Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

“DISEÑO GEOMÉTRICO DE UN TRAMO DE CARRETERA DE 4.2 KM ENTRE LAS COMUNIDADES EL JOCOTE Y SANTA ROSA DE LIMA, MUNICIPIO DE SAN ISIDRO, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ”

Proyecto de Graduación para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Karen Daniela Angulo Ortega
Carnet: 2008-23799

Br. Alfredo Nicolas Borge Palacios
Carnet: 2005-21218

Br. Javier Alexander Pineda Leiva
Carnet: 2005-20582

Tutor:

Msc. Ing. José Antonio Hernández Hernández

21 de abril de 2026
Managua, Nicaragua

Managua 20 de abril del 2026

M.Sc. Marcela Carolina Galán Gaitán
Directora de área de conocimiento de arquitectura y construcción
Su Despacho

Estimada M.Sc. Galán:

Reciba un fraterno saludo de mi parte.

A través de la presente me dirijo a usted para comunicarles que he revisado el proyecto de graduación titulado: **"Diseño geométrico de un tramo de carretera de 4.2 km entre las comunidades El Jocote y Santa Rosa de Lima, municipio de San Isidro, departamento de Estelí."** elaborado por los bachilleres: Karen Daniela Angulo Ortega, Alfredo Nicolas Borge Palacios, Javier Alexander Pineda Leiva; ha concluido satisfactoriamente y doy mi aprobación para su presentación y defensa ante el tribunal examinador para cumplir con el reglamento académico vigente.

Sin más a que hacer referencia, en espera programación, me despido deseándole éxito en sus labores.

Atentamente,

_____

M.Sc. Ing. José Antonio Hernández H.

Tutor

CC: Archivo.

Contenido

1 INTRODUCCION 1
2 ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL 2
2.1 Antecedentes y estado actual del tema 2
2.2 Referentes académicos 3
2.3 Marco jurídico, normativo y principios de ingeniería. 3
2.3.3 Normas y Estándares de Referencia 3
3 OBJETIVOS 6
3.1 Objetivo General 6
3.2 Objetivos Específicos 6
4 DESCRIPCION DEL PROYECTO 7
5 FUNDAMENTOS TECNICOS 9
5.1 Estudio topográfico. 9
5.1.1 Planimetría 9
5.1.2 Altimetría 9
5.1.3 Altiplanimetria 9
5.1.4 Sistemas de referencia de medición 10
5.1.5 Instrumentos utilizados en el levantamiento topográficos. 10
5.2 Estudio de tránsito. 10
5.2.1 Aforo vehicular 11
5.2.2 Clasificación Vehicular 11
5.2.3 Volúmenes de tránsito promedio diarios 13
5.2.4 Dependencia de Estaciones. 13
5.2.5 Factores de ajuste 13
5.2.6 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) 14
5.3 Diseño Geométrico. 15
5.3.1 Clasificación funcional 15
5.3.2 Velocidad de diseño 15
5.3.3 Vehículo de diseño 16
5.3.4 Distancia de visibilidad de parada 16
5.3.5 Alineamiento horizontal 17

5.3.8 Radio mínimo 18
5.3.9 Peralte 18
6 METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACION 19
6.1 Estudio de topográfico. 19
6.2 Estudio de tránsito 20
6.3 Estudio de geométrico. 20
7 RESULTADOS 21
7.1 Macro localización y micro localización. 21
7.2 ESTUDIO TOPOGRAFICO 22
7.2.1 Puntos geodésicos como puntos de control para el levantamiento. 23
7.2.2 Línea de puntos auxiliares para el levantamiento topográfico. 24
7.3. ESTUDIO DE TRANSITO 28
7.3.1 Recopilación de datos 28
7.3.2 Determinación del tránsito promedio diario anual. 29
7.3.3 Selección de los factores de ajuste 31
7.3.4 Determinación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA) 32
7.4 DISEÑO GEOMETRICO 33
7.4.1 Clasificación funcional. 33
7.4.2 Vehículo de diseño 35
7.4.3 Velocidad de diseño 37
7.4.4 Distancia de visibilidad de parada 37
7.4.5 Distancia de visibilidad de rebase 39
7.4.6 Tasas de peralte 40
7.4.7 Factor de fricción lateral (f) 40
7.4.8 Radio mínimo 41
7.4.9 Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral 43
7.4.10 Longitudes de transición 44
7.4.11 Sobreancho en curvas 46
7.4.12 Curvas circulares simples 48
7.4.13 Alineamiento vertical 50
7.4.14 Sección transversal 56
7.4.15 Aplicación del software AutoCAD Civil 3D 2021 61

8 CONCLUCIONES 74
9 RECOMEMDACIONES. 75
10 REFERENCIAS 76
11 ANEXOS. I

1 INTRODUCCION

El diseño geométrico de carreteras es fundamental para garantizar la seguridad, comodidad y sostenibilidad del tránsito, un buen diseño geométrico influye directamente en la calidad de vida, el progreso y las oportunidades que se puedan una comunidad o país, ya que una buena vía se promueva el desarrollo económico, cultural y social, permite la adecuada disposición espacial de la carretera, adaptándose a las características del territorio y optimizando la movilidad de persona y mercancía, asegura accesibilidad segura minimizando el riego de accidente. La calidad de las carreteras que posee un país, una ciudad o pueblo, influyen directamente en la calidad de vida y las oportunidades que se puedan crear a los ciudadanos, ya que una buena vía hace que se promueva el desarrollo económico, cultural y social.

EL trabajo pretende desarrollar el diseño geométrico que conecte las comunidades del Jocote y Santa Rosa de Lima con una longitud de 4.2 km, ubicado en el municipio de San Isidro, departamento de Estelí, este es un tramo que en los últimos años ha requerido mejoras para el desarrollo de las comunidades que beneficie directamente a la población.

Parala realización del diseño geométrico y el cual garantice la funcionalidad y buenas condiciones de esta vía en estudio se realizarán estudios topográficos del sitio que proporcionara los datos necesarios para la determinación de las características de relieve, un estudio de tránsito para determinación de los volúmenes de tránsito y variables de diseño, aplicación de las normas de diseño con el Manual Centroamericano SIECA y el uso del programa civil 3d como herramienta de diseño.

2 ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL

2.1 Antecedentes y estado actual del tema

La Red Vial al cierre del año 2023, cuenta con 5,289 kilómetros de carreteras pavimentadas en buen estado, lo que significa el 763% de crecimiento con respecto a la situación existente en el 2007. También, ha construido, ampliado y modernizado 4,676 kilómetros de nuevas carreteras, el 88% de la Red Vial actual, esto significa la que todas estas calles se han realizado el diseño geométrico para garantizar una buena funcionalidad de la vía.

El gobierno a través de ministerio de transporte e infraestructura ha realizado un esfuerzo significativo para con la construcción de calles en Nicaragua. En 2025, el MTI ha superado las mil calles construidas, con un total acumulado de mil 915 calles nuevas y 2,370 kilómetros de caminos mejorados. Estas obras han beneficiado a miles de familias, mejorando la transitabilidad urbana, la seguridad vial y el acceso a servicios básicos. El MTI continúa trabajando en la construcción de más calles y caminos para garantizar conectividad y mejorar la calidad de vida de los nicaragüenses.

En la actualidad el porcentaje de calle con diseño geométrico ha seguido con su crecimiento constante entre ellos las construcciones de calles y vías principales de Managua y otros departamentos.

A nivel regional, el enfoque del diseño vial se orienta hacia la provisión de un sistema de transporte seguro y eficiente, que equilibre las necesidades de movilidad y seguridad con las restricciones físicas y naturales del entorno.

Un elemento crucial en el diseño vial actual es la incorporación de la Gestión Integral de Riesgos y Seguridad Vial. Este enfoque busca atenuar y disminuir los potenciales impactos causados por fenómenos naturales (como huracanes, deslizamientos o sismos) o antrópicos. La elección de la ruta es considerada la responsabilidad más importante del diseñador para evitar fallas costosas en etapas posteriores.

2.2 Referentes académicos

La Universidad Nacional de Ingeniería y específicamente la carrera de ingeniería ha desarrollado trabajos monográficos relacionado al diseño geométrico y diseño de pavimento elaborado por los estudiantes que egresan y presenta su trabajo de graduación y al mismo tiempo contribuyen al desarrollo del país proporcionando los estudios requeridos para ambos diseños.

Los trabajos monográficos pueden encontrarse en la Biblioteca de la Universidad, al mismo tiempo también son proporcionados en la página oficial de SETEC.

2.3 Marco jurídico, normativo y principios de ingeniería.

Los proyectos de diseño de geométricos son regulados por:

2.3.1 Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI): Es la institución encargada de la infraestructura vial, generando publicaciones clave como la *Red Vial de Nicaragua* (2017) y el *Anuario de Aforos de Tráfico* (2018). El MTI también emite las *Especificaciones Generales de Construcción de Caminos, Calles y Puentes, NIC 2018*.

2.3.2 Ley de Derecho de Vía: La Ley de Derecho de Vía de Nicaragua, Decreto No. 46 de 10 de septiembre de 1956, 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.

2.3.3 Normas y Estándares de Referencia

Las normas y estándares son fundamentales para asegurar que el diseño sea consistente, seguro y eficiente.

2.3.4 Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial (SIECA 3ª. Edición, 2011):

◦ Esta es la normativa regional primaria para el diseño geométrico. Es esencial para definir los alineamientos horizontal y vertical de la vía.

◦ El manual incorpora el tema de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial para asegurar y mejorar el diseño de la infraestructura vial en Centroamérica.

◦ Define criterios clave de diseño, como la clasificación funcional, el cálculo de la Velocidad de Diseño, y los parámetros geométricos necesarios (radio mínimo, peralte, distancia de visibilidad). Por ejemplo, para una carretera colectora rural con terreno ondulado, la velocidad de diseño puede ser de 60 km/h.

◦ También aborda el diseño de la Sección Transversal, especificando que el ancho de carril deseable para las carreteras de la red regional es de 3.6 metros.

2.3.5 A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (AASHTO 2004):

◦ Este manual estadounidense es la referencia internacional complementaria utilizada en el diseño de carreteras en Nicaragua y la región centroamericana.

◦ 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):

◦ 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.

2.3.6 Principios Ingenieriles Aplicables

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

Herramientas Tecnológicas: La implementación práctica de estos principios se facilita con el uso de programas CAD comerciales, como el software AutoCAD Civil 3D. Este software se recomienda para trabajos de diseño geométrico debido a su modelo de ingeniería que agiliza la finalización de proyectos viales.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Realizar el diseño geométrico de un tramo de carretera de 4.2 km entre las comunidades el Jocote y Santa Rosa de Lima, municipio de San Isidro, departamento de Estelí.

3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar un estudio topográfico por el método de perfil y sección transversal que permita el cálculo del relieve del terreno y las características físicas del terreno.
- ✓ Ejecutar un aforo vehicular aplicando la metodología del MTI, para la determinación de los volúmenes de tránsito y datos de diseño geométrico.
- ✓ Desarrollar el diseño geométrico del tramo aplicando las Normas Centroamericanas de Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011) y el software Civil 3D.

4 DESCRIPCION DEL PROYECTO

El diseño geométrico es un proyecto de carácter técnico**,** enfocado en la planificación y definición de la geometría de una vía**.**

El proyecto comprende el diseño geométrico de un tramo de carretera de 4.20 km de longitud que conectará las comunidades El Jocote y Santa Rosa de Lima en el municipio de San Isidro del departamento de Estelí.

La infraestructura vial que incluye calles de suelo natural y algunas con tratamientos básicos, pero por las características topográficas se hace necesario realizar el diseño geométrico del proyecto; tiene como punto de inicio la comunidad el Jocete con coordenadas UTM Este 586092.10 y Norte 1422167.14. y la comunidad Santa Rosa de Lima con coordenada UTM Este 586459.09 y N 1426191.89.

Para el diseño se ha considerado las condiciones topográficas del terreno, el volumen y tipo de tránsito proyectado, así como los criterios técnicos establecidos en la normativa vial vigente, con el objetivo de garantizar condiciones adecuadas de seguridad, comodidad y eficiencia para los usuarios.

Se utilizará el programa Civil 3D para el procesamiento de la información y el diseño geométrico utilizando las normas de diseño SIECA 2011.

Su principal actividad económica que es la agricultura con un 70% del área total sembrada dedicada al cultivo de arroz, la comercialización de este producto se realiza a nivel nacional e internacional lo cual lo convierte como prioridad para la exportación siendo un punto de interés para la industria agropecuaria y economía local.

4.1 Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal está conformado por una combinación de tramos rectos, curvas circulares y curvas de transición, diseñadas de acuerdo con la

velocidad de diseño establecida. Los radios de curvatura, longitudes de espiral y sobreanchos cumplen con los valores mínimos normativos, permitiendo una conducción segura y continua. Se ha previsto el peralte correspondiente en las curvas para contrarrestar la fuerza centrífuga y mejorar la estabilidad de los vehículos.

4.2 Alineamiento vertical

El alineamiento vertical está compuesto por pendientes longitudinales uniformes, enlazadas mediante curvas verticales cóncavas y convexas, las cuales aseguran distancias de visibilidad adecuadas para parada y adelantamiento. Las pendientes máximas han sido controladas para facilitar la operación vehicular, especialmente para vehículos pesados, y para mejorar el drenaje superficial de la vía.

5 FUNDAMENTOS TECNICOS

5.1 Estudio topográfico.

La topografía estudia el conjunto de procedimientos para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre, por medio de medidas según los tres elementos del espacio: dos distancias y una elevación o una distancia, una elevación y una dirección. Para distancias y elevaciones se emplean unidades de longitud (en sistema métrico decimal) y para direcciones se emplean unidades de arco (grados sexagesimales).

La topografía es una de las artes más importantes y antiguas se practique el hombre y que los tiempos más antiguos ha sido necesario marcar límite y dividir terrenos, además juega un papel muy importante en muchas ramas de la ingeniería, se requiere levantamientos topográficos antes durante y después de la planeación y construcción de carreteras.

5.1.1 Planimetría

Representación horizontal de los datos de un terreno que tiene por objeto determinar las dimensiones de este. Se estudian los procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin importar sus elevaciones. Dicho de otra manera, estamos representando el terreno visto desde arriba o de planta.

5.1.2 Altimetría

Tiene como objeto principal determinar la diferencia de alturas entre puntos situados en el terreno.

5.1.3 Altiplanimetria

Combinación de las anteriores por lo que se puede realizar un trabajo mediante planimetría y otro por altimetría y después fusionamos ambas.

5.1.4 Sistemas de referencia de medición.

Los sistemas de referencia permiten definir de forma precisa y consistente la posición de los puntos medidos en un levantamiento topográfico. Son la base para que los datos sean comparables, repetibles y representables en planos y mapas.

Para que las mediciones sean coherentes, se utilizan:

- Sistema de coordenadas planas (X, Y).
- Sistema de coordenadas altimétricas (Z o cota).
- Datum y proyecciones cartográficas (ej. UTM).

5.1.5 Instrumentos utilizados en el levantamiento topográficos.

Los más utilizados son:

- Cinta métrica
- Brújula
- Nivel automático
- Teodolito
- Estación total
- GPS / GNSS
- Jalones, miras y prismas

5.2 Estudio de tránsito.

Ingeniería de tránsito se define como 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. (Rafael Cal y Mayor R, 2018, pág. 33)

Uno de los elementos primario para el diseño de las carreteras es el volumen del tránsito promedio diario (TPD), que se define como el volumen total de vehículos

que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo determinado.

5.2.1 Aforo vehicular

En ingeniería de tránsito, la medición básica más importante es el conteo o aforo ya sea de vehículos, ciclistas, pasajeros y peatones. Los conteos se realizan para obtener estimaciones de volúmenes. (Rafael Cal y Mayor R, 2018, pág. 180)

5.2.2 Clasificación Vehicular

La hoja de clasificación vehicular utilizada en campo está compuesta por 17 tipos de vehículos, los cuales están desglosados de la siguiente manera:

1. Motocicleta

2. Automóviles

3. Jeep

4. Camioneta

5. Microbús

6. Minibus

7. Bus

8. Liviano de Carga

9. Camión rígido sencillo, 2 ejes

10. Camión rígido sencillo 3 ejes.

11. Camión de Carga Tx-Sx<4

12 camión Combinado Cx-Rx<4

13. Camión de Carga Tx-Sx5

13. Camión Combinado Cx-Rx5

15. Vehículo agrícola (tractor)

16. Vehículo de construcción (niveladora).

17. Otro (remolque halado por un vehículo liviano)

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:

MOTOCICLETAS: Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, con o sin transporte, esta categoría incluye scooter, 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 CARGA: 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 para la clasificación de vehículos especiales, tales como Agrícolas y de Construcción. (Infraestructura, 2020, pág. 26)

5.2.3 Volúmenes de tránsito promedio diarios

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido por el número de días del período

5.2.4 Dependencia de Estaciones.

La dependencia es identificar para una estación de conteo de Corta Duración o Conteo Sumaria cuál es la estación de mayor cobertura correspondiente, partiendo del perfil de variación en el flujo vehicular que presente mayor grado de similitud posible. (Infraestructura, 2020, pág. 9)

5.2.5 Factores de ajuste

Para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en las estaciones de Corta Duración o Conteo Sumaria, se aplicarán los factores correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura. Partiendo de la dependencia de las Estaciones de Corta Duración o Conteo Sumaria. Con esta nueva metodología el sistema de conteo de tráfico, cuenta con factores diferentes para cada cuatrimestre del año, los que son utilizados de conformidad al período de levantamiento de la estación respectiva. (Infraestructura, 2020, pág. 9)

Los factores para el cálculo del TPDA en las estaciones de Corta Duración (ECD) y estaciones Conteo Sumaria (ECS), dependiendo de los días que realice los aforos se utilizan los siguientes:

a. Factor Día: corresponde expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas se obtiene mediante los resultados correspondientes de las estaciones de mayor cobertura de 24 horas siendo la fórmula para calcular:

$$factor\ dia = 1 + \frac{trafico\ nocturno}{trafico\ diurno}$$

El valor de factor día a adoptar por defecto en las estaciones de Mayor Cobertura 1.0 (Infraestructura, 2020, pág. 11)

b. Factor Semana: El Factor para expandir el resultado obtenido para un período corto de tres días de la semana (martes a jueves) a los promedios semanales 7 días (lunes a domingo), siendo la fórmula para calcular:

$$factor\ semana = \frac{(Tlab*5+Tfs*2)}{7*Tlab}$$

Donde:

Tlab: corresponde al tráfico levantado durante la semana lunes a viernes

Tfs: correspondiente al tráfico semana en las estaciones de mayor cobertura por defecto será 1.0 (Infraestructura, 2020, pág. 12)

c. Factor Fin de Semana: Es el Factor para expandir un conteo realizado durante el fin de semana a los 7 días de la semana, siendo la fórmula para calcular

$$factor\ laboral = (\frac{Tlab + 5\ Tfs * 2}{7 * Tfs})$$

d. Factor de Expansión: Es el factor para expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual (TPDA) por tipo de vehículo, el que se obtiene de los conteos realizados en las estaciones de mayor cobertura (Infraestructura, 2020, pág. 12).

$$factor\ expansión = (\frac{TPSer.conteoEMC + TPS\ 2do.conteoEMC + TPS\ 3er.conteoEMC}{3 * TPS\ trabajado})$$

5.2.6 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) es el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición (SIECA, 2004, p. 52).

El procedimiento para el cálculo del TPDA descrito en el Anuario de Aforos de Tráfico (MTI, 2021) se fundamenta en la aplicación de los Factores de Ajuste de la Estación de Mayor Cobertura (EMC) correspondiente.

A continuación, se presenta la ecuación general para calcular el TPDA:

$$TPDA = TPD * FD * FS * FE$$

Ec-1. Tomada de Anuario de Tráfico (MTI, 2021)

Dónde:

TPD: Tráfico Promedio Diario (promedio de los conteos diarios)

FD: Factor Día

FS: Factor Semana

FE: Factor Expansión

5.3 Diseño Geométrico.

Cárdenas (2013) define el diseño geométrico de carretas como el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la carretera queda geométricamente definida por el trazado de su eje en planta o alineamiento horizontal y en perfil o alineamiento vertical (p. 37).

5.3.1 Clasificación funcional

La clasificación funcional es el proceso por el cual las carreteras y calles son agrupadas en clases, o sistemas, de acuerdo a las características de servicio al tráfico que se intente proveer (SIECA, 2011, p. 23).

Nota. Adaptado de *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras* (p. 33), por Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011.

5.3.2 Velocidad de diseño

La Velocidad de diseño o Velocidad directriz, es la velocidad seleccionada para determinar las 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 (SIECA, 2011, p. 55).

Tabla 1: *Velocidad de diseño SIECA 2011*

Clasificación Funcional	Velocidad (KPH)
Autopistas y Carreteras Arteriales Principales en Áreas Rurales	110
Carreteras Colectoras de Carriles Múltiples en Áreas Suburbanas y Rurales	80 – 100
Carreteras Colectoras	30 – 80
Carreteras Vecinales	20 – 60

Nota. Adaptado de *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras* (p. 56), por Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011.

5.3.3 Vehículo de diseño

En el diseño de cualquier obra vial, el diseñador debe considerar el vehículo más grande, que probablemente use la obra con mayor frecuencia, o un vehículo con características especiales que deben tomarse en cuenta en el dimensionamiento de la vía (SIECA, 2011, p. 38).

5.3.4 Distancia de visibilidad de parada

Según SIECA (2011), se define como la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo cuando surge ante él una situación de peligro (p. 75).

“La distancia de parada es la distancia mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo” (SIECA, 2011, p.75).

Tabla 2**.** *Distancia de visibilidad de parada horizontal*

Velocidad (KPH)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Distancia de parada (m)	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250

Nota. Adaptado de *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras* (p. 77), por Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011.

5.3.5 Alineamiento horizontal

Cárdenas (2013) define el alineamiento horizontal como la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial, constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por curvas" (p. 48).

5.3.6 Curvas circulares simples

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales" (Cárdenas, 2013, p.38).

5.3.7 Curvas espirales de transición

La curva espiral de transición es un elemento geométrico utilizado para introducir la curva circular principal, esto a través de su radio de curvatura que decrece desde el infinito en la tangente hasta alcanzar el radio de la curva circular. Aunque el uso de curvas en espiral puede llegar a mejorar la apariencia del trazado, tanto AASHTO (2011), como SIECA (2011), coinciden en que su aporte a la seguridad no es esencial.

"No hay evidencia definitiva de que las curvas de transición sean esenciales para la operación segura de la calzada y, como resultado, muchos organismos no las utilizan" (AASHTO, 2011, p. 205).

5.3.8 Radio mínimo

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

El radio mínimo puede ser determinado por medio de la siguiente ecuación:

$$R_{mín} = \frac{V^2}{127(e_{máx} + f_{máx})}$$ Ec-2. Tomada de (SIECA, 2011)

Donde:

$R_{mín}$: Radio mínimo de curva, m.

$e_{máx}$: Tasa de sobreelevación máxima, en fracción decimal.

$f_{máx}$: Factor de fricción lateral.

V: Velocidad de diseño, en km/h.

5.3.9 Peralte

Al momento en que un vehículo circula en una curva cerrada y con determinada velocidad se hace necesaria la aplicación de una sobreelevación o peralte que le permita contrarrestar la fuerza centrífuga (Cárdenas, 2013, p. 225).

El uso de curvas con radios más grandes que el mínimo permite que el peralte, la fricción lateral, o ambas, tengan valores inferiores a sus máximos respectivos (AASHTO, 2011, p. 165).

Se consideran aquí las siguientes tasas: (1) tasa máxima de 0.10 en áreas rurales montañosas, siempre que no exista nieve o hielo, también 0.12 puede utilizarse en algunos casos. (2) generalmente, 0.08 es reconocido como valor máximo razonable (3) 0.06 en área suburbana y (4) 0.04 en áreas urbanas. El peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad.

6 METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACION

6.1 Estudio de topográfico.

La metodología utilizada para el levantamiento topográfico fue el método tradicional que enumera el perfil longitudinal, secciones transversales y detalles, considerando el mejor para carreteras.

Este levantamiento fue realizado en tres etapas iniciando en la comunidad EL JOCOTE y finalizando en la y SANTA ROSA DE LIMA.

1. Se empleó un dispositivo GPS Satelital para determinar dos pares de puntos de referencia de inicio y final del tramo; el equipo se colocó en los puntos y te obtuvo las coordenadas UTM de cada uno de ellos los cuales se utilizarán para realizar ajuste de poligonal abierta.
2. Se realizará el levantamiento de una línea de puntos auxiliares lo cuales se nombrarán BM y formarán un poligonal abierta con los puntos de inicio y final de los GPS de control; posterior se realizará el ajuste de la poligonal.
3. Con las coordenadas ajustas de los puntos auxiliares se procedió a realizar el levantamiento por le método de perfil longitudinal y secciones transversales.

El levantamiento para geo referenciar el punto de inicio, conocido como BM. Para determinar las coordenadas de este punto, seguimos las pautas establecidas en el Manual para la revisión de Estudios Topográficos (MTI). Este manual prescribe el uso de un GPS Manual Navegador, con un período mínimo de estacionamiento de 30 minutos Las coordenadas geodésicas aproximadas resultantes fueron (588971.49, 1319910.7, 523.90).

El alineamiento da comienzo en la estación 0+000 exactamente en la entrada del camino Jocote, se levantaron detalladamente los puntos correspondientes a la línea central, hombros de la vía, derechos de vía con distancias 20, así como detalles de casas, muros, cercos, postes eléctricos, secciones transversales a

cada 20 metros y a distancias más cortas donde el camino lo requiriese, finalizando en la estación 4+200 en Santa Rosa de LIMA.

Para la realización del levantamiento se requiere de equipos y aparatos necesarios los cuales se presentan en la imagen.

6.2 Estudio de tránsito

Esta etapa será de vital importancia para conocer el comportamiento actual del camino en cuanto a su demanda de tránsito vehicular, este estudio se realizará en tres etapas.

Este trabajo de campo se realizará de forma manual estableciendo puntos estratégicos para el estudio, durante tres días (martes, miércoles y jueves), abarcando 12 horas del día, de 6:00 am a 6:00pm. En este proceso se tomará en cuenta la metodología planteada por el MTI, indica que es necesario como mínimo 12 horas de conteo y tres días consecutivos, utilizando formato de conteo vehicular brindado por la Universidad Nacional De Ingeniería.

Posteriormente se procede a procesar la información en un archivo Excel, calculando el tránsito promedio diario y con los factores de ajustes tomados del anuario de vehicular 2020 seleccionando la estación de corta duración similar al aforo y seleccionando la estación de mayor cobertura se determina el TPDA que se utilizara para la clasificación de la vía en estudio de acuerdo al SIECA 2011.

6.3 Estudio de geométrico.

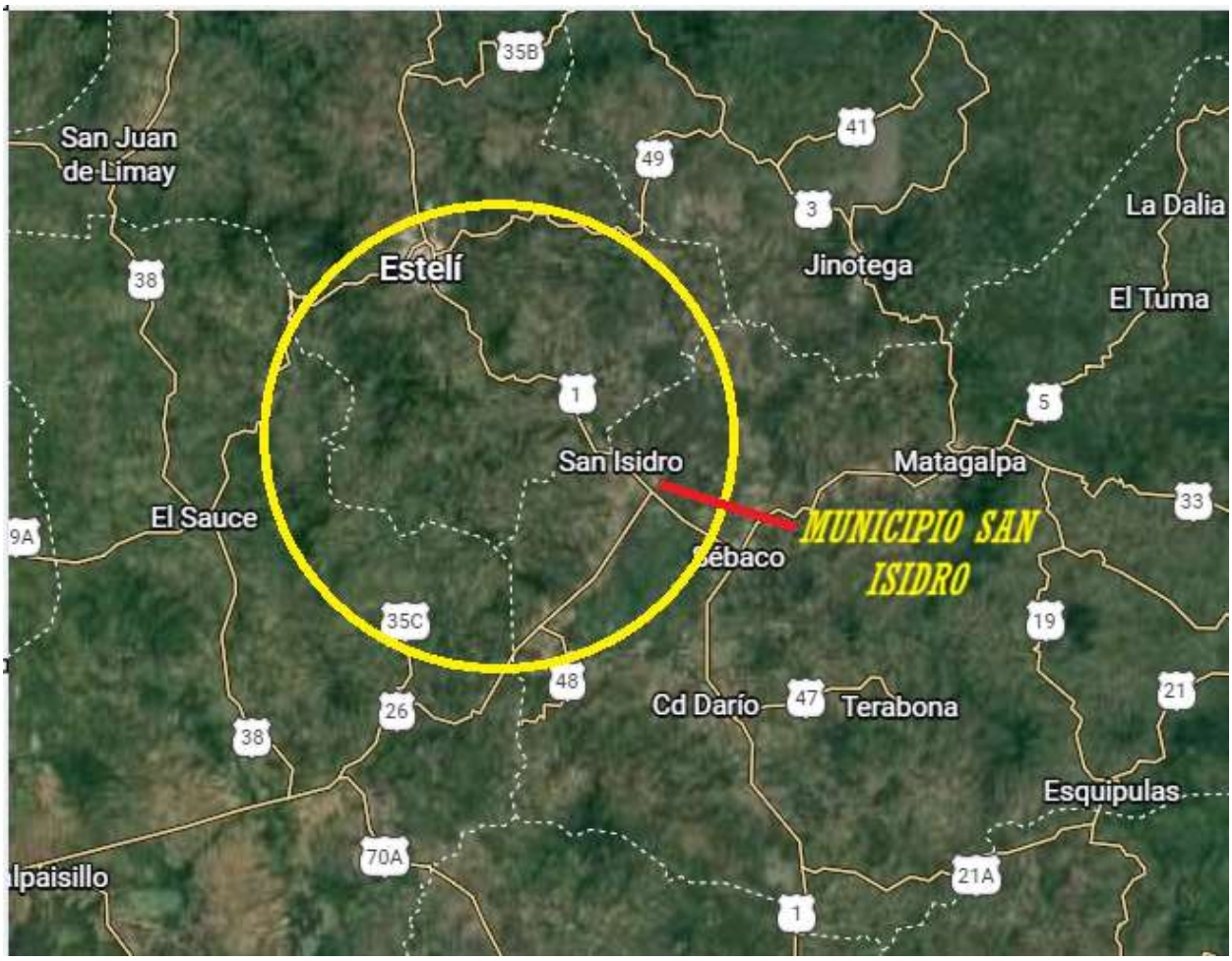
El diseño geométrico se realizará El diseño geométrico se realizará El diseño geométrico se realizará utilizando le manual de diseño SIECA 2011 utilizando los parámetros de diseño seleccionados de acuerdo al tipo de vía y el tipo de terreno, seleccionando el TPDA, el peralte máximo, el coeficiente de fricción longitudinal, radio mínimo, velocidad de diseño, vehículo de diseño entre otros parámetros; todo esto procesado en el software Civil 3D, obteniendo las curvas de diseño horizontal, curvas de diseño vertical y secciones transversales.

7 RESULTADOS

7.1 Macro localización y micro localización.

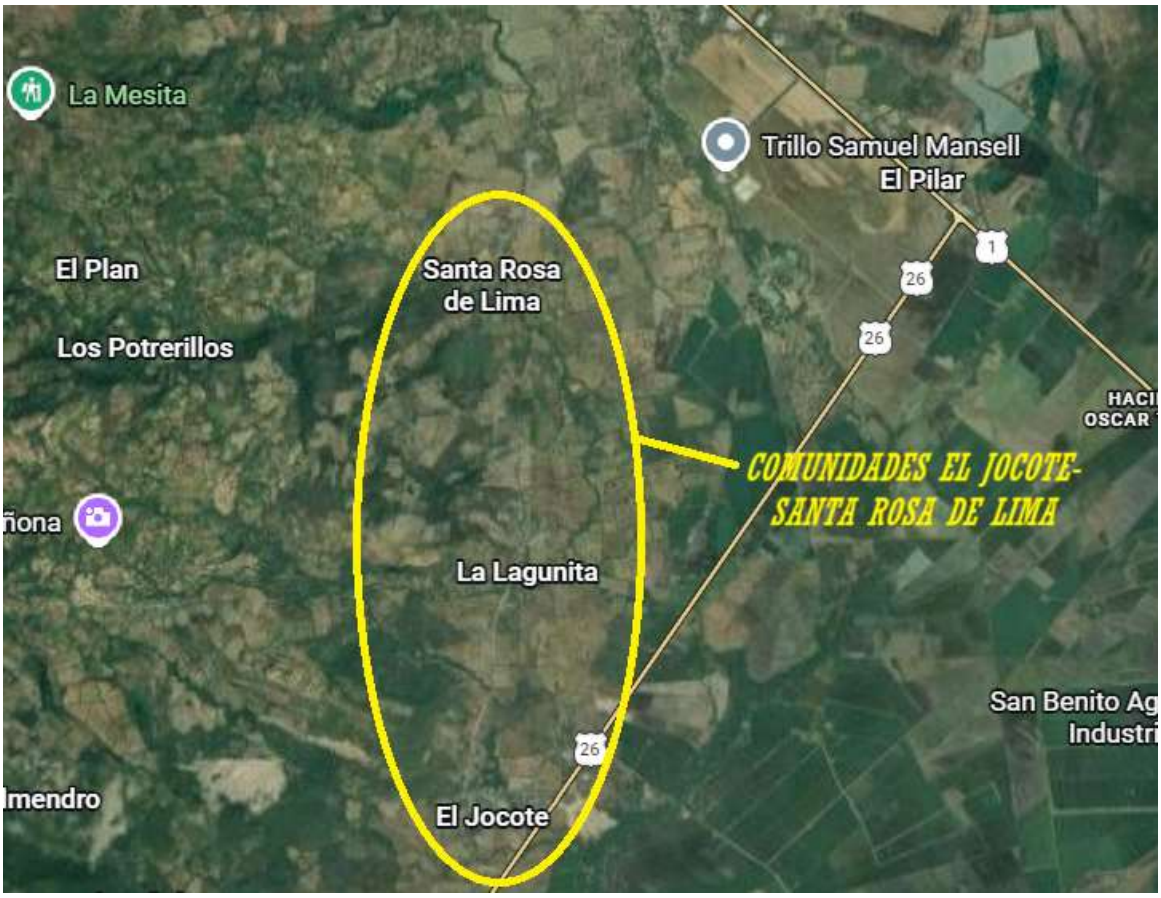
macro localización

Imagen 1: Macro localización.



Fuente**:** Google Maps

Imagen 2: Micro localización



Fuente**:** Google Maps

7.2 ESTUDIO TOPOGRAFICO

La topografía estudia el conjunto de procedimientos para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre, por medio de medidas según los tres elementos del espacio: dos distancias y una elevación o una distancia, una elevación y una dirección. Para distancias y elevaciones se emplean unidades de longitud (en sistema métrico decimal) y para direcciones se emplean unidades de arco (grados sexagesimales). Para distancias y elevaciones se emplean unidades de longitud (en sistema métrico decimal) y para direcciones se emplean unidades de arco (grados sexagesimales).

Imagen 3: Equipo para el levantamiento de topográfico.

Estación total SOKKIA(iM-50series)		Clavos	
Trípode		Pintura en aerosol	
Prisma		Machete	
Bastón		GPS Garmin	
Martillo		Cinta métrica	

7.2.1 Puntos geodésicos como puntos de control para el levantamiento.

Es importante para todo estudio topográfico de una poligonal abierta establecer puntos de control que permitan reducir los errores en el levantamiento para ellos de establecen según el manual del MTI puntos de control que permitan realizar un ajuste, para ellos se establecen puntos de control en el tramo los cuales se hicieron al inicio y final del tramo con los datos que se presenta en la tabla **3** e imagen **4**.

Tabla 3: **Puntos geodésicos para control de poligonal.**

Punto	Coordenadas Norte	Coordenadas Este	Descripción.
1	1422172.460	586086.860	GPS1
2	1422357.170	586116.330	GPS2
3	1426044.420	586442.850	GPS3
4	1426191.110	586453.410	GPS4

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Línea de puntos auxiliares para el levantamiento topográfico.

Establecimiento de los puntos auxiliares de levantamiento (BM)Establecimiento de los puntos auxiliares de levantamiento (BM)Para realizar el levantamiento se debe establecer una línea base del levantamiento para lo cual se establecen un conjunto de puntos conocidos con banco maestro que se toman a partir de los puntos de control GPS y cerrar con los puntos de control final; los puntos de la línea base se presentan en la tabla 4 e imagen 4.

Tabla 4: Puntos geodésicos para control de poligonal.

Punto	Coordenadas Norte	Coordenadas Este	Descripción.
1	1422447.890	586126.200	BM1
2	1422740.750	586174.250	BM2
3	1423105.540	586329.390	BM3
4	1423650.260	586339.680	BM4
5	1424051.090	586505.900	BM5
6	1424583.700	586591.380	BM6

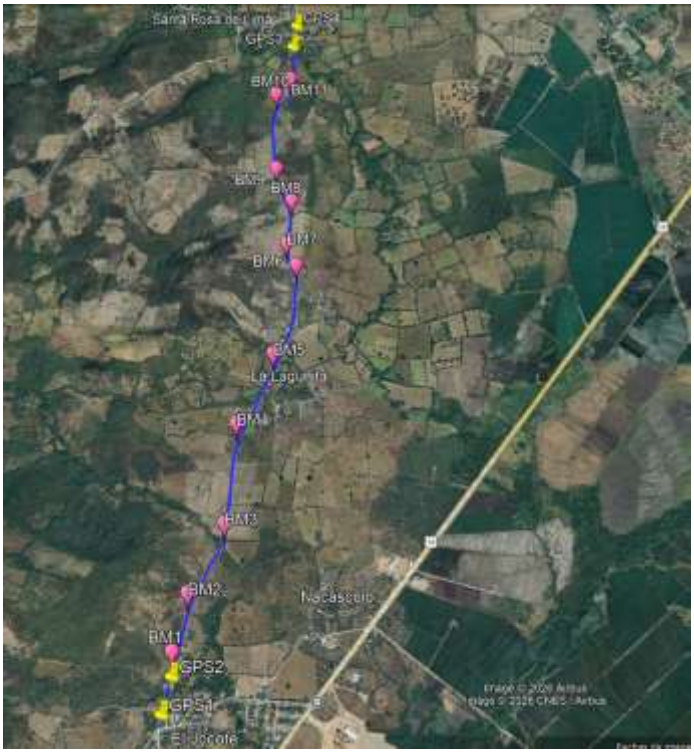
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: Puntos geodésicos para control de poligonal.

Punto	Coordenadas Norte	Coordenadas Este	Descripción.
7	1424715.720	586526.500	BM7
8	1424983.810	586534.160	BM8
9	1425187.100	586429.520	BM9
10	1425673.500	586391.120	BM10
11	1425781.50	586466.620	BM11

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 4: Puntos auxiliares de BM para línea base y puntos control (GPS).



Fuente: Google Map.

7.2.3 Puntos levantados de levantamiento.

Para el levantamiento de los puntos se aplicó el método de perfil y secciones transversales obteniendo los datos de eje central, anchos de hombros y puntos de detalles en la tabla se muestran una muestra de puntos del levantamiento en la tabla 5.

Tabla 5: **Puntos del levantamiento topográfico.**

Punto	Norte	Este	Elevación	Descripción.
1	1422168.950	586099.320	459.500	HD
2	1422169.510	586088.680	459.500	HI
3	1422169.680	586092.190	459.500	LC
4	1422170.900	586085.700	459.558	Cerco
5	1422168.960	5586100.160	459.556	Cerco
6	1422185.100	586096.580	459.689	LC
7	1422184.800	586093.800	459.670	HI
8	1422185.520	586091.420	459.675	Cerco
9	1422184.420	586101.520	459.700	HD
10	1422184.460	586103.660	459.850	Cerco
11	1422204.490	586100.470	460.123	LC
12	1422204.150	586096.490	460.105	HI
13	1422204.390	586094.710	460.075	Cerco

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación del tipo de terreno.

Para el calculo de la pendiente se tomaron elevaciones de puntos sobre la línea central cada 100 metros, las pendientes de muestran en la tabla 6. Con los datos se clasifico el tipo de terreno según el manual centroamericano de normas de diseño según se muestra en la tabla 7

Tabla 6: Cálculo de pendiente.

Estacion	Coordenadas		Elevación	Distancia (m)	Pendiente
0+000	586091.910	1422167.040	460.52	0	
0+100	586106.910	1422261.930	459.85	100	-0.67%
0+200	586112.000	1422361.000	459.20	100	-0.65%
0+250	586115.700	1422414.550	459.00	50	-0.20%
0+350	586137.920	1422508.040	465.85	100	6.85%
0+450	586159.250	1422599.440	465.84	100	-0.01%
0+550	586173.570	1422709.930	466.55	100	0.71%
0+650	586198.610	1422807.640	467.20	100	0.65%
0+750	586235.960	1422906.540	462.95	100	-4.25%
0+850	586276.990	1422995.700	461.89	100	-1.06%
0+950	586318.870	1423086.240	465.00	100	3.11%
1+000	586330.910	1423133.790	465.24	50	0.24%

Fuente: Elaboracion propia.

Tabla 7. Clasificación del terreno.

Tipo de terreno	Rangos de pendiente (%)
Llano o plano	P≤5
Ondulado	5<P≤5
Montañoso	15<P≤30

Fuente: SIECA 2004, Pág. 4-63

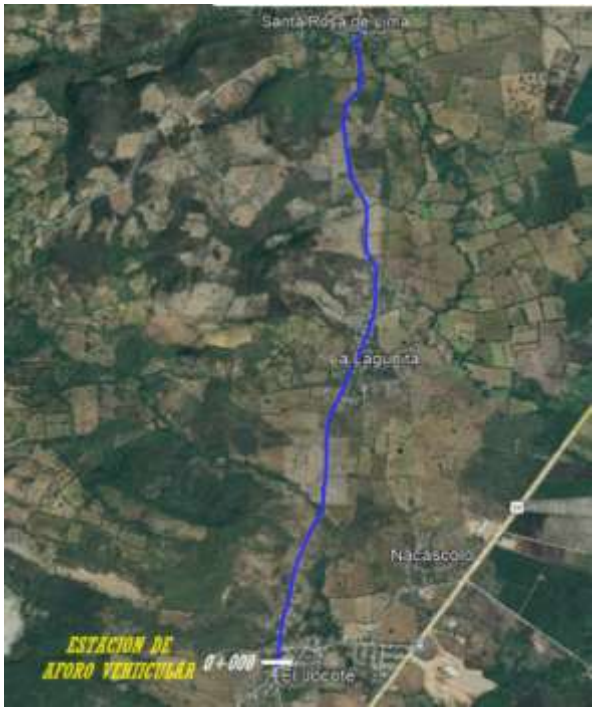
7.3. ESTUDIO DE TRANSITO

El estudio de tránsito se realizó aplicando la metodología del ministerio de transporte e infraestructura (MTI) utilizando el anuario de tráfico vehicular 2020, este consistió en un aforo vehicular durante tres días consecutivos durante 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) partir de martes 13 de enero a jueves 15 de enero, con la finalidad de obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), aplicando la metodología antes expuesta y con ella la clasificación de la via y otros datos de diseño.

7.3.1 Recopilación de datos

El aforo se realizó en un punto donde permita obtener los datos del tráfico que circula en el tramo en estudio y para esto se seleccionó el inicio del tramo ubicada en la comunidad el Jocote y la cual se designó como la estación 0+000 como punto de referencia primordial debido a su función como el inicio acceso a destinos locales **(Ver Figura 5).** (Anuario de aforo de tráfico año 2020, MTI, pág. 9

Imagen 5: Estación de aforo vehicular 0+000.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante el aforo vehicular durante los tres días establecidos por 12 horas diarias en el sitio de estudio.

Resultados de aforo vehicular.

Tabla 8: Resumen de datos de los tres días de aforo vehicular.

Dias	Motocicletas	Automovil	Camionestas	Bus	Liv2.5 Ton	C2	otros	Total
Martes	750	12	70	2	25	35	2	896
Miercoles	700	15	50	2	28	30	2	827
Jueves	680	12	55	2	32	35	1	817
Total de vehiculos	2130	39	175	6	85	100	5	2540
Total	2350				190			2540
TPD	710	13	58	2	28	33	2	847
% Tipologia de vehiculo/12hrs	83.86%	1.54%	6.89%	0.24%	3.35%	3.94%	0.20%	100.00%
Composición	%vehiculos de livianos			%vehiculos de pasajeros	% vehiculos pesados			100.00%
	92.28%			0.24%	7.48%			

Fuente: Elaboración propia.

7.3.2 Determinación del tránsito promedio diario anual.

Los datos de la tabla anterior se utilizan para determinar el TPDA para lo cual se deben seleccionar los factores de ajuste.

Tabla 9: Selección del vector geográfico.

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

Fuente: Anuario de tráfico 2020.

seleccionando primero el vector geográfico correspondiente a la región central norte según la ubicación del tramo en estudio.

Se determina la estación más cerca que corresponda al tramo en estudio para este caso corresponde a la EMC 107 correspondiente a Sabaco-Empalme San Isidro; según la composición de tráfico se selecciona una estación de corta duración dado que el volumen de aforo es mayor a 300 veh./día; con la composición vehicular del aforo vehicular no se encontró un estación con la composición similar de los porcentajes, por lo que se procedió a buscar en el anuario y se encontró con la ECD Jalapa - Teotecacinte - El Porvenir que cumple con la similitud de los porcentajes del aforo; esta (ECD) corresponde a la estación de mayor cobertura 1802.

Tabla 10: Selección de estación de corta duración.

Nº	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	MicBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
197	NIC-29	128	ECD	Jalapa - Teotecacinte - El Porvenir	2020	1711	352	22	262			34	107	42	11		2			1		2	2.546
					2016	667	183	28	186	3	1	31	43	42	2		1			7		33	1.227
					2014	919	194	30	276			31	64	30	3					11		17	1.575
					2010	436	67	43	199	3		25	32	26						96		80	1.007
					2009	379	48	23	154			26	36	25	5		1			31		25	751
					2005	197	81	52	162			28	50	32	6		19			5		2	635
					2002	74		23	118	1		26	20	54	23		1			11		6	358
				EMC:1802																			
				Tasa Crecimiento: 6,74%	2020	1711	352	22	262			34	107	42	11		2			1		2	2.546
						Liv.	2347			Pasaj.	34		Pesado	165								
						92%				1%			6%										

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2020.MTI, Pag 3195.

Estación de Mayor cobertura y estación de conteo sumario correspondiente.

Tabla 11: Selección de estación de corta duración.

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos - Masatepe	NIC-29	2901	ECD	Ocotal - San Fernando
	NIC-29	2902	ECD	San Fernando - Santa Clara
	NIC-29	2903	ECD	Santa Clara - Jalapa
	NIC-29	128	ECD	Jalapa -Teotecacinte - El Porvenir
	NIC-30	2108	ECS	Rosita - Bonanza
	NIC-31	3103	ECS	El Portón - Emp. La Corona
	NIC-31	3102	ECS	Emp. La Corona - Masigue
	NIC-32A	3211	ECS	La Sirena - Emp. El Regadio
	NIC-32A	3205	ECS	Emp. El Regadio - Emp. La Fraternidad
	NIC-32A	3212	ECS	Emp. La Fraternidad - La Ceibita
	NIC-32B	3201	ECD	Somotillo - Santo Tomas del Norte
	NIC-32B	3202	ECS	Santo Tomas del Norte - Cinco Pinos

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2020.MTI, Pag 57.

7.3.3 Selección de los factores de ajuste.

El aforo vehicular se realizó de los días 12 al 14 de enero 2026 lo cual corresponde al I cuatrimestre del año y con la estación de mayor cobertura seleccionada los factores de ajuste se presentan en la tabla12

Tabla 12: Factores de ajustes de EMC

Factores del primer cuatrimestre del año Enero - Abril

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

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

7.3.4 Determinación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA)

Con los volúmenes de tránsito diurno obtenidos mediante el aforo vehicular se determina el TPDA, multiplicando dichos valores por factores de ajuste que se encuentran establecidos en la estación de mayor cobertura seleccionada; 1802 San Marcos – Masatepe.

Para determinar TPDA se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$\mathrm{TPDA} = \mathrm{TP(D)}_{12\mathrm{hrs}} * \mathrm{Fd} * \mathrm{Fs} * \mathrm{Fe} \qquad \text{Ecuación 2}$$

$\mathrm{TP(D)}_{(12\mathrm{hrs})}$= Tránsito promedio diurno (12 horas)

Fd = Factor día.

Fs = Factor semana.

Fe= Factor expansión.

Ejemplo de cálculo para motos.

$$\mathrm{TPDA} = \frac{710 veh}{dia} * 1.34 * 0.95 * \ 1.15$$

$$= 1039\ \mathrm{veh/dia} \qquad \text{Ecuación 2}$$

De los factores establecidos en el Anuario de Aforo de Trafico 2020, se utilizó el factor día para la expansión del conteo de 12 horas a 24 horas, el factor semana para los tres días a siete días y el factor expansión del TPDA. Los resultados del Transito Promedio Diario Anual se muestran en la **tabla 13**.

Tabla 13: Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA)

Descripción	Motocicletas	Automovil	Camioneta	Bus	Liv2.5 Ton	C2	otros	Total
TPD	710	13	58	2	28	33	2	846
Factor dia	1.34	1.29	1.25	1.38	1.15	1.2	1	
Factor semana	0.95	0.96	0.97	0.89	0.91	0.83	0.89	
Factor Expansión	1.15	1.15	1.13	1.16	1.15	1.04	1.88	
TPDA	1039	19	79	3	34	34	3	1,174

7.4 DISEÑO GEOMETRICO

Se llevó a cabo un análisis detallado de la geometría existente, tanto en términos de planimetría como altimetría, así como del comportamiento vehicular, con el fin de establecer los parámetros necesarios para el diseño geométrico del camino. Se buscó alcanzar una geometría uniforme que cumpliera con las Especificaciones Generales del Manual Centroamericano de Normas de Diseño, el cual proporciona directrices para el diseño geométrico en la región.

El diseño abordó diversos aspectos, tales como la alineación horizontal y vertical, secciones transversales, definición de curvas, ubicación y dimensionamiento de carriles, radios de giro, pendientes y peraltes, entre otros, con el objetivo de asegurar la seguridad vial, la comodidad de los usuarios y la eficiencia del tráfico. Al adherirse a las especificaciones del manual, se garantizó que el diseño cumpliera con estándares aceptados, teniendo en cuenta velocidades de diseño, distancia de visibilidad, radios mínimos de curvatura, pendientes máximas y anchos de carril apropiados.

7.4.1 Clasificación funcional.

La clasificación funcional de las carreteras es un proceso mediante el cual se agrupan las carreteras y calles en diferentes categorías o sistemas según las

características de servicio de tráfico que se pretende proporcionar. Este proceso se rige por normas y manuales específicos, como el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras. La clasificación funcional incluye categorías con diferentes criterios de diseño, como el volumen de tráfico esperado, la velocidad de diseño, el tipo de vehículo y la función principal que desempeñara en el sistema de transporte, anchos de carril, radios de curvatura, entre otros aspectos.

Este procedimiento se ha determinado en base a las especificaciones según el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras 2011, para su clasificación de acuerdo a los volúmenes de tránsito diario se determinó un TPDA proyectado de 1,174 Vpd, dicho valor se encuentra entre los rangos establecidos en la **tabla 14** del manual, clasificándola como una colectora menor rural.

Tabla 14: Clasificación funcional de las carreteras.

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
	LOCALURBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 33.

7.4.2 Vehículo de diseño

Debido a las variaciones en las dimensiones de los vehículos que circulan por las carreteras, es necesario examinar y agruparlos en clases similares para el diseño geométrico de las vías. Esto se hace seleccionando un vehículo representativo para cada clase y uso, que tenga dimensiones físicas y radios de giros mínimos, pero mayores que la mayoría de los vehículos de su clase. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.37).

Basándonos en la información proporcionada por el estudio de tránsito, se plantea utilizar un camión de carga C-2 (SU), este es una opción adecuada para determinar los elementos geométricos de la vía, a pesar de representar solo el 3.94% de los vehículos transitables. Es importante tener en cuenta que puede no ser representativo con respecto a la totalidad de los vehículos que transitan, pero si en cuestión de carga y sus características geométricas.

Las dimensiones para cada tipo de vehículo se presentan a continuación.

Tabla 15: Dimensiones de los vehículos de diseño.

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	1.80
Cabezal con Semirremolque	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80	6.60	13.20-13.80

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 38.

Los límites de las trayectorias de giro de los distintos vehículos de diseño, al hacer los giros más cerrados, están establecidos por la trayectoria del saliente frontal y

la trayectoria de la rueda interior trasera. Este giro supone que la rueda frontal exterior sigue el arco circular, definiendo el radio de giro mínimo según como se determine por el mecanismo de manejo del vehículo.

Donde:

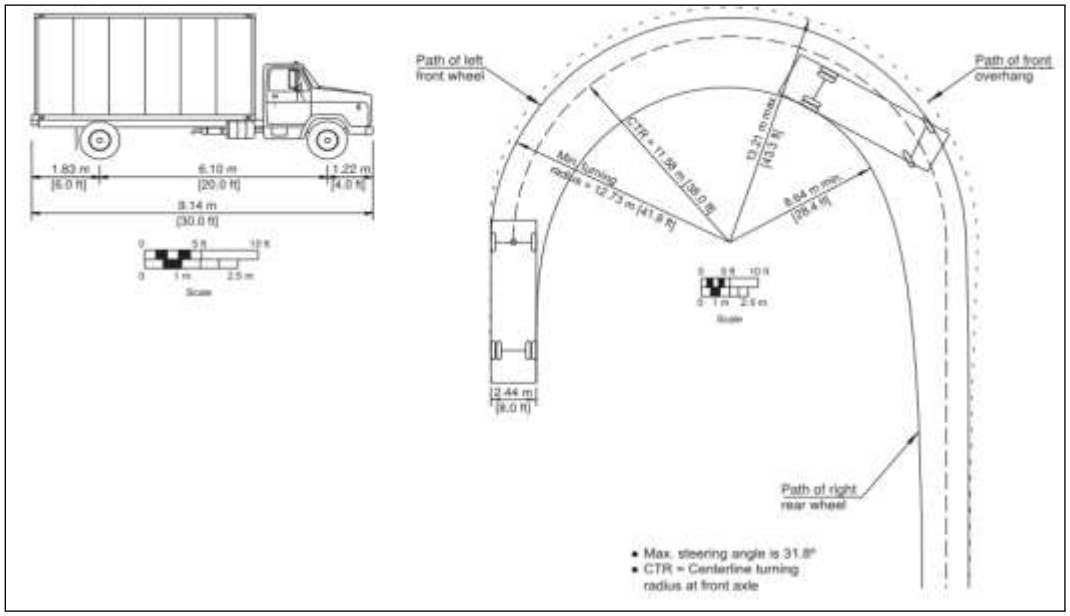
- WB1, WB2: Distancias efectivas entre ejes de los vehículos, o las distancias entre grupos de ejes, comienzan desde el frente y avanzan hacia la parte trasera de cada unidad.
- Voladizo delantero/trasero: es la distancia entre el eje extremo del vehículo y el borde posteriormente mencionados.
- Los radios mínimos de las trayectorias de las ruedas exteriores e interiores y el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, se muestra en la **tabla 16**.

Tabla 16: Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño.

Vehículo de Diseño	Símbolo	Radio de Giro Mínimo de Diseño (m)	Radio en la Línea Central RMG (m)	Radio Interior Mínimo (m)
Vehículo Liviano	P	7.30	6.40	4.40
Camión	**SU**	**12.80**	**11.60**	**8.60**
Bus	BUS-14	13.70	12.40	7.80
Bus Articulado	A-BUS	12.10	10.80	6.50
Cabezal con Semirremolque	WB-15	13.70	12.50	5.20
Cabezal con Semirremolque	WB-19	13.70	12.50	2.40
Cabezal con Semirremolque	WB-20	13.70	12.50	1.30

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 39.

Gráfico 1: Mínima trayectoria de giro para vehículo de diseño SU.



Fuente: Manual A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition". 2011, pag 183.

7.4.3 Velocidad de diseño

Debido a que la vía se clasifica como una colectora menor rural con un TPDA proyectado de **1,174 Vpd** y con las características de un relieve plano se adopta basado en el (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, página 56), donde me especifica que, para carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH, optando por una velocidad de **50 KPH**, esto con el fin de brindar una mayor seguridad para el conductor y el peatón.

7.4.4 Distancia de visibilidad de parada

Es la distancia que un conductor necesita para detener su vehículo por completo cuando se enfrenta a una situación de peligro o detecta un objeto inesperado en su trayectoria. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.75).

Estas distancias se conocen como distancia de percepción-reacción y la distancia de frenado respectivamente y se calculan con la siguiente expresión:

$$d = 0.278Vt + 0.039\frac{v^2}{a} \qquad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, Km/h.

t: Tiempo de percepción-reacción, 2.5 segundos.

a: Tasa de desaceleración, $3.4\ m/s^2$.

Cuando la carretera está en pendiente longitudinal, la ecuación de distancia de visibilidad de parada debe modificarse y calcularse con la siguiente ecuación:

$$d = 0.278Vt + \frac{V^2}{254\left(\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm G\right)} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

G: Es la pendiente en valor absoluto (Grado en porcentaje/100).

El Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, brinda diferentes valores de distancia de velocidad de parada en función de la velocidad de diseño, en la que para este caso es igual a 65 m respecto a la velocidad seleccionada anteriormente de 50 Km/h, **Ver tabla 16**.

Tabla 16: Distancia 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 de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 77.

7.4.5 Distancia de visibilidad de rebase

La distancia de visibilidad de rebase o adelantamiento se refiere a la distancia mínima de visibilidad necesaria para que un conductor pueda realizar de manera segura la maniobra de adelantamiento en una carretera de dos carriles con tránsito en ambas direcciones.

Cuando un conductor desea adelantar a otro vehículo que se desplaza a una velocidad más baja que la velocidad de proyecto, debe asegurarse de contar con una visibilidad adecuada. Esto implica abandonar su carril, adelantar al vehículo que tiene delante y regresar a su carril original sin poner en peligro la seguridad del vehículo adelantado ni la de los vehículos que se desplazan en sentido contrario.

La distancia de visibilidad de rebase es equivalente a 345 m, respecto a la velocidad de diseño de 50 Km/h, **Ver tabla 17**.

Tabla 17: Distancia de visibilidad de adelantamiento.

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad De Adelantamiento
30	200
40	270
50	**345**
60	410
70	485

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 79.

7.4.6 Tasas de peralte

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas, condiciones del terreno, tipo de zona y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte.

Para la vía en estudio se definió a partir de la clasificación funcional del tipo de terreno, donde para una carretera colectora menor rural con terreno ondulado, el peralte máximo es 8%, siendo este el máximo razonable a utilizar según manual SIECA 2011 pagina 86.

7.4.7 Factor de fricción lateral (f)

El coeficiente de fricción “f” se define como la fuerza de fricción dividida entre el componente del peso perpendicular al pavimento y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{f} = \frac{\mathbf{V^2}}{(\mathbf{127} * \mathbf{R})} - \mathbf{e} \qquad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, km/h.

R: Radio de curva, m.

e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

En la **tabla 18**, se presentan los valores del coeficiente de fricción lateral para las distintas velocidades que pueden utilizar en el diseño, es este caso se optó a utilizar un valor de 0.19 en dependencia de la velocidad de diseño (50 KPH) y el peralte máximo (8%).

Tabla 18: Factores de fricción lateral.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%	
		RADIO (m)	
		CALCULADO	RECOMENDADO
20	0.35	7.3	7
30	0.28	19.7	20
40	0.23	40.6	41
50	**0.19**	72.9	73
60	0.17	113.4	113
70	0.15	167.8	168
80	0.14	229.1	229

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 89.

7.4.8 Radio mínimo

Los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la fricción lateral escogida para el diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte so sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.87).

Una vez establecido el máximo factor de peralte o sobreelevación, los radios mínimos de curva horizontal se pueden calcular con la siguiente formula:

$$\text{Rmin} = \frac{\text{V}^2}{127.14(\text{emax} + \text{fmax})} \qquad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

Rmin: Radio mínimo de curva (m).

emax: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

fmax: Factor de fricción lateral.

V: Velocidad de diseño, en KPH.

Sustituyendo los valores de velocidad de diseño, coeficiente de fricción lateral y la tasa de sobreelevación en la ecuación 19, se determina en radio mínimo para el diseño.

$$\text{Rmin} = \frac{50^2}{127.14(0.08 + 0.19)} = 73m$$

El grado de curva o de curvatura, es el ángulo sustentado en el centro de una circulo de radio R por un arco de 100 pies o de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión para el cálculo:

$$\text{G}_{20} = \frac{1145.92}{\text{R}} \qquad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

G20: Grado de curvatura o ángulo en el centro de la curva, para arco de 20 m.

R: Radio mínimo de curva (m).

Tabla 19: Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8% RADIO (m)	
		CALCULADO	RECOMENDADO
20	0.35	7.3	7
30	0.28	19.7	20
40	0.23	40.6	41
50	0.19	**72.9**	**73**
60	0.17	113.4	113
70	0.15	167.8	168
80	0.14	229.1	229

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 89.

7.4.9 Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral

En general, se sugiere que se puede establecer un límite superior en el radio de la curva de modo que solo los radios por debajo de este máximo sean probables obtener beneficios operacionales y de seguridad del uso de curvas de transición en espiral. (A Policy Geometric Designo f Highways and Streets. Cap 3-71.)

En la siguiente tabla se establece un radio máximo de 148 m para el requerimiento de curvas en espirales de transición para una velocidad de 50 km/h.

Tabla 20: Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral.

Metric		U.S.Customary	
Design speed (km/h)	Maximum radius (m)	Design speed (mph)	Maximum radius (ft)
20	24	15	114
30	54	20	203
40	95	25	317
50	**148**	**30**	**456**
60	213	35	620
70	290	40	810
80	379	45	1025

Fuente: A Policy Geometric Designo f Highways and Streets 2011, Cap 3-71, pág. 217.

7.4.10 Longitudes 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, así como las curvas de transición entre tangente y curva circular. La transición del peralte se divide en dos distancias: la Distancia de Bombeo (DB), donde el peralte negativo se convierte en 0%, y la Distancia de Transición (Ls), donde el peralte 0% se convierte en el peralte necesario para la curva. Se busca que esta transición sea imperceptible para el conductor por razones de seguridad y comodidad.

Cuando no se utiliza una curva de transición, se aplica una "transición de tangente a curva", donde la Distancia de Transición se distribuye entre la tangente y la curva circular, con una proporción aceptable para todas las velocidades y anchos rotados. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.92).

La longitud mínima de transición, debe determinarse de:

$$Ls = \frac{(Wn_1) * ed}{\Delta} * (b_w) \qquad \text{Ecuación 21}$$

Donde:
Ls: Mínima longitud de transición del peralte, m.
Δ: Máxima pendiente relativa, porcentaje.
n1: Número de carriles a rotar.
bw: Factor de ajuste por número de carriles rotados.
W: Ancho de un carril de tráfico.
ed: Tasa de peralte de diseño, porcentaje.

La longitud mínima de Transición del Bombeo en la tangente (Db) está determinada por la cantidad de pendiente transversal negativa y la tasa de pendiente a la que se gira hasta el valor 0%. Para obtener un borde suave en la orilla del pavimento, la tasa de pendiente debe ser igual a la tasa de pendiente

relativa utilizada para definir la longitud de transición del peralte y puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$Db = \frac{e_{NC}}{e_d} L_r \qquad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

Db: Distancia de bombeo.

eNC: Pendiente transversal, porcentaje.

ed: Tasa de peralte de diseño, porcentaje.

Lr: Longitud mínima de transición del peralte, m.

La máxima pendiente relativa varía con la velocidad de diseño para proveer longitudes largas en velocidades altas y longitudes cortas en velocidades bajas. Estos valores se muestran en la **tabla 21**, donde para una velocidad de 50 Km/h la máxima pendiente relativa es de 0.65%.

Tabla 21: Máximas pendientes relativas de la orilla del pavimento.

Velocidad de Diseño KPH	Máxima Pendiente Relativa (%)
20	0.80
30	0.75
40	0.70
50	**0.65**
60	0.60
70	0.55
80	0.47

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.94.

El ancho de la calzada que gira es igual al ancho de los carriles que giran. Cuando el número de carriles que rotan es mayor que uno, es conveniente el uso de un factor de ajuste para evitar una excesiva longitud de transición y desniveles muy altos entre el borde exterior y el eje de giro. En la **tabla 22**, se muestran los factores de ajuste recomendada por el Manual “A Policy On Geometric Design of

Highways and Streets, 6th Edition". 2011" y en la que se seleccionó un valor de "bw" igual a uno, ya que solo un carril presenta rotación.

Tabla 22: Factores de ajuste por el número de carriles rotados.

Numeros de carriles rotados n1	Factor de ajuste bw	Incremento relativo de la longitud respecto a un carril rotado (=n1 bw)
1	**1.00**	**1.00**
1.5	0.83	1.25
2	0.75	1.50
2.5	0.70	1.75
3	0.67	2.00
3.5	0.64	2.25

Fuente: Manual A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition". 2011, pag 208.

7.4.11 Sobreancho en curvas

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación.

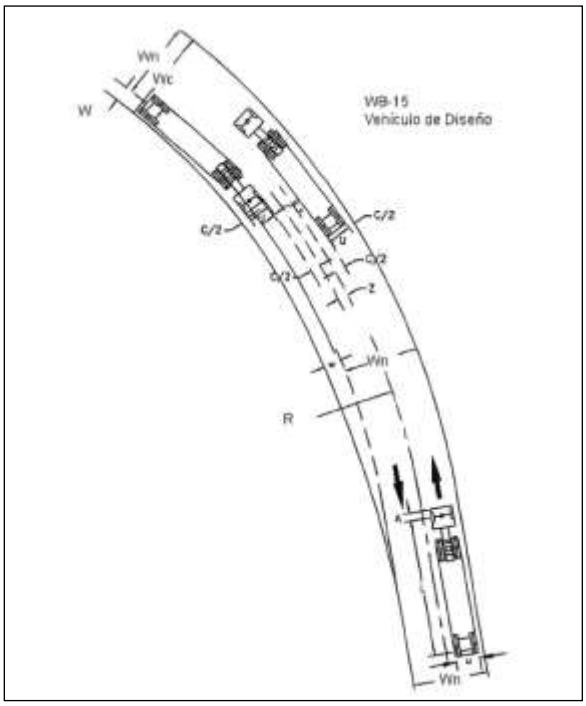
En carreteras con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.108).

El sobreancho necesario en las curvas es la diferencia entre el ancho requerido en una curva Wc y el utilizado en una recta, Wn. El ancho requerido para la circulación en curva tiene varios componentes relacionados con la operación de los vehículos sobre las curvas, a saber:

- ✓ Ancho de huella de cada vehículo que se encuentra o pasa

- ✓ Separación lateral por vehículo, C
- ✓ Ancho de la saliente frontal del vehículo que ocupa el carril o carriles interiores, FA
- ✓ Ancho a tener en cuenta por dificultades durante la conducción en curvas, Z.

Gráfico 2: Componente del sobreancho en curvas de carretera.



Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 109.

La fórmula general para calcular el ancho necesario en curva, WC es:

$$Wc = N(U' + C) + (N - 1)F_A + Z \qquad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

N: Número de carriles.

U: Ancho de la huella del vehículo de diseño (Exterior a exterior de llantas), m.

C: Claro lateral, m.

FA: Ancho de saliente frontal en el carril interior, m.

Z: Ancho extra recomendable, m.

Ancho de huella del vehículo en curva (U).

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum Li^2} \qquad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

U: Ancho de la huella del vehículo en curva, m.

R: Radio de la curva o giro, m.

Li: Distancia entre ruedas del vehículo de diseño, entre ejes consecutivos, m.

C: Claro lateral (asumido de 0.6, 0.75 y 0.9 m).

Ancho de saliente frontal en el carril inferior (FA).

$$FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R \qquad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

A: Saliente frontal del eje del vehículo, en el carril interior, m.

R: Radio de la curva, m.

L: Distancia entre ruedas de la unidad o del remolque, m.

Ancho recomendable (Z).

$$Z = 0.1\left(\frac{V}{\sqrt{R}}\right) \qquad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, Km/h

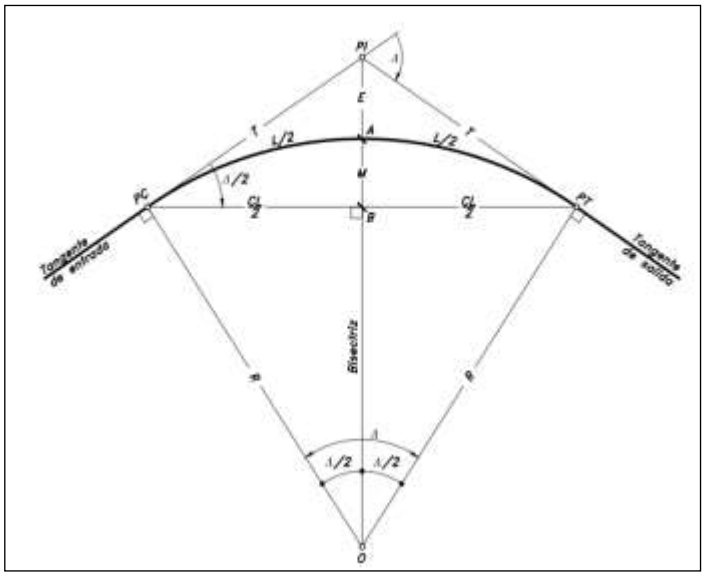
R: Radio de la curva, m.

7.4.12 Curvas circulares simples

Las curvas horizontales simples son arcos de circunferencia de un solo radio que une 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. (Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales, Pagina 38).

Gráfico 3: Elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple.



Fuente: Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales, Pagina 39.

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.

O: Centro de la curva circular.

Δ: Angulo 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-CM: 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 B.

Ecuaciones de una curva circular simple.

$$ST = R * \tan\frac{\Delta}{2} \qquad \text{Ecuación } 8$$

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} \qquad \text{Ecuación } 9$$

$$CM = 2 * R * \text{sen}\frac{\Delta}{2} \qquad \text{Ecuación } 10$$

$$E = \frac{R}{\cos\frac{\Delta}{2}} - R \qquad \text{Ecuación } 11$$

$$M = R * \left(1 - \cos\frac{\Delta}{2}\right) \qquad \text{Ecuación } 12$$

Estacionamientos de una curva circular simple.

$$\text{Est PC} = \text{Est PI} - ST \qquad \text{Ecuación } 13$$

$$\text{Est PI} = \text{Est PC} + Lc/2 \qquad \text{Ecuación } 14$$

$$\text{Est PT} = \text{Est PC} + Lc \qquad \text{Ecuación } 15$$

7.4.13 Alineamiento vertical

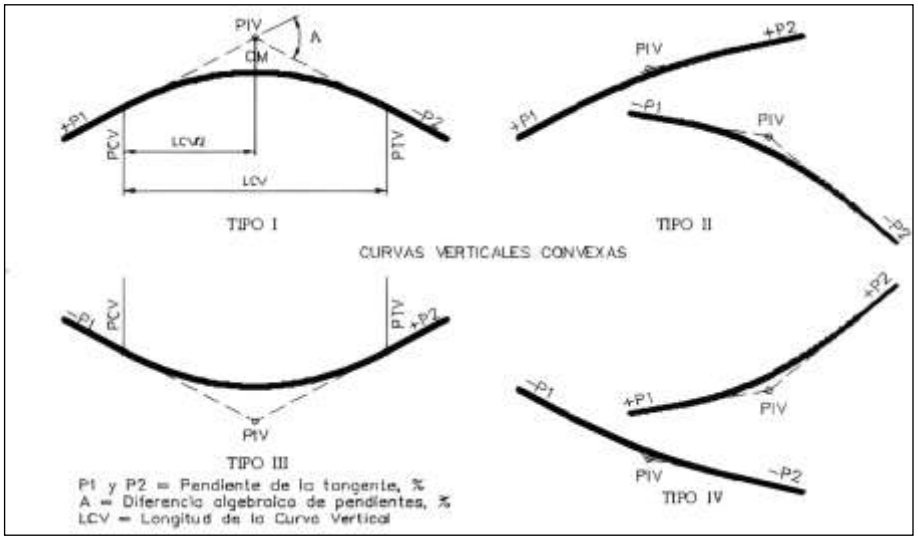
El alineamiento vertical está compuesto por tangentes y curvas, caracterizándose las tangentes por su longitud y su pendiente y se limitan por dos curvas verticales sucesivas. La longitud de la tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente; la pendiente de la tangente es la relación entre la diferencia de nivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma, expresándola generalmente en porcentaje. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.115).

- **Curvas verticales**

En términos generales existen curvas verticales en cresta o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo con la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.123).

En el gráfico 4 se muestran las diferentes tipologías de curvas utilizadas en el diseño del alineamiento vertical.

Gráfico 4: Tipos de curvas verticales



Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 123.

- **Curvas verticales en cresta**

Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta que se basan en el criterio de distancias de visibilidad (S), generalmente son satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia.

Las ecuaciones básicas para calcular la longitud de una curva vertical en cresta, en términos de la diferencia algebraica de pendientes y distancia de visibilidad son:

Cuando S es menor que L:

$$L = \frac{AS^2}{100\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}\right)^2} \qquad \text{Ecuación 16}$$

Cuando S es mayor que L:

$$L = \frac{200\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right)^2}{A} \qquad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

L: Longitud de la curva vertical, m.

S: Distancia de visibilidad, m.

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje.

h1: Altura del ojo sobre la superficie del camino, m.

h2: Altura del objeto sobre la superficie, m.

Tomando en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad dada, se puede expresar la longitud de la curva vertical en función de su constante K, expresándose entonces L = KA, o de otra forma, K = L/A. En la **tabla 23** y **24** se muestran los valores calculados para K.

K: Longitud (m), por porcentaje de A.

Tabla 23: 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

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 125.

Tabla 24: Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de adelantamiento.

Velocidad de diseño KPH	Distancia de visibilidad de adelantamiento (m)	Tasa de curvatura vertical K
		Para diseño
30	200	46
40	270	84
50	**345**	**138**
60	410	195
70	485	272
80	540	338

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 125.

- **Curvas verticales cóncavas o en columpio**

Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas cóncavas o en columpio:

- ✓ El primero se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo.

- ✓ La siguiente toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
- ✓ El tercero considera requerimientos de drenaje.
- ✓ El último se basa en consideraciones estéticas.

Se presentan dos casos a considerar en el primer criterio, dependiendo si la distancia iluminada por los faros del vehículo es mayor o no que la longitud de la curva. Cuando la longitud de curva, L, es menor que la distancia de visibilidad iluminada, S, se utiliza la fórmula que sigue:

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3.5S} \qquad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

L: Longitud de curva vertical en columpio, m.

S: Distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehículo, m.

A: Diferencia algebraica entre pendientes de la curva, %.

Cuando S es mayor que L, la fórmula utilizada es la siguiente:

$$L = 2S - \left(\frac{120 + 3.5S}{A}\right) \qquad \text{Ecuación 19}$$

De igual manera en que fueron calculados los valores de diseño de las curvas en cresta, también es conveniente expresar los controles de diseño de las curvas en columpio en términos de K para todos los valores de A. Con estas bases se ha preparado la **tabla 25** que se muestra a continuación.

Tabla 25: Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio.

Velocidad de diseño KPH	Distancia de visibilidad de parada (m)	Tasa de curvatura vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	**65**	**12.2**	**13**
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 127.

- **Pendientes de control para el diseño**

Las pendientes en las carreteras afectan la operación de los vehículos. En automóviles, las pendientes de hasta 5% no afectan significativamente la velocidad, pero a medida que la pendiente aumenta, la velocidad disminuye gradualmente en subida y aumenta ligeramente en bajada. En vehículos pesados, las pendientes tienen una influencia considerable en la velocidad, especialmente en carreteras con alto tráfico.

La relación peso/potencia de los vehículos determina su capacidad para recorrer pendientes específicas. Las restricciones de velocidad están principalmente relacionadas con la seguridad y la comodidad del conductor. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.117).

El valor de las pendientes máximas de acuerdo al tipo de terreno se muestra en la **tabla 26** la cual me indica que, para un tipo de terreno ondulado y una velocidad de 50 km, el valor de la máxima pendiente es del 7 %.

Tabla 26: Pendiente máxima para carretera colectoras rurales.

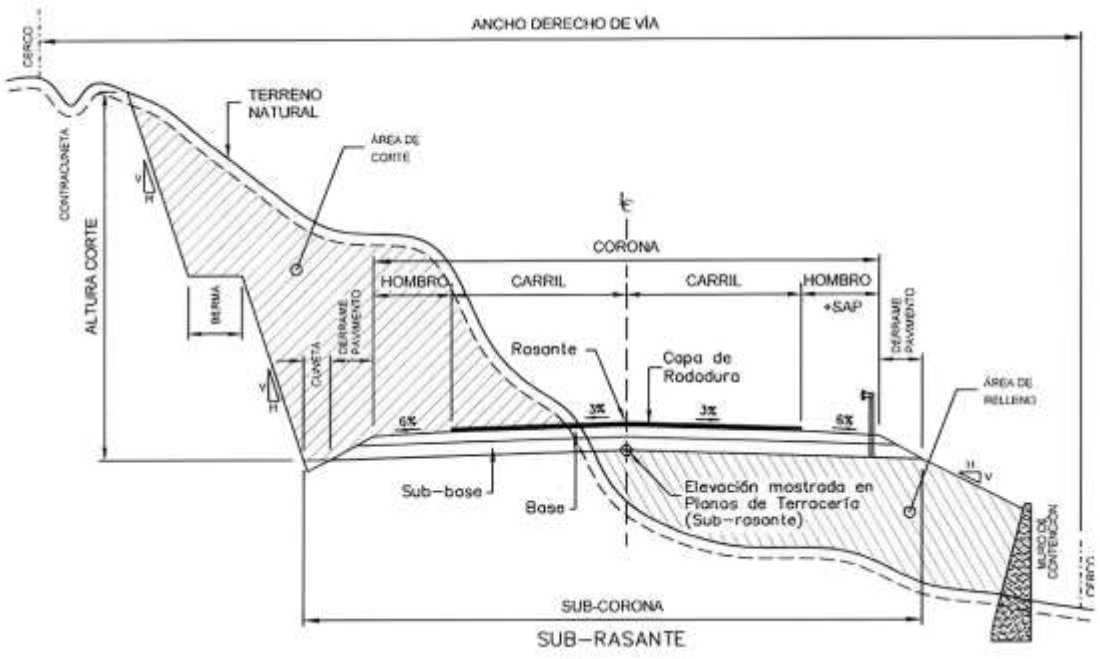
Tipo de terreno	Máxima pendiente (%) para la velocidad de diseño especifica, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	7	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	10	10	**9**	8	8	7	7	6
Montañoso	12	11	10	10	10	9	9	8

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 119.

7.4.14 Sección transversal

La sección transversal de una carretera o calle, muestra sus características geométricas, según un plano normal vertical a la superficie que contiene el eje de la carretera o calle. Dicha sección transversal varia de un punto a otro de la carretera ya que resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones depende de las funciones que cumplen y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.137).

Gráfico 5: Sección transversal



Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 138.

- **Plataforma o corona**

Se le llama “plataforma” o “corona” a la superficie visible de una carretera o calle que queda comprendida entre las aristas del relleno y/o las interiores de las cunetas. El ancho de la corona comprende la rasante, la pendiente transversal, el ancho de la calzada, los hombros, el sobre ancho del hombro en relleno, las aceras o banquetas y la mediana, en caso de que ésta última forme parte de la sección transversal.

Como la plataforma o corona es la superficie visible, también puede contener algunos elementos que se consideran auxiliares, como bordillos, defensas o barreras de contención, señalización e iluminación. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.137).

- **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.

- **Pendiente transversal**

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. El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura, en la tabla 27 se presentan los rangos recomendables. utilizar un bombeo del 3%.

Tabla 27: Selección de bombeo según superficie.

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

FUENTE: AASHTO-2004, pp. 310

- **Hombros o espaldones**

Los hombros o espaldones son las áreas de la carretera contigua a los carriles de circulación y que, en conjunto con estos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes y que tiene su justificado en:

- ✓ La necesidad de proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido.
- ✓ Para llenar la importante función de dar estabilidad estructural a los carriles de circulación vehicular por medio del confinamiento.

- ✓ Para permitir los movimientos peatonales en ciertas áreas donde la demanda lo justifique.
- ✓ Para proporcionar el espacio lateral libre suficiente para la instalación de las señales verticales de tránsito.

En la **tabla 28** se muestran los valores mínimos para una colectora menor rural y que se encuentran comprendidos entre 1.2 y 1.60 m. sin embargo a causa de las limitaciones por el derecho de vía quedan obsoleto estos valores y se opta por un diseño sin la presencia de hombros.

Tabla 28: Anchos mínimos de hombros y aceras.

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros		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**	-	Intermedio	-	**1.2 - 1.6**	1.0 -1.2
CS	Colectoras Menor	-	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 de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 142.

- **Número de carriles**

Los carriles se refieren a las divisiones o unidad de medida transversal, en una carretera o autopista que se utilizan para dirigir y separar el flujo de vehículos permitiendo mantener el tráfico organizado y seguro.

Con la clasificación funcional de la vía se establece el número de carriles a utilizar en el diseño de la carretera. (ver tabla 13).

- **Ancho de carril**

En cuanto al ancho de carril, se usan generalmente valores entre 2.75 m a 3.60 m, con un ancho de carril predominante de 3.60 m en la mayoría de carreteras principales. El ancho de 3.60 m provee la separación deseable entre vehículos comerciales viajando en direcciones opuestas en carreteras bidireccionales cuando se espera que circulen altos volúmenes de tráfico y especialmente altos porcentajes de vehículos comerciales.

En este Manual, se considera que el ancho de carril de 3.60 m es el deseable en carreteras rurales y urbanas, porque una carretera de dos carriles con 7.20 m de ancho de calzada ofrece las condiciones óptimas para la circulación, reconociéndose que pueden utilizarse anchos menores. Cuando haya restricciones por el derecho de vía, el carril de 3.30 m se considerará recomen dable; en tanto que el carril de 3.0 m de ancho es aceptable únicamente en el caso de calles o carreteras diseñadas para baja velocidad y bajo volumen de tránsito. (SIECA, 2011, pág. 141)

El ancho de carril seleccionado es de 3.00m para ambos sentidos, ofreciendo la garantía de la seguridad y comodidad suficiente para los vehículos que transitan en la vía.

- **Derecho de vía**

Faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario. Su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva.

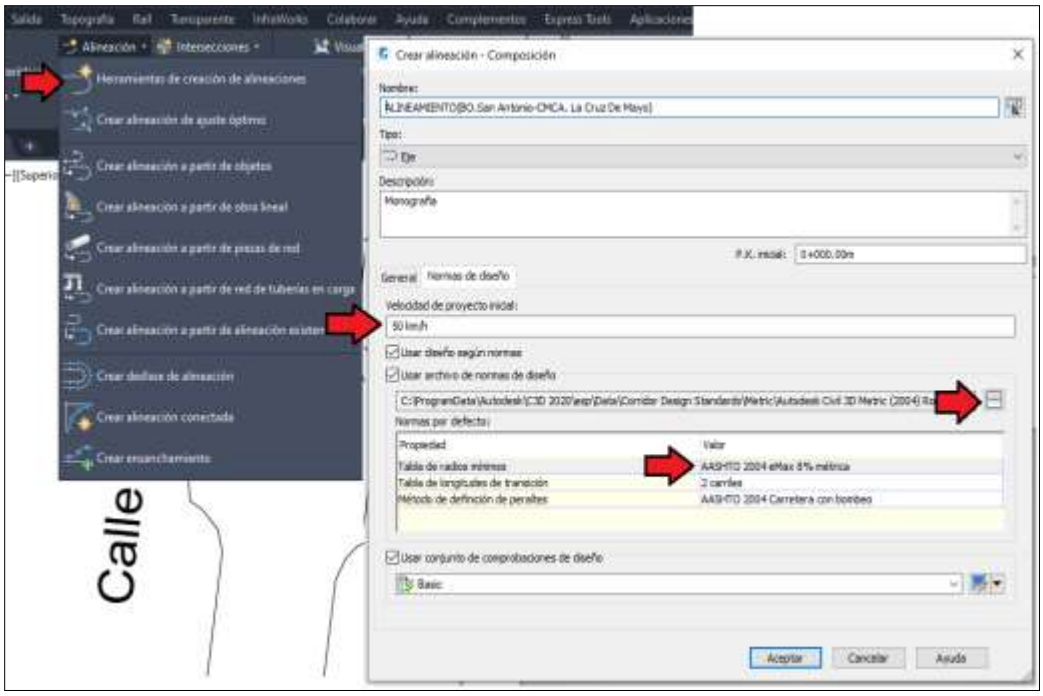
7.4.15 Aplicación del software AutoCAD Civil 3D 2021

Este proceso incluyó un exhaustivo análisis de las condiciones topográficas, la aplicación de los estándares y normativas pertinentes, así como la optimización de los parámetros de diseño para garantizar la seguridad y eficiencia del diseño.

- **Creación del alineamiento horizontal**

➢ Para acceder a la herramienta de dibujo de alineamientos, nos dirigimos a la pestaña **"Alineación"** en la cinta de opciones, donde se despliega una lista de funciones. Seleccionamos la opción **"Herramienta de creación de Alineamiento"**. Las propiedades asignadas al tramo de alineamiento incluyen una velocidad de 50 km/h y una sobreelevación del 8.00%, establecidas conforme al criterio de diseño definido en las Normas de Diseño SIECA 2011.

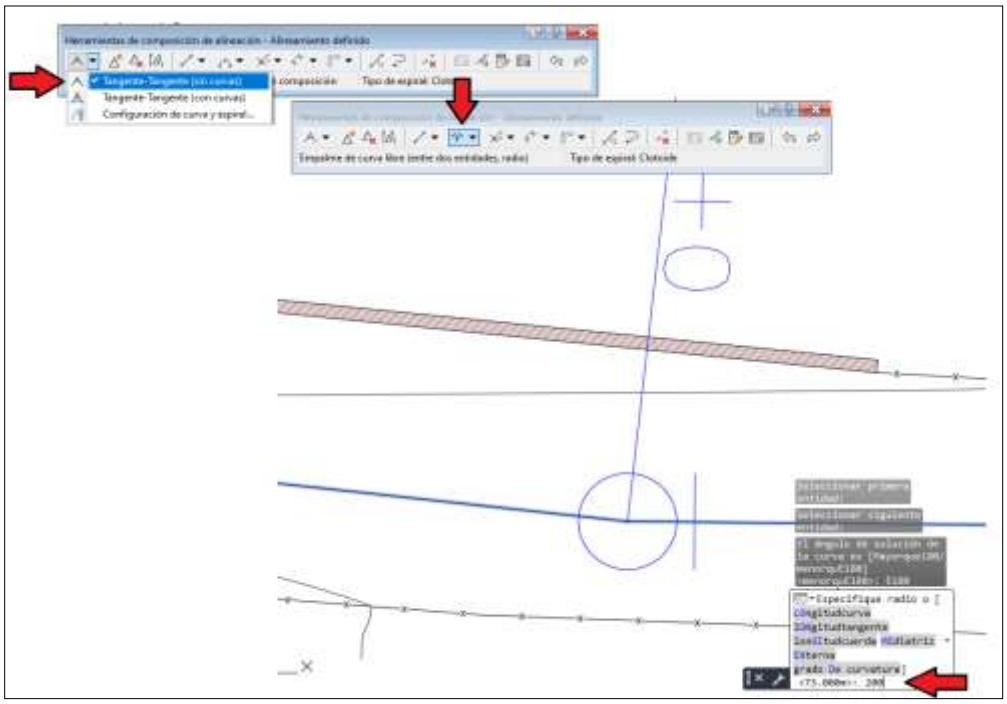
Imagen 6: Alineamiento horizontal (Configuración preliminar).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019

- Seleccionar la herramienta **“Tangente sin curvas”** y generar curvas a través de la opción **“Empalme de curva libre, entre dos entidades”**, previamente se debe de establecer un radio de curva mayor al mínimo recomendado según la norma SIECA 2011 (mayor a 73 m).

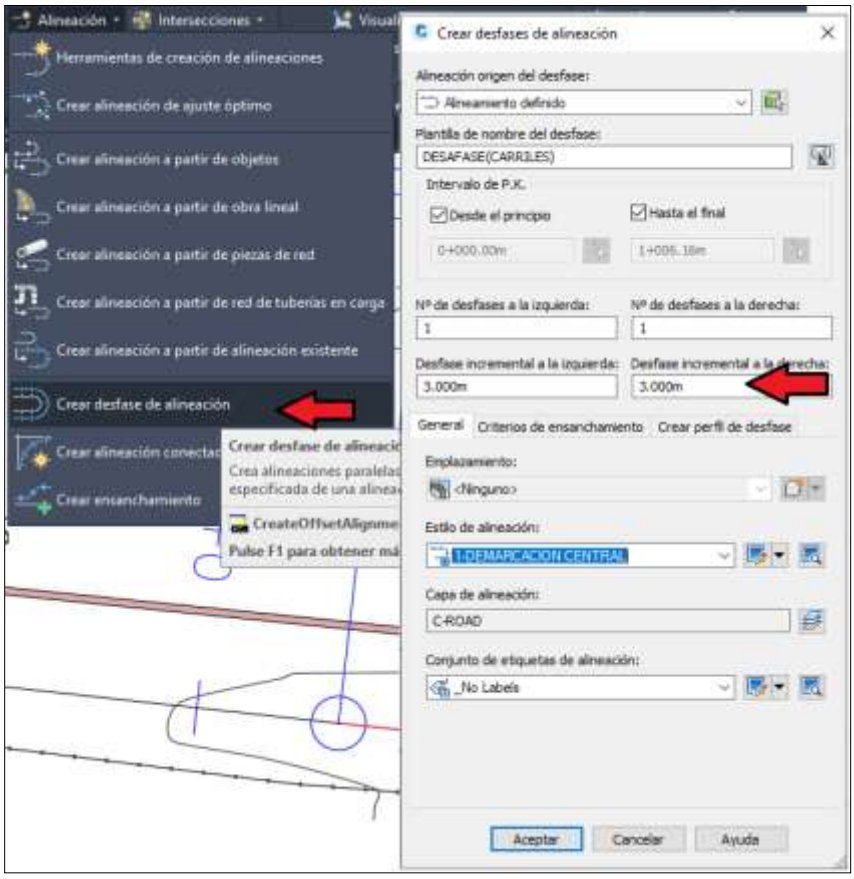
Imagen 7: Alineamiento (creación de curvas horizontales).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

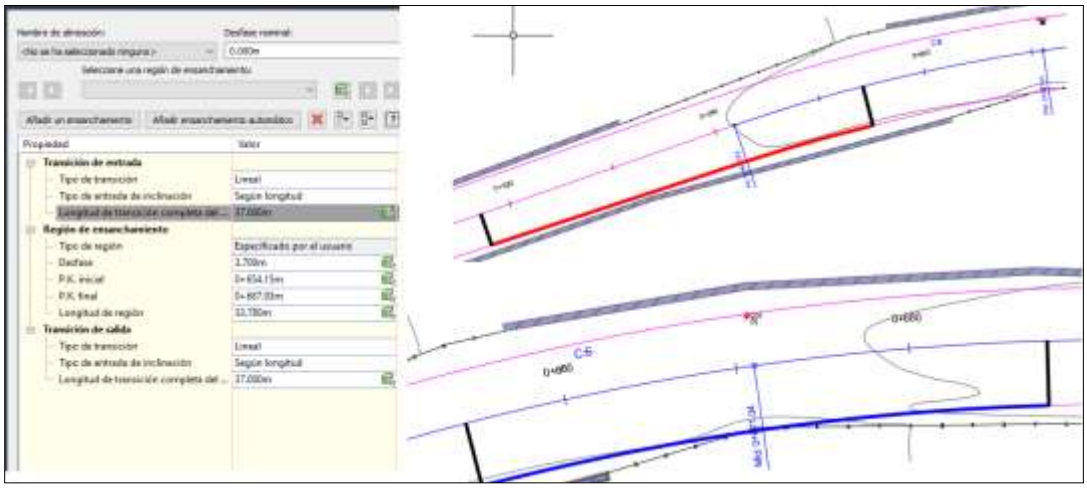
- Para la creación del desfase, se selecciona la herramienta **“Crear desfase de alineación”** para luego dar valores de desfase (3.00m por carril) sin sobreancho. Previamente se selecciona el desfase interno permitiendo desplegar la opción **“Añadir ensanchamiento”,** (Los sobreanchos deben de distribuirse linealmente a lo largo del lado interno de la calzada y en la misma longitud para la transición de peralte a 2/3 sobre la tangente y 1/3 sobre la curva).

Imagen 8: Alineamiento (Creación de desfase).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Imagen 9: Alineamiento (Ensanchamiento).

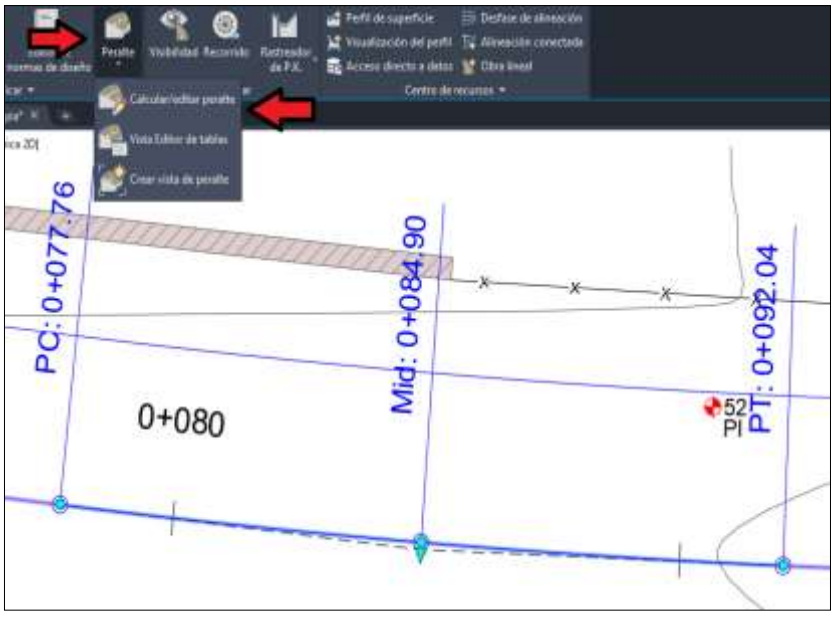


Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

- Cálculo de peralte

Se selecciona el eje central del alineamiento para abrir la ventana de herramientas **"Peralte"**, desde la cual se establecerán los parámetros necesarios para calcular el peralte correspondiente a cada curva.

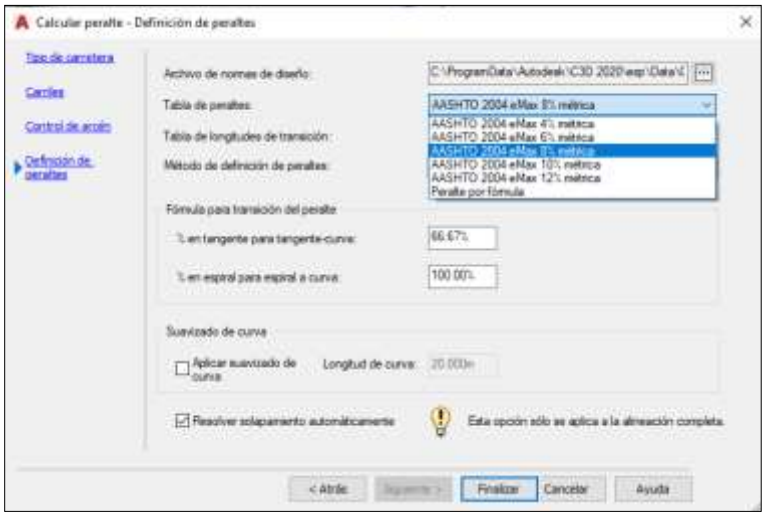
Imagen 10: Cálculo de Peralte



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Imagen 11: Cálculo de Peralte (Parámetros).

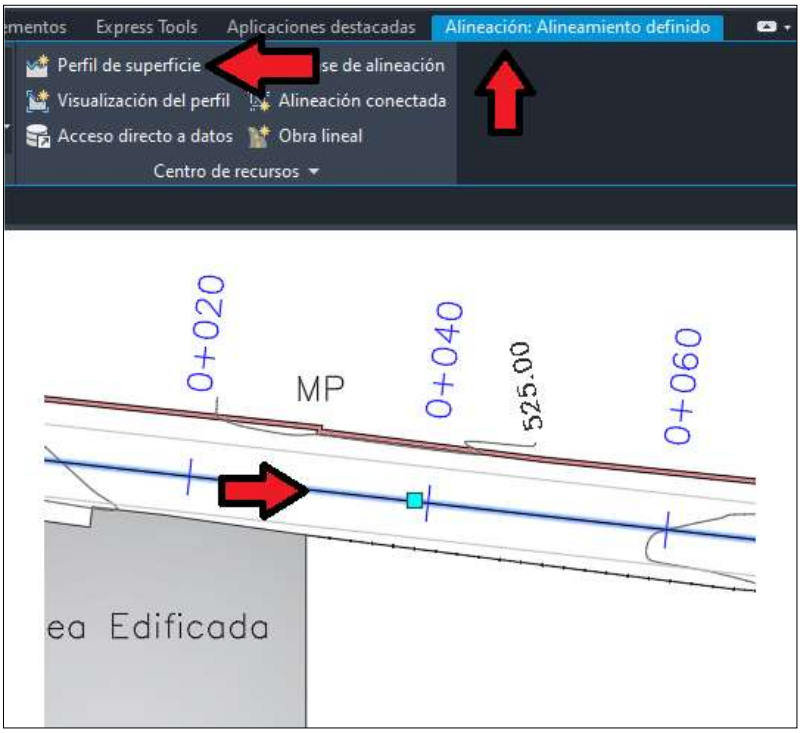


Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

- Creación del alineamiento vertical.

Para la creación del perfil de superficie se selecciona primeramente el eje central del alineamiento horizontal, el cual permitirá desplegar la ventana **“Alineación”**, para luego seleccionar la opción **“Perfil de superficie”**

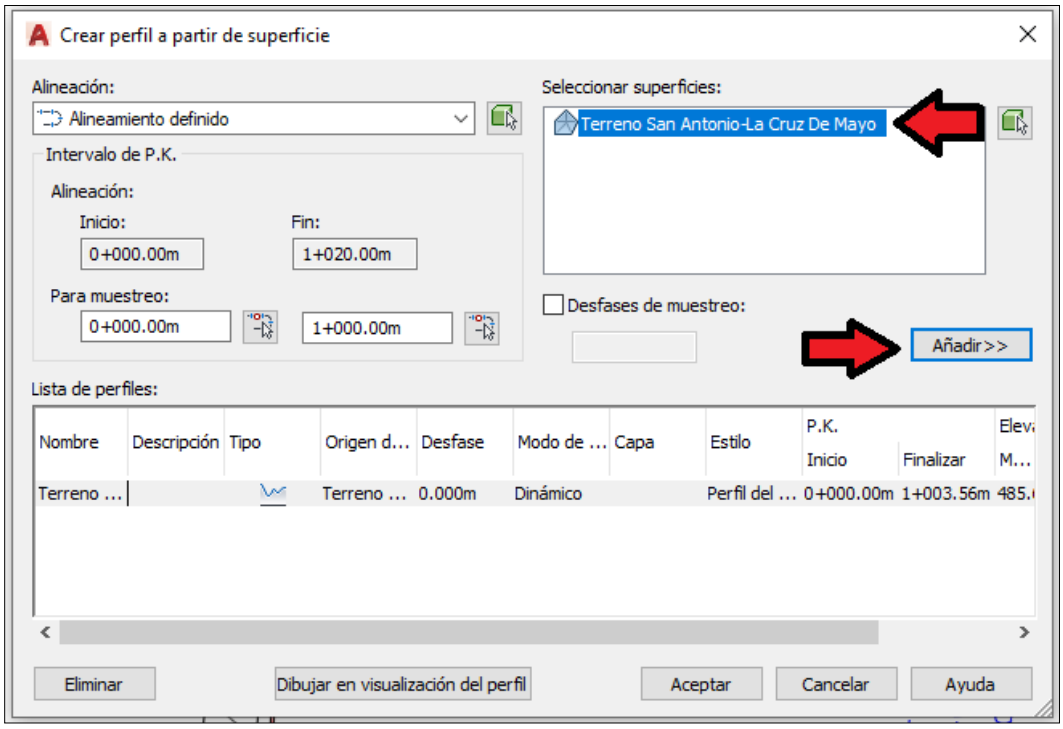
Imagen 12: Creación del perfil de superficie.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

- Una vez seleccionada la opción **“Perfil de superficie”** se desplegará una ventana el cual requiere de una configuración previa a la visualización del perfil, **“Añadiendo”** primeramente la superficie en la **“Lista de perfiles”,**

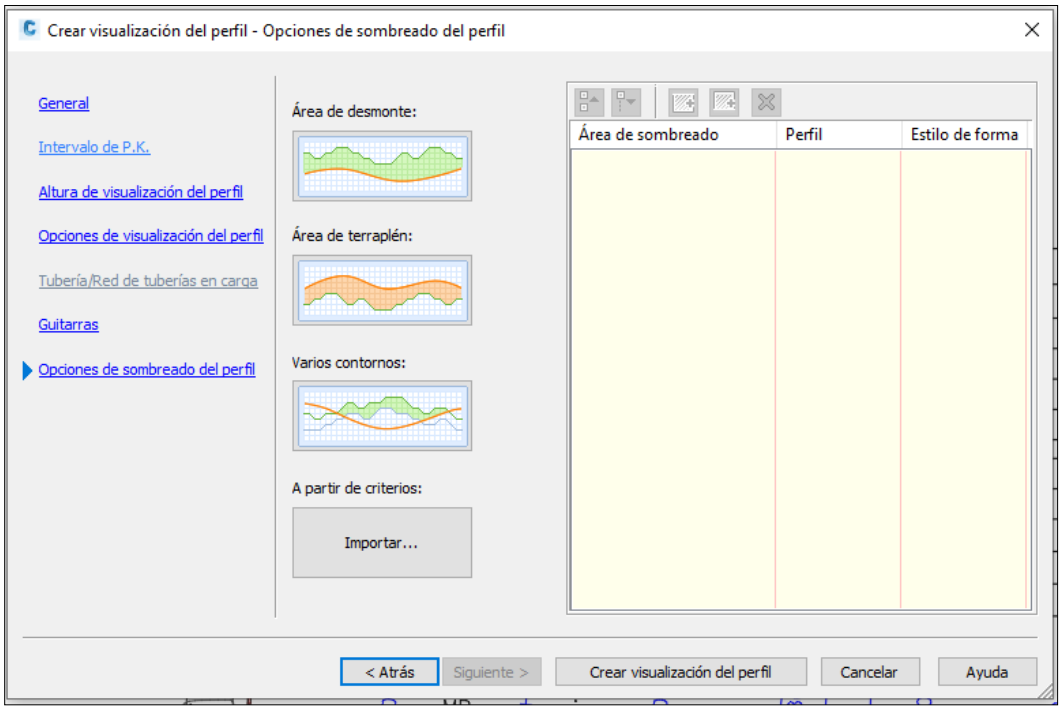
Imagen 13: Crear perfil a partir de superficie.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

- El siguiente paso fue la configuración para crear la visualización del perfil, el cual estará a criterio del diseñador, modificando la opción **"General, Intervalos de P.K, Altura de visualización del perfil, Guitarras y Opciones de sombreado".**

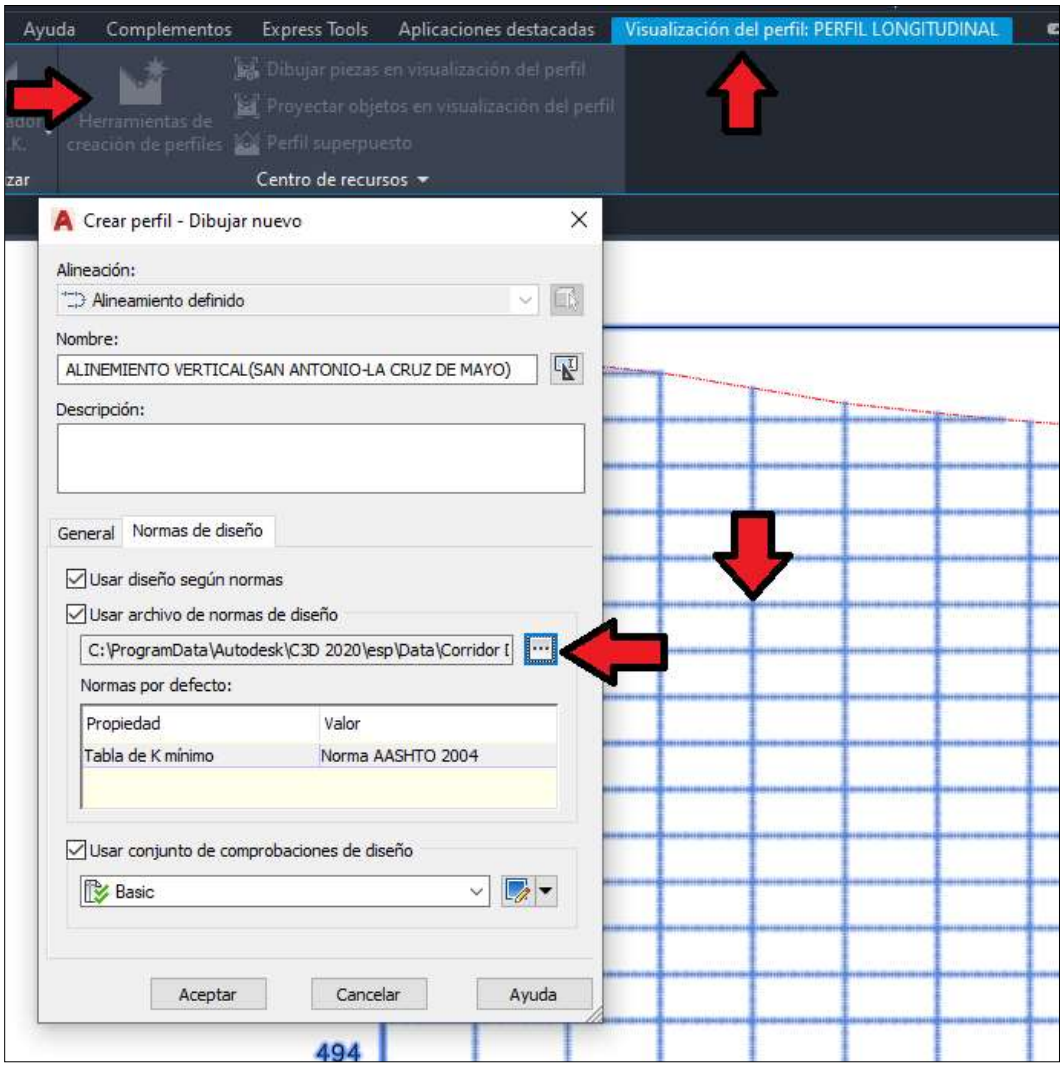
Imagen 14: Configuración de vistas del perfil.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

- Para la creación del alineamiento vertical se selecciona el perfil de la superficie permitiendo desplegar la ventana “Visualización del perfil”, luego se opta por seleccionar la opción “Herramientas de creación de **perfiles”** para proceder a la configuración **“General”** y la selección de la norma de diseño a utilizar.

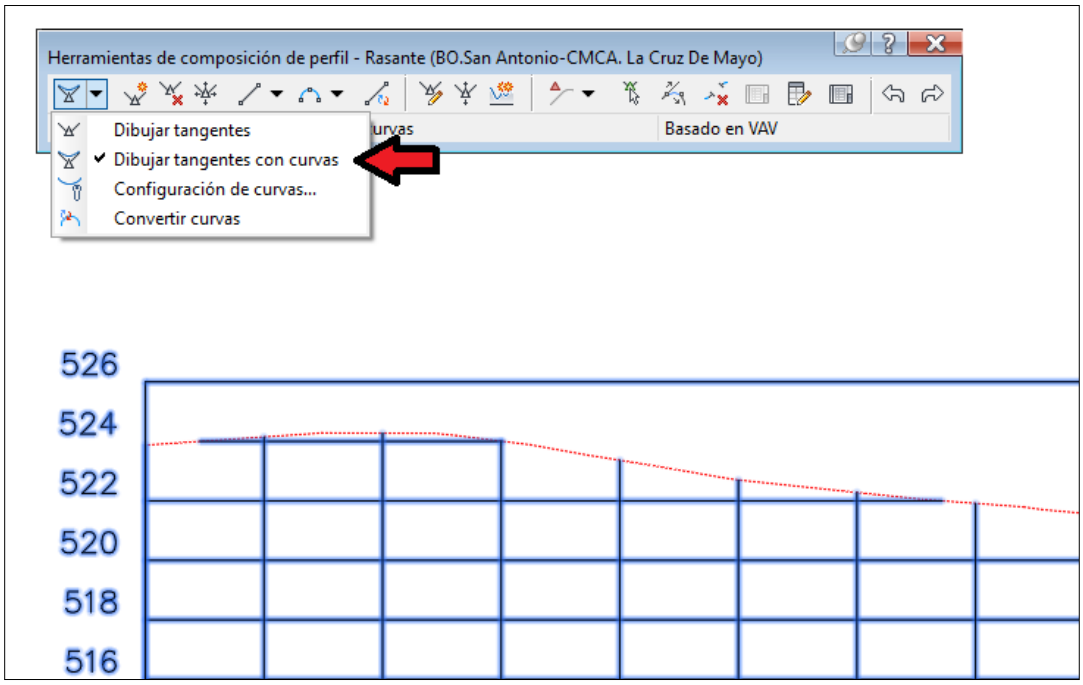
Imagen 15: Configuración preliminar para el alineamiento.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

- Después de realizado el paso 4, se procede a crear el alineamiento a lo largo del perfil de la superficie con la “Herramienta de composición de perfil” y la opción “Dibujar tangentes con curvas” adaptándonos a las normativas antes establecidas.

Imagen 16: Creación del alineamiento vertical.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

El diseño geométrico de la vía en cuestión fue elaborado por completo utilizando el software CIVIL3D 2019, en concordancia con las directrices establecidas por la normativa de la SIECA-2011. La herramienta AutoCAD Civil 3D nos facilitó la comparación y verificación de los resultados obtenidos, permitiéndonos identificar cada componente del trazado, tanto en curvas horizontales como verticales.

A continuación, se presentan a manera de ejemplo la comprobación y el cálculo de cada elemento de curvas verticales y horizontales partiendo de los datos proporcionados por el programa.

- **5.5.4 Cálculo de elementos de curva circular simple (C-1, Alineamiento horizontal).**

$\mathrm{R} = 213\ \mathrm{m}\ (\mathrm{Civil\ 3D}) \quad \Delta = 7°41'26''(\mathrm{Civil\ 3D}) \quad \mathrm{PI} = 0 + 266.15(\mathrm{Civil\ 3D})$

$\mathrm{Vd} = 50\ \mathrm{km/h}$

$emax = 8\%$ $f = 0.19$

$Rmin = 73$ m (SIECA 2011) $Gmax = 15°42'$ (SIECA 2011)

1. Radio de diseño de la curva

$$G = \frac{1145.95}{Gc} = \frac{1145.95}{5°43'46''} = 200.011 \text{ m} \approx 200 \text{ m} > Rmin = 73\text{m} \text{ (Cumple)}$$

2. Grado de curvatura

$$G_c = \frac{1145.95}{R} = \frac{1145.95}{213} = 5°22'48'' < Gmax = 15°42' \text{ (Cumple)}$$

3. Sub-tangente

$$ST = R * \tan\frac{\Delta}{2} = 213 * \tan\frac{7°41'26''}{2} = 14.31 \text{ m}$$

4. Longitud de la curva

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 213 * 7°41'26''}{180} = 28.59 \text{ m}$$

5. Cálculo de estacionamientos

$$\text{Est PC} = \text{Est PI} - ST = 0 + 266.15 - 14.31 = 0 + 251.84$$

$$\text{Est PM} = \text{Est PC} + Lc/2 = 0 + 251.84 + 28.59/2 = 0 + 140.21$$

$$\text{Est PT} = \text{Est PC} + Lc = 0 + 251.84 + 28.59 = 0 + 280.43$$

6. Cuerda máxima

$$CM = 2 * R * \text{sen}\frac{\Delta}{2} = 2 * 213 * \text{sen}\frac{7°41'26''}{2} = 28.56\, m$$

7. Externa

$$E = \frac{R}{\cos\frac{\Delta}{2}} - R = \frac{213m}{\cos\frac{7°41'26''}{2}} - 213m = 0.48\, m$$

8. Ordenada

$$M = R * \left(1 - \cos\frac{\Delta}{2}\right) = 200 * \left(1 - \cos\frac{4°05'34'}{2}\right) = 0.128\, m$$

➢ 5.5.5 Cálculo de sobreancho para curva circular simple (C-1).

Vehículo de diseño $= C2$

Velocidad de diseño $(V) = 50$ km/h

Numero de carriles $(N) = 2$

Ancho de rodamiento $(Wn) = 6.00$ m

Radio $(R) = 200$ m

Ancho de la huella del vehiculo $(u) = 2.40$ m

Distancia entre ruedas del vehiculo entre ejes consecutivos $(L) = 6.10$ m

Claro lateral $(C) = 0.60$ m

Saliente frontal $(A) = 1.20$ m

1. Ancho de huella del vehículo en curva

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum Li^2} = 2.40 + 213 - \sqrt{213^2 - 6.10^2} = 2.49 \text{ m}$$

2. Ancho saliente frontal en el carril interior

$$FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R = \sqrt{213^2 + 1.20(2 * 6.10 + 1.20)} - 213 = 0.04 \text{ m}$$

3. Ancho extra recomendable

$$Z = 0.1\left(\frac{V}{\sqrt{R}}\right) = 0.1\left(\frac{50}{\sqrt{213}}\right) = 0.34 \text{ m}$$

4. Ancho necesario en curva

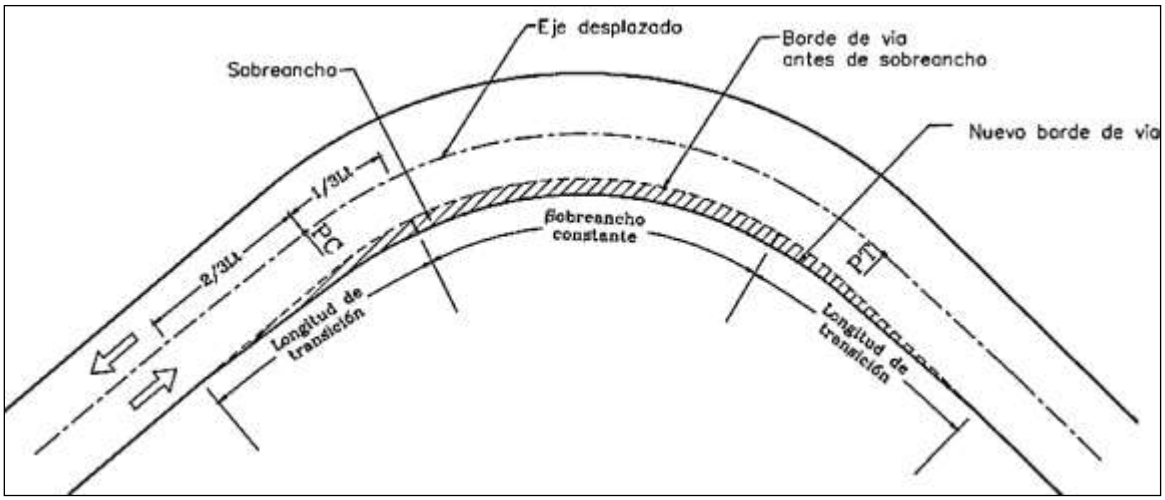
$$Wc = N(U + C) + (N - 1)FA + Z = 2(2.49 + 0.60) + (2 - 1)0.04 + 0.34 = 6.56 \text{ m}$$

5. Sobreancho

$W = Wc - Wn = 6.56 - 6.00 = 0.56$ m < 0.60 m (No requerido)

En caso de requerir sobreancho, por razones de apariencia el sobreancho se debe desarrollar linealmente a lo largo del lado interno de la calzada, en la misma longitud utilizada para la transición del peralte. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos, **Ver figura 37**.

Imagen 17: Transición del sobreancho en curva circular simple.



Fuente: Diseño geométrico de vías, Ajustado al Manual Colombiano John Jairo Agudelo Ospina, Medellín 2002, Pág.469.

8 CONCLUCIONES

8.1 Estudio topográfico: Se efectuó el levantamiento topográfico planialtimetrico detallado lo largo del tramo de estudio, del cual se obtuvo coordenadas norte, este y sus elevaciones de cada punto, características del terreno, relieve y curvas de nivel y perfil longitudinal.

8.2 Estudio de tránsito: Se llevó a cabo el estudio de tránsito mediante un aforo vehicular, este nos permitió conocer el transito promedio diario que circula siendo este de 847 vehículos diarios, con este dato y los factores se ajuste obtuvimos un tránsito promedio diario anual (TPDA) de 1,174 vehículos.

8.3 Diseño Geométrico: Se diseño geométricamente la vía en estudio garantizando la seguridad y las condiciones ideales para los habitantes según las normas SIECA 2011. En base a resultados del estudio de tránsito, se seleccionó un vehículo de diseño C-2, una velocidad de diseño de 50 km/h de acuerdo al TPDA y topografía, un ancho de carril de 3 metros, las curvas se diseñaron en base a la distancia de visibilidad de parada siendo esta de 65 metros un peralte máximo del 8%, factor de fricción de 0.19, radio mínimo de 73 metros, pendiente máxima de 7% y un bombeo de 2%. Se elaboraron los planos planta perfil y secciones típicas de la vía todo esto se realizó usando el software Civil 3D.

9 RECOMEMDACIONES.

9.1 Integrar un análisis hidráulico realizado por estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería como complemento al diseño geométrico propuesto, con el fin de garantizar un drenaje eficaz y la estabilidad a largo plazo del pavimento.

9.2 Se sugiere realizar un análisis detallado de los tipos de suelos presentes a lo largo del terreno una vez que se haya definido el alineamiento vertical. Es crucial que toda estructura de pavimento descanse sobre suelos que cumplan adecuadamente su función como subrasante; de lo contrario, será necesario reemplazar estos suelos por otros disponibles en el terreno o provenientes de un banco de materiales.

9.2 Realizar el diseño pavimento para tener una mejor concepción del trazo de la rasante.

10 REFERENCIAS

Infraestructura, M. d. (2020). *Anuario de Aforo de Tráfico.* Managua: MTI.

Leclair, R. (2004). *Normas de Diseño Geometrico de las Carreteras Regionales.* Guatemala: Proalca II.

Rafael Cal y Mayor R, J. C. (2018). *Ingenieria de Transito Fundamentos y Aplicaciones.* Mexico: Alfaomega.

SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño de Carreteras.* Guatemala: aecid.

11 ANEXOS.

PLANOS

a