diseño.

6.2 Estudio de Tránsito y Proyecciones

El estudio de tránsito se realizará, mediante un aforo de vehicular de 7 días en las cercanías de la entrada de la comunidad El Pilón. Para ello, se contabilizó el volumen vehicular en las 12 horas del día. Con la información obtenida, se aplicará la ecuación correspondiente para calcular el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), asegurando que el resultado reflejará el comportamiento real del flujo vehicular en la zona.

6.2.1. 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, p. 49), por lo tanto, se usará la siguiente ecuación para determinarlo.

$$\boldsymbol{TPDA = \frac{TA}{365}}$$

Donde:

TA: Tránsito Anual.

6.2.2. Aforo vehicular.

Para determinar el aforo vehicular se realizará el conteo de vehículos que pasan por el tramo de carretera Empalme El Pilon - El Sauce. Se realizará por una semana desde el miércoles 7 al martes 13 de enero del 2026. Iniciando a las 6:00 am y finalizando a las 6:00 pm.

Para efectuar un mejor control del conteo vehicular se utilizó el formato de anotaciones de campo presentado en la tabla 1.

Tabla 1: *Formato de anotaciones de campo.*

Fecha:									**Tramo: Empalme El Pilón - El Sauce**			
Clasificación MTI 2022	C1	C2	C2	C3	C4	C4	C5	C5	C6	C8	C9	C15
Dia	**Vehículos Livianos**				**Vehículo de Pasajeros**		**Vehículos de Carga**					
	Motos	**Autos**	**Jeep**	**Camioneta**	**Microbús**	**Bus**	**C2 Liviano**	**C2 > 5ton**	**C3**	**TxSx 4**	**TxSx 5**	**Otros**
Miércoles												
Jueves												
Viernes												
Sábado												
Domingo												
Lunes												
Martes												
Total/Veh												
Total												

Fuente: Elaboración Propia.

6.3 Diseño Geométrico del Alineamiento Horizontal y Vertical

El diseño se rige estrictamente por el "Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial ((SIECA), 2011)" como norma primaria, y de manera complementaria por "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (AASHTO)".

Para determinar el control de diseño se definió la Velocidad de Diseño (estimada entre 60 y 70 km/h para una Colectora Rural en terreno ondulado/plano) y el Vehículo de Diseño (generalmente **C2** o **SU** para giros críticos).

Para el alineamiento horizontal se trazó el eje de la vía combinando tangentes y curvas circulares. Se calcularán los radios mínimos para garantizar la seguridad contra el deslizamiento.

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

Donde: V es la velocidad de diseño (km/h), e_{max} es el peralte máximo (se usará 8% para rural) y f_{max} es el coeficiente de fricción lateral.

Para el alineamiento vertical se diseñó la rasante sobre el perfil del terreno. Las curvas verticales (crestas y columpios) se dimensionaron basándose en la Distancia de Visibilidad de Parada (DVP).

$$d = 0.278Vt + \frac{V^2}{254((\frac{a}{9.81}) \pm G)}$$

Donde: d es la distancia de parada, t es el tiempo de percepción (2.5s), a es la desaceleración ($3.4\ {}^{m}/_{s^2}$) y G es la pendiente longitudinal.

Se modelará el Corredor en Civil 3D integrando carriles de 3.60 m (o según requiera el tránsito), hombros y cunetas. Esto permitirá la generación automática de secciones transversales y el cálculo de volúmenes de tierra.

7.RESULTADOS

7.1. Estudio topográfico

El estudio topográfico realizado consistió en un levantamiento planialtimétrico detallado del tramo comprendido entre las estaciones 30+660 y 32+660, con una longitud aproximada de 2.00 km. El levantamiento permitió obtener información precisa de las condiciones geométricas y altimétricas del terreno natural existente. Como resultado del trabajo de campo, se obtuvo un conjunto de puntos georreferenciados en coordenadas UTM bajo el sistema WGS84, incluyendo elementos representativos como eje existente, bordes de vía, cercos, árboles, accesos y secciones transversales. Parte de esta información se presenta en los anexos en forma de tabla de coordenadas con sus respectivas elevaciones.

El procesamiento de los datos en Autodesk Civil 3D permitió generar una Superficie TIN (Red de Triangulación Irregular), a partir de la cual se obtuvo el Modelo Digital del Terreno (MDT). Esta superficie permitió identificar:

- Variaciones altimétricas del tramo.
- Pendientes longitudinales predominantes.
- Configuración transversal del terreno.
- Zonas con potencial de corte y relleno.

El análisis del relieve evidenció que el tramo presenta características de terreno predominantemente ondulado con variaciones suaves de pendiente, condición que permitió el desarrollo posterior del alineamiento horizontal con radios amplios acordes a la topografía existente.

7.1.1. Proceso de Georreferenciación

Como resultado de la etapa inicial del estudio topográfico, se estableció una red de puntos de control geodésico compuesta por BMs y puntos GPS distribuidos estratégicamente a lo largo del corredor vial.

Los puntos fueron georreferenciados en coordenadas UTM bajo el sistema WGS84, obteniéndose valores definitivos de Norte, Este y Elevación. Esta red

permitió garantizar la correcta vinculación del levantamiento topográfico con el sistema geodésico nacional.

En total se establecieron ocho BMs (BM1 a BM8) y dos puntos GPS de control (GPS1 y GPS2), cuyos datos definitivos de coordenadas y elevación se presentan en la Tabla 2 de Puntos.

El producto técnico de esta etapa fue la conformación de una red de control altimétrica y planimétrica que sirvió como base para el desarrollo de la poligonal abierta de apoyo utilizada en el levantamiento detallado del eje vial.

Tabla 2: *Red de puntos de control geodésico*

No. de Punto	Norte	Este	Elevación	Descripción
3034	1420851.93	540480.54	149.22	BM1
3035	1420869.58	540594.72	145.76	BM2
3036	1420987.8	540770.95	140.41	BM3
3037	1421049.68	540935.43	136.13	BM4
3038	1421246.17	541159.41	132.65	BM5
3039	1421381.5	541376.59	131.67	BM6
3042	1421995.28	541998.66	124.56	BM7
3043	1421995.28	542205.97	128.27	BM8

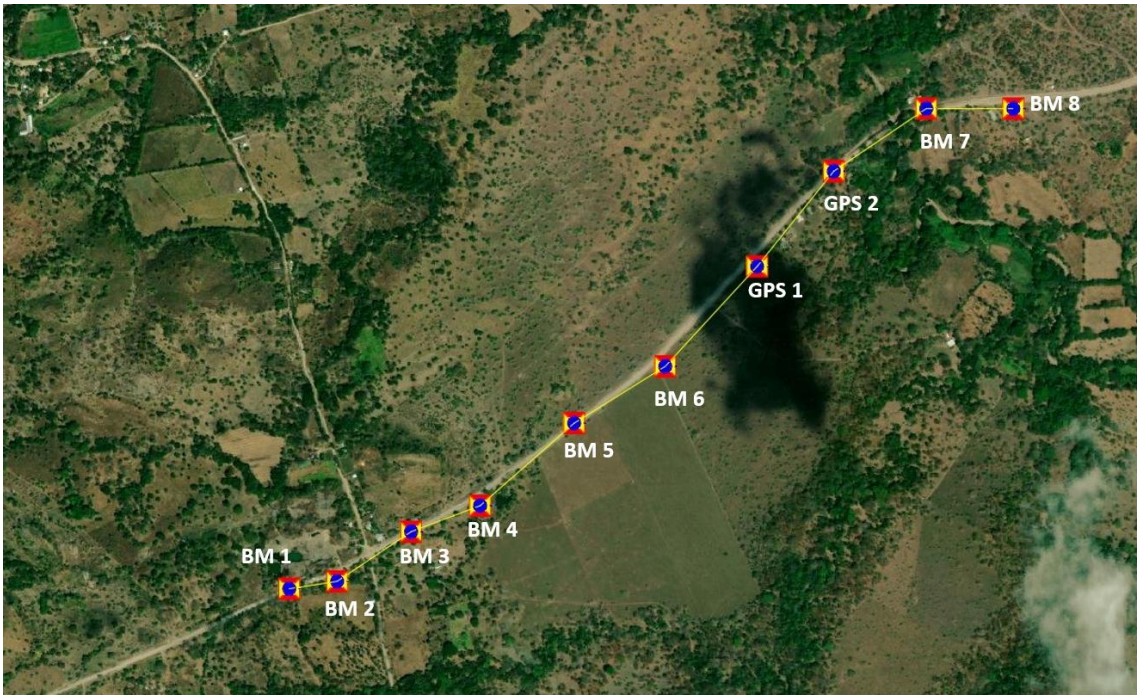
Fuente: Elaboración Propia

No. de Punto	Norte	Este	Elevación	Descripción
3040	1421619.4	541595.5	129.26	GPS1
3041	1421846.18	541778.14	126.36	GPS2

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 1 se presenta la red de puntos que se levantó durante el estudio topográfico del proyecto.

Figura 1 - *Red de puntos BMs y GPS*



Fuente: Google Earth.

7.1.1.1. Localización y ubicación de Puntos a Georreferenciar

Como resultado del proceso de georreferenciación, se establecieron diez puntos de control geodésico distribuidos a lo largo del tramo comprendido entre las estaciones 30+660 y 32+660. Estos puntos corresponden a ocho BMs (BM1 a BM8) y dos puntos GPS principales (GPS1 y GPS2), cuyas coordenadas fueron determinadas en sistema UTM, datum WGS84.

Los puntos quedaron ubicados estratégicamente a lo largo del corredor vial, asegurando cobertura continua del eje del proyecto y garantizando intervisibilidad para el desarrollo de la poligonal abierta de levantamiento. La separación promedio entre pares de puntos permitió mantener estabilidad geométrica y control altimétrico del tramo completo.

Altimétricamente, los puntos registran elevaciones que varían entre 149.22 m en el BM1 y 124.56 m en el BM7, evidenciando una tendencia descendente general en el sentido del alineamiento, información que posteriormente sirvió como referencia para la modelación de la superficie del terreno.

El producto técnico de esta etapa fue la conformación de una red de control planimétrica y altimétrica confiable, que permitió sustentar el levantamiento detallado del eje vial y la generación del Modelo Digital del Terreno.

7.1.1.2. Monumentación de Puntos de Control Base (PCB)

Como resultado de esta etapa se materializaron en campo 10 puntos de control geodésico distribuidos a lo largo del tramo en estudio, correspondientes a 8 BMs (BM1 a BM8) y 2 puntos GPS principales (GPS1 y GPS2).

Cada punto fue construido mediante monumentos de concreto simple de sección rectangular de 20 cm × 20 cm y 60 cm de profundidad, empotrados en el terreno natural. En la parte superior se colocó una chapa de aluminio pulido de 6.00 cm de diámetro para su identificación permanente en campo.

A cada punto se le asignó una nomenclatura consecutiva, diferenciando los puntos GPS como control primario planimétrico y los BM como referencias altimétricas de apoyo. Para cada uno se determinaron coordenadas tridimensionales definitivas (Este, Norte y Elevación) en el sistema UTM, datum WGS84, cuyos valores se presentan en

Tabla *2: Red de puntos de control geodésico*

El resultado técnico de esta actividad fue la conformación de una red de control planimétrica y altimétrica estable y permanente, que sirvió de base para el desarrollo de la poligonal abierta y el posterior levantamiento detallado del eje vial.

7.1.1.3. Levantamiento estático relativo

La aplicación del método estático GNSS mediante equipos Leica permitió obtener coordenadas tridimensionales definitivas (Este, Norte y Elevación) para los diez puntos de control establecidos en el tramo en estudio.

El procesamiento de las observaciones satelitales generó soluciones ajustadas en el sistema UTM, datum WGS84, alcanzando precisiones promedio del orden de

±5 mm + 1 ppm en componente horizontal y ±10 mm + 1 ppm en componente vertical, valores adecuados para levantamientos topográficos destinados al diseño geométrico vial.

Los resultados obtenidos garantizan coherencia geométrica entre los puntos de control y estabilidad altimétrica en todo el corredor, constituyendo la base oficial para el desarrollo de la poligonal abierta y la posterior modelación digital del terreno.

El producto técnico final de esta etapa fue la conformación de una red georreferenciada de alta precisión, validada mediante procesamiento diferencial, que asegura confiabilidad en el sistema de referencia empleado para el proyecto.

Tabla 3: *Muestreo de puntos levantados*

P	E	N	Z	D
1	**540856.5**	**1421017**	**139.41**	**AUX**
2	**540933.2**	**1421043**	**135.58**	**ARBOL**
3	**540923.6**	**1421036**	**136.39**	**ARBOL**
4	**540920.7**	**1421028**	**135.68**	**ARBOL**
5	**540918.2**	**1421032**	**136.11**	**ARBOL**
6	**540935.8**	**1421049**	**136.12**	**SECC**
7	**540935.8**	**1421049**	**136.12**	**CERCO**
8	**540932.1**	**1421054**	**136.18**	**SECC**
9	**540929.8**	**1421058**	**136.43**	**SECC**
10	**540928.7**	**1421059**	**136.93**	**CALLE**
11	**540926.5**	**1421062**	**137.1**	**CALLE**
12	**540925.1**	**1421064**	**137.03**	**CALLE**
13	**540924.3**	**1421066**	**136.69**	**SECC**
14	**540921.9**	**1421069**	**136.34**	**SECC**
15	**540914.1**	**1421079**	**137.48**	**SECC**

Nota: Tabla completa de puntos levantados, consultar en **Figura 21**: *Puntos importados y línea de BMs.* Fuente: Elaboración Propia

7.2. Estudio de tránsito.

El aforo vehicular se realizó durante 7 días desde las 6:00 am hasta las 6:00 pm. Se inició el día miércoles 7 hasta el 13 de enero del 2026. Con estos datos se calcula el TPDA, su clasificación y sus proyecciones. La clasificación se hizo de acorde al MTI (((MTI), Anuario de Aforos de Tráfico Año 2022, 2023)).

Se estableció estratégicamente el punto de aforo en la EST 0+260, puesto que permite conocer el tráfico de la vía, así como el acceso hacia la comunidad El Pilón.

Figura 2: *Ubicación del aforo vehicular*



Nota: Ubicación de la EST 2+060. Fuente: Google Earth.

La Tabla 4, muestra los resultados del conteo vehicular de 7 días, siendo la motocicleta el vehículo más recurrente.

Figura 14: Micro localización del proyecto



Nota: Ubicación del proyecto en el municipio de El Sauce. Fuente: Google Earth.

Figura 15: *Dependencia de estaciones*

EMC_206
EMPALME GRAJINAN - RIVAS

DEPARTAMENTO	CODIGO NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
Jinotega	NIC-43	4108	ECS	Wiwilí - Wamblán
León	NIC-44A	1221	ECD	León - Chacaraseca
León	NIC-44A	2207	ECS	Chacaraseca - Las Sabanetas(Inter Nic-22)
Matagalpa	NIC-45	4502	ECS	Pancasán - Brasilia
Matagalpa	NIC-45	4503	ECS	Brasilia - El Guapotal
Matagalpa	NIC-45	4504	ECS	El Guapotal - El Tuma
Managua	NIC-46	4601	ECD	Emp. Xiloa - Xiloa
Managua	NIC-46	4602	ECS	Xiloa - El Tamagás
Managua	NIC-46	4603	ECS	El Tamagas - Mateare
Matagalpa	NIC-47	118	ECD	Emp. Terrabona (Ciudad Dario) - Terrabona
Matagalpa	NIC-47	1908	ECS	Terrabona - La Estrella
Matagalpa	NIC-47	1905	ECS	La Estrella - Matagalpa
Matagalpa	NIC-48	4801	ECS	La Unión (INTER NIC-26) - Planta Eléctrica Santa Bárbara
Chinandega	NIC-49A	7802	ECD	El Escudo (NIC-24 km 185+800 El Triángulo) - Emp. Mayocunda
León	NIC-49A	2610	ECD	Emp. Mayocunda - El Sauce
León	NIC-49A	4902	ECS	El Sauce - La Aceituna
Esteli	NIC-49A	4902A	ECD	La Aceituna - Estelí (Inter NIC-1)
Esteli	NIC-49B	120	ECD	Estelí (Inter NIC-1) - Llanos de Colón
Jinotega	NIC-49B	4901	ECD	Llano de Colón - La Concordia
Jinotega	NIC-49B	308	ECD	La Concordia - La Tejera (Inter NIC-3)

Fuente: ((MTI), Anuario de Aforos de Tráfico Año 2022, 2023, pág. 58)**.**

Figura 16: *Factores de ajuste del primer cuatrimestre*

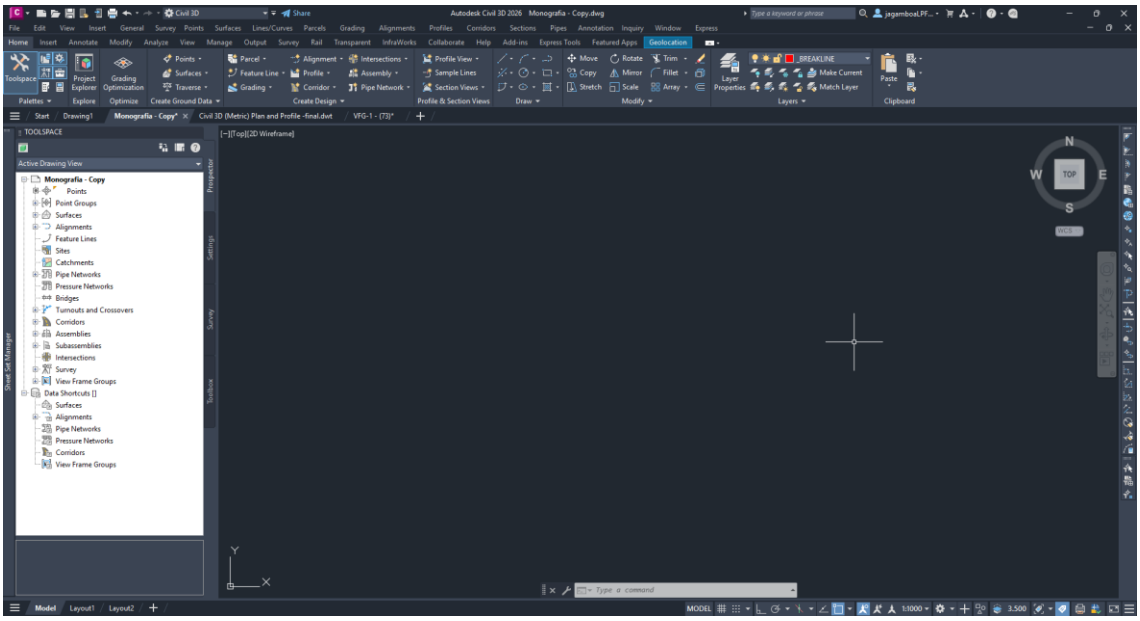
ESTACIÓN DE MAYOR COBERTURA 206
EMPALME GRAJINAN - RIVAS
FACTORES 2022

Factores del primer cuatrimestre del año Enero - Abril

Descripción	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12	Clase 13	Clase 14	Clase 15
Factor Día	1.27	1.27	1.24	1.28	1.28	1.40	1.00	1.24	1.47	1.54	1.00	1.00	1.13	1.13	1.50
Factor Semana	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.94	1.00	0.97	0.97	0.96	1.00	1.00	1.11	1.11	1.00
Factor Fin de Semana	0.99	1.01	1.05	1.07	1.07	1.18	1.00	1.09	1.08	1.10	1.00	1.00	0.81	0.81	1.00
Factor Expansión a TPDA	1.10	0.91	0.92	1.04	1.07	1.46	1.60	1.03	1.00	1.21	1.00	1.00	0.94	0.94	1.10

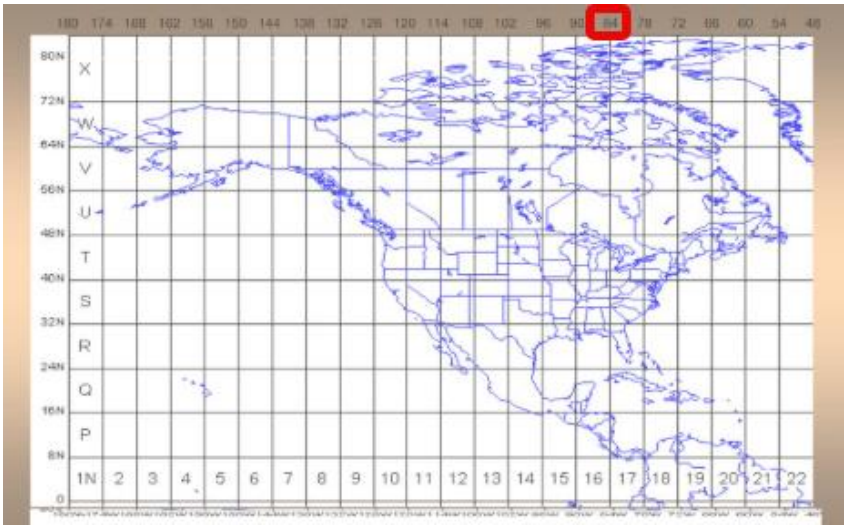
Fuente: ((MTI), Anuario de Aforos de Tráfico Año 2022, 2023, pág. 221)

Figura 17: *Interfaz de Civil 3D 2025*



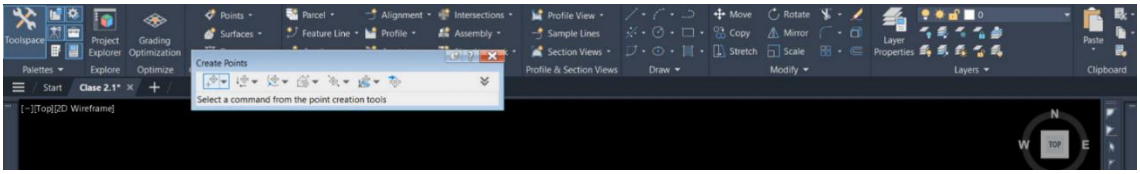
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 18: *Mapa Mundial de Zonas UTM - WGS 84.*



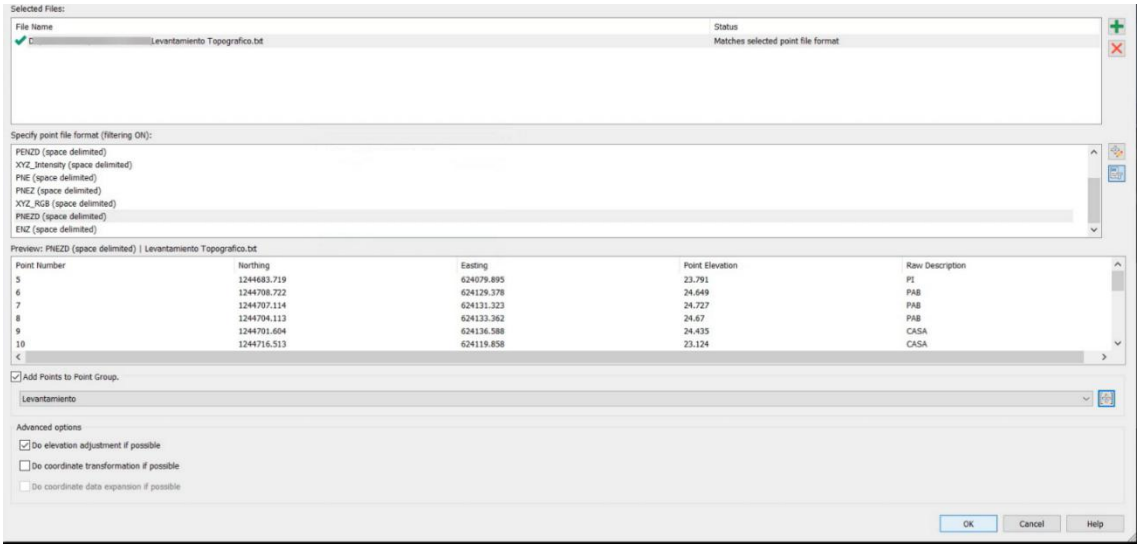
Fuente: Google.

Figura 19: *Menú de importación de puntos*



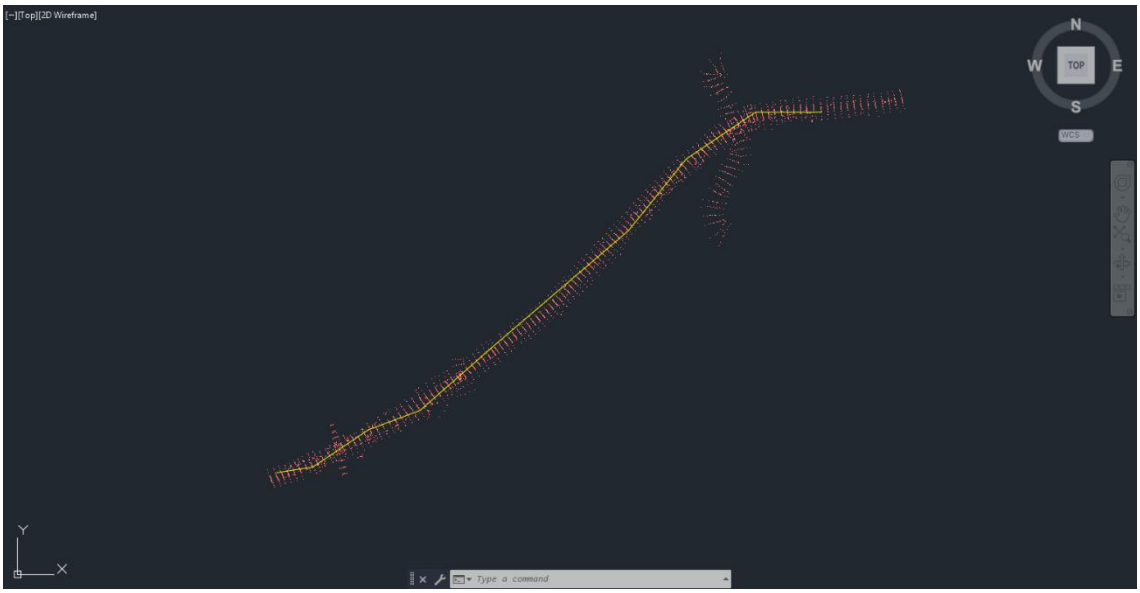
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 20: *Importación de puntos*



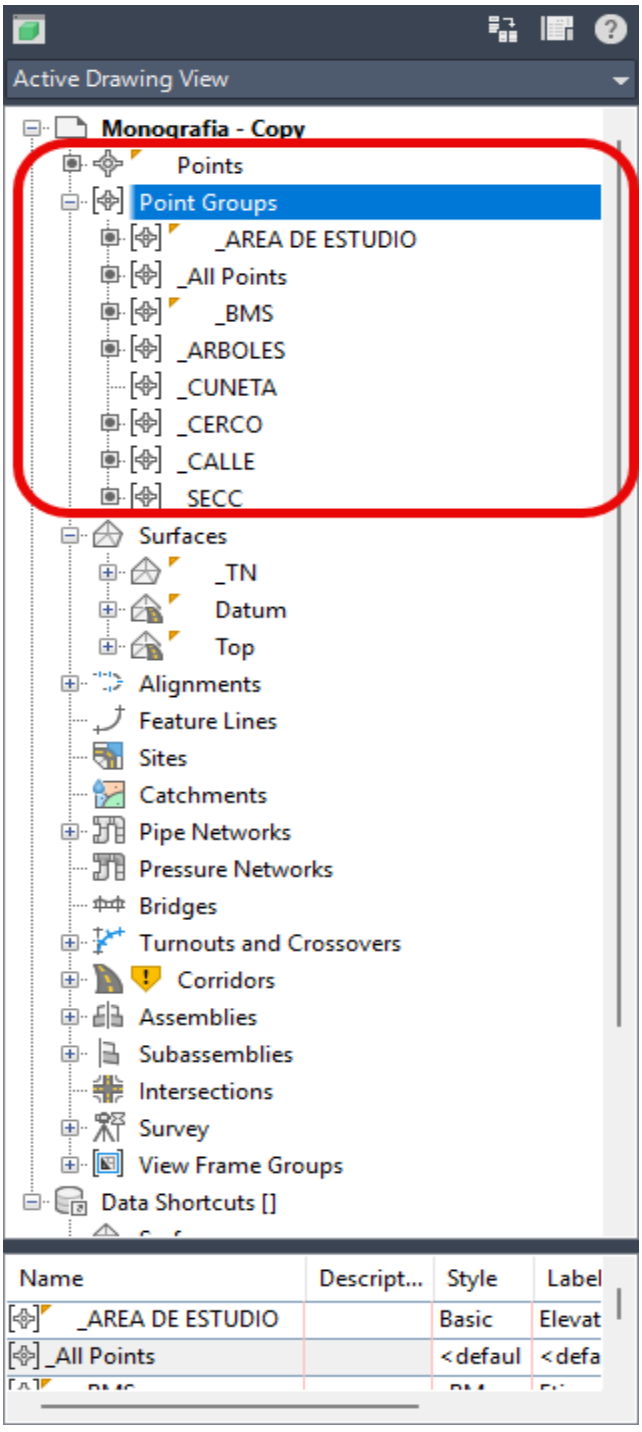
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 21: *Puntos importados y línea de BMs*



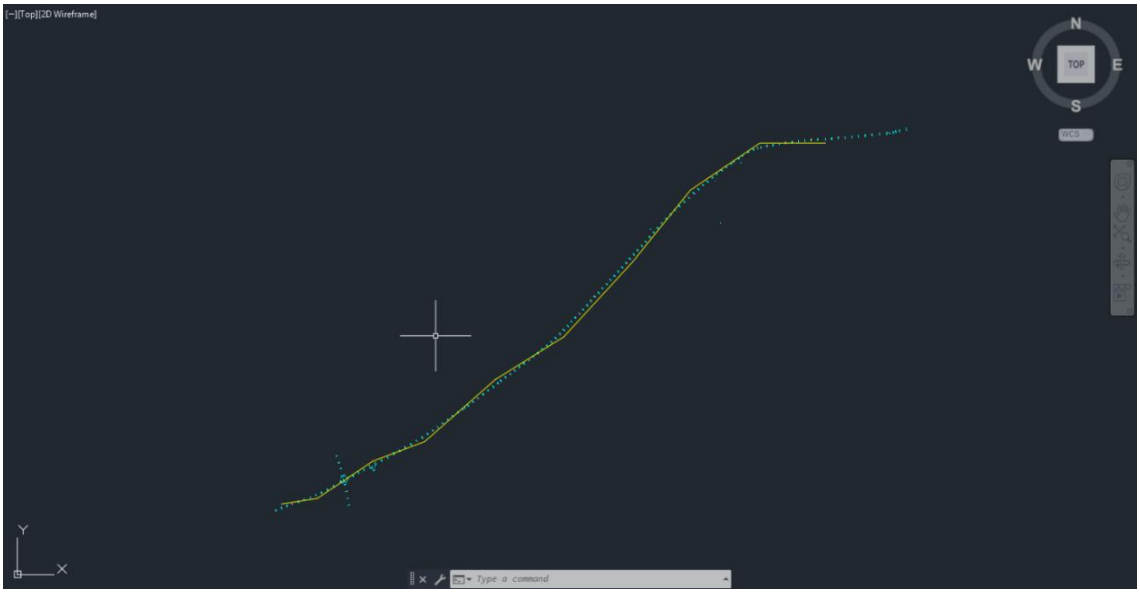
NOTA. Tabla completa con detalles de todos los puntos en la figura, consultar en https://d.docs.live.net/c50457c9e66bab66/Monograf%C3%ADa/Taller%20Monografico%20Nov%202025/1er%20Encuentro%20-%2022%20Nov%202025/Puntos/Puntos%20-%20DISE%C3%91O%20GEOM%C3%89TRICO%20DE%202%20KM%20DE%20CARRETERA%20(NIC-49A)%20EN%20EL%20TRAMO%20EMPALME%20EL%20PIL%C3%93N%20(EST%2030%5eM660)%20%E2%80%93%20EL%20SAUCE%20(EST%2032%5eM660)%5eJ%20MUNICIPIO%20EL%20SAUCE%5eJ%20DEPARTAMENTO%20DE%20LE%C3%93N%5eJ%202025-2026.csv

Figura 22: *Creación de grupos de puntos.*



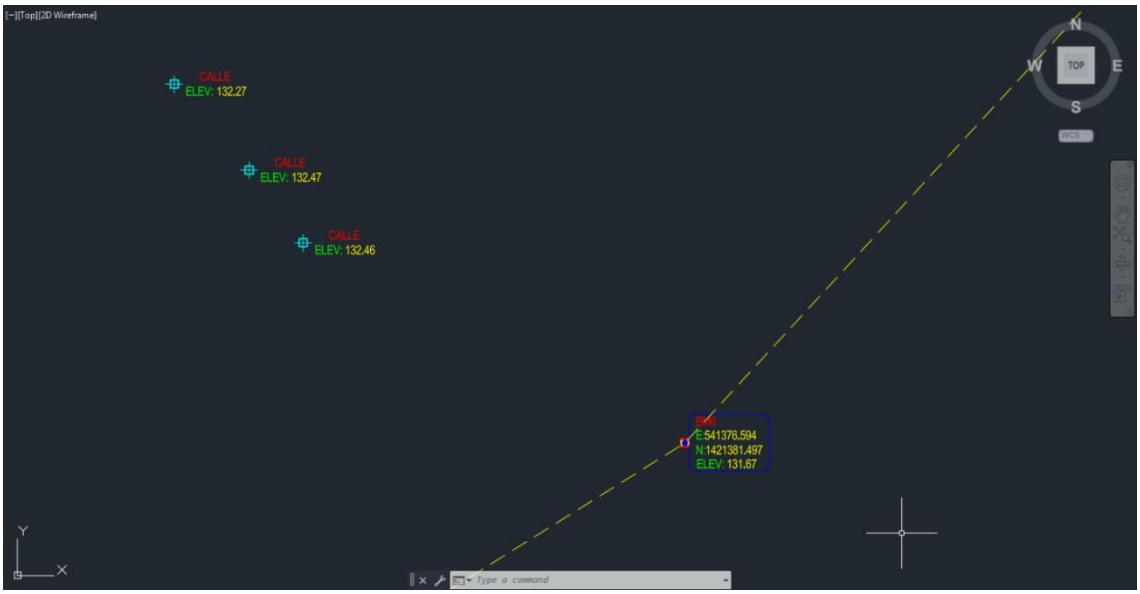
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 23: *Puntos para LC*



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 24: Detalle de etiquetas de puntos y BMs



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 25: *Puntos y línea central georreferenciada con terreno*

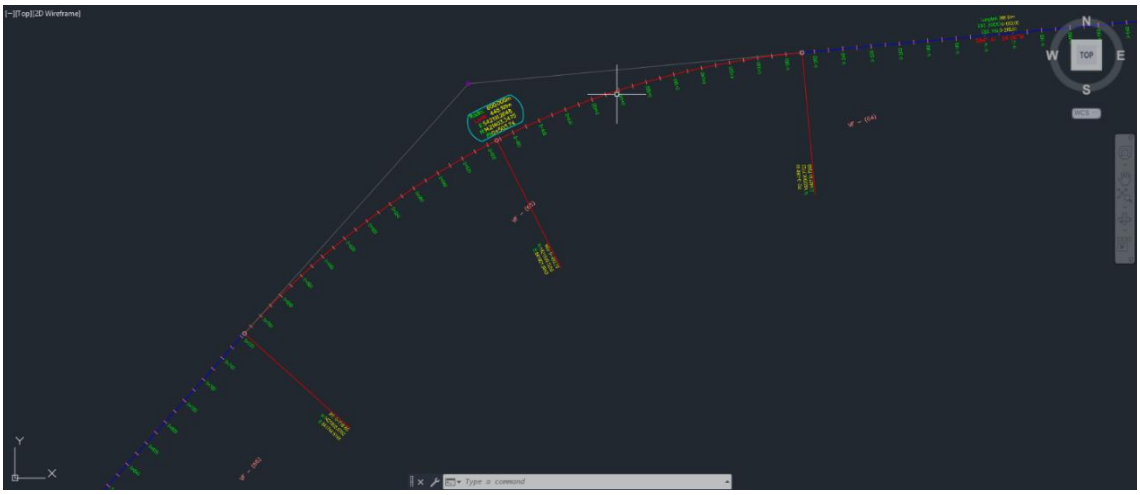


Fuente: Google Earth.

Figura 26: *Superficie TIN creada*

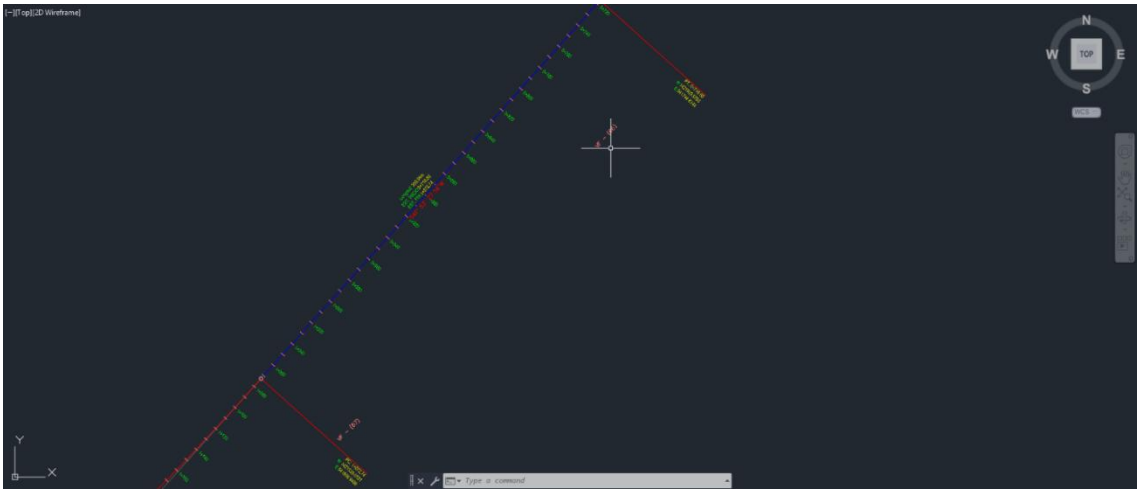
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 33: *Vista de una curva simple*



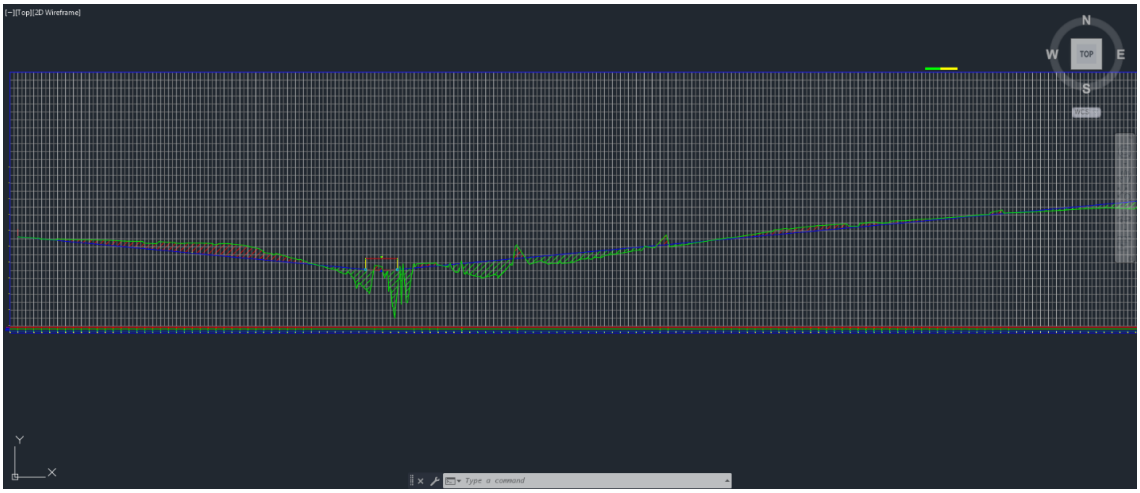
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 34: *Detalles de tangente*



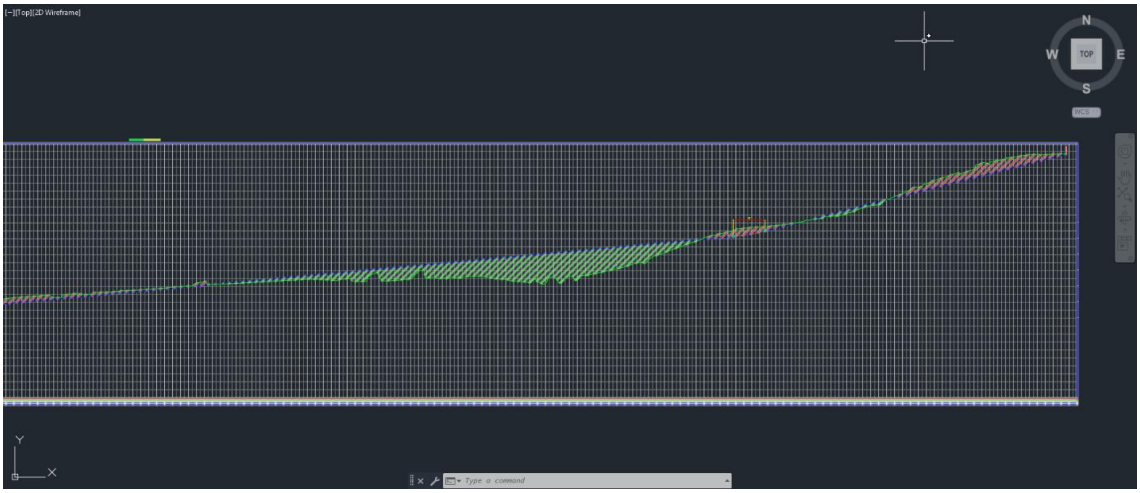
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 35: *Alineamiento vertical, rasante trazada*



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 36: *Detalles de corte y relleno basado en la rasante*



Fuente: Elaboración Propia.

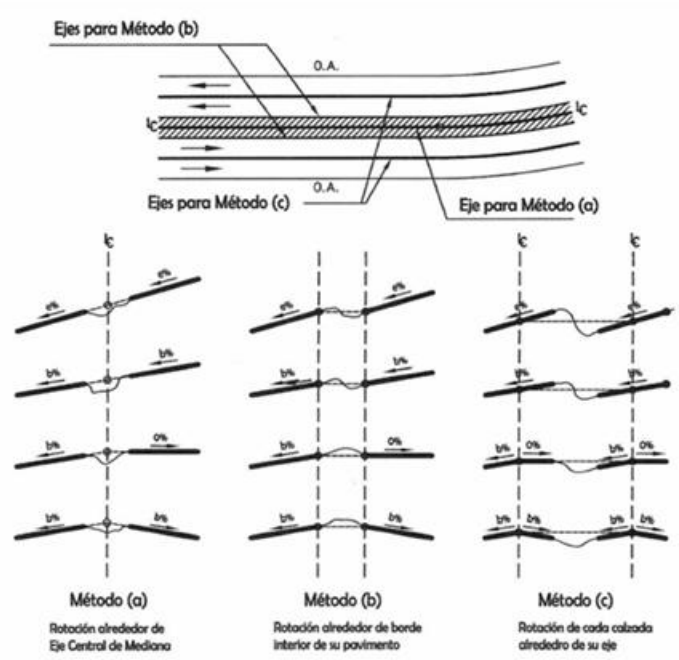
Figura 37: *Factores de fricción lateral máximos y radios mínimos*

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 4% RADIO (m)		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 6% RADIO (m)		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	8.1	8	143°14'	7.7	8	143°14'
30	0.28	22.1	22	52°05'	20.8	21	54°34'
40	0.23	46.7	47	24°23'	43.4	43	26°39'
50	0.19	85.6	86	13°19'	78.7	79	14°30'
60	0.17	135.0	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'
VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8% RADIO (m)		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 10% RADIO (m)		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7.0	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'	18.6	19	60°19'
40	0.23	40.6	41	27°57'	38.2	38	30°09'
50	0.19	72.9	73	15°42'	67.9	68	16°51'
60	0.17	113.4	113	10°08'	105.0	105	10°55'
70	0.15	167.8	168	06°49'	154.3	154	07°26'
80	0.14	229.1	229	05°00'	210.0	210	05°27'
90	0.13	303.7	304	03°46'	277.3	277	04°08'
100	0.12	393.7	394	02°55'	357.9	358	03°12'
110	0.11	501.5	501	02°17'	453.7	454	02°31'
120	0.09	667.0	667	01°43'	596.8	597	01°55'

NOTA: Por condiciones de seguridad, el Peralte Máximo de 4% debe limitarse a áreas urbanas
Fuente: AASHTO 2004, pp. 147

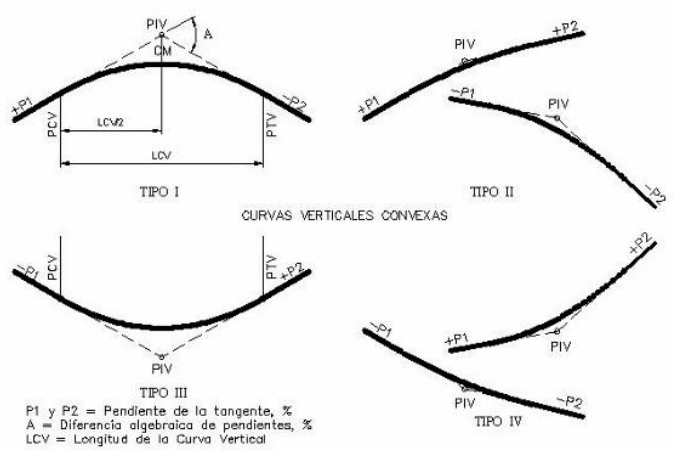
Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (p. 147), por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2004.

Figura 38: *curvas de transición*



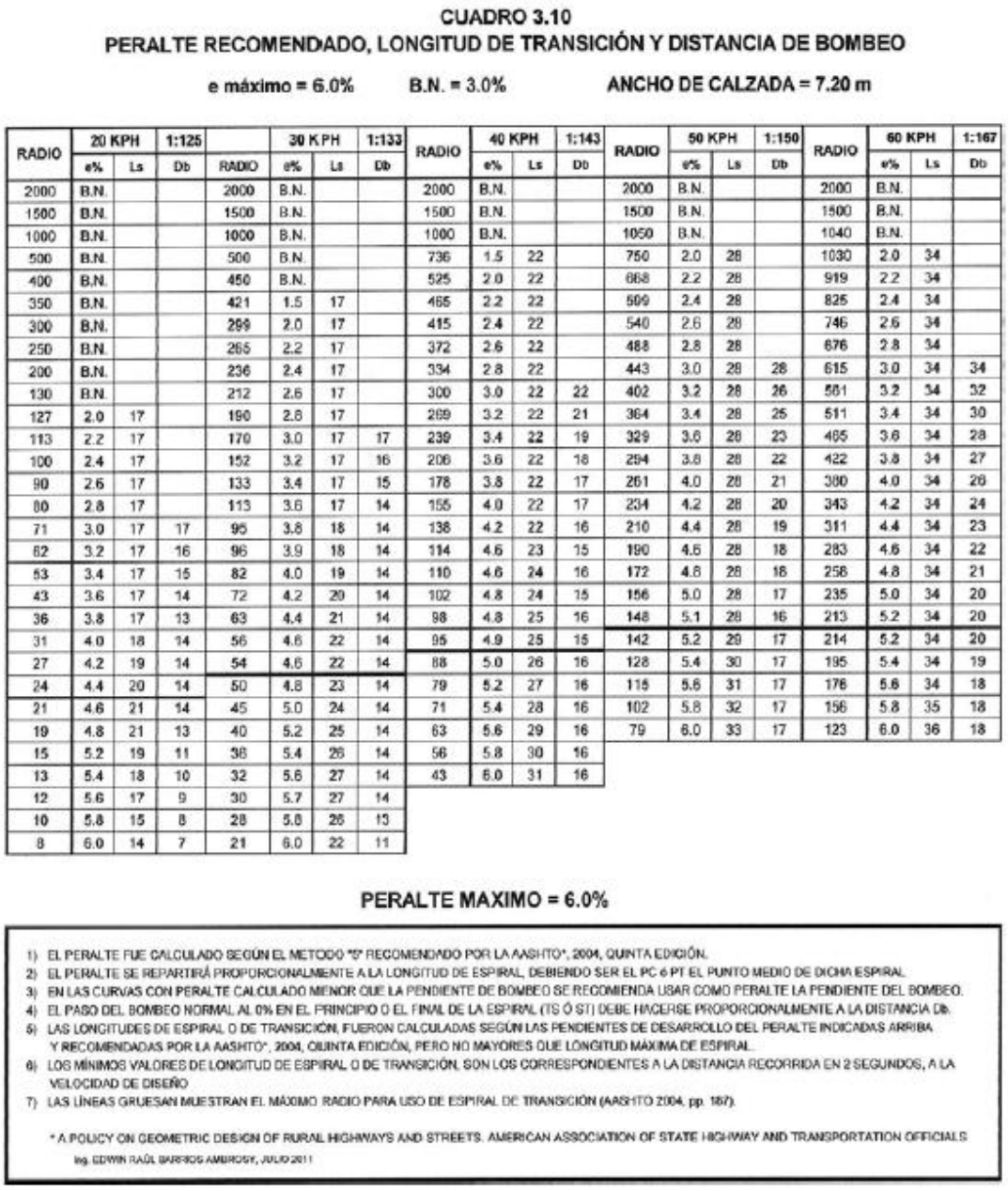
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2004.

Figura 39: *Curvas verticales*



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2004.

Figura 40: *Referencia al ancho base de carril 3.60 m en las tablas*



CUADRO 3.10

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		1:125		30 KPH		1:133	RADIO	40 KPH		1:143	RADIO	50 KPH		1:150	RADIO	60 KPH		1:167
	e%	Ls	Db	RADIO	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.			736	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		599	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	2.6	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	138	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	156	5.0	28	17	235	5.0	34	20
36	3.8	17	13	63	4.4	21	14	98	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	4.9	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	38	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												

PERALTE MAXIMO = 6.0%

1) EL PERALTE FUE CALCULADO SEGÚN EL METODO "5" RECOMENDADO POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN.
2) EL PERALTE SE REPARTIRÁ PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE ESPIRAL, DEBIENDO SER EL PC ó PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL.
3) EN LAS CURVAS CON PERALTE CALCULADO MENOR QUE LA PENDIENTE DE BOMBEO SE RECOMIENDA USAR COMO PERALTE LA PENDIENTE DEL BOMBEO.
4) EL PASO DEL BOMBEO NORMAL AL 0% EN EL PRINCIPIO O EL FINAL DE LA ESPIRAL (TS Ó ST) DEBE HACERSE PROPORCIONALMENTE A LA DISTANCIA Db.
5) LAS LONGITUDES DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, FUERON CALCULADAS SEGÚN LAS PENDIENTES DE DESARROLLO DEL PERALTE INDICADAS ARRIBA Y RECOMENDADAS POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN, PERO NO MAYORES QUE LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL.
6) LOS MÍNIMOS VALORES DE LONGITUD DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, SON LOS CORRESPONDIENTES A LA DISTANCIA RECORRIDA EN 2 SEGUNDOS, A LA VELOCIDAD DE DISEÑO
7) LAS LÍNEAS GRUESAN MUESTRAN EL MÁXIMO RADIO PARA USO DE ESPIRAL DE TRANSICIÓN (AASHTO 2004, pp. 167).

* A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS AND STREETS. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS

Ing. EDWIN RAÚL BARRIOS AMBROSY, JULIO 2011

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2004.

Figura 41: *Detalle de estaciones para curvas*

Elemento	Tipo	Radio (m)	Angulo Central (Ì")	Longitud de Curva (m)	Tangente T (m)	Ordenada Media M (m)	Externa E (m)	Longitud de Cuerda (m)	Rumbo de Cuerda
Curva 1	Circular Izquierda	600	42° 47' 56.7214"	448.191	235.132	41.365	44.428	437.843	S 63Â° 17' 25.6964" W
Curva 2	Circular Derecha	2600	26° 22' 27.3255"	1196.826	609.208	68.562	70.418	1186.287	S 55Â° 04' 40.9985" W

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 42: *Detalle de estaciones para curvas*

Elemento	Tipo	Longitud (m)	Rumbo
Tangente 1	Recta	355.938	S 41° 53' 27.3357" W
Tangente 2	Recta	57.171	S 68° 15' 54.6613" W

No. de Punto	Norte	Este	Elev.	Desc.
3034	1420851.93	540480.54	149.22	BM1
3035	1420869.58	540594.72	145.76	BM2
3036	1420987.8	540770.95	140.41	BM3
3037	1421049.68	540935.43	136.13	BM4
3038	1421246.17	541159.41	132.65	BM5
3039	1421381.5	541376.59	131.67	BM6
3040	1421619.4	541595.5	129.26	GPS1
3041	1421846.18	541778.14	126.36	GPS2
3042	1421995.28	541998.66	124.56	BM7
3043	1421995.28	542205.97	128.27	BM8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: *Resumen de las variables más representativas.*

Año	PIB (Millones de C$ a precio constante)	Consumo Combustible (miles de barriles)	TPDA ECD 2610	TPDA EMC 1802	Población
2008	129,160.5	4,858.8	0	3,897	5,668,876
2009	124,907.7	4,935.2	0	3,624	5,742,310
2010	130,416.3	5,143.1	0	2,982	5,815,524
2011	138,654.2	5,388.0	0	3,107	5,996,619
2012	147,661.4	5,615.8	0	4,241	6,071,045
2013	154,936.8	5,788.2	0		6,134,270
2014	162,351.3	6,127.1	0	6,447	6,198,154
2015	170,131.6	6,813.7	0		6,262,703
2016	177,894.9	7,287.5	0	5,608	6,327,927
2017	186,133.6	7,596.4	0		6,393,824
2018	179,873.3	7,060.3	0		6,460,411
2019	174,662.6	7,267.1	0		6,527,691
2020	170,756.2	7,210.1	0	3,320	6,595,674
2021	188,607.7	8,072.6	428		6,664,364
2022	195,303.8	8,077.5	0		6,733,763
2023	203,951.4	8,984.1	453		6,803,886
2024	211,268.8	8,897.4			6,874,748

Fuente: Registro histórico de variables. Fuente: ((BCN), 2025, pág. 10), ((BCN), 2025, pág. 36), ((MTI), Anuario de Aforos de Tráfico Año 2022, 2023, pág. 132), ((MTI), Anuario de Aforos de Tráfico Año 2022, 2023, pág. 90), (INIDE I. N., 2025, pág. 30)

Tabla 10: *Aplicación de logaritmo neperiano.*

Año	Ln PIB	Ln Combustible	Ln TPDA ECD 1104	Ln TPDA EMC 401	Ln poblacion
2008	11.769	8.489		8.268	15.551
2009	11.735	8.504		8.195	15.563
2010	11.778	8.545		8.000	15.576
2011	11.840	8.592		8.041	15.607
2012	11.903	8.633		8.353	15.619
2013	11.951	8.664			15.629
2014	11.998	8.720		8.771	15.640
2015	12.044	8.827			15.650
2016	12.089	8.894		8.632	15.660
2017	12.134	8.935			15.671
2018	12.100	8.862			15.681
2019	12.071	8.891			15.692
2020	12.048	8.883			15.702
2021	12.147	8.996	6.06		15.712
2022	12.182	8.997			15.723
2023	12.226	9.103	6.12		
2024	12.261	9.094			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11:*Periodo de diseño.*

Tipo de Carrera	Período de Diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales Suburbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbana	10 - 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002. Capítulo 7, Pág.3

Tabla 12: *Proyección del tránsito normal.*

Clasificación MTI 2022		C1	C2	C2	C3	C4	C4	C5	C5	C6	C8	C9	C15	
Año	No	Vehículos Livianos				Vehículo de Pasajeros		Vehículos de Carga					Otros	Total
		Motos	Autos	Jeep	Camioneta	Microbús	Bus	C2 Liviano	C2 > 5ton	C3	TxSx 4	TxSx 5		
2026	0	232	58	18	103	3	7	15	24	63	0	1	15	539
2027	1	238	60	18	106	3	7	15	25	65	0	1	15	553
2028	2	245	61	19	109	3	7	16	25	66	0	1	16	568
2029	3	252	63	20	112	3	8	16	26	68	0	1	16	585
2030	4	258	65	20	115	3	8	17	27	70	0	1	17	601
2031	5	266	66	21	118	3	8	17	27	72	0	1	17	616
2032	6	273	68	21	121	4	8	18	28	74	0	1	18	634
2033	7	280	70	22	124	4	8	18	29	76	0	1	18	650
2034	8	288	72	22	128	4	9	19	30	78	0	1	19	670
2035	9	296	74	23	131	4	9	19	31	80	0	1	19	687
2036	10	304	76	24	135	4	9	20	31	83	0	1	20	707
2037	11	312	78	24	139	4	9	20	32	85	0	1	20	724
2038	12	321	80	25	142	4	10	21	33	87	0	1	21	745
2039	13	330	82	26	146	4	10	21	34	90	0	1	21	765
2040	14	339	85	26	150	4	10	22	35	92	0	1	22	786
2041	15	348	87	27	155	5	11	23	36	95	0	2	23	812
2042	16	358	89	28	159	5	11	23	37	97	0	2	23	832
2043	17	367	92	29	163	5	11	24	38	100	0	2	24	855
2044	18	377	94	29	168	5	11	24	39	102	0	2	24	875
2045	19	388	97	30	172	5	12	25	40	105	0	2	25	901
2046	20	398	100	31	177	5	12	26	41	108	0	2	26	926

Nota: Tasa de crecimiento 2.74%. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13: *Proyección del Transito Generado.*

Clasificación MTI 2022		C1	C2	C2	C3	C4	C4	C5	C5	C 6	C8	C9	C15	
Año	No	Vehiculos Livianos				Vehiculo de Pasajeros		Vehiculos de Carga					Otros	Total
		Motos	Autos	Jeep	Camioneta	Micro bus	Bus	C2 Liviano	C2 > 5ton	C 3	TxSx 4	TxSx 5		
2026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2027	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2028	2	12	3	1	5	0	0	1	1	3	0	0	1	27
2029	3	13	3	1	6	0	0	1	1	3	0	0	1	29
2030	4	13	3	1	6	0	0	1	1	4	0	0	1	30
2031	5	13	3	1	6	0	0	1	1	4	0	0	1	30
2032	6	14	3	1	6	0	0	1	1	4	0	0	1	31
2033	7	14	4	1	6	0	0	1	1	4	0	0	1	32
2034	8	14	4	1	6	0	0	1	2	4	0	0	1	33
2035	9	15	4	1	7	0	0	1	2	4	0	0	1	35
2036	10	15	4	1	7	0	0	1	2	4	0	0	1	35
2037	11	16	4	1	7	0	0	1	2	4	0	0	1	36
2038	12	16	4	1	7	0	1	1	2	4	0	0	1	37
2039	13	17	4	1	7	0	1	1	2	5	0	0	1	39
2040	14	17	4	1	8	0	1	1	2	5	0	0	1	40
2041	15	17	4	1	8	0	1	1	2	5	0	0	1	40
2042	16	18	4	1	8	0	1	1	2	5	0	0	1	41
2043	17	18	5	1	8	0	1	1	2	5	0	0	1	42
2044	18	19	5	1	8	0	1	1	2	5	0	0	1	43
2045	19	19	5	2	9	0	1	1	2	5	0	0	1	45
2046	20	20	5	2	9	0	1	1	2	5	0	0	1	46

Nota: Crecimiento vehicular del 5%, a partir del segundo año proyectado. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14: *Factor de distribución por carril.*

Condiciones	FC
1 Carril por dirección	1
2 Carriles por dirección	0.8-1
3 Carriles por dirección	0.6-0.8
4 Carriles por dirección	0.5-0.75

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002. Capítulo 3, Pág.29.

Tabla 15 : *Factor de distribución direccional.*

Número de carriles en ambas direcciones.	FD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002. Capítulo 3, Pág.29.

Tabla 16: *Tránsito de diseño a 20 años.*

Tipo de Vehículo	Vehículo	Transito Actual	Factor de Crecimiento (FC)	Factor Direccional (FD)	Factor Carril (fc)	Tránsito de Diseño
Vehículos de Pasajeros	Auto	58	9184.2988	0.5	1	266344.66
		58	9184.2988	0.5	1	266344.66
	Jeep	18	9184.2988	0.5	1	82658.689
		18	9184.2988	0.5	1	82658.689
	Camioneta	103	9184.2988	0.5	1	472991.38
		103	9184.2988	0.5	1	472991.38
	Microbús	3	9184.2988	0.5	1	13776.448
		3	9184.2988	0.5	1	13776.448
	Bus	7	9184.2988	0.5	1	32145.045
		7	9184.2988	0.5	1	32145.045
Vehículos de Carga	C2 livian	15	9184.2988	0.5	1	68882.241
		15	9184.2988	0.5	1	68882.241
	C2 > 5 ton	24	9184.2988	0.5	1	110211.58
		25	9184.2988	0.5	1	114803.73
	C3	63	9184.2988	0.5	1	289305.41
		65	9184.2988	0.5	1	298489.71
	TxSx 5	1	9184.2988	0.5	1	4592.1494
		1	9184.2988	0.5	1	4592.1494

Nota: Estimación del Tránsito de Diseño para futuros uso en diseño de pavimento. Fuente: Elaboración Propia.