

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.Introducción

El diseño geométrico de carreteras es esencial en la ingeniería civil, ya que determina las características visibles de una vía, incluyendo el pavimento, la alineación horizontal y vertical, y las intersecciones. Un diseño adecuado satisface las necesidades de los conductores y garantiza la seguridad y comodidad durante la conducción. ¹

Con el avance de la tecnología, se han desarrollado diversos softwares especializados que permiten realizar estos diseños de manera más precisa y eficiente. Entre ellos, Civil 3D, SIMCAR y DG se destacan por sus funcionalidades en dicha labor.

Este proyecto tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo entre el software Civil 3D, SIMCAR y DG en el contexto del diseño geométrico de carreteras. Para ello, se evaluarán aspectos como los parámetros de entrada requeridos, el procedimiento de trabajo de cada software y los resultados generados en términos de tablas de diseño y cálculos.

La justificación de este estudio radica en la necesidad de analizar los procesos de diseño en proyectos de infraestructura vial. Dado que cada software tiene sus propias características y ventajas, es crucial determinar cuál de ellos ofrece mejores prestaciones en diferentes escenarios y bajo diversas condiciones de trabajo. Este análisis comparativo proporcionará una visión clara sobre las capacidades de cada programa y servirá como guía para ingenieros y profesionales en la toma de decisiones informadas sobre la elección del software adecuado para sus proyectos

En términos de estructura, este trabajo se divide en varias secciones. Primero, se presentará una revisión bibliográfica sobre el diseño geométrico de carreteras y las características de los software Civil 3D, SIMCAR y DG. Luego, se describirá la metodología empleada para el análisis comparativo. A continuación, se presentarán los resultados obtenidos, seguidos de una discusión detallada. Finalmente, se concluirá con una serie de recomendaciones y consideraciones para futuros trabajos en este campo.

¹ https://www.hersan.com.mx/en_US/blog/our-blog-1/la-importancia-del-diseno-geometrico-en-las-carreteras

1.2. Justificación

El diseño geométrico de carreteras es un componente fundamental en el desarrollo de infraestructura vial, ya que influye directamente en la seguridad, eficiencia y comodidad de los usuarios². En un contexto donde las herramientas tecnológicas avanzadas se integran cada vez más en la ingeniería civil, es fundamental evaluar y comparar los distintos softwares disponibles para esta tarea.

Cada país y región tiene normativas específicas que regulan el diseño y la construcción de carreteras. Evaluar estos softwares en función de su capacidad para cumplir con normativas locales es crucial para asegurar que los proyectos viales sean seguros, legales y apropiados para el entorno específico.

Un diseño adecuado permite garantizar condiciones óptimas de circulación, minimizando riesgos y mejorando el desempeño de la vía en términos de funcionalidad y operación². Comparar los softwares en términos de su capacidad para diseñar carreteras seguras puede ayudar a identificar la herramienta más eficaz para minimizar los riesgos de accidentes y mejorar la seguridad vial.

El análisis comparativo fomenta la innovación al identificar las fortalezas y limitaciones de cada software, lo que permite a las empresas y profesionales mantenerse competitivos en el sector de la ingeniería civil.

El diseño eficiente y preciso de carreteras contribuye al desarrollo sostenible al minimizar el impacto ambiental y maximizar la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras viales. Evaluar los softwares en términos de su capacidad para apoyar diseños sostenibles puede influir en la adopción de prácticas más ecológicas en la ingeniería civil.

Los resultados del estudio son valiosos para la formación de futuros ingenieros, brindándoles conocimientos prácticos sobre las herramientas de diseño disponibles y mejorando su competencia técnica

² Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2014). *Traffic and Highway Engineering*. Cengage Learning.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

El diseño geométrico de carreteras es esencial para la seguridad y comodidad de los usuarios, pero la selección del software adecuado presenta desafíos importantes en ingeniería civil. La variedad de software para diseño vial genera confusión entre ingenieros y planificadores, quienes deben evaluar cada programa para elegir el más adecuado. El cumplimiento de normativas locales y regionales es esencial para garantizar seguridad de los proyectos viales. Sin embargo, no todos los softwares disponibles se ajustan adecuadamente a estas regulaciones, lo que representa un desafío adicional. La seguridad vial es fundamental, ya que un diseño deficiente puede aumentar el riesgo de accidentes. Un diseño geométrico adecuado, que considere factores como la visibilidad, la correcta alineación de las curvas, las pendientes y el peralte, es crucial para prevenir accidentes y mejorar la circulación. Por tanto, es importante utilizar un software que garantice un diseño seguro y funcional, cumpla con los requisitos de diseño y respete las normativas de seguridad vial.

1.3.2. Problema

¿Cuál de los softwares de diseño geométrico de carreteras, Civil 3D, SIMCAR o DG, es el más adecuado para aplicar en el diseño geométrico del tramo vial Carlazo, considerando aspectos como el cumplimiento normativo, la seguridad vial, los parámetros de entrada, procedimiento y resultados?

1.4. Hipótesis

Si realizamos el análisis comparativo del diseño geométrico de carreteras utilizando los softwares Civil 3D, SIMCAR y DG entonces nos permitirá identificar si, Civil 3D posee una buena combinación de herramientas que producen diseños más completos, y un mejor cumplimiento de las normativas viales, en comparación con los diseños generados por SIMCAR y DG, lo que permitirá realizar un análisis comparativo sobre el ingreso de parámetros, procedimiento y resultados del dimensionamiento.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Realizar el análisis comparativo del diseño geométrico de carreteras utilizando los softwares Civil 3D, SIMCAR y DG, aplicado al tramo vial Carlazo, con el fin de determinar cuál de los tres ofrece la mejor combinación de herramientas y funcionalidades para garantizar un diseño geométrico, seguro y conforme con la normativa vigente en nuestro país.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Evaluar las funcionalidades y herramientas de diseño geométrico de carreteras ofrecidas por el software Civil 3D, SIMCAR y DG.
2. Analizar la capacidad de cada software para cumplir con las normativas locales y regionales aplicables al diseño vial en el tramo vial Carlazo.
3. Realizar el diseño geométrico del tramo vial Carlazo utilizando cada uno de los tres softwares mencionados: Civil 3D, SIMCAR y DG.
4. Identificar las ventajas y limitaciones de cada software en términos de usabilidad, interfaz de usuario y soporte técnico.
5. Realizar un análisis comparativo, de los tres softwares de diseño geométrico de carreteras (Civil 3D, SIMCAR o DG) para determinar cuál es el más adecuado para el diseño del tramo vial Carlazo, proporcionando un alineamiento seguro para los usuarios de la zona del proyecto, y evaluando su aplicabilidad en futuros proyectos viales.

1.6. Variables

1.6.1. Variables independientes

Diseño geométrico de la carretera a través del software especializado.

1.6.2. Variables dependientes

Según el software utilizado (Civil 3D, SIMCAR y DG) análisis comparativo sobre los parámetros de entrada, procedimiento y resultados.

1.6.3. Operacionalización de variables

VARIABLES	CONCEPTO	MEDICION	UNIDAD	RELACIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE				
Diseño geométrico a través del software	configuración física y dimensional de una carretera, incluyendo la alineación horizontal y vertical, el ancho de los carriles, las pendientes, los radios de curvatura, las intersecciones, y otros elementos físicos que determinan su funcionalidad y seguridad.	-Radio de curvatura: Medido en metros. -Pendiente: Medida como un porcentaje de inclinación. -Ancho de carril: Medido en metros. -Inclinación de peraltes: Medida en grados. -Longitud de tangentes y curvas: Medida en metros	Metros (m): Para longitudes y radios. Porcentaje (%): Para pendientes. Grados (°): Para inclinaciones y peraltes. Metros cuadrados (m ²): Para áreas de secciones transversales.	Variable independiente que afecta a todas las demás variables.
VARIABLE DEPENDIENTE				
Parámetros de entrada	datos y especificaciones iniciales que se introducen en el software de diseño geométrico de carreteras,	-Topografía -Datos Climáticos y Ambientales	-Elevación del terreno: Medido en metros (m) sobre el nivel del mar. -Pendientes naturales del terreno:	Variable que depende del software usado(civil 3D, SIMCAR o DG)

VARIABLES	CONCEPTO	MEDICION	UNIDAD	RELACIÓN
	incluyen información topográfica, características del terreno, requisitos de diseño, normas y estándares de construcción, así como limitaciones específicas del proyecto.		Medidas en grados (°) o porcentaje (%). -Precipitación anual: Medida en milímetros (mm).	
Procedimiento	Serie de pasos o acciones que se siguen para completar el diseño geométrico de una carretera utilizando software especializado	Exactitud del Diseño Cumplimiento de Normas	Cumplimiento de Normas: Generalmente una evaluación binaria (cumple/no cumple) o en una escala de calificación.	directamente influenciado por los parámetros de entrada y el proceso de diseño geométrico realizado
Resultados	productos finales del proceso de diseño geométrico de una carretera	Desempeño del Diseño		están influenciados directamente por la variable independiente "diseño geométrico de una carretera"

1.7. Diseño metodológico

1.7.1. Componentes

1.7.1.1. Unidades de estudio

El conjunto total de proyectos y datos relevantes que podrían ser analizados utilizando los programas CIVIL 3D, SIMCAR Y DG.

1.7.1.2. Población

Para el análisis comparativo del tramo vial Carlazo, la población se limitaría a los proyectos de infraestructura vial que presentan características similares a este tramo específico.

1.7.1.3. Muestra

La muestra del diseño metodológico consiste en el tramo vial Carlazo, seleccionado por sus características representativas y la disponibilidad de datos detallados.

1.7.1.4. Muestreo

El tramo vial Carlazo 0+000 – 5+000, seleccionado por su importancia al ingreso del poblado: Carlazo centro, para brindar una mejor accesibilidad, más segura y que cumpla con la normativa.

1.7.2. Métodos y técnicas empleadas

1.7.2.1. Métodos

El método inductivo que se aplica en el proyecto de grado mediante la observación y análisis detallado de casos específicos (en este caso, el tramo vial Carlazo) para desarrollar conclusiones generales sobre el análisis comparativo de los softwares Civil 3D, SIMCAR y DG.

Selección de la Muestra

Caso de Estudio: Tramo vial Carlazo

Un tramo vial específico que representa condiciones típicas de proyectos de infraestructura vial.

La selección de este tramo permite un análisis detallado y específico que puede ser utilizado para desarrollar conclusiones más generales.

Recolección de Datos

Datos Topográficos y Geométricos:

Levantamiento topográfico detallado del tramo vial Carlazo.

Alineaciones horizontales y verticales precisas.

Datos de Tráfico:

Información sobre volúmenes de tráfico y patrones de circulación en el tramo.

Normativas y Directrices de Diseño:

Reglas y estándares locales y nacionales aplicables al diseño del tramo.

Aplicación de los Software

Modelado con Civil 3D:

Creación de un modelo tridimensional del tramo vial Carlazo utilizando los datos topográficos y geométricos.

Modelado con SIMCAR:

Utilización de los datos topográficos para crear perfiles, alineaciones y todo lo relacionado con el diseño geométrico.

Modelado con DG:

Comparación del modelo y las simulaciones con las directrices de diseño para asegurar la conformidad normativa.

Análisis de Resultados

Identificación de Patrones y Tendencias:

Comparar los resultados obtenidos de cada software en términos de: Cumplimiento con las normativas y directrices de diseño.

Observaciones Específicas:

Evaluar las ventajas y desventajas de cada software basándose en las observaciones detalladas del tramo vial Carlazo.

Formulación de Conclusiones

Desarrollo de Generalizaciones:

A partir de los patrones observados, desarrollar conclusiones generales sobre el diseño geométrico de Civil 3D, SIMCAR y DG.

Determinar cuál software es más adecuado para diferentes tipos de proyectos de infraestructura vial basándose en los resultados específicos del tramo vial Carlazo.

Recomendaciones:

Formular recomendaciones sobre la selección y uso de estas herramientas en futuros proyectos, basadas en las conclusiones generales derivadas del análisis específico.

1.7.3. Técnicas

El desarrollo del análisis comparativo de Civil 3D, SIMCAR y DG requiere una combinación de técnicas de levantamiento topográfico, modelado digital y simulación de tráfico. Se utilizan herramientas y software especializados, así como equipos de alta precisión, para recolectar, analizar y comparar datos. Este enfoque integral asegura un estudio detallado y preciso, proporcionando resultados relevantes y aplicables a futuros proyectos de infraestructura vial.

Recolección de Información

Hacer uso de los datos del levantamiento topográfico del cual se cuenta con la información.

Luego georreferenciar dichos datos, para tener una idea clara de cómo es el terreno y que características tiene.

Datos de Tráfico

Recolectar información sobre volúmenes de tráfico, patrones de circulación y características vehiculares del tramo, todo esto brindado por la Administradora Boliviana de Carreteras.

Modelado en Civil 3D

Importación de Datos:

Cargar los datos topográficos recolectados en Civil 3D.

Creación del Modelo:

Diseñar el modelo tridimensional del tramo vial Carlazo, incluyendo alineaciones horizontales y verticales, perfiles y secciones transversales.

Análisis Inicial:

Realizar un análisis preliminar del modelo para identificar posibles problemas o inconsistencias en el diseño.

Modelado en SIMCAR

Importación de Datos:

Cargar los datos topográficos recolectados en SIMCAR.

Creación del Modelo:

Diseñar el modelo tridimensional del tramo vial Carlazo, incluyendo alineaciones horizontales y verticales, perfiles y secciones transversales.

Análisis Inicial:

Realizar un análisis preliminar del modelo para identificar posibles problemas o inconsistencias en el diseño.

Modelado con DG

Importación de Datos:

Cargar los datos topográficos recolectados en DG.

Creación del Modelo:

Diseñar el modelo tridimensional del tramo vial Carlazo, incluyendo alineaciones horizontales y verticales, perfiles y secciones transversales.

Análisis Inicial:

Realizar un análisis preliminar del modelo para identificar posibles problemas o inconsistencias en el diseño.

Análisis Comparativo de Resultados

Comparación de Software:

Comparar los resultados obtenidos de Civil 3D, SIMCAR y DG en términos de:

Ventajas y desventajas del modelado con cada software

Interpretación de Resultados

Evaluación de Desempeño:

Evaluar el desempeño de cada software en términos de sus ventajas y desventajas específicas.

Desarrollo de Conclusiones:

Basándose en los análisis comparativos, formular conclusiones sobre la aplicabilidad de Civil 3D, SIMCAR y DG en proyectos de infraestructura vial con características similares a las del tramo vial Carlazo.

Recomendaciones:

Desarrollar recomendaciones prácticas para la selección y uso adecuado de estos softwares en futuros proyectos.

Presentación de Resultados

Organización de Datos:

Organizar los resultados del análisis y la interpretación en un formato claro y comprensible.

Visualización:

Crear gráficos, tablas y diagramas que ilustren los hallazgos clave del estudio.

Informe Final:

Redactar un informe detallado que incluya la metodología, resultados, análisis, conclusiones y recomendaciones.

1.7.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

Recolección de Datos

Entrada de Datos en Software: Ingresar los datos topográficos y geométricos en los softwares Civil 3D, SIMCAR y DG para modelar y simular el tramo vial.

Análisis de Resultados

Comparación de Modelos Tridimensionales Civil 3D con los modelos generados por SIMCAR Y DG.

Procesamiento de Datos

Comparar la facilidad de uso, la interfaz de usuario y la experiencia general de trabajar con cada software.

Interpretación de Resultados

Identificación de Patrones y Tendencias: Analizar los datos recopilados para identificar patrones y tendencias en el desempeño de los softwares. Determinar cuáles son los puntos fuertes y débiles de cada herramienta.

Evaluación de Hipótesis: Comparar los resultados con las hipótesis planteadas inicialmente para validar o refutar las expectativas del estudio.

Conclusiones

Resumir los hallazgos clave del análisis comparativo, destacando las principales ventajas y desventajas de cada software.

Formular recomendaciones prácticas basadas en los resultados del análisis, indicando cuál software es más adecuado para diferentes tipos de proyectos y escenarios.

1.7.4. Alcance del estudio de aplicación

El alcance de este estudio se centra en la evaluación comparativa de los software Civil 3D, SIMCAR y DG en el contexto del diseño geométrico de infraestructuras viales. A través de una metodología estructurada, se abordarán los principios teóricos del diseño geométrico, se aplicarán estas herramientas en un caso práctico específico, y se analizarán los resultados obtenidos en términos de ventajas, desventajas y cumplimiento normativo.

Inicialmente se establece las bases del estudio comparativo, proporcionando una comprensión clara del problema, los objetivos y las hipótesis. Esta parte justifica la necesidad del estudio y define las variables a analizar, ofreciendo una guía estructurada para la investigación que seguirá en los capítulos posteriores.

Posteriormente se proporciona el fundamento teórico necesario para comprender las bases sobre las cuales se realizará el análisis comparativo de los softwares Civil 3D, SIMCAR y DG. Al cubrir los principios del diseño geométrico, las características y aplicaciones de cada software, y la relación entre el diseño y la seguridad vial, este capítulo establece el contexto técnico y teórico esencial para la evaluación detallada que se desarrollará en los capítulos siguientes.

A continuación, se pondrá atención a la aplicación práctica del análisis comparativo, proporcionando un marco claro para la implementación del estudio. Describe el contexto del proyecto, las características del área y los pasos específicos para utilizar Civil 3D, SIMCAR y DG en el diseño y análisis del tramo vial Carlazo. Este capítulo establece la base para obtener datos empíricos que serán analizados en los capítulos posteriores, permitiendo una evaluación detallada de cada software en un entorno realista y aplicable.

Por último, la presentación y análisis de los resultados obtenidos del uso de los tres softwares en el diseño y simulación del tramo vial Carlazo. Las conclusiones derivadas del análisis comparativo proporcionarán una visión clara sobre cuál software es más adecuado bajo ciertas condiciones y para determinados objetivos. Además, las recomendaciones basadas en estos resultados ofrecerán una guía práctica para la selección de herramientas en futuros proyectos de diseño vial, contribuyendo así a mejorar la precisión, eficiencia y seguridad en la ingeniería civil.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2. Fundamento teórico

El diseño geométrico de carreteras es la parte más importante del proyecto de una carretera estableciendo, en base a las condicionantes y factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto que supone, para satisfacer al máximo los objetivos de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, armonía o estética, economía y elasticidad, de la vía.³

2.1. Controles básicos de diseño

2.1.1. Factores que intervienen en el diseño de una carretera o camino

2.1.1.1. Clasificación de los factores

Factores funcionales

Tienen relación, en general, con el servicio para el cual la carretera debe ser diseñada, destacándose los siguientes:

- Función que debe cumplir la carretera.
- Volumen y características del tránsito inicial y futuro
- Velocidad de proyecto y velocidad de operación deseable
- Seguridad para el usuario y la comunidad
- Relación con otras vías y la propiedad adyacente

Factores físicos

Dicen relación con las condiciones impuestas por la naturaleza en la zona del trazado y suelen implicar restricciones que la clasificación para diseño debe considerar. Los principales son:

- Relieve

³ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1, P. 1

- Hidrografía
- Geología
- Clima

Factores de costos asociados a la carretera

Los costos asociados a una carretera son consecuencia de la categoría de diseño adoptada para ella. Esta relación es tan directa que muchas veces actúa como un criterio realimentador que obliga a modificar decisiones previas respecto de las características asignadas a un Proyecto. Estas situaciones se resolverán mediante los estudios económicos de Prefactibilidad o Factibilidad.

Factores humanos y ambientales

Las decisiones tecnológicas están sin duda relacionadas con las características de la comunidad que se pretende servir y el medio ambiente en que ésta se inserta.

Algunos de los factores humanos y ambientales que influyen en mayor grado las decisiones en relación a un proyecto de carreteras son:

- Idiosincrasia de usuarios y peatones
- Uso de la tierra adyacente al eje vial
- Actividad de la zona de influencia
- Aspectos ambientales-impacto y mitigación

2.1.2. Criterios para definir las características de una carretera o camino

2.1.2.1. Función de la carretera o camino

Las vías de transporte están destinadas fundamentalmente a servir al tránsito de paso, a dar acceso a la propiedad colindante o bien a dar un servicio que sea combinación de ambas posibilidades.⁴

⁴ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

2.1.2.2. Demanda y características del tránsito

Tránsito promedio anual (TPDA)

Representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la ruta en la sección considerada.

Clasificación por tipo de vehículo

Expresa en porcentaje la participación que le corresponde en el TPDA a las diferentes categorías de vehículos, debiendo diferenciarse por lo menos las siguientes:

- Vehículos livianos: Automóviles, Camionetas hasta 1.500 kg
- Locomoción Colectiva: Buses Rurales e Interurbanos
- Camiones: Unidad Simple para Transporte de Carga.
- Camión con Semirremolque o Remolque: Unidad Compuesta para Transporte de Carga.

Según sea la función del camino la composición del tránsito variará en forma importante de una a otra vía. En países en vías de desarrollo la composición porcentual de los distintos tipos de vehículos suele ser variable en el tiempo.

Demanda horaria

En caminos de alto tránsito es el Volumen Horario de Diseño (VHD), y no el TPDA, lo que determina las características que deben otorgarse al proyecto para evitar problemas de congestión y determinar condiciones de servicio aceptables. Este se obtendrá a partir de una ordenación decreciente de los mayores volúmenes horarios registrados a lo largo de todo un año. Al graficar estos valores se podrá establecer el volumen horario de demanda máxima normal, que para la mayoría de los caminos de tránsito mixto (aquéllos que no presentan una componente especializada preponderante, por ejemplo: turismo) coincide con el volumen asociado a la trigésima hora de mayor demanda.⁵

⁵ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

A falta de información estadística que permita elaborar el análisis detallado del comportamiento horario actual de una ruta existente o para estimar el VHD de una nueva ruta, se podrá utilizar la relación empírica extensamente comprobada en caminos de tránsito mixto, que relaciona el TPDA con el VHD:

VHD año $i = 0,12 \sim 0,18$ del TPDA año i (VHD año $i = 0,10 \sim 0,15$ del TPDA i para Hora 100).

En cuanto a la composición por categoría de vehículo, es necesario tener presente que los volúmenes horarios máximos se producen por un incremento de los vehículos livianos, y en los casos con componente turística, este incremento se da en días coincidentes con una baja en el volumen de camiones.

Crecimiento del tránsito

Deben establecerse los volúmenes de tránsito presentes en el año de puesta en servicio del proyecto y aquéllos correspondientes al año horizonte de diseño. Ello, además de fijar algunas características del proyecto, permite eventualmente elaborar un programa de construcción por etapas.

En el caso de caminos locales o de desarrollo que por lo general no inducen cambios estructurales en la red vial y que rara vez enfrentan problemas de congestión a lo largo de su vida de diseño, tasas de crecimiento de tipo histórico observadas en la región pueden ser suficientes para abordar el problema. En el caso de Autopistas, Autorrutas, Primarios y eventualmente Colectores, se requerirá un estudio especial para proyectar la evolución del tránsito en todos sus aspectos.⁶

2.1.3. Conceptos relativos a velocidad de diseño vial

Velocidad de proyecto (Vp)

Es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos que sólo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que

⁶ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado.

La Velocidad de Proyecto reemplaza a la denominada Velocidad de Diseño, por cuanto como se verá más adelante, se introducen nuevos conceptos que también intervendrán en el diseño, como son la Velocidad Específica (Ve) y la Velocidad Percentil 85 (V85%). Nótese además, que por lo general, una carretera o camino poseerá una longitud mayor con tramos de trazado más amplios que el correspondiente a aquellos de características mínimas, y por lo tanto, el diseño deberá considerar dicha realidad, ya que los usuarios al percibir la mayor amplitud del diseño tienden a elevar su velocidad de circulación.

En consecuencia, el concepto Velocidad de Proyecto se usará para efectos del Sistema de Clasificación Funcional para Diseño, a fin de indicar el estándar global asociado a la carretera y para definir los parámetros mínimos aceptables bajo condiciones bien definidas.

Velocidad específica (Ve)

Es la máxima velocidad a la cual se puede circular por un elemento del trazado, considerado individualmente, en condiciones de seguridad y comodidad, encontrándose el pavimento húmedo, los neumáticos en buen estado y sin que existan condiciones meteorológicas, del tránsito, del estado del pavimento o del entorno de la vía, que impongan limitaciones a la velocidad.

La Velocidad Específica se aplica a los elementos curvos de la planta. Su divergencia con el antiguo concepto de Velocidad de Diseño, surge de la adopción de leyes de variación del peralte que, en vez de disminuirlo ante radios crecientes, lo mantienen relativamente alto para un rango amplio de los mismos, confiriendo mayor seguridad ante velocidades de circulación mayores que las de proyecto (ex diseño), situación que es consecuente con la tendencia de los usuarios a elevar la velocidad ante trazados amplios.⁷

Velocidad de operación (Vop)

La Velocidad de Operación es la velocidad media de desplazamiento que pueden lograr los usuarios en un tramo Carretera de una Velocidad de Proyecto dada, bajo las condiciones

⁷ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

prevalecientes del tránsito, del estado del pavimento, meteorológicas y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente.

Si el tránsito y la interferencia son bajos, la Velocidad de Operación del usuario medio es del orden de la Velocidad de Proyecto y para un cierto grupo de usuarios superior a ésta. A medida que el tránsito crece, la interferencia entre vehículos aumenta tendiendo a bajar la Velocidad de Operación del conjunto.

Velocidad percentil 85 (V85%)

Es aquella velocidad no superada por el 85% de los usuarios en un tramo de características homogéneas, bajo las condiciones de tránsito prevalecientes, estado del pavimento, meteorológica y grado de relación de este con otras vías y con la propiedad adyacente. Cuando dichas condiciones no imponen restricciones, la V85% suele ser mayor que la Velocidad de Proyecto, independientemente de si la Velocidad de Proyecto está señalizada, corresponde a la máxima legal, etc. (Ello siempre que el tramo no tenga control policial habitual) En consecuencia, el 85% de los usuarios circula a la V85% o menos y un 15% de los usuarios supera dicha velocidad.

Velocidades de proyecto según categoría de la obra vial

La Velocidad de Proyecto fija el marco de referencia mínimo que define el diseño geométrico de una carretera o camino, principalmente en lo relativo a su trazado horizontal y vertical. Algunas características de la sección transversal, como los anchos mínimos de pavimentos y bermas, dependen más bien del volumen de tránsito, tipo de vehículos y proporción de estos en el flujo.

La Velocidad de Proyecto seleccionada para un proyecto de categoría dada dependerá fundamentalmente de la función asignada a la carretera, del volumen y composición del tránsito previsto, de la topografía de la zona de emplazamiento y del diferencial de costo que implica seleccionar una u otra velocidad de proyecto dentro del rango posible considerado para la categoría. En definitiva, la elección de una Velocidad de Proyecto que se aparte de la óptima se reflejará en una disminución de la rentabilidad del proyecto.⁸

⁸ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Dentro del rango de velocidades posibles para cada categoría de carretera o camino, se justificarán las más altas en terrenos llanos o ligeramente ondulados y las más bajas para relieves montañosos o escarpados. Esto no sólo por las consideraciones de costo ya expuestas, sino que también porque el usuario está mejor dispuesto a aceptar velocidades menores cuando el terreno es difícil y el trazado necesariamente sinuoso, que cuando no encuentra una razón evidente para ello.

Por lo anteriormente expuesto, si un sector extenso de camino, Colector o Local, que pueda llegar a ser pavimentado, se emplaza en un terreno muy favorable, sus elementos deberán proyectarse con valores más amplios, correspondientes a unos 10 a 20 km/h por sobre la Velocidad de Proyecto que le corresponde al camino considerando su función y volumen de demanda general, a fin de evitar que cuando el camino se pavimente los usuarios traten de alcanzar esas velocidades en un trazado que no las acepta. Ahora bien, al cambiar las características del sector y pasar a un terreno difícil que obliga a retornar a las características propias de la velocidad de proyecto general asignada al camino, se debe diseñar cuidadosamente una zona de transición en que los elementos críticos (curvas en planta, distancia de visibilidad, etc.), vayan disminuyendo en forma paulatina a lo largo de varios elementos del trazado, hasta recuperar los valores normales correspondientes a la V_p propia de camino.

2.1.4. Características de los vehículos

Dimensiones de los vehículos

Las dimensiones de los vehículos y su movilidad son factores de incidencia relevante en el diseño. Largo, ancho y alto de los vehículos condicionan en gran medida diversos elementos de la sección transversal, los radios de giro, los ensanches de calzada en curvas y los gálibos verticales bajo estructura. Su peso es uno de los factores determinantes del cálculo estructural de pavimentos y estructuras.⁹

⁹ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Las dimensiones tipo de automóviles y camiones de dos ejes se presentan en la Figura 1.2-3, figuras I y II, respectivamente, junto con una representación de los radios de giro mínimos para estos vehículos y sus trayectorias para cambios de dirección progresivos.

En la Figura 1.2-4, figuras III y IV se entrega la misma información gráfica relativa a los buses interurbanos y los camiones semi-remolque, respectivamente.

Para determinar las distancias de visibilidad que se utilizan en la definición de una serie de parámetros rectores del diseño, es preciso fijar algunas alturas.¹⁰

-h = Altura focos delanteros: 0,60 m

-h1 = Altura ojos del conductor de un automóvil: 1,10 m

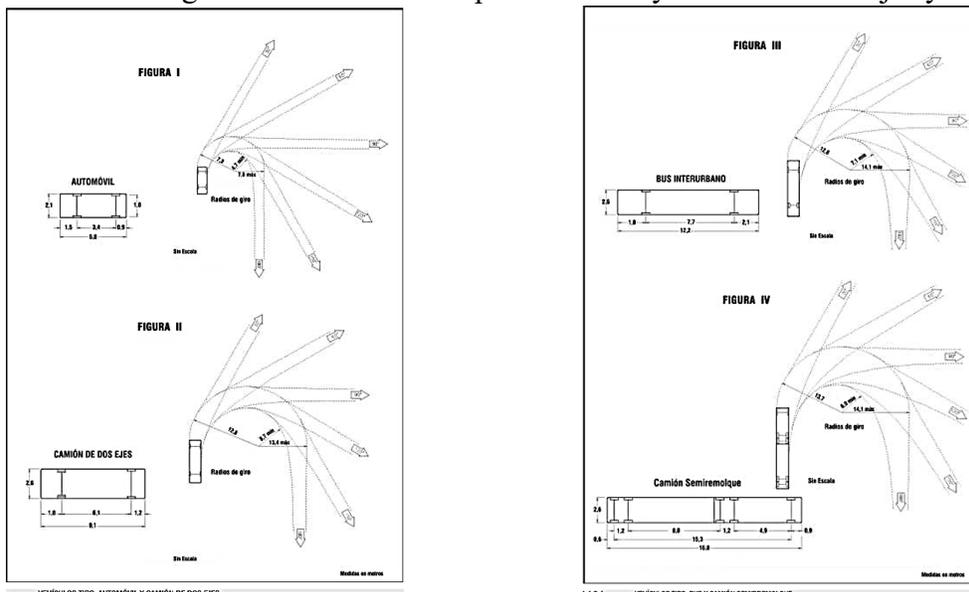
-h2 = Altura obstáculo fijo en la carretera: 0,20 m

-h3 = Altura ojos del conductor de camión o bus: 2,50 m

-h4 = Altura luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0,45 m

-h5 = Altura del techo de un automóvil: 1,20

Imagen N°1- Vehículos tipo automóvil y camión de dos ejes y tres ejes



Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

¹⁰ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

2.1.5. Sistema de clasificación funcional para el diseño

2.1.5.1. Sistema de clasificación

Categoría de las vías

La clasificación para diseño consulta seis categorías divididas en dos grupos, ellas son:

- Carreteras: Autopistas, Autorrutas y Primarias
- Caminos: Colectores, Locales y de Desarrollo

Cada Categoría se subdivide según las Velocidades de Proyecto consideradas al interior de la categoría. Las V_p más altas corresponden a trazados en terrenos Llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terreno montañoso o cuyo entorno presenta limitaciones severas para el trazado. El alcance general de dicha terminología es:

Terreno Llano: Está constituido por amplias extensiones libres de obstáculos naturales y una cantidad moderada de obras construidas por el hombre, lo que permite seleccionar con libertad el emplazamiento del trazado haciendo uso de muy pocos elementos de características mínimas. El relieve puede incluir ondulaciones moderadas de la rasante para minimizar las alturas de cortes y terraplenes; consecuentemente la rasante de la vía estará comprendida mayoritariamente entre $\pm 3\%$.

Terreno Ondulado: Está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 al 6%, según la Categoría de la ruta. El trazado en planta puede estar condicionado en buena medida por el relieve del terreno, con el objeto de evitar cortes y terraplenes de gran altura, lo que justificará un uso más frecuente de elementos del orden de los mínimos. Según la importancia de las ondulaciones del terreno se podrá tener un Ondulado Medio o uno Franco o Fuerte.¹¹

Terreno Montañoso: Está constituido por cordones montañosos o “Cuestas”, en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9%, según la Categoría del Camino, ya sea subiendo o bajando. La planta está controlada por el relieve del terreno (Puntillas, Laderas de fuerte

¹¹ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

inclinación transversal, Quebradas profundas, etc.) y también por el desnivel a salvar, que en oportunidades puede obligar al uso de Curvas de Retorno. En consecuencia, el empleo de elementos de características mínimas será frecuente y obligado. En trazados por donde se atraviesan zonas urbanas o suburbanas, salvo casos particulares, no es el relieve del terreno el que condiciona el trazado, siendo el entorno de la ciudad, barrio industrial, uso de suelo, etc., el que los impone. Situaciones normalmente reguladas por el Plan Regulador y su Seccional correspondiente.¹²

Tabla N°1- Clasificación funcional para el diseño carreteras y caminos rurales

CATEGORIA		SECCION TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CODIGO TIPO
		N° carriles	N° calzadas		
AUTOPISTA	(O)	4 ó +UD	2	120-100-80	A (n)-xx
AUTORRUTA	(LA)	4 ó +UD	2	100-90-80	AR (n)-xx
PRIMARIO	(I.B)	4 ó +UD	2(1)	100-90-80	P (n)-xx
		2 BD	1	100-90-80	P (2)-xx
COLECTOR	(II)	4 ó +UD	2(1)	80-70-60	C (n)-xx
		2 BD	1	80-70-60	C (2)-xx
LOCAL	(III)	2 BD	1	70-60-50-40	L (2)-xx
DESARROLLO		2 BD	1	50-40-30	D -xx

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

- UD: unidireccionales (n) Número total de carriles
- BD: bidireccionales -xx velocidad de proyecto en (km/h)
- * velocidades menores que 30(km/h)en sectores puntuales conflictivos

Autopista (O)

Son carreteras nacionales diseñadas desde su concepción original para cumplir con las características y niveles de servicio que se describen a continuación. Normalmente su emplazamiento se sitúa en terrenos rurales donde antes no existían obras viales de alguna consideración, que impongan restricciones a la selección del trazado y pasando a distancias razonablemente alejadas del entorno suburbano que rodea las ciudades o poblados (circunvalaciones). Están destinadas a servir prioritariamente al tránsito de paso, al que se asocian longitudes de viaje considerables, en consecuencia, deberán diseñarse para

¹² Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

velocidades de desplazamiento elevadas, pero en definitiva compatibles con el tipo de terreno en que ellas se emplazan. Todo lo anterior debe lograrse asegurando altos estándares de seguridad y comodidad. La sección transversal estará compuesta por dos o tres carriles unidireccionales dispuestos en calzadas separadas por un cantero central de al menos 13 m de ancho si está previsto pasar de 2 carriles iniciales por calzada a 3 carriles futuros. En ese caso las estructuras deberán construirse desde el inicio para dar cabida a la sección final considerada. En ellas se autorizará sólo la circulación de vehículos motorizados especialmente diseñados para el transporte de pasajeros y carga, quedando expresamente prohibido el tránsito de maquinaria autopropulsada (Agrícola, de Construcción, etc.) Las velocidades de proyecto, según el tipo de emplazamiento son: – Terreno Llano a Ondulado Medio 120 km/h – Terreno Ondulado Fuerte 100 km/h – Terreno Montañoso 80 km/h Para poder desarrollar las velocidades indicadas bajo condiciones de seguridad aceptables las Autopistas deberán contar con Control Total de Acceso a todo lo largo del trazado, respecto de los vehículos, peatones y animales que se encuentren fuera de la faja del derecho de vía. El distanciamiento entre enlaces consecutivos deberá ser mayor o igual a 5,0 Km., medidos entre los extremos de los carriles de cambio de velocidad de ambos enlaces, o se considerará el diseño de accesos direccionales aislados.

Autorrutas (I.A)

Son carreteras nacionales existentes a las que se les ha construido o se le construirá una segunda calzada prácticamente paralela a la vía original. Normalmente se emplazan en corredores a lo largo de los cuales existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola intensivo, muy próximo a la faja de la carretera.

Están destinadas principalmente al tránsito de paso, de larga distancia, pero en muchos subtramos sirven igualmente al tránsito interurbano entre localidades próximas entre sí. Podrán circular por ellas toda clase de vehículos motorizados incluso aquellos que para hacerlo deban contar con una autorización especial, y que no estén expresamente prohibidos o cuyo tipo de rodado pueda deteriorar la calzada.¹³

Las velocidades de proyecto consideradas son:

¹³ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

– Terreno Llano a Ondulado Fuerte 100 y 90 km/h

– Terreno Montañoso 80 km/h

Las Autorrutas deberán contar con Control Total de Acceso respecto del acceso o salida de vehículos a ella; preferentemente se dará también control de acceso respecto de los peatones y animales a todo lo largo de la ruta, previéndose obligatorio este tipo de control de acceso en las zonas de enlaces, pasarelas y zonas adyacentes a poblados, con longitudes suficientes como para forzar a los peatones a usar los dispositivos especialmente dispuestos para su cruce.

El distanciamiento entre Enlaces sucesivos lo regulará la Administradora Boliviana de Carreteras según las circunstancias particulares de cada emplazamiento; en todo caso resulta conveniente que el espacio libre entre extremos de carriles de cambio de velocidad de enlaces sucesivos no sea menor que 3,0 Km.

Carreteras primarias (I.B)

Son carreteras nacionales o regionales, con volúmenes de demanda medios a altos, que sirven al tránsito de paso con recorridos de mediana y larga distancia, pero que sirven también un porcentaje importante de tránsito de corta distancia, en zonas densamente pobladas.

La sección transversal puede estar constituida por carriles unidireccionales separadas por un cantero central que al menos de cabida a una barrera física entre ambas calzadas más 1,0 m libre desde ésta al borde interior de los carriles adyacentes, pero por lo general se tratará de una calzada con dos carriles para tránsito bidireccional.

Las Velocidades de Proyecto consideradas son las mismas que para las Autorrutas, de modo que en el futuro mediante un cambio de estándar puedan adquirir las características de Autorruta:

Tabla N°2- Velocidades de diseño para carreteras primarias

	Terreno Llano y Ond. Fuerte	Terreno Montañoso
Calzadas Unidireccionales	100 – 90 km/h	80 km/h
Calzadas Bidireccionales	100 – 90 km/h	80 km/h

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Caminos colectores (II)

Son caminos que sirven tránsitos de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo. El servicio al tránsito de paso y a la propiedad colindante tiene una importancia similar. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados. En zonas densamente pobladas se deberán habilitar carriles auxiliares destinados a la construcción de ciclovías.¹⁴

Su sección transversal normalmente, es de dos carriles bidireccionales, pudiendo llegar a tener calzadas unidireccionales. Las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 80 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 70 km/h
- Terreno Montañoso 60 km/h

Normalmente este tipo de caminos poseerá pavimento superior, o dentro del horizonte de proyecto será dotado de él, consecuentemente la selección de la Velocidad de Proyecto debe ser estudiada detenidamente. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados y vehículos a tracción animal que cuenten con los dispositivos reglamentarios señalados en la Ordenanza del Tránsito. En zonas densamente pobladas se construirán carriles auxiliares en que se habilitarán Ciclovías.¹⁵

Caminos locales (III)

Son caminos que se conectan a los Caminos Colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente. Son pertinentes las Ciclovías. La sección transversal prevista consulta dos carriles bidireccionales de las dimensiones, las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 70 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 60 km/h
- Terreno Montañoso 50 y 40 km/h

¹⁴ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

¹⁵ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Caminos de desarrollo

Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas transitarán vehículos motorizados y vehículos a tracción animal. Sus características responden a las mínimas consultadas para los caminos públicos, siendo su función principal la de posibilitar tránsito permanente aún cuando las velocidades sean reducidas, de hecho, las velocidades de proyecto que se indican a continuación son niveles de referencia que podrán ser disminuidos en sectores conflictivos. La Sección Transversal que se les asocia debe permitir el cruce de un vehículo liviano y un camión a velocidades tan bajas como 10 km/hr y la de dos camiones, estando uno de ellos detenido.

Las velocidades referenciales de proyecto son:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 50 y 40 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte a Montañoso 30 km/h

2.2. Diseño geométrico del trazado

2.2.1. Aspectos generales

El trazado

Las carreteras y caminos son obras tridimensionales, cuyos elementos quedan definidos mediante las proyecciones sobre los planos ortogonales de referencia: Planta, Elevación y Sección Transversal.

El elemento básico para tal definición es el eje de la vía, cuyas proyecciones en planta y elevación definen la planta y el alineamiento vertical respectivamente.

Estos ejes en planta y elevación, deben cumplir con una serie de normas y recomendaciones. Estas pretenden conciliar la conveniencia económica de adaptarlos lo más posibles al terreno, con las exigencias técnicas requeridas para posibilitar desplazamientos seguros de un conjunto de vehículos a una cierta velocidad, definida genéricamente como Velocidad de Proyecto.

La elección y definición del conjunto de elementos de planta y elevación y de sus combinaciones, reguladas y normalizadas según una Instrucción de Diseño, constituye el trazado del eje y, por extensión, de la carretera.¹⁶

Variables fundamentales

Se puede considerar que el diseño geométrico propiamente tal se inicia cuando se define, a partir de las consideraciones y antecedentes del caso, una Categoría y una Velocidad de Proyecto para ella. No obstante, ello, éste es sólo el primer paso del proceso, pues en la medida que el trazado se desarrolle por terrenos que no imponen restricciones perceptibles por el usuario y los elementos del trazado sean consecuentes con ello, un porcentaje significativo de los usuarios tenderá a circular a velocidades que pueden superar las de proyecto.

Existe en consecuencia una interdependencia entre la geometría de la carretera y el movimiento de los vehículos en ella (dinámica del desplazamiento), y entre esta geometría y la visibilidad y capacidad de reacción que el conductor tiene al operar su vehículo. Dicho de otra manera, no basta que el movimiento de los vehículos sea dinámicamente posible en condiciones de estabilidad, sino que además debe asegurarse, para todo punto de la vía, que el usuario tenga suficiente tiempo para adecuar su conducción a la geometría de ésta y a las eventualidades que puedan presentarse.

Criterios básicos

Los criterios a aplicar en los distintos casos se establecen mediante límites normativos y recomendaciones que el proyectista deberá respetar y en lo posible, dentro de límites económicos razonables, superar, para lograr un trazado que satisfaga las necesidades del tránsito y brinde la seguridad y calidad de servicio, que se pretende obtener de la carretera o camino, según sea la categoría asignada.

El buen diseño no resulta de una aplicación mecánica de los límites normativos, que en general representan valores mínimos. Por el contrario, el diseño requiere buen juicio y

¹⁶ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

flexibilidad por parte del proyectista, para abordar con éxito la combinación de los elementos en planta y elevación, sin transgredir los límites normativos.

El trazado debe ser homogéneo, es decir, sectores de éste que inducen velocidades superiores a las de proyecto, no deben ser seguidos de otros en los que las características geométricas se reducen bruscamente a los mínimos correspondientes a dicha V_p . Las transiciones de una a otra situación, si ellas existen, deberán darse en longitudes suficientes como para ir reduciendo las características del trazado a lo largo de varios elementos, hasta llegar a los mínimos absolutos requeridos en un sector dado.¹⁷

Eventualmente, una ruta puede requerir se definan tramos con distintas V_p , cuando la topografía o el uso de la tierra cambia significativamente y dicha situación se mantiene por más de 3 ó 4 km, casos en que se diseñarán cuidadosamente las transiciones y la señalización correspondiente.

En general, las Tablas normativas que resumen los valores mínimos absolutos para los diversos elementos se darán para el rango de Velocidades de Proyecto comprendido entre 30 y 120 km/h, variando cada 10 km/h. En algunas de las Tablas detalladas que figuran en el texto, se incluyen valores variando cada 5 km/h y hasta 130 km/h, que se requieren en relación con las Velocidades Percentil 85 ($V_{85\%}$) y Velocidad Específica (V_e). En Caminos de Desarrollo con Velocidades de Proyecto menores o iguales que 40 km/h, sólo se indicarán valores normativos correspondientes a las variables principales, dando mayor libertad en el empleo de los valores asociados a las restricciones complementarias que dicen relación con la comodidad y percepción estética de la ruta.

Velocidad 85% considerada para el diseño en planta

En los períodos en que los flujos de demanda son moderados, existirá poca interferencia entre los usuarios y la velocidad asociada al percentil 85 se define como la velocidad a emplear para el diseño. Lo anterior requiere establecer criterios que permitan predecir con cierta aproximación, la $V_{85\%}$ que se dará en diferentes tramos de la ruta.¹⁸

¹⁷ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

¹⁸ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Predicción de la V85% en tramos rectos

La longitud de las rectas “Lr” (m), se medirá entre el PK de salida de la clotoide de la curva de entrada a la recta, y el inicio de la clotoide de la curva de salida de la recta, ambas según el sentido de circulación que se está analizando. Si las curvas no poseen clotoide, la recta obviamente se desarrolla entre el FC y el PC de dichas curvas.

Para el rango de Velocidades de Proyecto (Vp) y la Longitud del Tramo en Recta (Lr), que se definen en la Tabla 2.1-1, la V85% dependerá de:

Tabla N°3- Criterios de predicción en función de Vp y Lr

Situaciones Posibles		V85% Determinada por:
Caso I	Lr (m) > 400	Longitud de la Recta
Caso II	Lr (m) ≤ 400	Las características de la configuración precedente y la relación de los radios de las curvas de entrada y salida

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Tabla N°4- V85% al final de una recta según long. y velocidad de proyecto

V Proyecto Km/h	40	50	60	70	80	90	100	120
400 m ≤ Lr ≤ 600 m	50	60	70	80	90	100	110	125
Lr > 600 m	60	70	80	90	100	110	115	130

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

La Tabla anterior es válida para Carreteras bidireccionales y unidireccionales en terreno llano u ondulado medio, con pavimento de 7,0 m de ancho y bermas + SAP mayores o iguales a 2,0 m, (berma exterior en el caso de las unidireccionales). Estas Velocidades podrán ser alcanzadas en períodos en que el flujo no impone restricciones a la selección de la Velocidad por parte de los usuarios.

Como puede observarse, la predicción establece que para Vp bajas en que los usuarios se ven severamente restringidos en la selección de su velocidad de desplazamiento en los tramos sinuosos, la velocidad en las rectas (V85%) puede superar hasta en 20 km/h la Vp, en tanto que para las Vp altas la diferencia se reduce a 15 y 10 km/h por sobre la Vp.

En Caminos Colectores y Locales bidireccionales, con pavimento de 6,0 m de ancho y bermas + SAP (sobrecancho de pavimentación) de menos que 2,0 m, los valores indicados en

la Tabla 2.1-2, se podrán reducir en 5 km/h y si el trazado se desarrolla en terreno ondulado fuerte o francamente montañosos (V_p 40 a 60 km/h) la reducción puede alcanzar a 10 km/h con un límite de $V_{85\%}=V_p$.¹⁹

Criterios de predicción de la $V_{85\%}$ en curvas horizontales

Se deben distinguir los casos bajo los cuales se clasificaron las rectas en la Tabla 2.1-1:

– Toda curva horizontal posterior a una recta con longitud L_r mayor que 400 m deberá poseer un radio R al que corresponda una Velocidad Específica $V_e \geq V_{85\%}$ determinada según la Tabla 2.1-2 con las correcciones que puedan corresponder en el caso de Colectores y Locales Bidireccionales. La Figura 2.3-3 entrega un listado de radios, peraltes y coeficientes de fricción transversal a los que se asocia la V_e que les corresponde. Los valores de V_e que aparecen en las Tablas I y II de la Figura, se pueden aproximar a los 5 km/h más próximos para efectos de clasificación. Para radios de valores intermedios la V_e se obtendrá por interpolación, y el peralte correspondiente de la Figura 2.3-2.

– Si la primera curva de una secuencia está precedida por una recta con $L_r > 600$ m y entre las dos curvas de la secuencia que se analiza, $400 \text{ m} < L_r \leq 600 \text{ m}$, es deseable que la segunda curva acepte también una V_e mayor o igual que la $V_{85\%}$ empleada en el diseño de la primera. No obstante, lo anterior, si se está entrando en una zona de trazado restrictivo, se aceptará que la segunda curva se diseñe para la $V_{85\%}$ definida en la Tabla 2.1-2 para $400 \text{ m} < L_r \leq 600 \text{ m}$.

– Para una secuencia de curvas horizontales sin recta intermedia, o con rectas de longitudes menores que 400 m, la V_e de la Curva inicial habrá sido determinada según el Acápite i o ii y los radios sucesivos deberán mantenerse dentro del rango indicado en la Figura 2.3-4 para Carreteras con $V_p \geq 80$ km/h y en la Figura 2.3-5 para Caminos con $V_p \leq 80$ km/h, lo que determina sucesivamente la V_e de las curvas siguientes, según el radio seleccionado dentro del rango para cada par del conjunto, y con V_e siempre mayor o igual que V_p .

– Según lo expuesto en los literales anteriores, una curva de $R_{\text{mín}}$ correspondiente a la V_p de la ruta, sólo podrá emplearse si está precedida por una recta con $0 \leq L_r \leq 400$ m y a la

¹⁹ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

curva existente al inicio de dicha recta (Radio de entrada, según las Figura 2.3-4 o Figura 2.3-5), se asocia un rango de Radios de salida, en el cual esté comprendido el Rmín correspondiente a Vp.²⁰

2.2.2. Distancias de visibilidad y maniobras asociadas

Se distinguen para el diseño cinco tipos de visibilidad, bajo distintas circunstancias impuestas por el trazado de la carretera o la maniobra que se desea ejecutar.

Los casos básicos aludidos son:

- Visibilidad de Frenado
- Visibilidad de Adelantamiento (Caminos Bidireccionales)
- Visibilidad al Punto de Atención
- Visibilidad en Intersecciones
- Visibilidad para cruzar una Carretera o Camino

Distancia de frenado

En todo punto de una Carretera o Camino, según se definió en Párrafo 2.1.3.2, un conductor que se desplace a la Velocidad V, por el centro de su carril de tránsito, debe disponer al menos de la visibilidad equivalente a la distancia requerida para detenerse ante un obstáculo inmóvil, situado en el centro de dicho carril. Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor que 0,20 m (h2), estando situados los ojos de conductor a 1,10 m (h1), sobre la rasante del eje de su carril de circulación.

La Distancia de Frenado sobre una alineación recta de pendiente uniforme, se calcula mediante la expresión:

$$Df = \frac{V * t}{3,6} + \frac{V^2}{254(f_1 + i)} \quad \text{Ecuación N°1 Distancia de frenado}$$

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

²⁰ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

D_f = Distancia de Frenado (m)

$V = V_p$ o V^* Según lo definido en 2.1.3.2

t = Tiempo de Percepción + Reacción (s)

f_l = Coeficiente de Roce Rodante, Pavimento Húmedo

i = Pendiente Longitudinal (m/m)

+ i Subidas respecto sentido de circulación

- i Bajadas respecto sentido de circulación

El primer término de la expresión representa la distancia recorrida durante el tiempo de percepción + reacción (dt) y el segundo la distancia recorrida durante el frenado hasta la detención junto al obstáculo (df). La Tabla 2.2-1 presenta los valores parciales calculados mediante la expresión citada y el valor

redondeado adoptado para D_f . Todo ello considerando que V^* corresponde a la velocidad asignada al tramo y que los valores de “ t ” y “ f_l ” se han actualizado de acuerdo a las tendencias vigentes a la fecha.

Los valores allí consignados para D_f son los mínimos admisibles en horizontal. En la Figura 2.2-1 se presentan los valores corregidos por efecto de la pendiente.

Si en una sección de carretera o camino resulta prohibitivo lograr la Distancia Mínima de Visibilidad de Frenado correspondiente a V^* , se deberá señalar dicho sector con la velocidad máxima admisible, siendo éste un recurso extremo a utilizar sólo en casos muy calificados y autorizados por la Administradora Boliviana de Carreteras.²¹

²¹ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Tabla N°5- Distancia mínima de frenado

V	t	f _i	dt	Df	Df (m)		V
km/h	s	-	m	m	dt+df	Adopt.	km/h
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25	30
35	2					31	35
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38	40
45	2					44	45
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52	50
55	2					60	55
60	2	0,460	33,3	35,5	68,8	70	60
65	2					80	65
70	2	0,380	38,9	50,8	89,7	90	70
75	2					102	75
80	2	0,360	44,4	70,0	114,4	115	80
85	2					130	85
90	2	0,340	50,0	93,9	143,8	145	90
95	2					166	95
100	2	0,330	55,5	119,4	174,9	175	100
105	2					192	105
110	2	0,320	61,1	149,0	210,0	210	110
115	2					230	115
120	2	0,310	66,6	183,0	249,6	250	120
125	2					275	125
130	2	0,295	72,2	225,7	297,9	300	130

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Visibilidad de frenado en puntos singulares

En sectores que se aparten del caso base, trazado recto con rasante en pendiente uniforme, el cálculo de los elementos deberá verificarse o efectuarse de modo de asegurar en todo punto, al menos una visibilidad equivalente a la distancia de frenado requerida. Estos casos se tratan en:

- Verificación de “Df” en Curvas Horizontales
- Verificación Gráfica de las Distancias de Visibilidad en Alzado
- Diseño Curvas Verticales por Criterio “Df”
- Verificación de “Df” bajo Estructuras

Distancia de adelantamiento

La Distancia de Adelantamiento “Da”, equivale a la visibilidad mínima que requiere un conductor para adelantar a un vehículo que se desplaza a velocidad inferior a la de proyecto; esto es, para abandonar su Carril, sobrepasar el vehículo adelantado y retornar a su carril en forma segura, sin afectar la velocidad del vehículo adelantado ni la de un vehículo que se desplace en sentido contrario por el carril utilizado para el adelantamiento. De lo expuesto se deduce que la Visibilidad de Adelantamiento se requiere sólo en caminos con carriles para

tránsito bidireccional. En carreteras con carriles unidireccionales no será necesario considerar en el diseño el concepto de distancia de adelantamiento, bastando con diseñar los elementos para que cuenten con la Visibilidad de Frenado.

La línea de visual considerada en este caso será aquella determinada por la altura de los ojos de uno de los conductores ($h_1 = 1,10$ m) en un extremo y la altura de un vehículo ($h_2 = 1,2$ m) en el otro. Para simplificar la verificación se considerará que al iniciarse la maniobra todos los vehículos que intervienen se sitúan en el eje del carril de circulación que les corresponde, según el sentido de avance.²²

El enfoque clásico elaborado por AASHTO para calcular D_a , implica definir una serie de variables y situaciones que conforman un modelo, por lo general conservador, de las diferentes realidades que se presentan en la práctica. Contrastados los valores recomendados por AASHTO con los que se emplean en Alemania, España y Gran Bretaña, se adoptaron valores medios correspondientes a la tendencia europea, que son del orden de un 5 a 10% menores que los de AASHTO.

La Tabla 2.2-2 entrega los valores mínimos a considerar en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar. El proyectista deberá verificar en las etapas iniciales del proyecto en que zonas se deberá prohibir el adelantamiento (Párrafo 2.2.3.3) y así adaptar su trazado evitando sectores demasiado largos en que no se pueda ejecutar esta maniobra, según se discute en Párrafo 2.2.3.2 Las distancias de adelantamiento se dan en función de la Velocidad de Proyecto V_p , considerando que difícilmente se intentarán maniobras de adelantamiento respecto de vehículos que circulan a velocidades mayores.

Tabla N°6- Distancia mínima de adelantamiento

Velocidad de Proyecto km/h	Distancia Mínima de Adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

²² Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

2.2.3. Trazado en planta

2.2.3.1. Aspectos generales

Controles del trazado en planta

En tramos restrictivos del trazado se deberá asegurar una operación segura y confortable considerando la Velocidad de Proyecto (V_p) correspondiente a la categoría de la ruta; en tanto que en los tramos de trazado amplio se deberá considerar la $V_{85\%}$ ó la V^* según corresponda, asociada al conjunto de los elementos del tramo, en previsión de las velocidades de desplazamiento que adoptará un porcentaje importante de los usuarios en los períodos de baja demanda. Si por condiciones topográficas se debe cambiar la velocidad de proyecto, el diseño debe consultar el tramo de transición correspondiente, situación que se señalará adecuadamente en terreno.

Los límites normativos que se indican más adelante se aplican a la combinación de elementos rectos y curvos de caminos bidireccionales y unidireccionales, excepto cuando se haga la salvedad correspondiente.

Las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal son:

- Categoría de la Ruta
- Topografía del Área
- Velocidad de Proyecto
- $V_{85\%}$ para diseñar las Curvas Horizontales
- V^* para verificar Visibilidad de Frenado
- Coordinación con el Alineamiento Vertical
- Costo de Construcción, Operación y Mantención

Todos estos elementos deben conjugarse de manera tal que el trazado resultante sea el más seguro y económico, en armonía con los contornos naturales y al mismo tiempo adecuado a la categoría, según la Clasificación Funcional para Diseño.²³

²³ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Localización del eje en planta

Si el proyecto considera calzada única, en la mayoría de los casos el eje en planta será el eje de simetría de la calzada de sección normal, prescindiendo de los posibles ensanches o carriles auxiliares que puedan existir en ciertos sectores. El eje de simetría será también el eje de giro para desarrollar los peraltes.

En carreteras unidireccionales provistas de cantero central, el eje se localizará en el centro del cantero central y los bordes interiores del pavimento de las calzadas poseerán la misma cota que dicho eje en las secciones transversales correspondientes. Los ejes de giro del peralte corresponderán en este caso a los bordes interiores del pavimento de cada calzada.

En carreteras unidireccionales con calzadas independientes el eje corresponderá al eje de simetría de cada calzada, el que también será eje de giro de los peraltes. Sin embargo, si las calzadas se independizan sólo en un tramo, conviene mantener el eje en el borde interior del pavimento para facilitar el empalme y la coherencia general del proyecto cuando estas vuelvan a juntarse.

En carreteras bidireccionales, para las que en el mediano plazo se prevea la construcción de la segunda calzada, la Administradora Boliviana de Carreteras decidirá oportunamente si se diseñan considerando un eje de simetría en la calzada inicial o un eje localizado en el futuro cantero central, proyectándose en este caso con bombeo en un solo sentido.

Verificación de la visibilidad en planta

La visibilidad en el interior de una curva horizontal puede estar limitada por obstrucciones laterales. La expresión analítica que se presenta a continuación permite calcular el despeje mínimo necesario en la parte central de la curva, pero hacia los extremos de ésta el despeje disminuye, dando origen a un huso. Lo anterior es especialmente válido cuando la distancia de visibilidad requerida es mayor que el desarrollo de la curva o cuando existen curvas de transición entre la alineación recta y la curva circular. Las figuras de la Figura 2.2-2 muestran como mediante un polígono de visuales se puede determinar, para diversas secciones transversales, el despeje necesario medido a partir del radio que describe el conductor por el carril interior (derecha) de la calzada, en el caso de curvas a la derecha. En carreteras unidireccionales se podrá usar el mismo procedimiento, pudiendo en ese caso también ser crítico el carril adyacente al cantero central (izquierdo), para curvas hacia la izquierda, si en

el cantero central existen barreras camineras o arbustos. (Ver caso de Carreteras Unidireccionales con Control Total de Acceso al final de este numeral).²⁴

Para calcular el despeje lateral máximo requerido se deben considerar los dos casos que se ilustran.

- I Df o Da < Desarrollo de la Curva Circular
- II Df o Da > Desarrollo de la Curva Circular

En el caso I la zona sombreada ilustra el valor “a máx” requerido para lograr la visibilidad necesaria. Este valor puede ser calculado analíticamente a partir de la expresión:

$$a \text{ máx} = R \left[1 - \cos \left(\frac{100 * Dv}{\pi * R} \right) \right] \quad \text{Ecuación N°2 Aceleración máx. requerido}$$

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Siendo Dv igual a Df o Da según el caso bajo análisis y la función trigonométrica en grados centesimales.

La anterior expresión puede reemplazarse por: $a \text{ máx} = Dv^2 / 8 * R$ que da resultados suficientemente aproximados para todos los efectos, cuando se calcula a máx, por condición de frenado o cuando se calcula a máx, para $R > Da$ en el caso de visibilidad de adelantamiento. El error que se comete está en todo caso por el lado de la seguridad.

Criterios para establecer el trazado en planta

Elementos del trazado en planta

La planta de una carretera preferentemente deberá componerse de una sucesión de elementos curvos que cumplan las relaciones que se fijan más adelante y de aquellos tramos en recta que sean indispensables.

Los elementos curvos comprenden:

²⁴ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

- Curvas Circulares
- La parte central circular y dos arcos de enlace
- Otras combinaciones de arco circular y arco de enlace

2.2.3.2. Alineamiento recto

Salvo en zonas desérticas o estepas, los grandes alineamientos rectos no se dan en forma natural. Pretender incorporarlos al trazado implica por lo general movimientos de tierra innecesarios, además de producir los inconvenientes operativos.

En muchos casos puede reemplazarse con ventaja un alineamiento recto por curvas de radios comprendidos entre 5.000 y 7.500 m.

Longitudes máximas en recta

Se procurará evitarán longitudes en recta superiores a:

- $L_r (m) = 20 V_p (km/h)$
- $L_r =$ Largo en m de la Alineación Recta
- $V_p =$ Velocidad de Proyecto de la Carretera

En caminos bidireccionales de dos carriles, a diferencia de lo que ocurre en carreteras unidireccionales, la necesidad de proveer secciones con visibilidad para adelantar justifica una mayor utilización de rectas importantes. Sin embargo, rectas de longitud comprendida entre $8V_p$ y $10V_p$, enlazadas por curvas cuya V_e sea mayor o igual que la V_{85} determinada según la Tabla 2.1-2, cubren adecuadamente esta necesidad.

Longitudes mínimas en recta

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curvas en “S” de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.²⁵

²⁵ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Curvas en S

- a) En nuevos trazados deberá existir coincidencia entre el término de la clotoide de la primera curva y el inicio de la clotoide de la segunda curva.
- b) En las recuperaciones o cambios de estándar, si lo expuesto en el Acápite i no es posible, se podrán aceptar tramos rectos intermedios de una longitud no mayor que:

$$Lrs \text{ máx} = 0,08 * (A1 + A2)$$

Ecuación N°3 Long. máx. en curvas S

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Siendo A1 y A2 los parámetros de las clotoides respectivas.

- c) Tramos rectos intermedios de mayor longitud, deberán alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la Tabla N°6, los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en S propiamente tal, y están dados por

$$r \text{ mín} = 1,4 * Vp$$

Ecuación N°4 Long min. entre curvas

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Tabla N°7- Lr min entre curvas de distinto sentido

Vp (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Lr (m)	56	70	84	98	112	126	140	154	168

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

2.2.3.3. Curvas circulares

Elementos de la curva circular

En la imagen N°2 se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular. La simbología normalizada que se define a continuación deberá ser respetada por el proyectista.

Las medidas angulares se expresan en grados centesimales (g).

Vn: Vértice; punto de intersección de dos alineaciones consecutivas del trazado.

α : Angulo entre dos alineaciones, medido a partir de la alineación de entrada, en el sentido de los punteros del reloj, hasta la alineación de salida.

ω : Angulo de Deflexión entre ambas alineaciones, que se repite como ángulo del centro subtendido por el arco circular.

R: Radio de Curvatura del arco de círculo (m)

T: Tangentes, distancias iguales entre el vértice y los puntos de tangencia del arco de círculo con las alineaciones de entrada y salida (m). Determinan el principio de curva PC y fin de curva FC.

S: Bisectriz; distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m)

D: Desarrollo; longitud del arco de círculo entre los puntos de tangencia PC y FC (m)

e: Peralte; valor máximo de la inclinación transversal de la calzada, asociado al diseño de la curva (%)

E: Ensanche; sobreaño que pueden requerir las curvas para compensar el mayor ancho ocupado por un vehículo al describir una curva.²⁶

²⁶ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Imagen N°2- Elementos de conjunto arco de enlace- curva circular

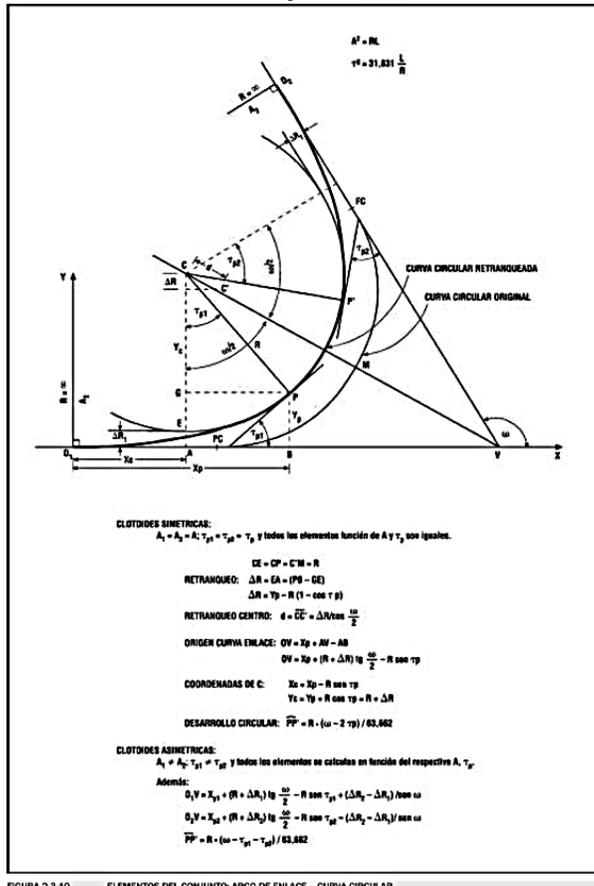


FIGURA 2.3-10 ELEMENTOS DEL CONJUNTO: ARCO DE ENLACE - CURVA CIRCULAR

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Radios mínimos absolutos

Los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están dados por la expresión:

$$R_{mín} = \frac{Vp^2}{127(e_{max} + f)} \quad \text{Ecuación N°5 Radio mínimo}$$

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Rmín : Radio Mínimo Absoluto (m)

Vp: Velocidad Proyecto (km/h)

e máx: Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

f: Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a Vp.

Tabla N°8- Valores máximos para el peralte y la fricción transversal

	emáx	f
Caminos Vp 30 a 80 km/h	7%	0,265 – V/602,4
Carreteras Vp 80 a 120 km/h	8%	0,193 – V/1134

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Tabla N°9- Radios mínimos absolutos en curvas horizontales

Caminos Colectores – Locales – Desarrollo			
Vp	emáx	f	Rmín
km/h	(%)		(m)
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
Carreteras – Autopistas Autorrutas – Primarios			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Sobreancho en curvas circulares

Las huelgas teóricas consideradas para los vehículos comerciales de 2,6 m de ancho, en recta y en curva, según el ancho de una calzada de dos carriles, son:

Tabla N°10- Huelgas teóricas

Calzada de 7,0 m		Calzada de 6,0 m	
En Recta	En Curva Ensanchada	En Recta	En Curva Ensanchada
h1 0,5 m	0,6 m	0,3 m	0,45 m
h2 0,4 m	0,4 m	0,1 m	0,05 m
h2 ext. 0,4 m	0,0 m	0,1 m	0,0 m

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Siendo:

h1 = Huelga entre cada vehículo y el eje demarcado.

h2 = Huelga entre la cara exterior de los neumáticos de un vehículo y el borde exterior del

carril por la que circula (en recta) o de la última rueda de un vehículo simple o articulado y el borde interior de la calzada en curvas.

$h2_{ext}$ = Huelga entre el extremo exterior del parachoque delantero y el borde exterior de la calzada, $h2_{ext} \approx h2$ en recta y $h2_{ext} = 0$ en curvas ensanchadas.

Cálculo del sobreancho

El cálculo detallado del sobreancho en curvas circulares de carreteras y caminos se desarrolló mediante el análisis geométrico de las trayectorias que describen los diferentes vehículos, considerando el ancho de la calzada y las huelgas definidas en el Literal a; los resultados obtenidos quedan bien representados por las expresiones simplificadas que se presentan en la Tabla 2.3-11, columna E(m), las que permiten calcular el Ensanche Total requerido en una calzada de dos carriles (bidireccional o unidireccional) con anchos de 7,0 y 6,0 m, empleando los parámetros de cálculo “Lo” para unidades simples (Camiones y Buses); L1 y L2 para unidades articuladas (Semitrailer) y el Radio R de la curva.²⁷

Tabla N°11- Ensanche de la calzada E (m)

TIPO DE VEHÍCULO (Lt en m)	PARÁMETRO DE CÁLCULO (m)	E (m)	e.int (m)	e.ext (m)	RADIOS LÍMITE (m)
CALZADA EN RECTA 7,0 m (n = 2) 0,5 m ≤ E ≤ 3,0 m E = e.int + e.ext h1 = 0,6 m h2 = 0,4 m					
Camión Unid. Simple Lt = 11,0* Bus Corriente Lt = 12,0	Lo = 9,5	$(Lo^2/R) - 0,2$	0,65 E	0,35 E	$30 \leq R \leq 130$
Bus de Turismo Lt = 13,2* Bus de Turismo Lt = 14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(Lo^2/R) - 0,2$	0,65 E	0,35 E	$35 \leq R \leq 160$
Semitrailer Lt = 16,4	L1 = 5,6 L2 = 10,0	$((L1^2 + L2^2)/R) - 0,20$	0,70 E	0,30 E	$45 \leq R \leq 190$
Semitrailer Lt = 18,6*	L1 = 5,6 L2 = 12,2				$60 \leq R \leq 260$
Semitrailer Lt = 22,4*	L1 = 5,6 L2 = 15,5				$85 \leq R \leq 380$

Si e.int calculado ≤ 0,35 m, se adopta e.ext = 0 y se da todo el ensanche E en e.int.

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

²⁷ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

CALZADA EN RECTA 6,0 m (n = 2)		0,35 m ≤ E ≤ 3,20 m		h1 = 0,45 m	h2 = 0,05 m
Camión Unid. Simple Lt=11,0* Bus Corriente Lt=12,0	Lo = 9,5	$(Lo^2/R) + 0,15$	55 E	0,45 E	$30 \leq R \leq 450$
Bus de Turismo Lt=13,2* Bus de Turismo Lt=14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(Lo^2/R) + 0,15$	55 E	0,45 E	$35 \leq R \leq 550$
Semitrailer Lt=16,4	L1 = 5,6 L2 = 10,0	$((L1^2 + L2^2)/R) + 0,20$	55 E	0,45 E	$45 \leq R \leq 650$
Semitrailer Lt=18,6*	L1 = 5,6 L2 = 12,2	$((L1^2 + L2^2)/R) + 0,20$	55 E	0,45 E	$65 \leq R \leq 850$
Semitrailer Lt=22,4*	L1 = 5,6 L2 = 15,5	No corresponde a Caminos con Calzada 6,0 m			

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Lt = Largo Total del Vehículo * Indica largo máximo legal

Unidades Simples (Camiones y Buses):

Lo = Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero

Semitrailer:

L1 = Distancia entre parachoques delantero y último eje camión tractor

L2 = Distancia entre pivote mesa de apoyo y último eje del tandem trasero

Camión con Acoplado:

El conjunto con Lt = 20,5 m (máx legal) puede operar en los ensanches diseñados para el Semitrailer con Lt= 18,6 m y cualquier conjunto con $Lt \leq 19,5$ m puede hacerlo en los diseños para el Semitrailer con Lt = 16,4 m.

2.2.3.4. Composición del alineamiento horizontal

Composición del alineamiento según categoría

Toda carretera o camino con la sola excepción de los Caminos de Desarrollo deberán:

- Ser proyectadas con enlaces clotoidales de transición entre los elementos de distintas

naturalezas, magnitud o sentido de curvatura, dentro de los rangos establecidos precedentemente.

– Las secuencias de curvas distantes menos de 400 m considerados entre el término y el inicio de las clotoideas respectivas, deberán cumplir las relaciones para el radio de entrada y salida que se establecieron en el Párrafo 2.3.3.4.

– La incorporación de rectas largas, $L_r > 400$ m, requerirá un tratamiento de las curvas existentes en los extremos de la recta en función de la $V_{85\%}$ predicha para cada V_p en Párrafo 2.1.3.1.

2.2.4. TRAZADO EN ALINEAMIENTO VERTICAL

2.2.4.1. Aspectos generales

Las cotas del eje en planta de una carretera o camino, al nivel de la superficie del pavimento o capa de rodadura, constituyen la rasante o línea de referencia del alineamiento vertical. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de Perfil Longitudinal del Proyecto.

La rasante determina las características en el alineamiento vertical de la carretera y está constituida por sectores que presentan pendientes de diversa magnitud y/o sentido, enlazadas por curvas verticales que normalmente serán parábolas de segundo grado.

Para fines de proyecto, el sentido de las pendientes se define según el avance de la distancia acumulada (D_m), siendo positivas aquéllas que implican un aumento de cota y negativas las que producen una pérdida de cota.²⁸

Las curvas verticales de acuerdo entre dos pendientes sucesivas permiten lograr una transición paulatina entre pendientes de distinta magnitud y/o sentido, eliminando el quiebre de la rasante. El adecuado diseño de ellas asegura las distancias de visibilidad requeridas por el proyecto. En todo punto de la carretera debe existir por lo menos la Visibilidad de Frenado que corresponda a la V^* del tramo.

²⁸ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

El trazado en el alineamiento vertical está controlado principalmente por la:

- Categoría del Camino
- Topografía del Área
- Trazado en Horizontal y Velocidad V^* correspondiente
- Distancias de Visibilidad
- Drenaje
- Valores Estéticos y Ambientales
- Costos de Construcción

El sistema de cotas del proyecto se referirá en lo posible al nivel medio del mar, para lo cual se enlazarán los puntos de referencia del estudio con los pilares de nivelación del Instituto Geográfico Militar.

2.2.4.2. Ubicación de la rasante respecto del perfil transversal

La superficie vertical que contiene la rasante coincidirá con el eje en planta de la carretera o camino.

Cuando el proyecto considera calzada única, en la mayoría de los casos, el eje en planta será eje de simetría de la calzada. En carreteras unidireccionales con cantero central de hasta 13 m, el eje en planta normalmente se localiza en el centro del cantero central y la rasante de dicho eje se proyectará al borde interior de los pavimentos de cada calzada.²⁹

En carreteras unidireccionales con calzadas independientes pueden ser necesarias dos rasantes, cada una de ellas asociada al respectivo eje en planta, o al borde izquierdo de los pavimentos, según el sentido de circulación en cada una de ellas.

²⁹ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

2.2.4.3. Inclinación de las rasantes

Pendientes máximas

La Tabla 2.4-1 establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

Tabla N°12- Pendientes máximas admisibles %

CATEGORIA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)									
	≤30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	-(1)	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autorrutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Pendientes mínimas

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0,5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales. Se distinguirán los siguientes casos particulares:

- Si la calzada posee un bombeo o inclinación transversal de 2% y no existen soleras o cunetas, se podrá excepcionalmente aceptar sectores con pendientes longitudinales de hasta 0,2%. Si el bombeo es de 2,5% excepcionalmente se podrán aceptar pendientes longitudinales iguales a cero.
- Si al borde del pavimento existen soleras la pendiente longitudinal mínima deseable será de 0,5% y mínima absoluta 0,35%.³⁰
- En zonas de transición de peralte en que la pendiente transversal se anula, la pendiente longitudinal mínima deberá ser de 0,5% y en lo posible mayor.

Si los casos analizados precedentemente se dan en cortes, el diseño de las pendientes de las cunetas deberá permitir una rápida evacuación de las aguas, pudiendo ser necesario revestirlas para facilitar el escurrimiento.

³⁰ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

2.2.4.4. Enlaces de rasantes

Curvas verticales de enlace

El ángulo de deflexión entre dos rasantes que se cortan, queda definido por la expresión:

$$\theta_{\text{radianes}} = (i_1 - i_2) \quad \text{Ecuación N°6 Ángulo de deflexión}$$

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Es decir, θ se calcula como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida, expresadas en m/m. Las pendientes deberán considerarse con su signo, según la definición:

+ Pendiente de Subida según el avance de Dm

- Pendiente de Bajada según avance de Dm

Toda vez que la deflexión θ es igual o mayor que $0,5\% = 0,005$ m/m, se deberá proyectar una curva vertical para enlazar las rasantes. Bajo esta magnitud se podrá prescindir de la curva de enlace ya que la discontinuidad es imperceptible para el usuario.

La curva a utilizar en el enlace de rasantes será una parábola de segundo grado, que se caracteriza por presentar una variación constante de la tangente a lo largo del desarrollo, además de permitir una serie de simplificaciones en sus relaciones geométricas, que la hacen muy práctica para el cálculo y replanteo.³¹

Criterios de diseño para curvas verticales

- Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la Visibilidad de Frenado, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.
- En calzadas bidireccionales, si la condición lo permiten, el proyectista podrá diseñar curvas de enlace por criterio de visibilidad de adelantamiento, con lo que se asegura sobradamente la visibilidad de frenado.
- El cálculo de curvas verticales presenta dos situaciones posibles, a saber:

³¹ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

$$Dv > 2 * T$$

$$Dv < 2 * T$$

– La presente norma considera como situación general el caso $Dv < 2T$ ya que: representa el caso más corriente, implica diseños más seguros y la longitud de curva de enlace resultante de $Dv > 2T$, normalmente debe ser aumentada por criterio de comodidad y estética.

– En curvas verticales convexas o cóncavas del tipo 1 y 3 (Figura 2.4-1), la Visibilidad de Frenado a considerar en el cálculo del parámetro corresponde a la distancia de frenado de un vehículo circulando a velocidad V^* en rasante horizontal. Ello en razón de que el recorrido real durante la eventual maniobra de detención se ejecuta parte en subida y parte en bajada, con lo que existe compensación del efecto de las pendientes. En curvas verticales del tipo 2 y 4 el tránsito de bajada requiere una mayor distancia de visibilidad de frenado, que resulta significativa para pendientes sobre -6% para velocidades \leq que 60 km/h y -4% , para velocidades ≥ 70 km/h. En estos casos el parámetro de la curva vertical puede calcularse adoptando la distancia de visibilidad corregida (Tabla 2.2-1), o bien eligiendo el parámetro correspondiente a $V^* + 5$ km/h, que da un margen de seguridad adecuado.³²

Parámetros mínimos por visibilidad de frenado

Curvas verticales convexas

Se considera la distancia de frenado sobre un obstáculo fijo situado sobre el carril de tránsito y la altura de los ojos del conductor sobre la rasante de este carril. El parámetro queda dado por:

$$Kv = \frac{Df^2}{2} * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2 \quad \text{Ecuación N°7 Parámetro Kcurva conv.}$$

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Kv = Parámetro Curva Vertical Convexa (m)

³² Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Df = Distancia de Frenado f(V*) m

h1 = Altura Ojos del Conductor 1,10 m

h2 = Altura Obstáculo Fijo 0,20 m

Luego:

$$Kv = Df^2/4,48$$

Curvas verticales cóncavas

Se considera la distancia de frenado nocturna sobre un obstáculo fijo que debe quedar dentro de la zona iluminada por los faros del vehículo. ³³

El parámetro queda dado por:

$$Kc = Df^2/2(h + Df \operatorname{sen}\beta)$$

Ecuación N°8 Parámetro K curva cónc.

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Kc = Parámetro Curva Vertical Cóncava (m)

Df = Distancia de Frenado f (Vp) (m). (Se considera que de noche los usuarios no superan Vp)

h = Altura Focos del Vehículo = 0,6 m

β = Angulo de Abertura del Haz Luminoso respecto de su Eje = 1°

Luego:

$$Kc = Df^2/(1,2 + 0,035 Df)$$

³³ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Tabla N°13- Parámetros mínimos en curvas verticales por criterio de visibilidad de frenado

Velocidad de Proyecto Vp (km/h)	CURVAS CONVEXAS Kv			CURVAS CONCAVAS Kc
	V* =Vp km/h	V* =Vp + 5 km/h	V* =Vp + 10 km/h	Vp km/h
30	300	300	300	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900
80	3000	3550	4400	2600
90	4700	5100	6000	3400
100	6850	7400	8200	4200
110	9850	10600	11000	5200
120	14000	15100	16000	6300

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

2.2.4.5. Drenaje en curvas verticales

En curvas verticales convexas del tipo 1 y cóncavas del tipo 3 (Figura 2.4-2), parámetros superiores a 6.000 m producen en la cúspide o en el fondo de la curva una zona, del orden de 30 m de largo, en que la pendiente longitudinal es inferior a los mínimos especificados para garantizar el escurrimiento longitudinal de las aguas superficiales. ³⁴

Si no existen soleras, un adecuado bombeo de la calzada permite evacuar las aguas hacia los costados, disponiendo de ellas mediante cunetas o sumideros. En caso de existir soleras deberá recurrirse obligatoriamente a sumideros o bien a frecuentes interrupciones de la solera a fin de evitar el estancamiento de agua sobre la calzada, que se hace particularmente crítico en las curvas cóncavas. Si el sector se desarrolla en corte, el diseño de las cunetas deberá consultar obligatoriamente pendiente, y puede resultar conveniente revestirlas.

2.2.4.6. Composición del alineamiento vertical

Aspectos generales

El proyectista deberá tener presente los siguientes criterios generales al estudiar el alineamiento vertical de la carretera, sin olvidar que ellos por sí solos no aseguran un trazado óptimo en tanto no exista una adecuada compatibilización con la planta.

– Resulta desde todo punto de vista deseable lograr una rasante compuesta por pendientes moderadas, que presente variaciones graduales de los alineamientos, compatibles con la

³⁴ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

categoría de la carretera y la topografía del terreno. Los valores especificados para pendiente máxima y longitud crítica, podrán estar presentes en el trazado si resultan indispensables; sin embargo, la forma y oportunidad de su aplicación serán las que determinen la calidad y apariencia de la carretera terminada. Una rasante en que se alternan pendientes de diverso sentido y/o magnitud en cortas longitudes genera numerosos quiebres, tipificando la situación opuesta a la descrita como deseable.

– Rasantes onduladas con una sucesión de puntos altos y bajos en que muchas veces estos últimos quedan ocultos al conductor, resultan especialmente indeseables. Ellas se dan la mayoría de las veces cuando en un terreno ondulado se pretende imponer una planta recta o de muy poca curvatura, manteniendo la rasante próxima al terreno. El adecuado diseño en planta con leves aumentos de la altura de cortes y terraplenes puede mejorar sustancialmente esta situación. Puntos bajos en que se pierde la visibilidad sobre parte del trazado, seguidos por tramos que son visibles, crean desconcierto en el usuario y son causa de aumento de los accidentes asociados a maniobras de adelantamiento.³⁵

– Rasantes onduladas que presenten largos tramos de pendiente fuerte en bajada, seguidas de una subida, incentivarán a los conductores de camiones a aumentar su velocidad, en previsión de la subida. Estos aumentos de velocidad van asociados a un incremento de la fuerza viva generada por la masa del vehículo, creando situaciones de peligro para el conjunto de vehículos.

– Rasantes de lomo quebrado (dos curvas verticales del mismo sentido, unidas por una alineación corta), deberán ser evitadas toda vez que sea posible. Si las curvas son convexas se generan largo sectores con visibilidad restringida, y si ellas son cóncavas, la visibilidad del conjunto resulta antiestética y se crean falsas apreciaciones de distancia, curvatura, etc.

³⁵ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

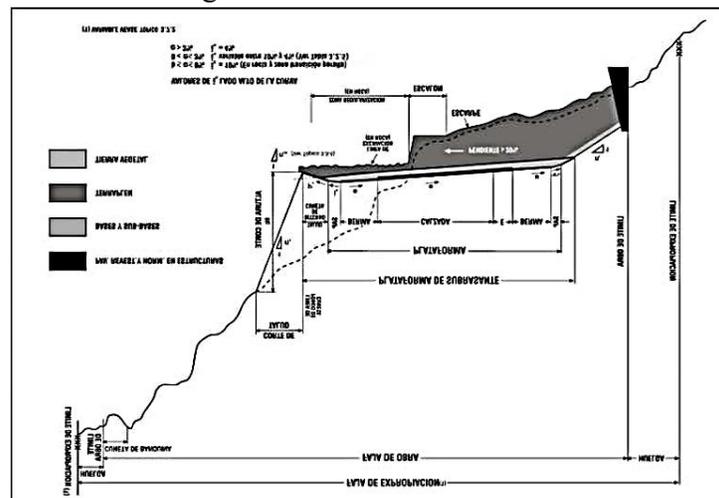
2.3. La sección transversal

2.3.1. Aspectos generales

Definición de sección transversal

La Sección Transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de éstas, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera. Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.³⁶

Imagen N°3- Sección transversal



Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

2.3.2. La plataforma

Definición de plataforma

Se llama “plataforma” a la superficie visible de una vía formada por su(s), calzada(s), sus bermas, los sobrecanchos de plataforma (SAP) y su cantero central, en caso de existir esta última como parte de la sección transversal tipo.

³⁶ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, cuyas características se definen en esta sección.

Casos especiales de plataforma son aquellas de las carreteras unidireccionales con calzadas independientes y las correspondientes a caminos sin pavimentar. En el primer caso, la vía tendrá dos plataformas independientes. En el segundo, calzadas, bermas y sobreanchos configuran un todo único no diferenciable a simple vista.

La altimetría de la plataforma está dada por el perfil longitudinal de la rasante y por la inclinación transversal de sus elementos.

La plataforma puede contener algunos elementos auxiliares, tales como barreras de seguridad, soleras, iluminación o señalización.

Las calzadas

Una calzada es una banda material y geoméricamente definida, de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los mismos.

La calzada está formada por dos o más carriles. Un carril será entonces cada una de las divisiones de la calzada que pueda acomodar una fila de vehículos transitando en un sentido. En el caso de carreteras o caminos con calzada bidireccional de dos carriles, cada uno de ellos podrá ser utilizado ocasionalmente por vehículos que marchan en el sentido opuesto, en el momento en que éstos adelanten a otros más lentos.³⁷

Toda nueva carretera de 4 o más carriles, con calzadas unidireccionales en plataforma única, deberá contar con un espacio libre entre los bordes interiores de los pavimentos de cada calzada, denominado “Cantero central”, el que normalmente tendrá un ancho constante según lo definido en el perfil tipo de la carretera.

Las carreteras con calzadas unidireccionales diseñadas en plataforma independientes, normalmente tendrán distancias variables entre sus ejes, de dimensiones tales, que el espacio

³⁷ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

intermedio ya no constituye un cantero central con perfil tipo predefinido, pudiendo llegar a ser una superficie irregular de terreno natural.

Anchos de calzada y plataforma

En la Tabla 3.1-1 se resumen los Anchos de Plataforma en Terraplén y de los elementos que la constituyen, dados en función de la Categoría de la vía y de la Velocidad de Proyecto que le corresponde.

Tabla N°14- Anchos de carriles auxiliares

	Vp (km/h)	30 – 70	80 – 120
Para Tránsito Lento	Ancho (m)	3,00	3,50
Para Tránsito Rápido	Ancho (m)		3,50

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Bombeos

En tramos rectos o en aquellos cuyo radio de curvatura permite el contraperalte según los límites fijados, las calzadas deberán tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura y de la Intensidad de la Lluvia de 1 Hora de Duración con Período de Retorno de 10 Años (I1 10) mm/h, propia del área en que se emplaza el trazado.

La Tabla 3.2-4 especifica estos valores indicando en algunos casos un rango dentro del cual el proyectista deberá moverse, afinando su elección según los matices de la rugosidad de las superficies y de los climas imperantes.³⁸

Tabla N°15- Bombeos de la calzada

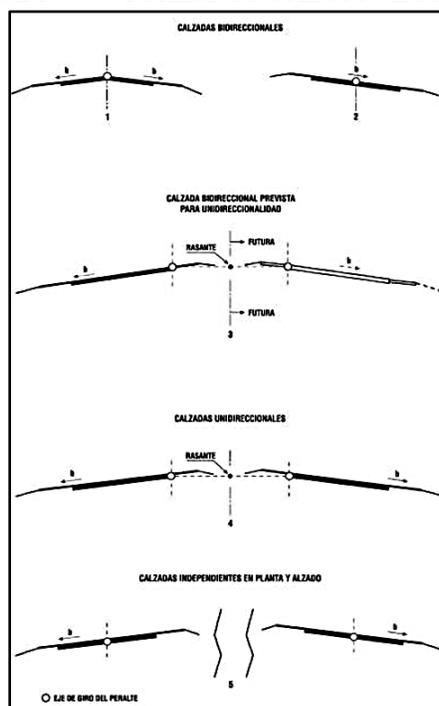
Tipo de Superficie	Pendiente Transversal	
	(I' 10) ≤ 15 mm/h (1)	(I' 10) > 15 mm/h (1)
Pav. de Hormigón o Asfalto	2,0	2,5
Tratamiento Superficial	3,0 (2)	3,5
Tierra, Grava, Chancado	3,0 – 3,5 (2)	3,5 – 4,0

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

³⁸ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

El bombeo se puede dar de varias maneras, dependiendo del tipo de plataforma y de las conveniencias específicas del proyecto en una zona dada. Estas formas se indican en la imagen N°4.

Imagen N°4- Formas de bombeo en calzadas



Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Las bermas

Las bermas son las franjas que flanquean el pavimento de la(s) calzadas(s). Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.³⁹

Las bermas cumplen cuatro funciones básicas: proporcionan protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permiten detenciones ocasionales; aseguran una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores, aumentando de este modo la capacidad de la vía, y ofrecen espacio adicional para maniobras de emergencia, aumentando la seguridad.

³⁹ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Para que estas funciones se cumplan en la práctica, las bermas deben ser de un ancho constante, estar libres de obstáculos y deben estar compactadas homogéneamente en toda su sección. Para lograr dichos objetivos se consultan los sobreanchos de la plataforma “SAP”, que confinan la estructura de las bermas y en los que se instalarán las barreras de seguridad y la señalización vertical.

Anchos de bermas

El ancho normal en Caminos Locales con $V_p=40$ km/h es de 0,5 m, el que en conjunto con el SAP proveen una plataforma de 8,0 m. En Caminos de Desarrollo que normalmente no poseerán pavimento superior, se podrá prescindir de las bermas, existiendo sólo el SAP como complemento para asegurar la estabilidad y adecuada compactación de la calzada.

A medida que la velocidad y los volúmenes de diseño crecen, también deberán hacerlo las bermas exteriores, hasta contemplar un ancho máximo de 2,5 m, que permite la detención en caso de emergencia de los vehículos sin afectar el tránsito de paso.

Cuando existan carriles auxiliares para tránsito lento, o de cambio de velocidad, la berma derecha puede reducirse a 1,5 m si el TPDA > 750 y a 1,0 m para TPDA < 750 . En ambos casos se mantendrá inalterado el SAP especificado para la Categoría y V_p de la ruta.

Los anchos normales de las Bermas se dan en la Tabla 3.1-1 asociados a la Categoría de la ruta y V_p correspondiente, pudiendo usarse el valor inferior del rango para tránsitos muy moderados en terreno de topografía restrictiva, decisión que deberá adoptarse previa autorización de la Administradora Boliviana de Carreteras.⁴⁰

2.3.3. La sección transversal de la infraestructura

Se incluirán en esta sección aquellos elementos de perfil transversal que delimitan las obras de tierra en su cuerpo principal: terraplenes y cortes, determinando la geometría de éstos y posteriormente sus volúmenes.

⁴⁰ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Estos elementos son: la plataforma de subrasante, los taludes de terraplén, las cunetas y los taludes de corte, las obras de contención de tierras y las obras que se realizan en el suelo de cimentación de la carretera o camino.

La sección transversal de la plataforma de subrasante

La plataforma de subrasantes es una superficie constituida por uno o más planos sensiblemente horizontales, que delimita el movimiento de tierras de la infraestructura y sobre la cual se apoya la capa de rodadura o las diversas capas que constituyen un pavimento superior. Además, incluye el espacio destinado a los elementos auxiliares como, bermas, cantero central, cunetas de drenaje, etc.

Si el perfil es de terraplén, la plataforma de subrasante queda configurada por los materiales de la última capa del terraplén y su ancho será el de la plataforma (calzadas, bermas, SAP y cantero central si lo hay), más el espacio requerido para el derrame de las tierras correspondientes a los materiales de subbase y base.

Si el perfil es en corte, la plataforma de subrasante queda constituida por la plataforma a nivel de rasante más el espacio requerido por las cunetas, que se generan a partir de los bordes externos del SAP y continúan con el talud iniciado en el extremo del mismo.

La plataforma de subrasante puede contribuir al control de las aguas infiltradas cuando sus materiales y su compactación permitan la generación de una superficie relativamente impermeable con pendientes hacia el exterior, lo cual ayuda a preservar el cuerpo del terraplén, o el suelo de fundación, de las aguas infiltradas a través del pavimento y de las capas de base y subbase.⁴¹

Elementos de la infraestructura para sección en terraplén

Taludes de terraplén desde el punto de vista de su estabilidad

Cuando una carretera o camino se emplaza en terraplén, los materiales de éste provendrán de las excavaciones hechas en otros puntos del trazado o de yacimientos. En cualquier caso, las características de dichos materiales serán relativamente previsibles y por lo general se podrá anticipar la inclinación máxima admisible de los taludes en función de la altura de los

⁴¹ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

terraplenes. El diseño de taludes de terraplén, desde el punto de vista estructural, se encuentra en función del tipo de material que lo constituye y de los suelos sobre los que se fundan. Cuando los materiales lo permitan, los taludes de terraplén con alturas inferiores a 15 metros tendrán una inclinación máxima de 1:1,5 (H:V). Los taludes de terraplenes de alturas mayores que 15 m deben ser objeto de un estudio especializado, del cual surgirá su adecuada inclinación. Si un terraplén debe cimentarse sobre suelos que presenten inclinaciones superiores al 20% o que estén constituidos por materiales inadecuados, se deberán considerar obras especiales para minimizar los peligros de deslizamiento o de asentamientos diferenciales excesivos. En el primer caso, de laderas con pendientes pronunciadas, éstas deberán escalonarse, en el sentido normal o paralelo al eje de la vía, según si ellas son aproximadamente perpendiculares o paralelas a dicho eje. Ejemplo de lo primero es el cruce de un barranco y de lo segundo un trazado en media ladera. La huella y contrahuella de los escalones será variable, pero la primera debe tener al menos un ancho que permita la operación de la maquinaria en uso, y la segunda debe ser, en lo posible, múltiplo del espesor de una capa compactable. En el caso de suelos de fundación con alto contenido de materia orgánica o muy compresible, éstos deberán ser retirados o tratados según sea el problema que los afecte.⁴²

Taludes de terraplén desde el punto de vista de la seguridad vial

Taludes de terraplén con inclinaciones comprendidas entre 1:3 y 1:4 (V:H), se consideran “transitables”, es decir un vehículo que se salga de la plataforma puede en la mayoría de los casos descender por el talud sin volcarse, y si en dicho trayecto y al pie del terraplén no existen obstáculos, y el terreno presenta una inclinación menor o del orden de un 5%, en definitiva, el vehículo podrá ser detenido minimizando la severidad del accidente. Taludes de terraplén con inclinaciones menores que 1:4 (V:H) se consideran “recuperables”, es decir el conductor tiene la posibilidad de redirigir el vehículo hacia la plataforma del camino. Lo anterior será tanto más cierto cuanto más tendido sea el talud; por ejemplo 1:6 (V:H), sin embargo, el tendido de los taludes de los terraplenes tiene un costo importante por el mayor movimiento de tierras requerido. La ocurrencia de accidentes que impliquen la salida de un vehículo fuera de la plataforma de la ruta, aumenta entre otros factores en función del tránsito

⁴² Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

de la carretera o camino y de si el sector bajo análisis se desarrolla en planta en recta o con curvas amplias, o si lo hace en curvas restrictivas cuyo radio esté comprendido entre el radio mínimo aceptable para la Velocidad de Proyecto de la ruta (V_p) y un radio correspondiente a V_p+10 km/h. Por otra parte, la severidad de los accidentes ocurridos en terraplenes con taludes no transitables (1:1,5 V:H), que no cuenten con Barrera de Contención, aumenta con la altura H del terraplén. En consecuencia, el diseño de los taludes de terraplén por concepto de seguridad, en función de los factores mencionados, considerará dos alternativas: Taludes 1:1,5 y Taludes 1:3 (V:H); los que deberán emplearse con o sin Barreras de Contención, según sea el TPDA de la ruta y la altura H (m) del terraplén, empleando para ello la Figura 3.3-1, elaborada adaptando los conceptos planteados en el documento “Roadside Design Guide – AASHTO enero 1996”.

Elementos de la infraestructura para sección en corte

La cuneta lateral en corte

Cuando la vía discurre en corte, las aguas que sobre ella caen, o las que llegan a ella superficial o subterráneamente, no pueden ser eliminadas sino mediante su conducción hacia zonas donde ello es posible. Esta conducción debe hacerse con la mayor rapidez, para evitar que las aguas fluyan sobre la plataforma o que se infiltren dañando la estructura. Para ello se recurre a las cunetas, a los subdrenes y a los colectores de aguas lluvia. Las primeras, situadas entre la plataforma y el talud del corte, recolectan las aguas superficiales. Si su profundidad es suficiente, también pueden dar cuenta en algunos casos, de las aguas subterráneas que amenacen las capas de base y subbase.⁴³

Los drenes sólo recogen aguas freáticas o infiltradas a través de la plataforma y de los taludes. Los colectores de aguas de lluvia se pueden considerar cuando la capacidad de la cuneta es insuficiente para evitar la inundación de uno o más carriles durante las precipitaciones de diseño.

⁴³ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Talud interior de cunetas

El talud o pared interior de la cuneta se inicia en el punto extremo de la plataforma o borde exterior del SAP si la cuneta no tiene revestimiento, y en el borde exterior de la berma si la cuneta lleva revestimiento, y se desarrolla, bajando con una cierta inclinación, hasta interceptar la plataforma de subrasante.

Tabla N°16- Inclinaciones máximas del talud interior de la cuneta

Vp km/h	pic m/m	V:H 1 : nci
≤ 70	0,50	1 : 2
80 – 90	0,40	1 : 2,5
100	0,33	1 : 3
120	0,25	1 : 4

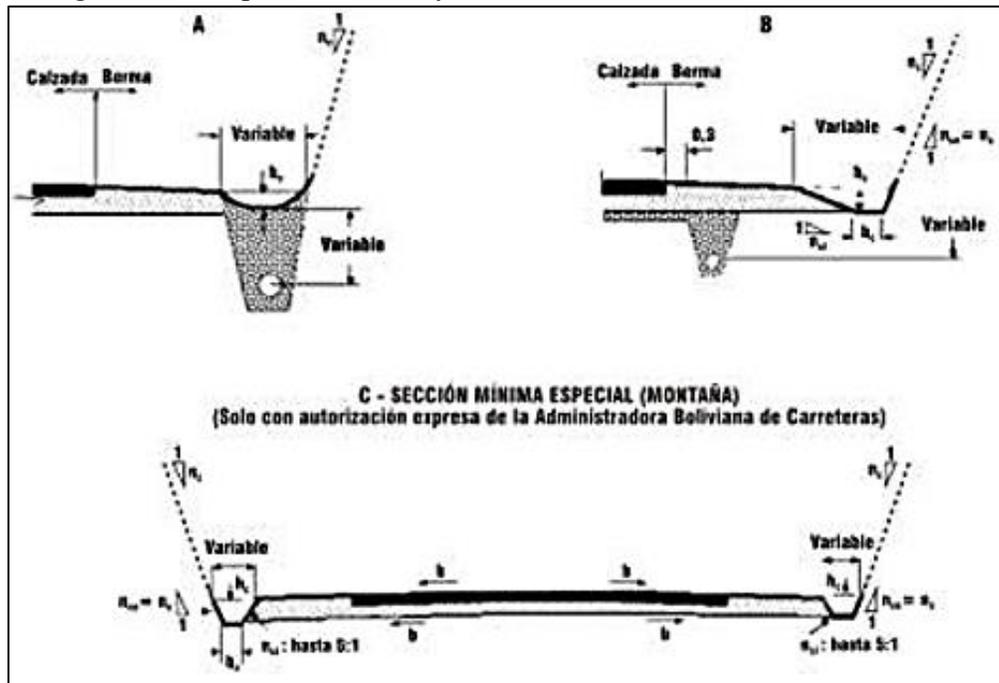
Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Profundidad de la cuneta

La profundidad o altura interior de la cuneta (h_c) se mide, verticalmente, desde el extremo de la plataforma hasta el punto más bajo de su fondo. Esta dimensión depende de factores funcionales y geométricos. Si la cuneta es revestida, ella no podrá recoger aguas profundas, por lo que su profundidad quedará determinada, en conjunto con los demás elementos de su sección, por los volúmenes de las aguas superficiales a conducir.⁴⁴

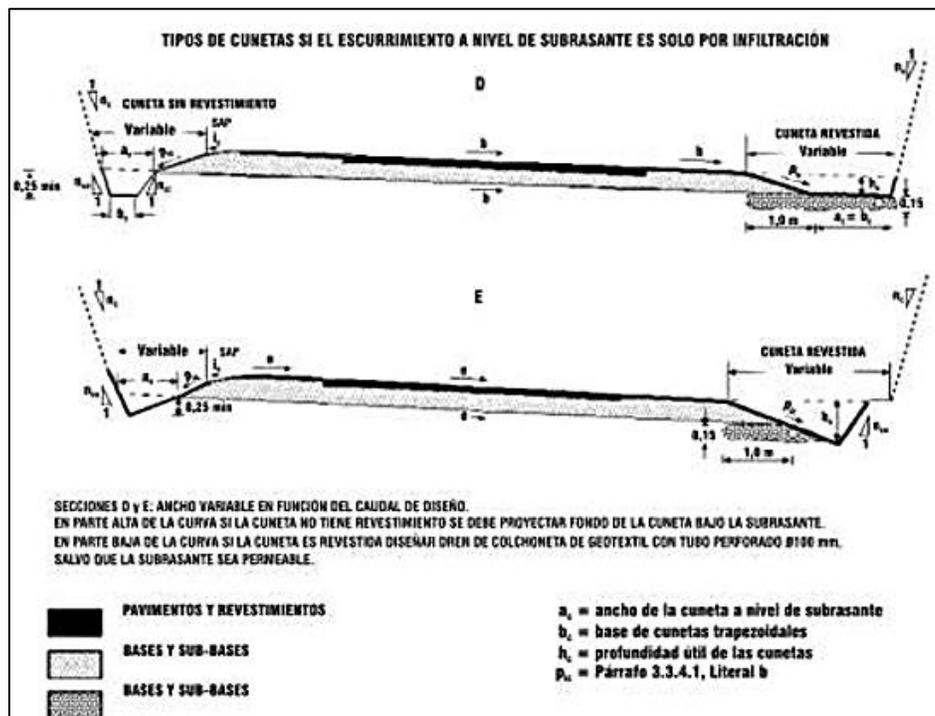
⁴⁴ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Imagen N°5- Tipos de cunetas y drenes si existe escurrimiento subterráneo



Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Imagen N°6- Tipos de cunetas si el escurrimiento a nivel de subrasante es solo por filtración



Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Alabeo de taludes

En numerosos puntos del trazado se producen pasos de un talud a otro, debiéndose dar una transición adecuada para cada caso. En las transiciones de cortes de más de 4 m, a terraplén, o de terraplenes de más de 4 m a corte, los taludes de uno y otro deberán tenderse a partir del punto en el cual la altura del corte o del terraplén llega a reducirse a 2,0 m. En todo caso, la longitud de la zona de alabeo no debe ser menor que 10,0 m. La transición del talud del terraplén se ejecuta pasando, linealmente, desde este último al talud interior de la cuneta, que puede ser de 4:1; 3:1; 2,5:1 y 2:1. En el corte, la transición consiste en pasar desde su valor normal al 4:1, valor límite teórico en el punto en que su altura se hace nula (punto de paso).

Estructuras de sostenimiento de tierras

Cuando el espacio disponible para la ejecución de las obras de tierra no es suficiente para conferir a los taludes la inclinación deseable u obligada, puede ser necesaria la construcción de obras especiales que permitan contener los materiales que sin ellas serían inestables. También pueden diseñarse estos elementos en casos en los que se desee proteger terraplenes de la acción de inundaciones o avenidas. Para unos y otros casos, se puede recurrir a una gran variedad de estructuras, de uso habitual en ingeniería. El proyectista deberá tener en cuenta, para estos casos, toda la gama posible de dispositivos, que reúne a los muros gravitacionales, en su gran variedad de formas y materiales constitutivos, los gaviones, las tablestacas, los muros de tierra mecánicamente estabilizada y a otros ingenios que, no siendo estructuras propiamente tales, actúan como contenedores de tierras.

2.3.4. Obras de protección de taludes

Los taludes, tanto de terraplén como de corte, están expuestos a los agentes erosivos naturales. De éstos, el más activo y frecuente es el agua. Ella cae directamente sobre sus superficies, o lo hace sobre las adyacentes que vierten hacia ellos. Si no se evita, el agua escurrirá por los taludes, con velocidades cada vez mayores según la altura, dañándolos y elevando los costos de mantenimiento de la obra. Entre los elementos destinados a controlar y encauzar el flujo de las aguas para evitar daños en los taludes, y que deben proyectarse de acuerdo a los imperativos hidráulicos y de la mecánica de suelos que proceda, cabe mencionar: bordillos, cunetas de pie de talud y cunetas de banquina. Las plantaciones en el

talud confieren protección adicional o complementaria contra la erosión y en ciertos casos resultan indispensables.⁴⁵

Los bordillos

Los bordillos son elementos que presentan una dimensión vertical y que pueden ser colocados en algún punto de la sección transversal de la plataforma, con propósitos varios. El embellecimiento, la demarcación de la vía y la canalización de los vehículos mediante bordillos, que en zonas urbanas o suburbanas son finalidades atendibles, pierden gran parte de su vigencia en zonas rurales, en las cuales el propósito de éstas queda prácticamente reducida a evitar la caída de agua por los taludes de terraplenes altos, conduciéndolas hasta bajantes cuyos dimensionamientos, tipos y separaciones son objeto de estudios propios de cada caso.

Las cunetas de pie de talud

Se denominan “cunetas de pie de talud” a los canales laterales que discurren sensiblemente paralelos al pie de los terraplenes y que los preservan de las aguas que escurren superficialmente hacia ellos, ya sea desde la carretera o desde el terreno adyacente. Una cuneta de pie de talud puede estar dispuesta inmediatamente próximo al pie del terraplén si ello es necesario por exigencias de espacio y si no se temen socavamientos del mismo pero normalmente se dejará un espacio libre de 1,0 m entre el pie del terraplén y el talud adyacente de la cuneta. En terraplenes bajos, una sección circular amplia para la cuneta puede añadir a la seguridad de los vehículos accidentalmente salidos de la plataforma.

Las cunetas de banquina

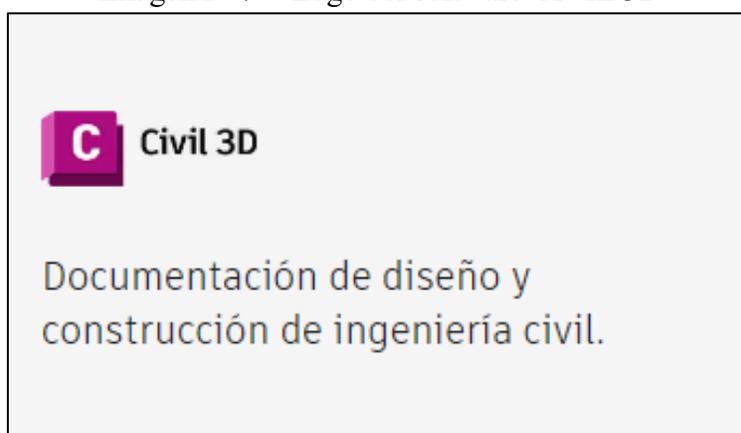
Las cunetas de banquina son canales que se disponen por sobre la cota de coronamiento del corte, con el fin de evitar la llegada de agua, a veces en cantidades importantes y casi siempre con arrastres, a los taludes de corte de una carretera, proveniente de superficies adyacentes que vierten hacia ella. La sección transversal de la cuenta de banquina o el número de ellas se ajustará a los volúmenes de agua esperados y a la disponibilidad y tamaño de los equipos de excavación. Estas cunetas pueden influir sustancialmente en los límites de obra.

⁴⁵ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

2.4. Software Civil 3D

Civil 3D es un software de diseño y modelado desarrollado por Autodesk, específicamente diseñado para la ingeniería civil. Ofrece herramientas especializadas y facilita el diseño de infraestructuras civiles como carreteras, ferrocarriles, canales, entre otros. Su capacidad para crear modelos tridimensionales de manera precisa y eficiente lo convierte en una herramienta fundamental para ingenieros civiles en todo el mundo. El software permite la integración de datos topográficos, la creación de alineaciones y perfiles, y la simulación de diferentes escenarios de diseño.

Imagen N°7- Logo del software CIVIL 3D



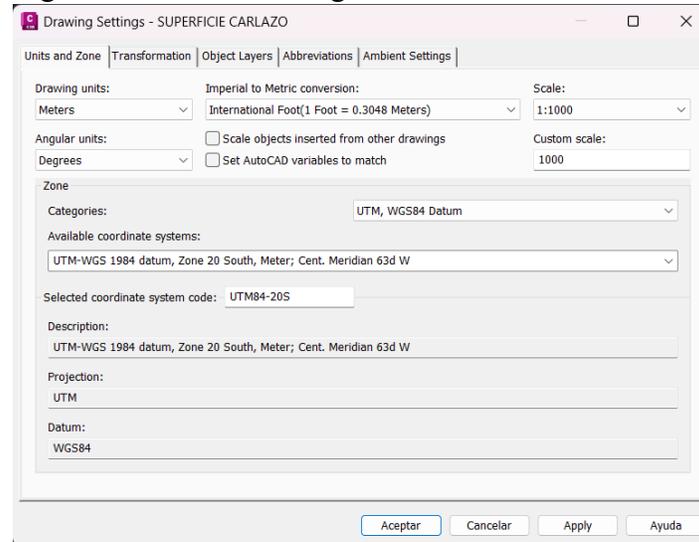
Fuente: Manual de usuario Autodesk.

Funcionalidades de Diseño: Civil 3D ofrece una amplia gama de herramientas para el diseño de infraestructuras viales. Permite la creación de alineaciones horizontales y verticales, definición de perfiles longitudinales y transversales, modelado de curvas, intersecciones y accesos, así como la generación de secciones transversales y perfiles de terreno. Estas funcionalidades facilitan la creación de modelos tridimensionales detallados de carreteras y otros tipos de infraestructuras.⁴⁶

⁴⁶ Autodesk. (2022). "Civil 3D - Software de ingeniería civil", <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>

Integración de Datos Topográficos: Civil 3D permite importar y trabajar con datos topográficos obtenidos mediante levantamientos topográficos, fotogrametría aérea, escaneo láser y otros métodos de captura de datos. Estos datos se pueden utilizar para crear modelos de terreno precisos y detallados, lo que facilita el diseño de infraestructuras viales que se adapten a las condiciones geográficas y topográficas del sitio.

Imagen N°8- Ventana de georeferenciación de CIVIL 3D

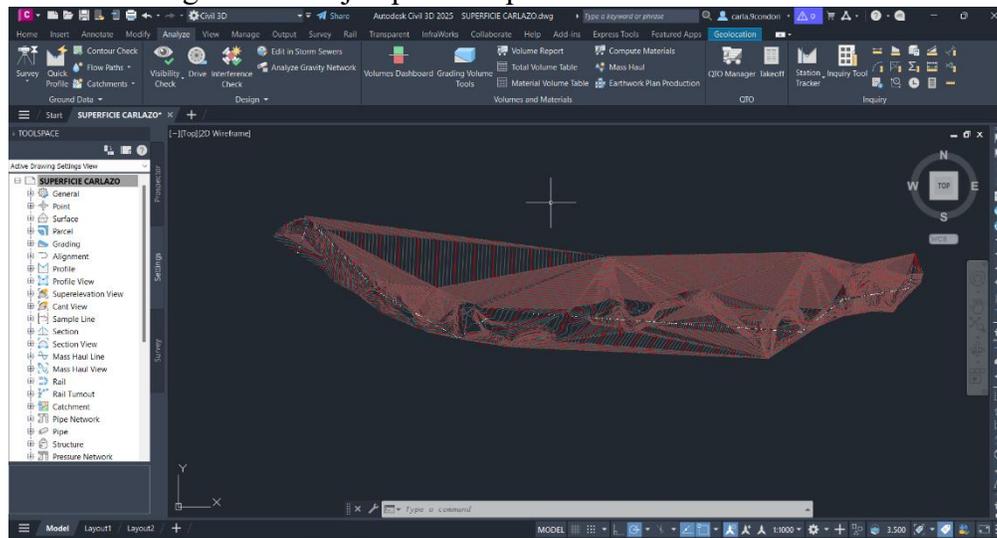


Fuente: Software Civil 3D

Análisis y Optimización: Además del diseño, Civil 3D ofrece herramientas para realizar análisis y optimizaciones de diseño. Permite evaluar la capacidad de carga de pavimentos, analizar la visibilidad en curvas, calcular volúmenes de movimiento de tierras, simular el flujo de tráfico y realizar análisis de drenaje y gestión de aguas pluviales. Estas capacidades de análisis permiten a los ingenieros evaluar el rendimiento y la seguridad de las infraestructuras viales antes de su construcción.⁴⁷

⁴⁷ Autodesk. (2022). "Civil 3D - Software de ingeniería civil", <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>

Imagen N°9- Ejemplo de superficie modelada en civil 3D



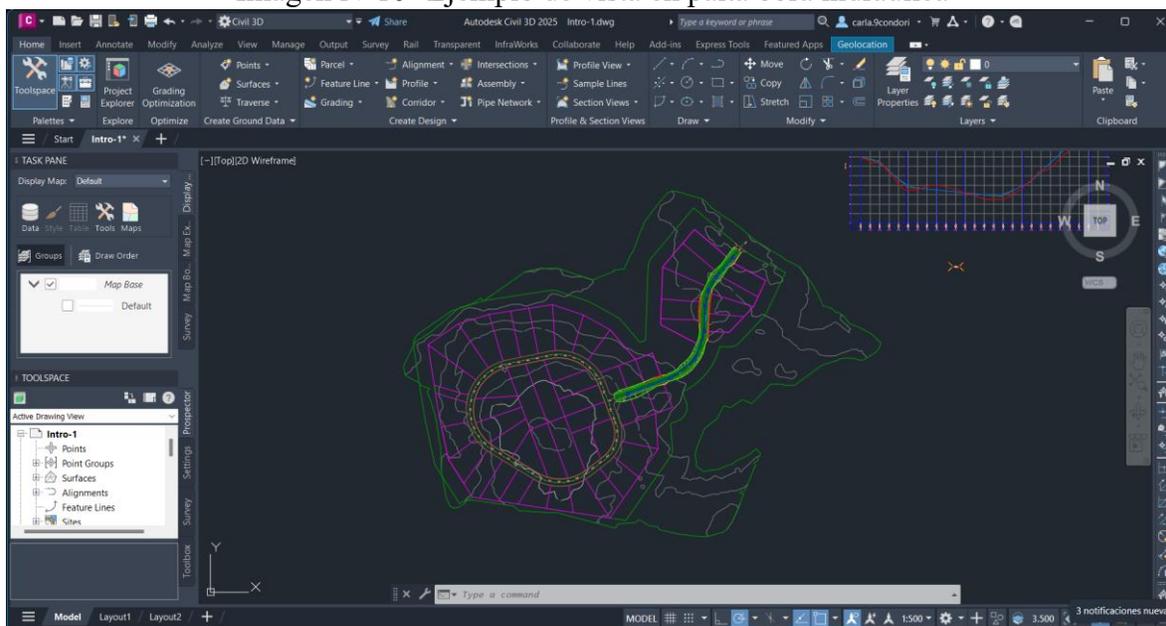
Fuente: software Civil 3D

Documentación y Colaboración: Civil 3D facilita la generación de documentación técnica y planos de construcción. Permite crear planos de perfil, sección transversal, alineamiento, así como tablas de cantidades y especificaciones técnicas. Además, ofrece capacidades de colaboración que permiten a múltiples usuarios trabajar en un mismo proyecto de manera simultánea, facilitando la comunicación y coordinación entre equipos de diseño.⁴⁸

Interoperabilidad: Civil 3D es compatible con otros programas de software utilizados en la industria de la ingeniería civil, lo que facilita la interoperabilidad y el intercambio de datos entre diferentes plataformas. Permite importar y exportar datos en formatos estándar de la industria, lo que facilita la integración de Civil 3D en flujos de trabajo existentes y la colaboración con otros profesionales y disciplinas.⁷

⁴⁸ Autodesk. (2022). "Civil 3D - Software de ingeniería civil", <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>

Imagen N°10- Ejemplo de vista en planta obra hidraulica



Fuente: software Civil 3D

Parámetros

Parámetros de Entrada Comunes:

Superficie Topográfica:

Datos de levantamiento topográfico (puntos, curvas de nivel, etc.)

Categorización de la vía:

La clasificación para diseño consulta seis categorías divididas en dos grupos, ellas son:

- Carreteras: Autopistas, Autorrutas y Primarias
- Caminos: Colectores, Locales y de Desarrollo

Cada Categoría se subdivide según las Velocidades de Proyecto consideradas al interior de la categoría. Las V_p más altas corresponden a trazados en terrenos Llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terreno montañoso o cuyo extorno presenta limitaciones severas para el trazado. La categoría es de acuerdo a la cantidad de tráfico

proyectado y principalmente a la topografía de cada uno de los tramos, ya que está dada para las condiciones del alineamiento tanto en lo horizontal como en lo vertical.⁴⁹

Velocidad de Proyecto. (V_p)

Es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos que sólo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado.

Radio mínimo. (R_{\min})

Radios mínimos absolutos Los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están dados por la expresión:

$$R_{\min} = \frac{V_p^2}{127(e_{\max} + f)} \quad \text{Ecuación N°9 Radio mínimo}$$

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

R_{\min} : Radio Mínimo Absoluto (m)

V_p = Velocidad Proyecto (km/h)

e_{\max} : Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

f : Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p .

Pendiente de la vía: Pendiente máxima y Pendiente mínima

Alineamientos:

Punto Inicial y Final: Coordenadas de inicio y fin del alineamiento.

Curvas Horizontales: Radios, longitudes, deflexiones, etc.

Tangente Alineamiento: Tangentes entre curvas.

⁴⁹ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Perfiles:

Perfil Longitudinal: Línea de terreno y línea de diseño.

Estaciones: Intervalos a lo largo del alineamiento.

Pendientes: Grados de inclinación.

Secciones Transversales:

Cortes y Rellenos: Volúmenes de tierra a excavar o rellenar.

Anchuras de Calzada: Dimensiones de la carretera.

Criterios de Diseño:

Velocidad de Diseño: Afecta radios mínimos de curvas y pendientes máximas.

Normas y Especificaciones: Requisitos de la normativa local o internacional (AASHTO, normas locales, etc.).

Peraltes y Superelevaciones:

Peralte Máximo: Inclinación transversal máxima permitida.

Transición de Peraltes: Longitud y tipo de transición.

Elementos de Drenaje:

Canales y Cunetas: Ubicación y dimensiones.

Alcantarillas: Tipos y ubicaciones.⁵⁰

Pasos Generales para Configurar en Civil 3D

Georeferenciar la superficie

Crear una Nueva Superficie:

Importar datos topográficos.

⁵⁰ Autodesk. (2022). "Civil 3D - Software de ingeniería civil", <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>

Ajustar las configuraciones de visualización.

Diseñar el Alineamiento:

Usar la herramienta de alineamiento para definir la geometría.

Añadir curvas y tangentes según sea necesario.

Generar el Perfil Longitudinal:

Crear perfiles de terreno y de diseño.

Ajustar pendientes y curvas verticales.

Configurar Peraltes:

Definir las reglas de superelevación.

Aplicar los peraltes a lo largo del alineamiento.

Añadir Drenaje y Elementos Estructurales:

Insertar componentes de drenaje y estructuras según los requerimientos del diseño.

Resultados del Diseño Geométrico en Civil 3D

Superficie Modelada:

Una superficie digital que representa el terreno existente y/o el terreno modificado.

Puede incluir curvas de nivel, sombreado de pendientes y otras características topográficas.

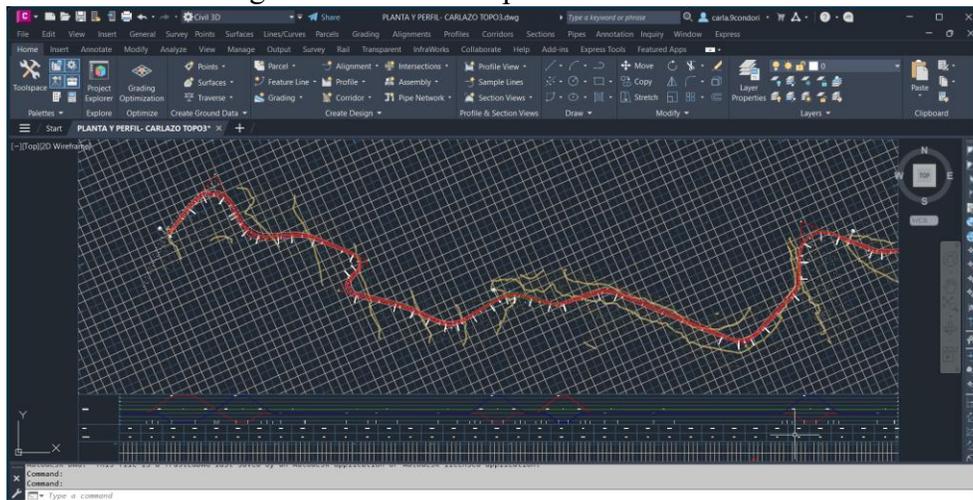
Alineamientos:

Planos y perfiles de alineamientos horizontal y vertical.

Datos de alineamiento que incluyen longitudes de tangentes, radios de curvas, ángulos de deflexión, etc. ⁵¹

⁵¹ Autodesk. (2022). "Civil 3D - Software de ingeniería civil", <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>

Imagen N°11- Vista en planta de alineamiento



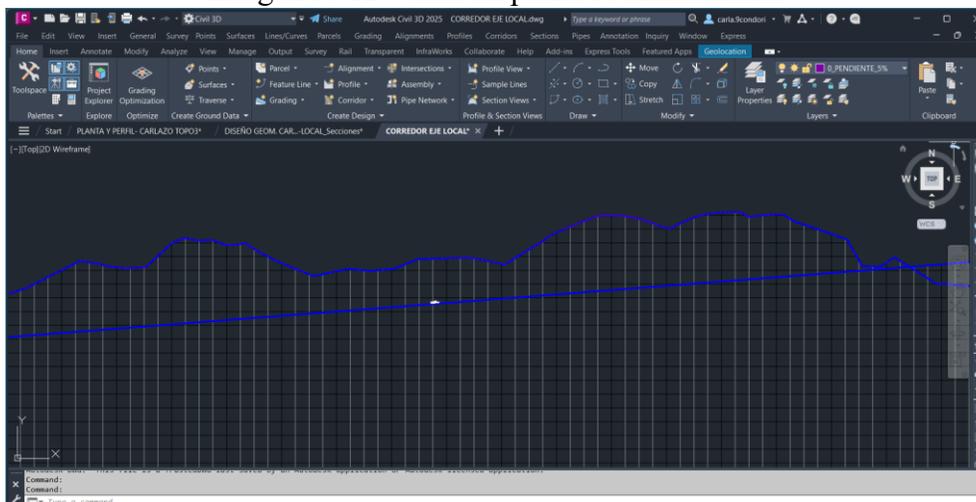
Fuente: software Civil 3D

Perfiles Longitudinales:

Gráficos de perfil que muestran la elevación del terreno existente y el terreno de diseño a lo largo del alineamiento.¹⁰

Información sobre cortes y rellenos necesarios.

Imagen N°12- Vista en perfil de alineamiento

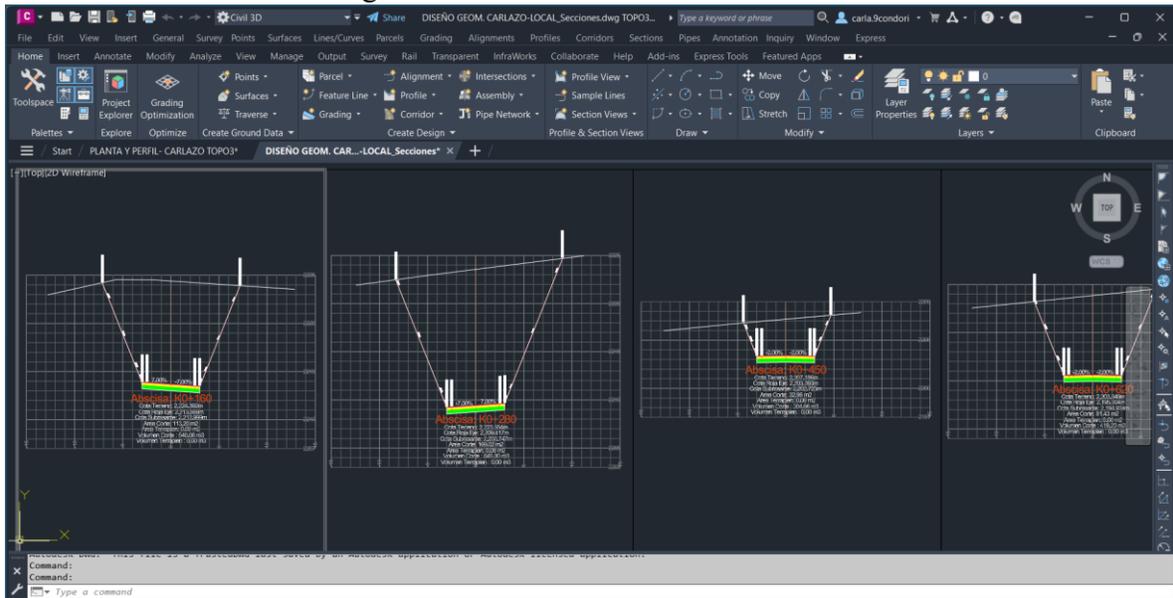


Fuente: software Civil 3D

Secciones Transversales:

Vistas en sección a intervalos regulares que muestran la relación entre el diseño de la carretera y el terreno existente. Datos de corte y relleno para cada sección transversal.⁵²

Imagen N°13- Vista secciones transversales



Fuente: software Civil 3D

Volúmenes de Tierra:

Cálculo de volúmenes de corte y relleno necesarios para el proyecto.

Reportes detallados que especifican los volúmenes en diferentes secciones del proyecto.

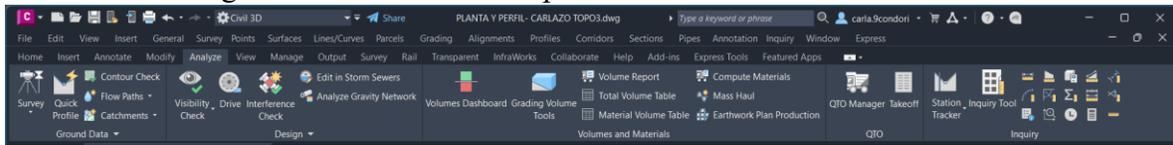
Peraltes y Superelevaciones:

Información sobre la superelevación aplicada a lo largo de las curvas del alineamiento.

Tablas y gráficos que muestran los peraltes en diferentes puntos del alineamiento.

⁵² Autodesk. (2022). "Civil 3D - Software de ingeniería civil", <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>

Imagen N°14- Herramientas para el cálculo de volúmenes de tierra



Fuente: software Civil 3D

Elementos de Drenaje:

Planos y perfiles de canales, cunetas y otras estructuras de drenaje.

Información sobre el tamaño y la ubicación de alcantarillas y desagües.⁵³

Imagen N°15- Herramientas para diseño geométrico y drenaje



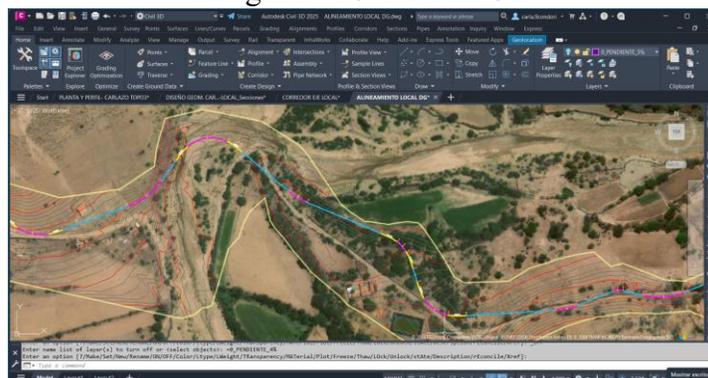
Fuente: software Civil 3D

Modelos 3D:

Visualización tridimensional del diseño completo, incluyendo el terreno, la carretera y cualquier otra infraestructura relevante.¹²

Herramientas de análisis visual para evaluar el diseño desde diferentes perspectivas.

Imagen N°16- Modelo 3D



Fuente: software Civil 3D

⁵³ Autodesk. (2022). "Civil 3D - Software de ingeniería civil", <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>

2.5. SIMCAR

Es una herramienta software poderosa que le permite realizar de una manera sencilla los cálculos topográficos y de ingeniería, necesarios para encontrar coordenadas, distancias, desniveles, ángulos en un terreno con miras a computar el volumen de tierras a mover para la construcción de una obra civil y también para la apertura de una carretera, de forma dinámica, eficiente y exacta, permitiéndole dedicar más tiempo al análisis. Se integra fácilmente con otros sistemas como Google Earth, Autocad, Civil 3D y Hoja Electrónica, y muchas otras asombrosas características.⁵⁴

La primera versión del software Topo se diseñó hace aproximadamente 15 años la cual se desarrolló bajo sistema operativo DOS y en el código fuente fue escrito en Quick-Basic versión 5.0. La versión actual de Topo se llama Topo3 se encuentra desarrollada en Visual Basic versión 6.0 y funciona bajo sistema operativo Windows, la cual posee una gran cantidad de rutinas que hacen del cálculo de volúmenes y del diseño de vías algo muy sencillo pero dependiente del ingeniero diseñador.

Funcionalidades y Características

Alineaciones Horizontales y Verticales: SIMCAR permite el diseño detallado de alineaciones horizontales y verticales. Los usuarios pueden definir y ajustar curvas, pendientes y cambios de alineación con precisión, asegurando que el diseño cumpla con los requisitos técnicos y normativos.

Modelación del Terreno: El software incluye herramientas para la modelación del terreno, permitiendo la creación de superficies digitales que representan con precisión la topografía del área de estudio. Esto facilita el análisis de movimientos de tierra y la planificación de cortes y rellenos.

Análisis de Perfiles Longitudinales y Transversales: SIMCAR proporciona funciones avanzadas para la generación y análisis de perfiles longitudinales y transversales. Los usuarios pueden visualizar y ajustar el perfil de la carretera en función de las condiciones topográficas y los requisitos del proyecto

⁵⁴ Topo 3. (s.f.). *Topo 3: Software de diseño geométrico de carreteras*. <https://www.topo3.com/>

Generación de Planos y Especificaciones Técnicas: Una de las ventajas clave de SIMCAR es su capacidad para generar automáticamente planos detallados y especificaciones técnicas. Esto incluye planos de planta y perfil, secciones transversales típicas y detalles constructivos, lo que agiliza el proceso de documentación del proyecto.⁵⁵

Cálculo de Volúmenes de Movimiento de Tierras: El software realiza cálculos precisos de volúmenes de corte y relleno, lo cual es crucial para la estimación de costos y la planificación de obras. Este análisis permite optimizar el diseño para minimizar el movimiento de tierras y los costos asociados.

Cumplimiento Normativo: SIMCAR está diseñado para asegurar que todos los aspectos del diseño cumplan con las normativas locales de Bolivia. Esto incluye criterios de diseño geométrico, parámetros de seguridad vial, y especificaciones técnicas específicas de la ABC.

Interfaz de Usuario Intuitiva: El software cuenta con una interfaz de usuario amigable e intuitiva, lo que facilita su uso incluso para ingenieros que no están familiarizados con herramientas de diseño asistido por computadora (CAD). La interfaz está diseñada para guiar al usuario a través de cada etapa del proceso de diseño, reduciendo la posibilidad de errores. (Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras. (2021). Manual de Usuario de SIMCAR.)

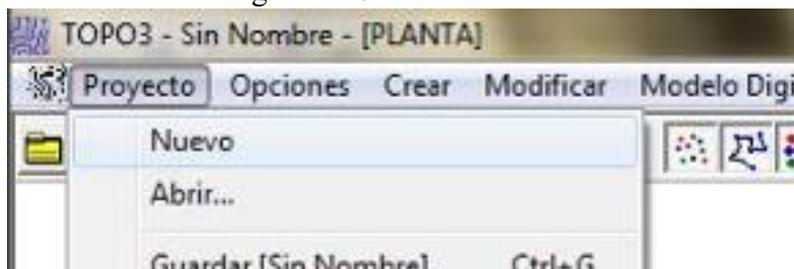
Parámetros

Parámetros de Entrada Comunes

Pasos Generales para Configurar en TOPO3 O SIMCAR

Crear un proyecto: Se debe hacer clic en la opción Proyecto/Nuevo o en el botón de la barra de botones.

Imagen N°17- Pestaña de inicio



Fuente: software Topo3

⁵⁵ Topo 3. (s.f.). *Topo 3: Software de diseño geométrico de carreteras*. <https://www.topo3.com/>

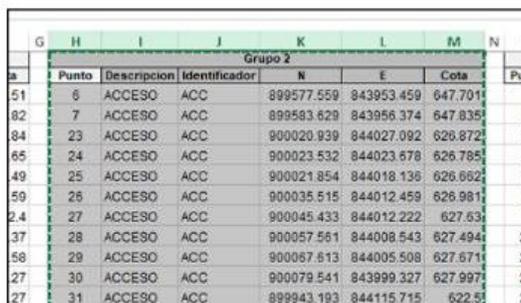
Exportar los puntos topográficos

Esto se puede efectuar de forma automática en Topo3, para ello se deben formatear los puntos coordinados de alguna de las siguientes maneras:

- Id Coordenada, Descripción Coordenada, Capa, Punto, Descripción, Identificador, N, E, Cota
- Punto, Descripción, Identificador, N, E, Cota
- Punto, Descripción, Identificador, x, y, z
- Punto, Identificador, N, E, Cota
- Punto, Identificador, x, y, z
- Punto, N, E, Cota, Descripción, Identificador
- Punto, x, y, z, Descripción, Identificador
- Punto, N, E, Cota, Identificador
- Punto, x, y, z, Identificador

Paso 1. Abrir el documento con las coordenadas, seleccionarlas y copiarlas al portapapeles (Ctrl-C):

Imagen N°18- Coordenadas en hoja electrónica



Grupo 2						
Punto	Descripción	Identificador	N	E	Cota	Pu
6	ACCESO	ACC	899577.559	843953.459	647.701	2
7	ACCESO	ACC	899583.629	843956.374	647.835	2
23	ACCESO	ACC	900020.939	844027.092	626.872	2
24	ACCESO	ACC	900023.532	844023.678	626.785	2
25	ACCESO	ACC	900021.854	844018.136	626.662	2
26	ACCESO	ACC	900035.515	844012.459	626.981	2
27	ACCESO	ACC	900045.433	844012.222	627.63	2
28	ACCESO	ACC	900057.561	844008.543	627.494	2
29	ACCESO	ACC	900067.613	844005.508	627.671	2
30	ACCESO	ACC	900079.541	843999.327	627.997	2
31	ACCESO	ACC	899943.193	844115.715	622.5	2

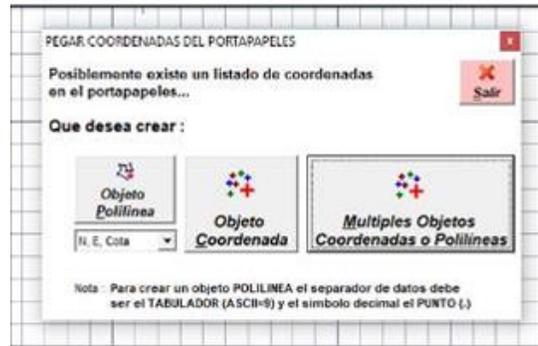
Fuente: software Topo3

Paso 2. En Topo3, presionar las teclas CTRL-V o clic derecho seleccionar la opción Pegar Información del Portapapeles. Aparecerá una ventana como la siguiente:

56

⁵⁶ Topo 3. (s.f.). *Topo 3: Software de diseño geométrico de carreteras*. <https://www.topo3.com/>

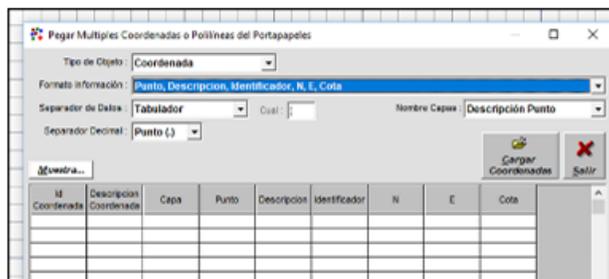
Imagen N°19- Pegar coordenadas del portapapeles



Fuente: software Topo3

Paso 3. Haciendo clic en el botón aparecerá una ventana donde se solicita el formato de la información a pegar, así:

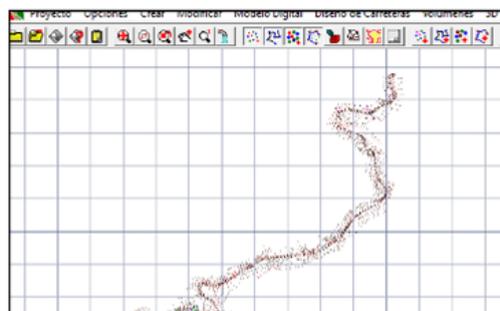
Imagen N°20- Pegar múltiples coordenadas



Fuente: software Topo3

Paso 4. Haciendo clic en el botón se crearán los objetos coordenada y se dibujarán.

Imagen N°21- Objetos coordenadas en Topo3



Fuente: software Topo3

Ejecutando la opción Modelo Digital/Triangular e Interpolación Curvas de Nivel, se generará la TIN y las curvas de nivel del terreno, así:⁵⁷

⁵⁷ Topo 3. (s.f.). *Topo 3: Software de diseño geométrico de carreteras*. <https://www.topo3.com/>

Imagen N°22- Submenú triangular e interpolar curvas de nivel

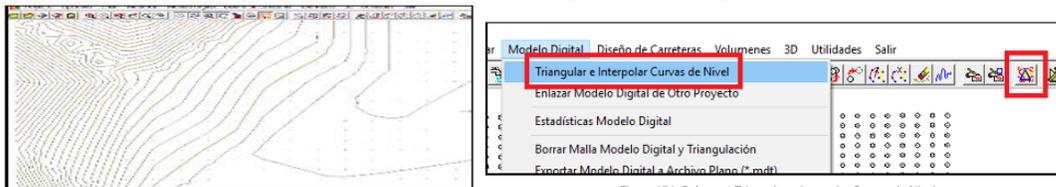


Figura 174. Submenú Triangular e Interpolar Curvas de Nivel

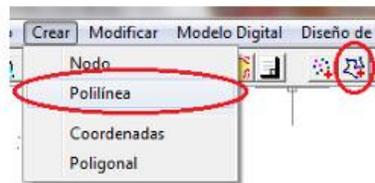
Fuente: software Topo3

Procedimientos de diseño geométrico

Trazar una línea de pendiente: Escoger el punto de inicial Se deberá seleccionar en el terreno el punto de inicio de la línea de pendiente, el cual se deberá encontrar, de manera aproximada, encima de una curva de nivel.

Crear una polilínea: Crear una polilínea utilizando la opción Crear/Polilínea o haciendo clic en el botón:

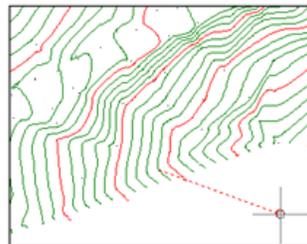
Imagen N°23- Submenú crear polilínea



Fuente: software Topo3

Seleccionar el primer punto de la polilínea: El primer punto de la polilínea creada deberá ser el punto de inicio de la línea de pendiente:

Imagen N°24- Punto de inicio de la polilínea



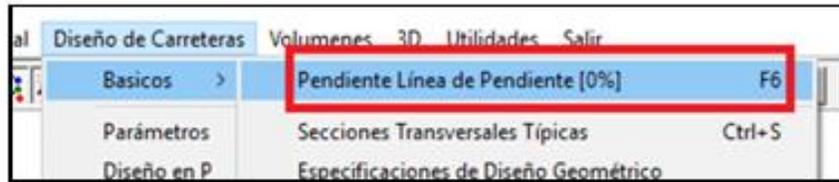
Fuente: software Topo3

Escoger la pendiente inicial de la línea de pendiente: Se deberá escoger con que pendiente se desea trazar la línea de pendiente, para ello se deberá ejecutar la opción:

58

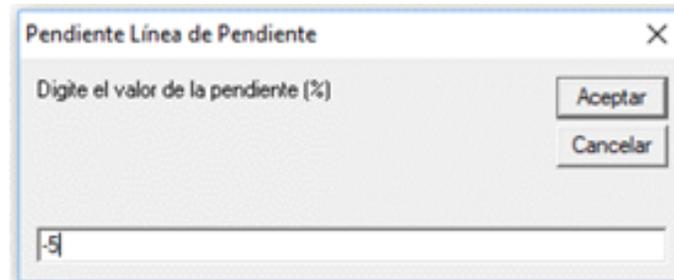
⁵⁸ Topo 3. (s.f.). *Topo 3: Software de diseño geométrico de carreteras*. <https://www.topo3.com/>

Imagen N°25- Submenú diseño de carreteras/básicos/pendiente línea de pendiente



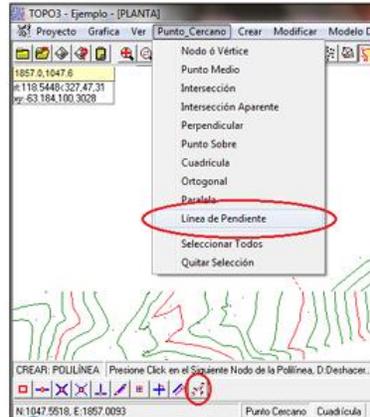
Fuente: software Topo3

Se deberá digitar la pendiente con el signo correspondiente.



Activar la opción de línea de pendiente Encender la opción de trazado de línea de pendiente haciendo clic en la opción

Imagen N°26- Submenú punto cercano/línea de pendiente

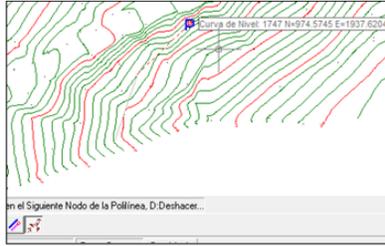


Fuente: software Topo3

Ir al siguiente punto de la línea de pendiente Se deberá mover el puntero del mouse para localizar el siguiente punto de la línea de pendiente, el cual aparecerá marcado con el puntero.⁵⁹

⁵⁹ Topo 3. (s.f.). *Topo 3: Software de diseño geométrico de carreteras.* <https://www.topo3.com/>

Imagen N°27- Trazado de línea de pendiente

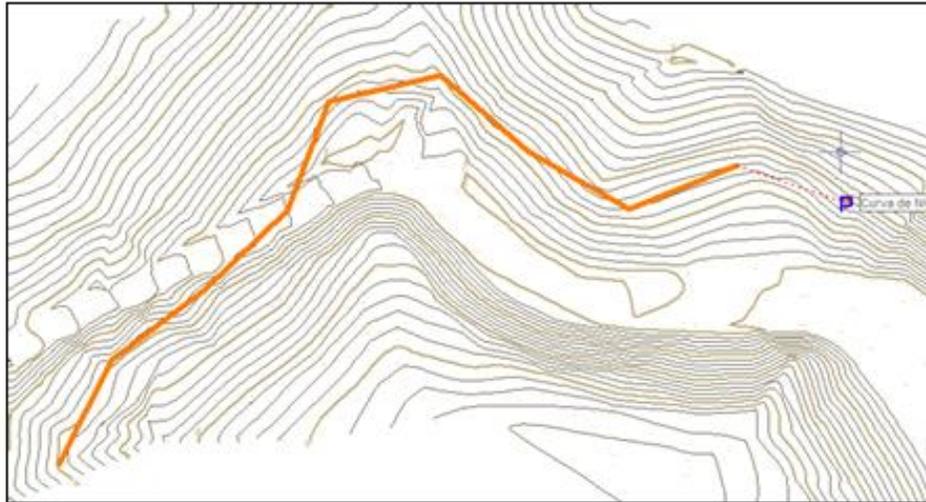


Fuente: software Topo3

Se deberá repetir este paso hasta culminar el trazado de la línea de pendiente.

Una línea de pendiente podrá cambiar de pendiente durante su trazado, simplemente se deberá presionar la tecla F6, digitar la nueva pendiente y seguir el paso 7 hasta terminar el trazado de la línea.

Imagen N°28- Línea de pendiente



Fuente: software Topo3

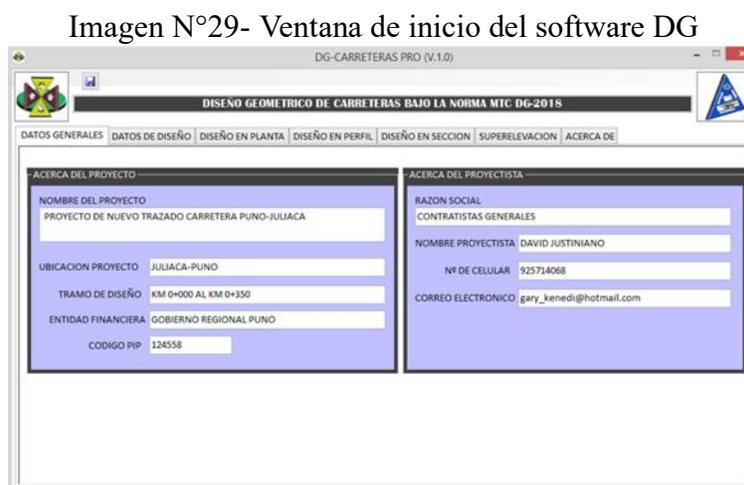
Para hacer que la polilínea contenga un diseño geométrico se deberá modificar las siguientes propiedades:

- Descripción: Definirá el punto de inicio y final de la vía
 - Abscisa Inicial: Abscisa en la cual iniciará el abscisado del eje de la vía
 - Incremento en Abscisado: Abscisas a generar en tangente sobre el diseño geométrico
- Diseño de Vías: Opción que se deberá activar para que la polilínea almacene un diseño geométrico de vía.⁶⁰

⁶⁰ Topo 3. (s.f.). *Topo 3: Software de diseño geométrico de carreteras*. <https://www.topo3.com/>

2.6. DG (Diseño Geométrico)

DG (Diseño Geométrico) es un software que ofrece herramientas avanzadas para el diseño geométrico de carreteras. Sus características incluyen la modelación tridimensional de carreteras, análisis de seguridad vial, y generación de informes detallados sobre el cumplimiento de normas de diseño.



Fuente: software DG

Características Principales de DG

Las características avanzadas de DG se pueden clasificar en varias áreas clave:

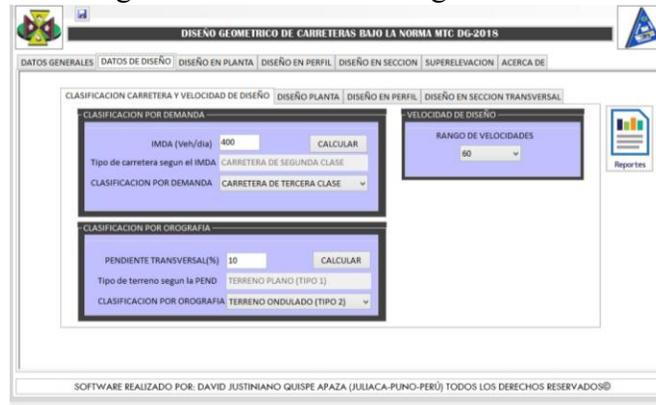
Diseño de elementos:

Alineaciones Horizontales y Verticales: Facilita el diseño de alineaciones horizontales (curvas, tangentes) y verticales (pendientes, crestas y depresiones) con herramientas intuitivas y precisas.

Modelos 3D Integrales apoyados en civil 3D: Combina datos de alineaciones horizontales y verticales para generar un modelo tridimensional completo de la carretera, permitiendo una visualización realista y detallada.⁶¹

⁶¹ Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2018). Manual de Usuario de DG.

Imagen N°30- Ventana de ingreso de datos



Fuente: software DG

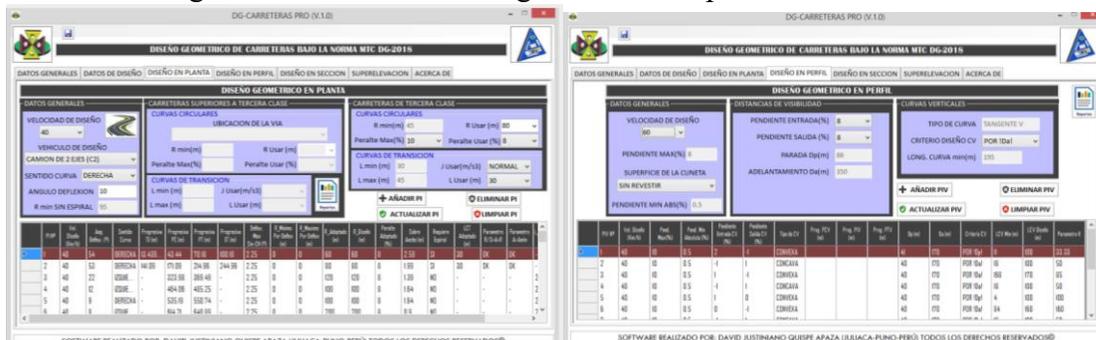
Generación de Informes Detallados:

Informes de Cumplimiento Normativo: Genera informes detallados sobre el cumplimiento de las normas de diseño vial, facilitando la revisión y aprobación del proyecto por parte de las autoridades pertinentes.

Análisis Cuantitativo y Cualitativo: Proporciona datos cuantitativos (como pendientes, radios de curva, anchos de calzada) y análisis cualitativos (como la evaluación del confort y seguridad del usuario) del diseño propuesto.

Documentación del Proyecto: Crea una documentación completa y profesional del proyecto, incluyendo planos, perfiles y secciones transversales, listas para presentación y revisión.⁶²

Imagen N°31- Ventanas de ingreso de datos para clasificación de la vía



Fuente: software DG

⁶² Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2018). Manual de Usuario de DG.

Aplicaciones Prácticas de DG

Diseño de Nuevas Carreteras: Desde la fase de planificación hasta la construcción, DG permite diseñar nuevas carreteras que cumplen con los estándares de seguridad y eficiencia.

Rehabilitación y Mejoramiento: Ayuda en la evaluación y rediseño de carreteras existentes para mejorar su capacidad, seguridad y durabilidad.

Proyectos Urbanos y Rurales: Es versátil y puede utilizarse tanto en proyectos urbanos con alta densidad de tráfico como en proyectos rurales con consideraciones topográficas específicas. (Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2018). Manual de Usuario de DG.)

Geometría Vial y Seguridad Vial

La Geometría Vial se refiere al diseño geométrico de las carreteras, que incluye la configuración y disposición de elementos como alineaciones horizontales y verticales, curvas, intersecciones, accesos, carriles y áreas de descanso. Estos elementos se diseñan teniendo en cuenta criterios de seguridad, capacidad de carga, comodidad del viaje y eficiencia del flujo de tráfico. La Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) establece normativas y estándares para la geometría vial, asegurando que todas las carreteras construidas o mejoradas cumplan con los requisitos técnicos necesarios para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema vial del país.

Alineación Horizontal y Vertical: La ABC define criterios para la alineación horizontal y vertical de las carreteras, asegurando curvas suaves y perfiles adecuados que permitan un tránsito seguro y cómodo para los usuarios. Esto incluye la selección de radios de curvatura, pendientes máximas y mínimas, y la ubicación estratégica de puntos de cambio de dirección.

Intersecciones y Accesos: La geometría vial incluye el diseño de intersecciones y accesos a lo largo de las carreteras, asegurando la fluidez del tráfico y minimizando el riesgo de colisiones. La ABC establece estándares para el diseño de intersecciones controladas y no controladas, rampas de acceso, giros a la izquierda y derecha, y otros elementos relacionados.⁶³

⁶³ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Señalización y Marcación Vial: La ABC define criterios para la ubicación y diseño de señales de tráfico, dispositivos de señalización vertical y horizontal, y marcación vial, garantizando una adecuada visibilidad y comprensión de las indicaciones viales por parte de los conductores. Esto incluye la señalización de curvas peligrosas, cruces peatonales, áreas de adelantamiento y límites de velocidad.

Seguridad Vial: La geometría vial está estrechamente relacionada con la seguridad vial, ya que un diseño adecuado de las carreteras puede reducir significativamente el riesgo de accidentes y lesiones. La ABC implementa medidas de diseño que minimizan los puntos ciegos, proporcionan áreas de escape, reducen la velocidad en áreas urbanas y rurales, y mejoran la visibilidad de la señalización vial.

Auditorías de Seguridad Vial: La ABC lleva a cabo auditorías de seguridad vial en las carreteras existentes y en proyectos en desarrollo, evaluando el cumplimiento de los criterios de geometría vial y su impacto en la seguridad de los usuarios. Estas auditorías identifican áreas de mejora y proponen medidas correctivas para garantizar un diseño vial seguro y eficiente.

En este capítulo se presenta la aplicación práctica del análisis comparativo del diseño geométrico de carreteras, enfocado en el tramo vial Carlazo 0+000 - 5+000. Se emplean tres herramientas de software: Civil 3D, SIMCAR y DG, las cuales permiten realizar diseños geométricos detallados y evaluar sus diferencias en términos de precisión, eficiencia y funcionalidad. A través de este análisis, se busca identificar las ventajas y limitaciones de cada herramienta, proporcionando una visión integral para la selección del software más adecuado.⁶⁴

⁶⁴ Administradora Boliviana de Carreteras. (2007). Manual de diseño geométrico de carreteras: Volumen 1

Normativa peruana

Clasificación por demanda

Las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda en:

Autopistas de Primera Clase

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6 000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6.00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

Autopistas de Segunda Clase

Son carreteras con un IMDA entre 6000 y 4 001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6.00 m hasta 1.00 m, cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

Carreteras de Primera Clase

Son carreteras con un IMDA entre 4 000 y 2 001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

Carreteras de Segunda Clase

Son carreteras con IMDA entre 2 000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.⁶⁵

⁶⁵Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG–2018)*.

Carreteras de Tercera Clase

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m. Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

Trochas Carrozables

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoleas de cruce, por lo menos cada 500 m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

Clasificación por orografía

Las carreteras del Perú, en función a la orografía predominante del terreno por dónde discurre su trazo, se clasifican en:

Terreno plano (tipo 1)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%).

Terreno ondulado (tipo 2)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6%.⁶⁶

⁶⁶Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG–2018)*.

Terreno accidentado (tipo 3)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%.

Terreno escarpado (tipo 4)

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%.

Velocidad de diseño

Esta velocidad, denominada Velocidad de Diseño del tramo homogéneo, es la base para la definición de las características de los elementos geométricos, incluidos en dicho tramo. Para identificar los tramos homogéneos y establecer su Velocidad de Diseño, se debe atender a los siguientes criterios:

- 1) La longitud mínima de un tramo de carretera, con una velocidad de diseño dada, debe ser de tres (3.0) kilómetros, para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h) y de cuatro (4.0) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento veinte kilómetros por hora (60 y 120 km/h).
- 2) La diferencia de la Velocidad de Diseño entre tramos adyacentes, no debe ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h).

No obstante lo anterior, si debido a un marcado cambio en el tipo de terreno en un corto sector de la ruta, es necesario establecer un tramo con longitud menor a la especificada, la diferencia de su Velocidad de Diseño con la de los tramos adyacentes no deberá ser mayor de diez kilómetros por hora (10 km/h).⁶⁷

⁶⁷Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

Tabla N°17- Rangos de las velocidades de diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)											
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
Autopista de primera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Autopista de segunda clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de primera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de segunda clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de tercera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

Tramos en tangente

Las longitudes mínimas admisibles y máximas deseables de los tramos en tangente, en función a la velocidad de diseño, serán las indicadas en la tabla 17.

Tabla N°18- Longitud de tramos en tangente

V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

Dónde:

L mín.s : Longitud mínima (m) para trazados en “S” (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).

L mín.o : Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).

L máx : Longitud máxima deseable (m). V : Velocidad de diseño (km/h)

Las longitudes de tramos en tangente presentada en la Tabla 17, están calculadas con las siguientes fórmulas:

$$L \text{ min.s} : 1.39 V$$

$$L \text{ min.o} : 2.78 V$$

$$L \text{ máx} : 16.70 V$$

Radios mínimos

Los radios mínimos de curvatura horizontal son los menores radios que pueden recorrerse con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad, para cuyo cálculo puede utilizarse la siguiente fórmula: ⁶⁸

$$R_{\text{mín}} = \frac{Vp^2}{127(P_{\text{max}} + f_{\text{max}})} \quad \text{Ecuación N°10} \quad \text{Radio mínimo}$$

Fuente: Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG–2018).

Dónde:

Rmín: Radio mínimo

V: velocidad de diseño

Pmáx: peralte máximo asociado a V (en tanto por uno).

f_{máx}: coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V.

⁶⁸Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG–2018)*.

Tabla N°19- radios mínimos y peraltes máximos para el diseño de carreteras

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño	p máx. (%)	f máx.	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
Área urbana	30	4.00	0.17	33.7	35
	40	4.00	0.17	60.0	60
	50	4.00	0.16	98.4	100
	60	4.00	0.15	149.2	150
	70	4.00	0.14	214.3	215
	80	4.00	0.14	280.0	280
	90	4.00	0.13	375.2	375
	100	4.00	0.12	497.10	495
	110	4.00	0.11	635.2	635
	120	4.00	0.09	872.2	875
130	4.00	0.08	1,108.9	1,110	
Área rural (con peligro de hielo)	30	6.00	0.17	30.8	30
	40	6.00	0.17	54.8	55
	50	6.00	0.16	89.5	90
	60	6.00	0.15	135.0	135
	70	6.00	0.14	192.9	195
	80	6.00	0.14	252.9	255
	90	6.00	0.13	335.9	335
	100	6.00	0.12	437.4	440
	110	6.00	0.11	560.4	550
	120	6.00	0.09	755.9	755
130	6.00	0.08	950.5	950	
Área rural (plano u ondulada)	30	8.00	0.17	28.3	30
	40	8.00	0.17	50.4	50
	50	8.00	0.16	82.0	85
	60	8.00	0.15	123.2	125
	70	8.00	0.14	175.4	175
	80	8.00	0.14	229.1	230
	90	8.00	0.13	303.7	305
	100	8.00	0.12	393.7	395
	110	8.00	0.11	501.5	500
	120	8.00	0.09	667.0	670
130	8.00	0.08	831.7	835	
Área rural (accidentada o escarpada)	30	12.00	0.17	24.4	25
	40	12.00	0.17	43.4	45
	50	12.00	0.16	70.3	70
	60	12.00	0.15	105.0	105
	70	12.00	0.14	148.4	150
	80	12.00	0.14	193.8	195
	90	12.00	0.13	255.1	255
	100	12.00	0.12	328.1	330
	110	12.00	0.11	414.2	415
	120	12.00	0.09	539.9	540
130	12.00	0.08	665.4	665	

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

Diseño geométrico en perfil

Pendiente mínima

Es conveniente proveer una pendiente mínima del orden de 0.5%, a fin de asegurar en todo punto de la calzada un drenaje de las aguas superficiales.⁶⁹

Pendiente máxima

Es conveniente considerar las pendientes máximas que están indicadas en la Tabla 19, no obstante, se pueden presentar los siguientes casos particulares:

⁶⁹Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

- En zonas de altitud superior a los 3.000 msnm, los valores máximos de la Tabla 303.01, se reducirán en 1% para terrenos accidentados o escarpados.
- En autopistas, las pendientes de bajada podrán superar hasta en un 2% los máximos establecidos en la Tabla 19.

Tabla N°20- Pendientes máximas

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Vehículos/día	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30 km/h																			10.00	10.00
40 km/h															9.00	8.00	9.00	10.00		
50 km/h										7.00	7.00			8.00	9.00	8.00	8.00	8.00		
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00		
70 km/h			5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00		7.00	7.00		
80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00			7.00	7.00		
90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00			6.00				6.00	6.00		
100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00				6.00							
110 km/h	4.00	4.00			4.00															
120 km/h	4.00	4.00			4.00															
130 km/h	3.50																			

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

Distancia de visibilidad de Parada (Dp)

Es la distancia que requiere el conductor de un vehículo que viaja a la velocidad de diseño para detenerse por completo después de que se hace visible un objeto sobre la calzada.

Distancia de visibilidad de Adelantamiento (Da)

Es la mínima distancia que requiere un conductor para adelantar a un vehículo que se desplaza a una velocidad inferior.⁷⁰

⁷⁰Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

Tabla N°21- Valores del índice K para el cálculo de la longitud de curva vertical convexa en carreteras de tercera clase

Velocidad de diseño km/h	Longitud controlada por visibilidad de parada		Longitud controlada por visibilidad de paso	
	Distancia de visibilidad de parada	Índice de curvatura K	Distancia de visibilidad de paso	Índice de curvatura K
20	20	0.6		
30	35	1.9	200	46
40	50	3.8	270	84
50	65	6.4	345	138
60	85	11	410	195
70	105	17	485	272
80	130	26	540	338
90	160	39	615	438

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

Longitud de las curvas cóncavas

La longitud de las curvas verticales cóncavas, se determina con las siguientes fórmulas:

Cuando: $D < L$

$$L = \frac{A D^2}{120 + 3.5D} \quad \text{Ecuación N°11} \quad \text{Long. de curvas cónc.}$$

Fuente: Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018).

Cuando: $D > L$

$$L = 2D - \frac{120 + 3.5D}{A} \quad \text{Ecuación N°12} \quad \text{Long. De curvas cónc.}$$

Fuente: Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018).

Dónde:

D: Distancia entre el vehículo y el punto dónde con un ángulo de 1° , los rayos de luz de los faros, interseca a la rasante.⁷¹

⁷¹Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

Tabla N°22- Valores del índice K para el cálculo de la longitud de curva vertical cóncava en carreteras de tercera clase

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de visibilidad de parada (m)	Índice de curvatura K
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18
70	105	23
80	130	30
90	160	38

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*.

CAPÍTULO 3

APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPÍTULO III

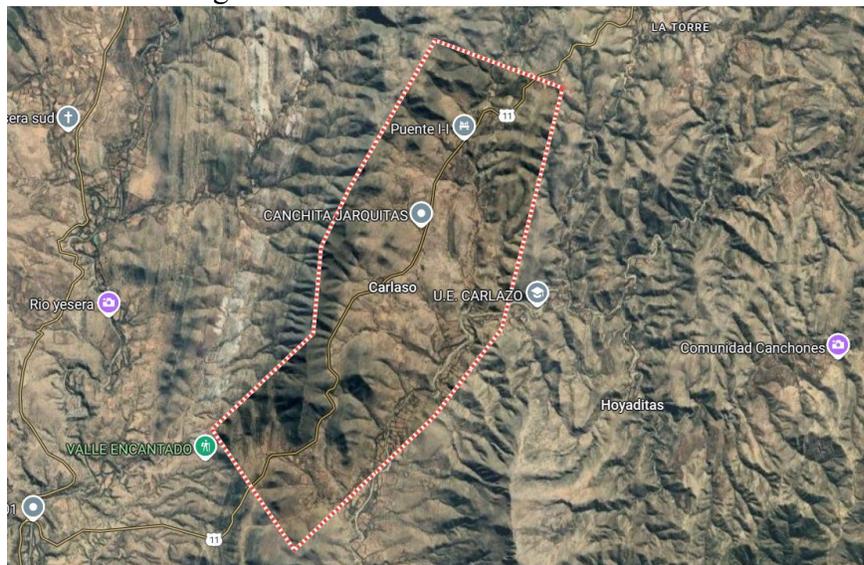
APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. Ubicación del proyecto

El tramo vial Carlazo 0+000 - 5+000 se encuentra ubicado en el departamento de Tarija, provincia Cercado. Este segmento de carretera forma parte de la entrada al poblado de Carlazo, además de ser una ramificación de la ruta Nacional 11, que conecta la ciudad de Tarija con poblados como: Entre Ríos, Palos blancos, Villamontes, entre otros. Geográficamente, el tramo en estudio se extiende a lo largo de una zona montañosa y de valles altos, caracterizada por las condiciones climáticas de la región de Tarija, que tiene un clima templado con variaciones significativas en altitud

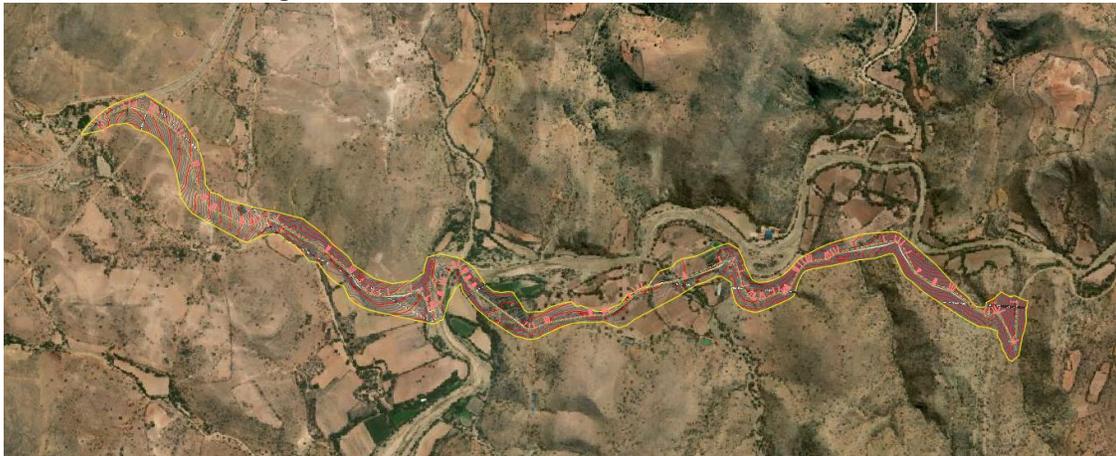
La coordenada de inicio del tramo es aproximadamente 21.479321 Longitud y 64.509717 Latitud. La ubicación de este tramo es significativa para facilitar a la población de Carlazo seguridad y confort a la hora de hacer uso de esta vía de acceso.

Imagen N°32- Vista satelital de Carlazo



Fuente: Google maps.

Imagen N°33- Vista satelital del tramo en estudio



Fuente: software CIVIL 3D

3.1.1. Selección de la Ubicación

Este tramo carretero es importante puesto que conecta al poblado de Carlazo con la ruta Nacional 11, que a su vez conecta a Tarija con distintos lugares dentro del departamento.

La topografía es montañosa lo que favorece el trabajo de análisis y comparación que se pretende realizar entre los distintos softwares de diseño geométrico.

Imagen N°34- camino de entrada a Carlazo



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Factores de Influencia en la Ubicación

Características Geográficas y Topográficas

Relieve: Las pendientes, montañas, valles y áreas planas son cruciales para definir el tipo de infraestructura vial.

Accesibilidad y Conectividad

Red vial existente: La proximidad a carreteras principales o el acceso a puntos estratégicos es esencial. Un tramo bien ubicado puede mejorar significativamente la conectividad en una región.

Aspectos Sociales y Económicos

Desarrollo regional: La ubicación debe contribuir al crecimiento económico de la región. La mejora de la infraestructura vial puede facilitar el acceso a servicios, mercados y aumentar la productividad de las zonas rurales.

3.2. Características del área del proyecto

3.2.1. Clima y Condiciones Meteorológicas

El clima en la región de Tarija se caracteriza por ser templado, con una variabilidad significativa en cuanto a temperatura y con estaciones bien definidas. En invierno, las temperaturas pueden bajar considerablemente, y en verano hay precipitaciones.

En áreas más altas como Carlazo, las temperaturas suelen ser frescas, con posibles lluvias estacionales.

3.2.2. Uso del Suelo y Cobertura Vegetal

Uso del suelo

En la región donde se encuentra Carlazo, el uso del suelo está relacionado principalmente con actividades agrícolas y ganaderas. La tierra es utilizada para la agricultura de subsistencia y la producción de cultivos como maíz, papa y hortalizas. Además, algunas zonas están destinadas a pastoreo debido a las características del terreno montañoso.

Imagen N°35- Cultivo poblado Carlazo



Fuente: Elaboración propia

Cobertura vegetal

La cobertura vegetal de la zona incluye principalmente bosques de montaña, con especies vegetales adaptadas a las condiciones de altura y clima templado tales como el churqui. Este tipo de vegetación es común en las áreas de alta montaña de Tarija.

Se puede encontrar vegetación arbustiva y áreas de matorrales, especialmente en las zonas más áridas o menos accesibles del área. La cobertura forestal puede ser relevante en términos de conservación ambiental y planificación de la carretera, ya que la tala o alteraciones de estos ecosistemas podrían generar un impacto significativo.

Imagen N°36- Vista de campo tramo Carlazo



Fuente: Elaboración propia

3.3. Diseño geométrico con software especializado

3.3.1. Estudios Preliminares

Es importante contar con datos precisos y relevantes para el diseño geométrico de carreteras. La calidad de los resultados en el software depende directamente de la calidad y cantidad de datos disponibles. Dichos estudios se ven a detalle en el Anexo A. del presente documento.

3.3.2. Modelado con Civil 3D

3.3.2.1. Parámetros de entrada para el diseño geométrico

Categorización de la vía

El tramo “Carlazo Centro- Carlazo Este” es de categoría: camino Local, según el manual de la administradora boliviana de carreteras 2007. La categoría es de acuerdo a la cantidad de tráfico proyectado y principalmente a la topografía de cada uno de los tramos, ya que está dada para las condiciones del alineamiento tanto en lo horizontal como en lo vertical. Tipo de terreno. - el tipo de terreno que se presenta a lo largo de la vía es terreno ondulado fuerte a montañoso, debido a que se presentan tramos donde la pendiente fluctúa entre 3 a 6 % y otros donde la rasante presenta pendientes sostenidas entre 4 y 12 %.

Velocidad de proyecto. (Vp)

Es la velocidad de proyecto permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, para el presente proyecto se establece una velocidad de proyecto 40 km/hr, esto debido a que se trata de un camino de categoría Local y el tipo de terreno que presenta es de terreno ondulado fuerte a montañoso, según se especifica en el manual de diseño geométrico de A.B.C.

Radio mínimo. (Rmin)

El radio mínimo se define en función de la velocidad del proyecto y bajo criterios de seguridad ante el deslizamiento y se calcula con la siguiente formula.

$$R_{mín} = \frac{Vp^2}{127(emax + f)}$$

Rmín : Radio Mínimo Absoluto (m)

Vp = Velocidad Proyecto (km/h)

emáx : Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

f : Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a Vp.

Tabla N°23- Radios mínimos absolutos en curvas horizontales

Caminos Colectores - Locales - Desarrollo			
Vp	emáx	f	Rmín
km/h	(%)		(m)
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
Carreteras - Autopistas Autorrutas - Primarios			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

$$R_{mín} = \frac{40^2}{127(7/100 + 0.198)}$$

$$R_{mín} = 47 \text{ m} \rightarrow \text{asumimos } 50 \text{ m}$$

Pendiente de la vía.

Pendiente máxima.

La pendiente máxima admisible de la rasante para el proyecto se define según la siguiente tabla.

Tabla N°24- Pendientes máximas

CATEGORIA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)									
	≤30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	-(1)	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autorrutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

La pendiente máxima admisible para el camino en desarrollo y velocidad de proyecto es igual a $i_{máx} = 9\%$. Y de 40 km/hr.

Pendiente mínima

La fijación de pendientes longitudinales mínimas tiene por objeto asegurar un eficiente escurrimiento de las aguas superficiales sobre la calzada. En general, es deseable que en los casos de secciones en corte o mixtas la carretera tenga una pequeña pendiente longitudinal, por lo menos del orden del 0.5%. Por estos motivos se asume una pendiente mínima de $i_{min} = 0.5\%$.

Distancia mínima de visibilidad de frenado

La distancia de frenado sobre una alineación recta de pendiente uniforme, se calcula mediante la siguiente expresión según el A.B.C.

$$d_f = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f_1 + i)}$$

Donde:

Velocidad de proyecto. $V_p = 40 \text{ Km/hr}$

Coefficiente de roce rodante, pavimento húmedo. $F_1 = 0.415$

Tiempo de percepción + reacción. $T = 2 \text{ Seg.}$

Pendiente longitudinal. $I = 0.040 \text{ m/m.}$

Tabla N°25- Distancia mínima de frenado en horizontal “df”

V	t	f ₁	dt	Df	Df (m)		V
km/h	s	-	m	m	dt+df	Adopt.	km/h
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25	30
35	2					31	35
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38	40
45	2					44	45
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52	50
55	2					60	55
60	2	0,460	33,3	35,5	68,8	70	60
65	2					80	65
70	2	0,380	38,9	50,8	89,7	90	70
75	2					102	75
80	2	0,360	44,4	70,0	114,4	115	80
85	2					130	85
90	2	0,340	50,0	93,9	143,8	145	90
95	2					166	95
100	2	0,330	55,5	119,4	174,9	175	100
105	2					192	105
110	2	0,320	61,1	149,0	210,0	210	110
115	2					230	115
120	2	0,310	66,6	183,0	249,6	250	120
125	2					275	125
130	2	0,295	72,2	225,7	297,9	300	130

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Entonces:

$$d_f = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f_1 + i)} = 38 \text{ m}$$

Distancia de visibilidad de adelantamiento

La distancia de visibilidad mínima de adelantamiento se define según la siguiente tabla.

Tabla N°26- Distancia mínima de adelantamiento

Velocidad de Proyecto km/h	Distancia Mínima de Adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

La distancia mínima de visibilidad de adelantamiento para una velocidad de proyecto de 40 km/hr es de $D_{\text{pasar}} = 240$ m.

Elección del parámetro A de las clotoides

Existen al menos cuatro criterios que determinan la elección del parámetro de una clotoide usada como curva de transición, uno de ellos es el siguiente: por condición de guiado óptico, es decir para tener una clara percepción del elemento de enlace y de la curva circular.

El parámetro debe estar comprendido entre:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

Donde:

R = Radio, en m.

Longitudes máximas en tangentes

Los criterios de longitudes máximas en tangentes son:

- Se procura evitar longitudes en tangentes superiores a $20 \cdot V_p$ (km/hr).
- Se recomienda trazos rectos de longitud comprendida entre $8 \cdot V_p$ (km/hr) y $10 \cdot V_p$.
- Se recomienda trazos de tangente comprendidos entre 600 a 800 m.

Longitudes mínimas en tangentes

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curvas en “S” de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.

- Tramos rectos intermedios de mayor longitud entre curvas de distinto sentido: deberán de alcanzar o superar a $1.4 \cdot V_p$.
- Los valores deseables y mínimos según tipo de terreno y V_p , para tramos rectos entre curvas en el mismo sentido son:

Tabla N°27- Lr min entre curvas del mismo sentido

Lr mín. entre curvas del mismo sentido		
Vp	Terreno	Terreno Montañoso
30	-	25
40	110/55	55/30
50	140/70	70/40
60	170/85	85/50
70	195/98	98/65
80	220/110	110/90
90	250/125	-
100	280/150	-
110	305/190	-
Lr mín. entre curvas del mismo sentido		
Vp	Terreno	Terreno Montañoso
120	330/250	-

Fuente: manual de diseño geométrico A.B.C.

Elementos de curvas horizontales

En los elementos de curvas se debe considerar lo siguiente:

- La sucesión de elementos curvos limita la V85 %, así mismo en tramos rectos.
- En terrenos llanos y ondulados se debe evitar los radios mínimos correspondientes a la categoría de la ruta.
- En terrenos ondulados montañosos, pueden emplearse elementos en el orden de los mínimos.
- El uso de la clotoide es necesario por razones de seguridad, comodidad y estética.
- Las curvas circulares que no requieren clotoides son: si el radio es mayor o igual a 1500 m. para V menor o igual a 80 km/hr. o R es mayor o igual 3000 m. para V mayor o igual a 80 km/hr.

Desarrollo mínimo en curvas circulares

Dado que el desarrollo de la curva circular es directamente proporcional al producto de la deflexión asociada a la curva circular y por el radio de la misma, para radios en el orden del radio mínimo y deflexiones pequeñas, resultan desarrollos demasiados cortos que conviene

evitar en razón de la adecuada percepción de la curva. Este parámetro está en función a la velocidad de proyecto y ángulo de deflexión, siendo deseables aquellos mayores o iguales a 20 grados.

Tabla N°28- Desarrollo mínimo para curvas circulares

Vp(km/hr)	$\Delta = 9^\circ$	$\Delta = 20^\circ$
40	7	16
50	12	26
60	17	38
70	26	57
80	35	78
90	47	104
100	60	134
110	76	170
120	100	220

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Elementos de curvas en S

Los criterios son:

- En los trazos debería de existir coincidencia entre el término de la clotoide de la primera y el inicio de la clotoide de la segunda curva.
- En tramos rectos entre curvas del mismo sentido, se mantendrá en la recta un peralte mínimo igual al bombeo.

Curvas horizontales con radios sobre los mínimos

El criterio tradicionalmente empleado con anterioridad establecía que, para una velocidad de proyecto dada, correspondían peraltes decrecientes a medida que crecían los radios utilizados. Dicho criterio entra en contradicción con la realidad observada en cuanto a que mientras más amplio es el trazado, mayores son las velocidades que tienden a emplear los usuarios. En consecuencia, las tendencias actuales del diseño mantienen peraltes relativamente altos para un rango amplio de radios, independizándose de la velocidad de proyecto, con lo cual las curvas de radio mayor que el mínimo, aceptan una velocidad específica mayor que la de proyecto, lo que permite mantener la seguridad por criterio de

deslizamiento, para aquel grupo de usuarios que tiende a circular a velocidades más elevadas que las de proyecto, todo ello sin aumentar la sensación de enfrentar un trazado aún más amplio.

Peralte

La relación radio y peralte para caminos es el siguiente:

$$25 \leq R \leq 350 \rightarrow e = 7\%$$

$$350 < R \leq 3500 \rightarrow e = 7\% - 6.08\left(1 - \frac{350}{R}\right)^{1.3}$$

$$3500 < R \rightarrow e = \text{bombeo}$$

Donde:

R= Radio de la curvatura circular, en m.

e= Peralte de la curvatura, en m.

Desarrollo de peralte

El peralte tiene como objetivo contrarrestar la acción de la fuerza centrífuga, generada en las curvas horizontales, este valor dependerá principalmente del radio que posee cada curva, así como la velocidad de diseño que se imprimirá sobre la misma.

La longitud de desarrollo del peralte queda dada por:

$$l = \frac{na\Delta_p}{\Delta}$$

Donde:

l= longitud del desarrollo del peralte (m).

n= números de carriles entre el eje de giro del peralte y el borde de la calzada.

a= ancho normal de un carril (m). se prescinde de los ensanches.

Δ_p = Variación total de la pendiente transversal para el borde que debe transitar entre (-b) y (+e) en caminos bidireccionales o entre -b y (+e) o (-e) para el borde exterior en carreteras unidireccionales.

Δ =Pendiente relativa del borde de la calzada, respecto de la pendiente longitudinal del eje de la vía (%), cuyos valores normales y máximos se dan en la siguiente tabla.

Tabla N°29- valores admisibles de pendiente relativa de borde $\Delta\%$

Valores admisibles de pendiente relativa de borde $\Delta\%$				
V_p (km/hr)	30-50	60-70	80-90	100-120
Δ_{normal}	0.7	0.6	0.5	0.35
$\Delta_{m\acute{a}x. n=1}$	1.5	1.3	0.9	0.8
$\Delta_{m\acute{a}x. n>1}$	1.5	1.3	0.9	0.8

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Los valores de Δ normal deben interpretarse como un Δ deseable, pudiendo emplearse valores menores y mayores con las limitaciones expuestas. Los valores Δ máx. sólo se usarán cuando el espacio disponible para la transición de peralte es limitado. Sustituyendo valores en la expresión del desarrollo del peralte, para el ancho del carril de 2.5 metros, para número de carriles igual a uno, para la variación total de la pendiente transversal para el borde que debe transitar es de 9.2% y la pendiente relativa de borde de la calzada promediada entre normal y máximo es de 1.1%. Dando como longitud de desarrollo de peralte igual a 26 metros.

Peralte máximo. (e %)

Tabla N°30- valores máximos para el peralte y fricción transversal

Velocidad	E_{max}	F
Caminos V_p 30 a 80 km/hr	7 %	$0.265 - v/602.4$
Carreteras V_p 80 120 km/hr	8 %	$0.193 - v/1134$

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Para una velocidad de proyecto $V_p=40$ km/hr, el peralte máximo se define en:

$$e_{max} = 7\%.$$

Sobreancho en curvas circulares

En curvas de radio pequeño y mediano, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera o camino, se deberá ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados (huelgas), entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre los vehículos y los bordes de las calzadas.

Las expresiones simplificadas que se presentan en el cuadro siguiente, columna E(m), las que permiten calcular el ensanche total requerido en una calzada de dos carriles (bidireccional o unidireccional) con anchos de 7 y 6 m, empleando los parámetros de cálculo “Lo” para unidades simples (Camiones y Buses); L1 y L2 para unidades articuladas (Semitrailer) y el Radio R de la curva. Para el ensanche se toma como vehículo tipo de diseño el camión de unidad simple con $L_t = 11$ m y $L_o = 9.5$ m, por tanto la expresión simplificada para calzada en recta de dos carriles con ancho de 6 metros es el siguiente:

$$E = \frac{L_o^2}{R} + 0.15$$

Donde:

E = Ensanche o sobreancho de la calzada, en m.

Lo = Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero, en m.

La distribución del ensanche, para el carril interno es de 0.55 del ensanche y para el externo es de 0.45 del ensanche.

La expresión del ensanche es válida para curvaturas que varían con radio de $30 \leq R \leq 450$ metros.

Al tratarse del camino de diseño tipo Local se pretende colocar como paquete estructural con un terminado de tratamiento simple, por esta razón y también según tabla 3.1-1 del manual ABC. Nos indica que el ancho de plataforma total esta entre 7 a 8 m. Por tal sentido para hacer el sobre ancho en curvas horizontales, aplico la fórmula presentada arriba.

Curvas verticales de enlace

En definitiva, para todos los efectos de cálculo y replanteo, la longitud de la curva vertical de enlace está dada según medidas reducidas a la horizontal y vale:

$$L_v = 2T = K|i_1 - i_2|$$

Donde:

$L_v = 2T$ = Es la proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

K = Parámetro de curvas verticales.

$i_1 - i_2 = \theta$ = Diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida, expresadas en m/m.

Criterios de diseño para curvas verticales

Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la visibilidad de frenado, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.

El cálculo de curvas verticales presenta dos situaciones posibles, a saber:

Caso 1: $D_p < L_{min} = L_v$

La fórmula que determina L_{min} en curvas convexas, es:

$$L_{min} = \frac{\theta D_p^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Donde:

θ = Diferencia algebraica de pendientes, en m/m.

D_p = Distancia de frenado, en m.

h_1 = Altura ojos del conductor, en m.

h_2 = Altura obstáculo fijo, en m.

La fórmula que determina L_{min} en curvas cóncavas, es:

$$L_{min} = \frac{\theta D_p^2}{2(h + D_p \text{sen } \alpha)}$$

Donde:

θ = Diferencia algebraica de pendientes, en m/m.

D_p = Distancia de frenado, en m.

h = Altura focos del vehículo, en m.

Caso 2: $L_{min} = L_v < D_p$

La fórmula que determina L_{min} en curvas convexas, es:

$$L_{min} = 2D_p - \frac{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{\theta}$$

Donde:

θ = Diferencia algebraica de pendientes, en m/m.

D_p = Distancia de frenado, en m.

h_1 = Altura ojos del conductor, en

h_2 = Altura obstáculo fijo, en m.

La fórmula que determina L_{min} en curvas cóncavas, es:

$$L_{min} = 2D_p - \frac{2(h + D_p \text{sen } \alpha)}{\theta}$$

Donde:

θ = Diferencia algebraica de pendientes, en m/m.

D_p = Distancia de frenado, en m.

h = Altura focos del vehículo, en m.

α = Angulo de abertura del haz luminoso.

Para valores pequeños de i , en las curvas verticales convexas y cóncavas, para los casos donde $D_p > L_v$, la longitud de la curva puede llegar a ser negativa, significando esto que no se necesitaría curva. Sin embargo, de orden práctico, para evitar al usuario la impresión de

un cambio súbito de pendiente, se exige una cierta longitud mínima de curva vertical L_v según la velocidad específica de la curva vertical $V_e = V_p$ expresada en Km/hr, de acuerdo con la siguiente expresión, denominado criterio de operación:

$$L_v(m) = 0.6V_p\left(\frac{km}{hr}\right)$$

Tabla N°31- visibilidad de frenado

Parámetros mínimos en curvas verticales por criterio de visibilidad de frenado				
Velocidad de proyecto VP (km/hr)	Curvas convexas Kv			Curvas cóncavas Kc
	V* = Vp (km/hr)	V*=Vp+5 (km/hr)	V*=Vp+10 (km/hr)	Vp (km/hr)
30	300	300	3000	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900
80	3000	3550	4400	2600
90	4700	5100	6000	3400
100	6850	7400	8200	4200
110	9850	10600	11000	5200
120	14000	15100	16000	6300

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Parámetros mínimos en curvas verticales convexas para asegurar la visibilidad de adelantamiento.

Tabla N°32- parámetro mínimo para asegurar la visibilidad de adelantamiento

Velocidad de proyecto Vp (km/hr)	Ka
30	3500
40	6300
50	9800
60	14900
70	21000
80	27200
90	33900
100	39100
110	45900

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

3.3.2.2. Diseño en planta

Tabla N°33- Elementos curvas horizontales

No.	Tipo	Longitud m	Radio m	A m	Delta	Longitud de cuerda
1	Line	73.998				
2.1	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	45.000		47.434	25.7831 (d)	
2.2	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	55.357	50.000		63.4346 (d)	52.573
2.3	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	45.000		47.434	25.7831 (d)	
2.4	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	40.000		44.721	22.9183 (d)	
2.5	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	13.000	50.000		14.8969 (d)	12.963
2.6	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	45.000		47.434	25.7831 (d)	
3	Line	56.769				
4	Curve	46.009	114.447		23.0336 (d)	45.700m
5	Line	101.444				
6	Curve	50.000	25.573		112.0242 (d)	42.408m
7	Line	18.780				
8	Curve	50.000	23.622		121.2758 (d)	41.175m
9	Line	93.729				
10	Curve	45.063	213.387		12.0997 (d)	44.979m
11	Line	48.093				
12.1	Spiral-Curve	40.000		44.721	22.9183 (d)	
12.2	Spiral-Curve	9.802	50.000		11.2328 (d)	9.787m
13.1	Spiral-Line	40.000		44.721	22.9183 (d)	
13.2	Spiral-Line	67.772				
14.1	Spiral-Curve	40.000		44.721	22.9183 (d)	
14.2	Spiral-Curve	1.637	50.000		1.8760 (d)	1.637m

No.	Tipo	Longitud m	Radio m	A m	Delta	Longitud de cuerda
15.1	Spiral-Line	40.000		44.721	22.9183 (d)	
15.2	Spiral-Line	56.265				
16	Curve	29.258	50.000		33.5277 (d)	28.843m
17	Line	83.538				
18	Curve	48.016	68.784		39.9963 (d)	47.047m
19	Line	265.614				
20.1	Spiral-Curve-Spiral	40.000		44.721	22.9183 (d)	
20.2	Spiral-Curve-Spiral	20.987	50.000		24.0498 (d)	20.834m
20.3	Spiral-Curve-Spiral	40.000		44.721	22.9183 (d)	
21	Line	104.760				
22	Curve	39.581	56.227		40.3327 (d)	38.768m
23	Line	38.122				
24.1	Spiral-Curve	45.000		47.434	25.7831 (d)	
24.2	Spiral-Curve	50.580	50.000		57.9600 (d)	48.450m
25.1	Spiral-Line	45.000		47.434	25.7831 (d)	
25.2	Spiral-Line	83.052				
26	Curve	21.245	50.000		24.3455 (d)	21.086m
27	Line	99.596				
28.1	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	45.000		47.434	25.7831 (d)	
28.2	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	8.196	50.000		9.3922 (d)	8.187m
28.3	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	45.000		47.434	25.7831 (d)	
28.4	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	45.000		45.000	28.6479 (d)	
28.5	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	25.000	45.000		31.8310 (d)	24.680m
28.6	Spiral-Curve-Spiral-Spiral-Curve-Spiral	45.000		45.000	28.6479 (d)	
29	Line	141.392				
30	Curve	17.885	50.000		20.4945 (d)	17.790m
31	Line	39.307				
32	Curve	22.674	30.047		43.2355 (d)	22.140m
33	Line	36.994				
34	Curve	32.788	50.000		37.5725 (d)	32.204m
35	Line	343.788				
36	Curve	14.640	50.000		16.7763 (d)	14.588m
37	Line	125.040				
38	Curve	164.387	100.000		94.1869 (d)	146.493m
39	Line	48.632				
40.1	Spiral-Curve	45.000		47.434	25.7831 (d)	
40.2	Spiral-Curve	34.513	50.000		39.5493 (d)	33.832m
41.1	Spiral-Line	45.000		47.434	25.7831 (d)	
41.2	Spiral-Line	158.411				
42	Curve	50.155	100.000		28.7365 (d)	49.631m
43	Line	147.524				
44	Curve	13.143	50.000		15.0605 (d)	13.105m

No.	Tipo	Longitud m	Radio m	A m	Delta	Longitud de cuerda
45	Line	160.962				
46	Curve	59.532	37.742		90.3754 (d)	53.550m
47	Line	97.724				
48	Curve	28.823	50.000		33.0287 (d)	28.426m
49	Line	91.115				
50	Curve	15.839	50.000		18.1503 (d)	15.773m
51	Line	66.120				
52	Curve	21.204	50.000		24.2983 (d)	21.046m
53	Line	67.737				
54	Curve	38.944	80.000		27.8913 (d)	38.560m
55	Line	55.409				
56	Curve	51.658	50.000		59.1957 (d)	49.391m
57	Line	82.770				
58.1	Spiral-Spiral	45.000		26.867	80.3658 (d)	
58.2	Spiral-Spiral	45.000		26.867	80.3658 (d)	
59	Line	139.814				

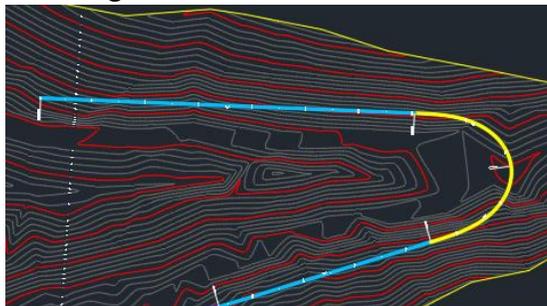
Fuente: Software CIVIL 3D

Imagen N°37- Curva horizontal 1



Fuente: software CIVIL 3D

Imagen N°38- Curva horizontal 35



Fuente: software CIVIL 3D

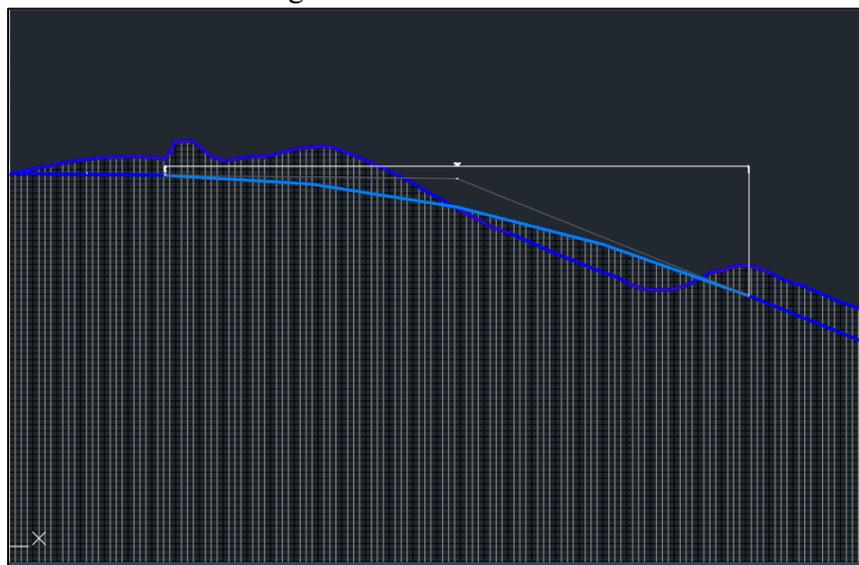
3.3.2.3. Diseño en perfil

Tabla N°34- Elementos curvas horizontales

N°	PVI Station m	PVI Elevation m	Pendiente entrada %	Pendiente salida %	A(Cambio de Pendiente %)	Tipo de curva	Longitud de curva m	K	Radio de curva m
1	0+000.00	2219.340		-0.23					
2	0+377.15	2218.468	-0.23	-8.04	7.80	Crest	491.670	63,000	6300.00
3	1+055.00	2164.000	-8.04	4.69	12.72	Sag	127.235	10,000	1000.000
4	1+472.83	2183.588	4.69	-7.60	12.28	Crest	429.934	35,000	3500.000
5	1+855.20	2154.544	-7.60	4.66	12.26	Sag	98.059	8,000	800.000
6	2+530.00	2186.000	4.66	-2.52	7.18	Crest	452.329	63,000	6300.000
7	3+035.84	2173.262	-2.52	1.56	4.08	Sag	32.611	8,000	800.000
8	3+725.00	2184.000	1.56	7.97	6.41	Sag	51.282	8,000	800.000
9	4+071.01	2211.572	7.97	5.55	2.42	Crest	152.220	63,000	6300.000
10	4+607.42	2241.355	5.55	-4.64	10.19	Crest	407.647	40,000	4000.000
11	4+939.19	2225.965	-4.64						

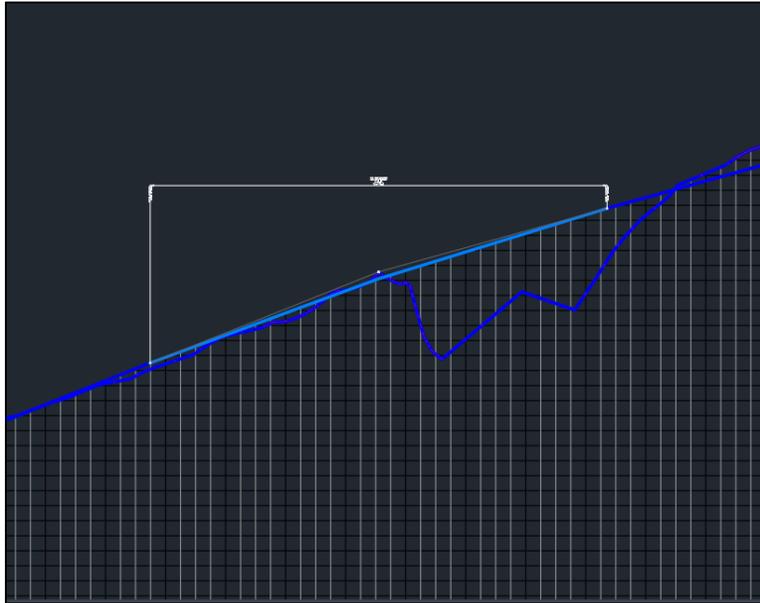
Fuente: Software CIVIL 3D

Imagen N°39- Curva vertical 1



Fuente: Software CIVIL 3D

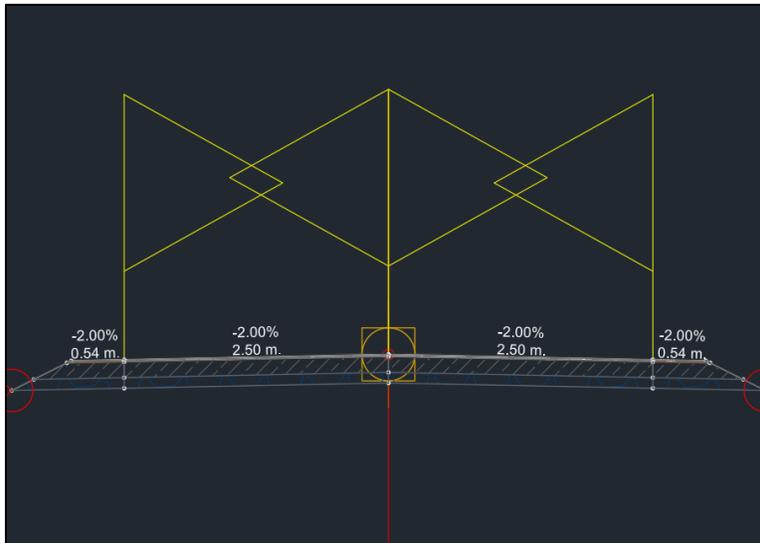
Imagen N°40- Curva vertical 9



Fuente: Software CIVIL 3D

3.3.2.4. Sección transversal

Imagen N°41- Diseño de sección transversal



Fuente: Software CIVIL 3D

Tabla N°35- Volúmenes de Corte y Relleno

PROGRESIVA	AREA DE RELLENO [m2]	AREA DE CORTE [m2]	VOLUMEN PRELLENO [m3]	VOLUMEN CORTE [m3]	VOLUMEN ACUMULADO DE RELLENO [m3]	VOLUMEN ACUMULADO DE CORTE [m3]
0+000.00	1,413	3,627	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.00	0.094	16,727	15.07	203.54	15.07	203.54
0+040.00	0.000	33,150	0.94	498.77	16.01	702.32
0+060.00	0.000	43,362	0.00	765.12	16.01	1467.44
0+100.00	0.000	35,813	0.00	1571.82	16.01	3039.26
0+120.00	0.000	48,781	0.00	819.51	16.01	3858.77
0+130.00	0.000	54,834	0.00	497.30	16.01	4356.07
0+140.00	0.010	75,792	0.04	630.54	16.05	4986.61
0+150.00	0.000	80,743	0.04	766.76	16.09	5753.37
0+160.00	0.013	66,546	0.05	721.12	16.14	6474.49
0+170.00	0.029	44,812	0.17	541.90	16.31	7016.39
0+200.00	0.000	47,612	0.38	1367.37	16.70	8383.76
0+250.00	0.000	92,044	0.00	3503.80	16.70	11887.56
0+260.00	0.000	99,956	0.00	983.85	16.70	12871.42
0+270.00	0.000	102,452	0.00	1039.40	16.70	13910.81
0+300.00	0.000	76,171	0.00	2723.23	16.70	16634.04
0+320.00	0.000	55,005	0.00	1315.45	16.70	17949.50
0+340.00	0.000	34,068	0.00	890.73	16.70	18840.23
0+360.00	0.532	14,612	5.32	486.80	22.02	19327.03
0+380.00	3,102	1,260	36.44	158.44	58.45	19485.47
0+390.00	7,350	0.208	52.39	7.19	110.84	19492.66
0+400.00	11,271	0.000	93.26	1.02	204.10	19493.67
0+410.00	15,570	0.001	134.08	0.01	338.18	19493.68
0+420.00	18,950	0.000	172.25	0.01	510.43	19493.68
0+440.00	25,532	0.012	444.82	0.12	955.24	19493.80
0+460.00	34,227	0.000	597.59	0.12	1552.84	19493.92
0+480.00	41,371	0.000	755.98	0.00	2308.82	19493.92
0+500.00	46,208	0.000	875.79	0.00	3184.60	19493.92
0+520.00	52,487	0.000	986.95	0.00	4171.56	19493.92
0+530.00	47,952	0.000	484.65	0.00	4656.21	19493.92
0+540.00	43,524	0.000	422.80	0.00	5079.01	19493.92
0+550.00	42,240	0.000	411.05	0.00	5490.07	19493.92
0+560.00	26,561	0.000	332.14	0.00	5822.21	19493.92
0+570.00	17,052	0.000	204.78	0.00	6026.98	19493.92
0+580.00	3,481	1,112	102.43	5.52	6129.41	19499.45
0+600.00	0.000	32,534	34.47	341.35	6163.88	19840.79
0+610.00	0.006	49,214	0.04	409.41	6163.91	20250.20

Fuente: Software CIVIL 3D

3.3.3. Modelado con SIMCAR

3.3.3.1. Parámetros de entrada para el diseño geométrico

Categorización de la vía

El tramo “Carlazo Centro- Carlazo Este” es de categoría: camino Local, según el manual de la administradora boliviana de carreteras 2007. La categoría es de acuerdo a la cantidad de tráfico proyectado y principalmente a la topografía de cada uno de los tramos, ya que está dada para las condiciones del alineamiento tanto en lo horizontal como en lo vertical. Tipo de terreno. - el tipo de terreno que se presenta a lo largo de la vía es terreno ondulado fuerte a montañoso, debido a que se presentan tramos donde la pendiente fluctúa entre 3 a 6 % y otros donde la rasante presenta pendientes sostenidas entre 4 y 12 %.

Imagen N°42- Cuadro de Parámetros de entrada software SIMCAR



Fuente: software TOPO3

Velocidad de proyecto. (V_p)

Es la velocidad de proyecto permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, para el presente proyecto se establece una velocidad de proyecto 40 km/hr, esto debido a que se trata de un camino de categoría Local y el tipo de terreno que presenta es de terreno ondulado fuerte a montañoso, según se especifica en el manual de diseño geométrico de A.B.C.

Radio mínimo. (R_{min})

El radio mínimo se define en función de la velocidad del proyecto y bajo criterios de seguridad ante el deslizamiento y se calcula con la siguiente formula.

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

$R_{\text{mín}}$: Radio Mínimo Absoluto (m)

V_p = Velocidad Proyecto (km/h)

$e_{\text{máx}}$: Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

f : Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p .

Tabla N°36- Radios mínimos absolutos en curvas horizontales

Caminos Colectores - Locales - Desarrollo			
V_p	$e_{\text{máx}}$	f	$R_{\text{mín}}$
km/h	(%)		(m)
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
Carreteras - Autopistas Autorrutas - Primarios			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

$$R_{\text{mín}} = \frac{40^2}{127(7/100 + 0.198)}$$

$$R_{\text{mín}} = 47 \text{ m} \rightarrow \text{asumimos } 50 \text{ m}$$

Pendiente de la vía.

Pendiente máxima.

La pendiente máxima admisible de la rasante para el proyecto se define según la siguiente tabla.

Tabla N°37- Pendientes máximas admisibles(%)

Categoría	Velocidad de proyecto (km/hr)									
	≤ 30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	-	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autorutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

La pendiente máxima admisible para el camino en desarrollo y velocidad de proyecto es igual a $i_{máx} = 9\%$. Y de 40 km/hr.

Pendiente mínima

La fijación de pendientes longitudinales mínimas tiene por objeto asegurar un eficiente escurrimiento de las aguas superficiales sobre la calzada. En general, es deseable que en los casos de secciones en corte o mixtas la carretera tenga una pequeña pendiente longitudinal, por lo menos del orden del 0.5%. Por estos motivos se asume una pendiente mínima de $i_{min} = 0.5\%$.

Distancia mínima de visibilidad de frenado

La distancia de frenado sobre una alineación recta de pendiente uniforme, se calcula mediante la siguiente expresión según el A.B.C.

$$d_f = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f_1 + i)}$$

Donde:

Velocidad de proyecto.

$$V_p = 40 \text{ Km/hr}$$

Coefficiente de roce rodante, pavimento húmedo. $F_1 = 0.415$

Tiempo de percepción + reacción.

$$T = 2 \text{ Seg.}$$

Pendiente longitudinal.

$$I = 0.040 \text{ m/m.}$$

Tabla N°38- Distancia mínima de frenado horizontal Df

V	t	f1	dt	Df	Df (m)		V
km/h	s	-	m	m	dt+df	Adopt.	km/h
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25	30
35	2					31	35
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38	40
45	2					44	45
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52	50
55	2					60	55
60	2	0,460	33,3	35,5	68,8	70	60
65	2					80	65
70	2	0,380	38,9	50,8	89,7	90	70
75	2					102	75
80	2	0,360	44,4	70,0	114,4	115	80
85	2					130	85
90	2	0,340	50,0	93,9	143,8	145	90
95	2					166	95
100	2	0,330	55,5	119,4	174,9	175	100
105	2					192	105
110	2	0,320	61,1	149,0	210,0	210	110
115	2					230	115
120	2	0,310	66,6	183,0	249,6	250	120
125	2					275	125
130	2	0,295	72,2	225,7	297,9	300	130

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Entonces:

$$d_f = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f_1 + i)} = 38 \text{ m}$$

Distancia de visibilidad de adelantamiento

La distancia de visibilidad mínima de adelantamiento se define según la siguiente tabla.

Tabla N°39- Distancia mínima de adelantamiento

Vp (km/hr)	Distancia mínima de adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

La distancia mínima de visibilidad de adelantamiento para una velocidad de proyecto de 40 km/hr es de $D_{pasar} = 240$ m.

Elección del parámetro A de las clotoides

Existen al menos cuatro criterios que determinan la elección del parámetro de una clotoide usada como curva de transición, uno de ellos es el siguiente: por condición de guiado óptico, es decir para tener una clara percepción del elemento de enlace y de la curva circular.

El parámetro debe estar comprendido entre:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

Donde:

R = Radio, en m.

Longitudes máximas en tangentes

Los criterios de longitudes máximas en tangentes son:

- Se procura evitar longitudes en tangentes superiores a $20 \cdot V_p$ (km/hr).
- Se recomienda trazos rectos de longitud comprendida entre $8 \cdot V_p$ (km/hr) y $10 \cdot V_p$.

- Se recomienda trazos de tangente comprendidos entre 600 a 800 m.

Longitudes mínimas en tangentes

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curvas en “S” de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.

- Tramos rectos intermedios de mayor longitud entre curvas de distinto sentido: deberán de alcanzar o superar a $1.4 \cdot V_p$.
- Los valores deseables y mínimos según tipo de terreno y V_p , para tramos rectos entre curvas en el mismo sentido son:

Tabla N°40- Lr mín. entre curvas del mismo sentido

Lr mín. entre curvas del mismo sentido		
Vp	Terreno	Terreno Montañoso
30	-	25
40	110/55	55/30
50	140/70	70/40
60	170/85	85/50
70	195/98	98/65
80	220/110	110/90
90	250/125	-
100	280/150	-
110	305/190	-

Lr mín. entre curvas del mismo sentido		
Vp	Terreno	Terreno Montañoso
120	330/250	-

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Elementos de curvas horizontales

En los elementos de curvas se debe considerar lo siguiente:

- La sucesión de elementos curvos limita la V_{85} %, así mismo en tramos rectos.

- En terrenos llanos y ondulados se debe evitar los radios mínimos correspondientes a la categoría de la ruta.
- En terrenos ondulados montañosos, pueden emplearse elementos en el orden de los mínimos.
- El uso de la clotoide es necesario por razones de seguridad, comodidad y estética.
- Las curvas circulares que no requieren clotoides son: si el radio es mayor o igual a 1500 m. para V menor o igual a 80 km/hr. o R es mayor o igual 3000 m. para V mayor o igual a 80 km/hr.

Desarrollo mínimo en curvas circulares

Dado que el desarrollo de la curva circular es directamente proporcional al producto de la deflexión asociada a la curva circular y por el radio de la misma, para radios en el orden del radio mínimo y deflexiones pequeñas, resultan desarrollos demasados cortos que conviene evitar en razón de la adecuada percepción de la curva. Este parámetro está en función a la velocidad de proyecto y ángulo de deflexión, siendo deseables aquellos mayores o iguales a 20 grados.

Tabla N°41- Desarrollo mínimo para curvas circulares

Vp(km/hr)	$\Delta = 9^\circ$	$\Delta = 20^\circ$
40	7	16
50	12	26
60	17	38
70	26	57
80	35	78
90	47	104
100	60	134
110	76	170
120	100	220

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Elementos de curvas en S

Los criterios son:

- En los trazos debería de existir coincidencia entre el término de la clotoide de la primera y el inicio de la clotoide de la segunda curva.
- En tramos rectos entre curvas del mismo sentido, se mantendrá en la recta un peralte mínimo igual al bombeo.

Curvas horizontales con radios sobre los mínimos

El criterio tradicionalmente empleado con anterioridad establecía que, para una velocidad de proyecto dada, correspondían peraltes decrecientes a medida que crecían los radios utilizados. Dicho criterio entra en contradicción con la realidad observada en cuanto a que mientras más amplio es el trazado, mayores son las velocidades que tienden a emplear los usuarios. En consecuencia, las tendencias actuales del diseño mantienen peraltes relativamente altos para un rango amplio de radios, independizándose de la velocidad de proyecto, con lo cual las curvas de radio mayor que el mínimo, aceptan una velocidad específica mayor que la de proyecto, lo que permite mantener la seguridad por criterio de deslizamiento, para aquel grupo de usuarios que tiende a circular a velocidades más elevadas que las de proyecto, todo ello sin aumentar la sensación de enfrentar un trazado aún más amplio.

Peralte

La relación radio y peralte para caminos es el siguiente:

$$25 \leq R \leq 350 \rightarrow e = 7\%$$

$$350 < R \leq 3500 \rightarrow e = 7\% - 6.08\left(1 - \frac{350}{R}\right)^{1.3}$$

$$3500 < R \rightarrow e = \text{bombeo}$$

Donde:

R= Radio de la curvatura circular, en m.

e= Peralte de la curvatura, en m.

Desarrollo de peralte

El peralte tiene como objetivo contrarrestar la acción de la fuerza centrífuga, generada en las curvas horizontales, este valor dependerá principalmente del radio que posee cada curva, así como la velocidad de diseño que se imprimirá sobre la misma.

La longitud de desarrollo del peralte queda dada por:

$$l = \frac{na\Delta_p}{\Delta}$$

Donde:

l = longitud del desarrollo del peralte (m).

n = números de carriles entre el eje de giro del peralte y el borde de la calzada.

a = ancho normal de un carril (m). se prescinde de los ensanches.

Δ_p = Variación total de la pendiente transversal para el borde que debe transitar entre (-b) y (+e) en caminos bidireccionales o entre -b y (+e) o (-e) para el borde exterior en carreteras unidireccionales.

Δ =Pendiente relativa del borde de la calzada, respecto de la pendiente longitudinal del eje de la vía (%), cuyos valores normales y máximos se dan en la siguiente tabla.

Tabla N°42- Valores admisibles de pendiente relativa de borde $\Delta\%$

Valores admisibles de pendiente relativa de borde $\Delta\%$				
Vp(km/hr)	30-50	60-70	80-90	100-120
Δ_{normal}	0.7	0.6	0.5	0.35
$\Delta_{m\acute{a}x. n=1}$	1.5	1.3	0.9	0.8
$\Delta_{m\acute{a}x. n>1}$	1.5	1.3	0.9	0.8

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Los valores de Δ normal deben interpretarse como un Δ deseable, pudiendo emplearse valores menores y mayores con las limitaciones expuestas. Los valores Δ máx. sólo se usarán cuando el espacio disponible para la transición de peralte es limitado. Sustituyendo valores en la expresión del desarrollo del peralte, para el ancho del carril de 2.5 metros, para número de carriles igual a uno, para la variación total de la pendiente transversal para el borde que debe transitar es de 9.2% y la pendiente relativa de borde de la calzada promediada entre

normal y máximo es de 1.1%. Dando como longitud de desarrollo de peralte igual a 26 metros.

Peralte máximo. (e %)

Tabla N°43- Valores máximos para el peralte y la fricción transversal

Velocidad	E _{max}	F
Caminos V _p 30 a 80 km/hr	7 %	0.265 - v/602.4
Carreteras V _p 80 120 km/hr	8 %	0.193 - v/1134

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Para una velocidad de proyecto V_p=40 km/hr, el peralte máximo se define en:

$$e_{\max} = 7\%$$

Sobreancho en curvas circulares

En curvas de radio pequeño y mediano, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera o camino, se deberá ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados (huelgas), entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre los vehículos y los bordes de las calzadas.

Las expresiones simplificadas que se presentan en el cuadro siguiente, columna E(m), las que permiten calcular el ensanche total requerido en una calzada de dos carriles (bidireccional o unidireccional) con anchos de 7 y 6 m, empleando los parámetros de cálculo "Lo" para unidades simples (Camiones y Buses); L1 y L2 para unidades articuladas (Semitrailer) y el Radio R de la curva. Para el ensanche se toma como vehículo tipo de diseño el camión de unidad simple con L_t = 11 m y L_o = 9.5 m, por tanto la expresión simplificada para calzada en recta de dos carriles con ancho de 6 metros es el siguiente:

$$E = \frac{L_o^2}{R} + 0.15$$

Donde:

E = Ensanche o sobreaño de la calzada, en m.

Lo = Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero, en m.

La distribución del ensanche, para el carril interno es de 0.55 del ensanche y para el externo es de 0.45 del ensanche.

La expresión del ensanche es válida para curvaturas que varían con radio de $30 \leq R \leq 450$ metros.

Al tratarse del camino de diseño tipo Local se pretende colocar como paquete estructural con un terminado de tratamiento simple, por esta razón y también según tabla 3.1-1 del manual ABC. Nos indica que el ancho de plataforma total está entre 7 a 8 m. Por tal sentido para hacer el sobre ancho en curvas horizontales, aplico la fórmula presentada arriba.

Curvas verticales de enlace

En definitiva, para todos los efectos de cálculo y replanteo, la longitud de la curva vertical de enlace está dada según medidas reducidas a la horizontal y vale:

$$L_v = 2T = K|i_1 - i_2|$$

Donde:

$L_v = 2T$ = Es la proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

K = Parámetro de curvas verticales.

$i_1 - i_2 = \Theta$ = Diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida, expresadas en m/m.

Criterios de diseño para curvas verticales

Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la visibilidad de frenado, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.

El cálculo de curvas verticales presenta dos situaciones posibles, a saber:

Caso 1: $D_p < L_{min} = L_v$

La fórmula que determina L_{min} en curvas convexas, es:

$$L_{min} = \frac{\theta D_p^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Donde:

θ = Diferencia algebraica de pendientes, en m/m.

D_p = Distancia de frenado, en m.

h_1 = Altura ojos del conductor, en m.

h_2 = Altura obstáculo fijo, en m.

La fórmula que determina L_{min} en curvas cóncavas, es:

$$L_{min} = \frac{\theta D_p^2}{2(h + D_p \text{sen } \alpha)}$$

Donde:

θ = Diferencia algebraica de pendientes, en m/m.

D_p = Distancia de frenado, en m.

h = Altura focos del vehículo, en m.

Caso 2: $L_{min} = L_v < D_p$

La fórmula que determina L_{min} en curvas convexas, es:

$$L_{min} = 2D_p - \frac{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{\theta}$$

Donde:

θ = Diferencia algebraica de pendientes, en m/m.

D_p = Distancia de frenado, en m.

h_1 = Altura ojos del conductor, en

h_2 = Altura obstáculo fijo, en m.

La fórmula que determina L_{min} en curvas cóncavas, es:

$$L_{min} = 2D_p - \frac{2(h + D_p \text{sen } \alpha)}{\theta}$$

Donde:

θ = Diferencia algebraica de pendientes, en m/m.

D_p = Distancia de frenado, en m.

h = Altura focos del vehículo, en m.

α = Angulo de abertura del haz luminoso.

Para valores pequeños de i , en las curvas verticales convexas y cóncavas, para los casos donde $D_p > L_v$, la longitud de la curva puede llegar a ser negativa, significando esto que no se necesitaría curva. Sin embargo, de orden práctico, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente, se exige una cierta longitud mínima de curva vertical L_v según la velocidad específica de la curva vertical $V_e = V_p$ expresada en Km/hr, de acuerdo con la siguiente expresión, denominado criterio de operación:

$$L_v(m) = 0.6V_p \left(\frac{km}{hr} \right)$$

Parámetros mínimos por criterio de visibilidad de frenado

Parámetros mínimos en curvas verticales por criterio de visibilidad de frenado				
Velocidad de proyecto VP (km/hr)	Curvas convexas Kv			Curvas cóncavas Kc
	V* = Vp (km/hr)	V* = Vp+5 (km/hr)	V* = Vp+10 (km/hr)	Vp (km/hr)
30	300	300	3000	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900
80	3000	3550	4400	2600

Parámetros mínimos en curvas verticales por criterio de visibilidad de frenado				
Velocidad de proyecto VP (km/hr)	Curvas convexas Kv			Curvas cóncavas Kc
	$V^* = V_p$ (km/hr)	$V^* = V_p + 5$ (km/hr)	$V^* = V_p + 10$ (km/hr)	V_p (km/hr)
90	4700	5100	6000	3400
100	6850	7400	8200	4200
110	9850	10600	11000	5200
120	14000	15100	16000	6300

Fuente: Manual de diseño geométrico A.B.C.

Parámetros mínimos en curvas verticales convexas para asegurar la visibilidad de adelantamiento.

3.3.3.2. Diseño en planta

Tabla N°44- Elementos de curvas horizontales

PI		Círculo	Entrada	Salida	Velocidad Específica	Radio Mínimo	Deflexión
N°	Curva	Radio (m)	Le (m)	Le (m)	Km/h	m	g, m, s I/D
1	2.Espiral-Circulo-Espiral	50	45	45	40	50	113,10,41 D
2	2.Espiral-Circulo-Espiral	60	40	45	40	50	66,54,1 I
3	1.Circular	114.45			40	50	28,9,29 D
4	1.Circular	25.573			40	50	112,1,27 D
5	1.Circular	23.622			40	50	121,16,33 I
6	1.Circular	213.39			40	50	12,5,59 D
7	2.Espiral-Circulo-Espiral	65	40	40	40	50	57,4,10 I
8	2.Espiral-Circulo-Espiral	75	40	40	40	50	47,42,45 D
9	1.Circular	50			40	50	33,31,40 I
10	1.Circular	68.784			40	50	39,59,47 D
11	2.Espiral-Circulo-Espiral	55	40	40	40	50	69,53,11 I
12	1.Circular	56.227			40	50	40,19,58 I
13	2.Espiral-Circulo-Espiral	50	45	45	40	50	109,31,34 D
14	1.Circular	50			40	50	24,20,44 I
15	2.Espiral-Circulo-Espiral	50	45	45	40	50	60,57,30 D

Imagen N°44- Curva horizontal 31



Fuente: Software TOPO3

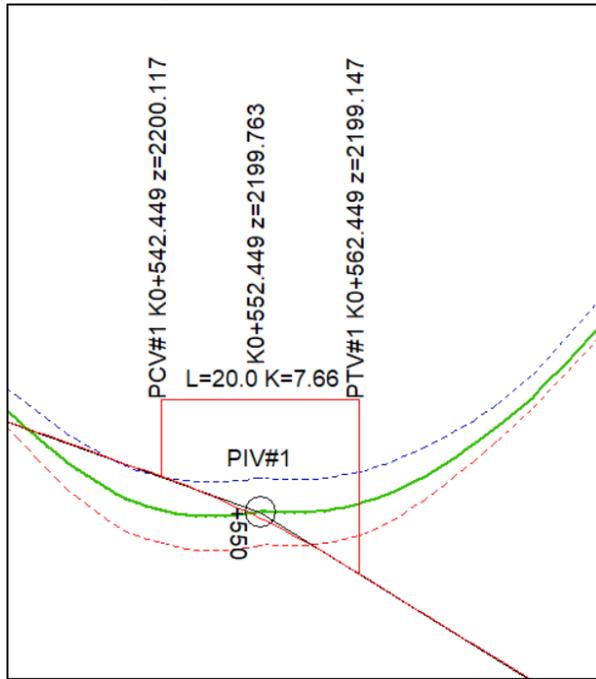
3.3.3.3. Diseño en perfil

Tabla N°45- Elementos curvas verticales

PIV	Longitud (m)	Pendiente (%)		A	Tipo de	K		
		Entrada	Salida			Entrada	Salida	
N°				%	Curva			
0								
1	10	10	-3.54	-6.16	-2.61	Convexa	7.657	7.657
2	20.6	20.6	-6.16	2.057	8.212	Concava	5.017	5.017
3	17.4	17.4	2.057	-6.61	-8.66	Convexa	4.017	4.017
4	23.1	23.1	-6.61	2.598	9.205	Concava	5.019	5.019
5	10	10	2.598	2.177	-0.42	Convexa	47.54	47.54
6	10	10	2.177	1.352	-0.83	Convexa	24.238	24.238
7	10	10	1.352	4.262	2.91	Concava	6.872	6.872
8	10	10	4.262	2.372	-1.89	Convexa	10.583	10.583

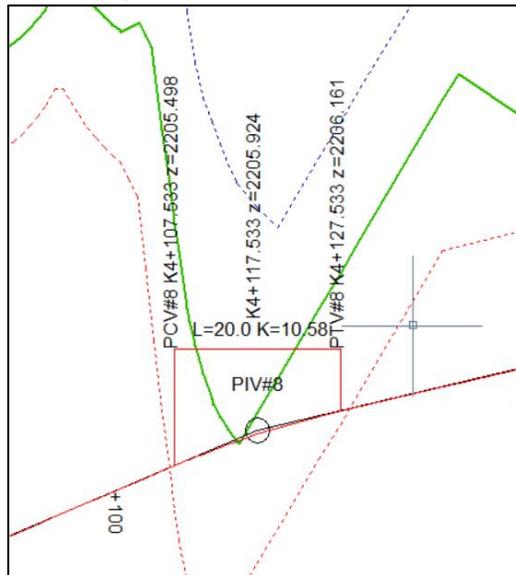
Fuente: Software TOPO3

Imagen N°45- Curva vertical 1



Fuente: Software TOPO3

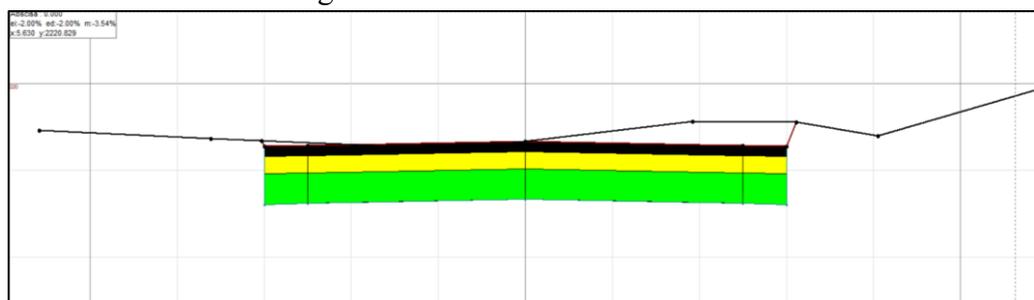
Imagen N°46- Curva vertical 8



Fuente: Software TOPO3

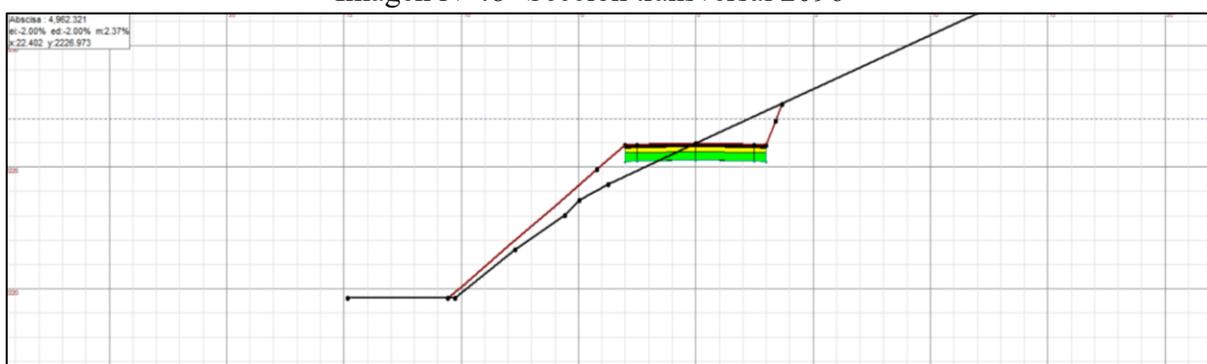
3.3.3.4. Secciones transversales

Imagen N°47- Sección transversal 1



Fuente: Software TOPO3

Imagen N°48- Sección transversal 2096



Fuente: Software TOPO3

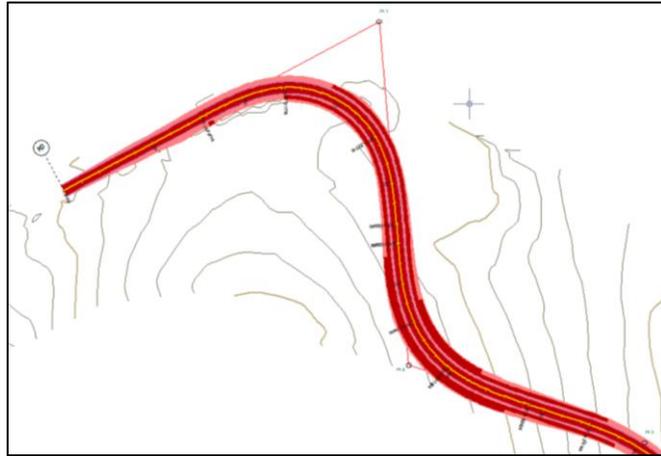
Tabla N°46- Volúmenes de corte y relleno

Tipo	Abscisa m	Longitud m	Area Sección (m2)		Corte		Terraplen	
			Corte	Terraplen	Area Planta (m2)	Volumen (m3)	Area Planta (m2)	Volumen (m3)
	0		4.538					
		10			65.734	65.527		
	10		8.638					
		10			73.113	118.683		
	20		15.103					
		10			79.235	183.132		
	30		21.463					
		10			87.922	260.678		
	40		30.84					
		10			93.468	319.684		
	50		32.294					
		10			100.645	362.758		

Tipo	Abscisa m	Longitud m	Area Sección (m2)		Corte		Terraplen	
Punto			Corte	Terraplen	Area Planta (m2)	Volumen (m3)	Area Planta (m2)	Volumen (m3)
	60		42.397					
		10			109.278	444.922		
	70		46.334					
		6.776			73.204	319.039		
TE	76.776		47.441					
		3.224			36.059	158.496		
	80		50.618					
		5			55.535	252.942		
	85		51.556					
		5			53.015	259.355		
	90		53.411					
		5			53.771	271.059		
	95		55.596					
		5			54.449	279.977		
	100		57.67					
		5			55.268	289.727		
	105		59.669					
		5			55.802	300.103		
	110		61.348					
		5			56.272	305.636		
	115		63.056					
		5			56.754	313.756		
	120		64.7					
		1.776			20.711	113.856		
EC	121.776		66.054					
		3.224			40.03	213.842		
Total Areas y Volumene s:	Total Areas y Volumene s:	Total Areas y Volumene s:				310,694.5 4		38,461.08

Fuente: Software TOPO3

Imagen N°49- vista curva horizontal 1 con área de corte



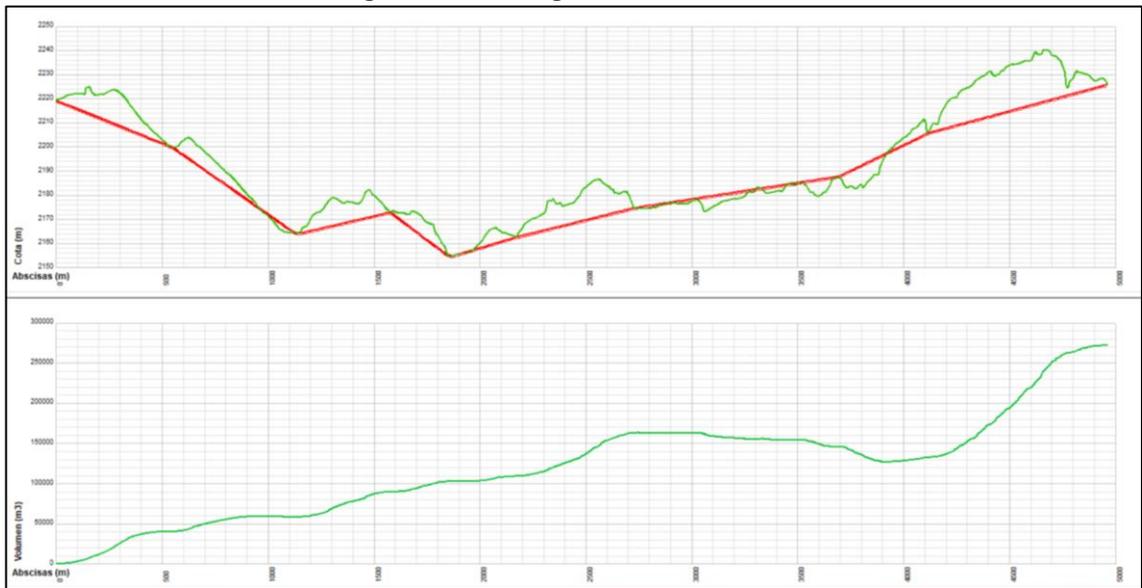
Fuente: Software TOPO3

Imagen N°50- vista curva horizontal 8 con área de terraplen



Fuente: Software TOPO3

Imagen N°51- Diagrama de masas



Fuente: Software TOPO3

3.3.4. Modelado con DG

3.3.4.1. Parámetros de entrada para el diseño geométrico

Categorización de la vía

Nombre del Proyecto:	Proyecto Carlazo
Responsable:	Ing. Carla Condori Llanos
Clasificación Vial:	Nuevo Trazo
Nivel de Proyecto:	Proyecto Preliminar
Tramo de Diseño:	km 0+000 - 5+000
Departamento:	Tarija
Provincia:	Cercado
Distrito:	
Lugar:	Carlazo

Tabla N°47- Clasificación de la vía

Sección 101: Clasificación por Demanda	
IMDA (Índice Medio Diario Anual)	208 Veh/día
Clasificación	Carretera de Tercera Clase
Ancho de Carril Mínimo	3.00 m - 2.50 m (exc.)
Número de Calzadas	1
Superficie de Rodadura	Pavimentada o Afirmada
Separador Central	-
Sección 102: Clasificación por Orografía	
Pendientes Transversales	$\leq 10\%$
Clasificación	Terreno Plano (tipo 1)
Pendientes Longitudinales	$< 3\%$
Movimiento de Tierras	Mínimo

FUENTE: Software DG

Tabla N°48- Velocidad de Diseño

Tabla 204.01: Rango de la Velocidad de Diseño	
Clasificación por Demanda	Carretera de Tercera Clase
Clasificación por Orografía	Terreno Plano (tipo 1)
Rango de Velocidad	40 - 50 - 60 - 70 - 80 - 90 Km/h
Tópico 204.01: Tramo Homogeneo	
Longitud Mínima del Tramo Homogeneo	3.00 Km (Velocidad: 20 - 50)
	4.00 Km (Velocidad: 60 - 120)
Diferencia de Velocidad entre tramos Adyacentes	20 Km/h (Máx.)

FUENTE: Software DG

3.3.4.2. Diseño en planta

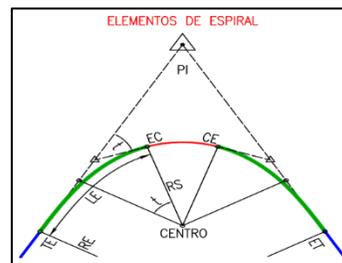
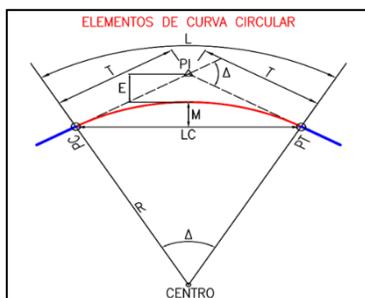


Tabla N°49- Elementos de curvas horizontales

Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmin con Clotoide		50 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 1	
Curva 1					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	50 m	Lmín1	25 m	Lmín2	25 m
P%	8.00%	Lmax1	35 m	Lmax2	35 m
Sa	3.20 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	25 m	L1	25 m	L2	25 m
		A1	35 m ²	A2	35 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmin con Clotoide		50 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 2	
Curva 2					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	50 m	Lmín1	25 m	Lmín2	25 m
P%	8.00%	Lmax1	35 m	Lmax2	35 m
Sa	3.20 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	25 m	L1	25 m	L2	25 m
		A1	35 m ²	A2	35 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín con Clotoide		50 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 3	
Curva 3					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	90 m	Lmín1	15 m	Lmín2	15 m
P%	6.90%	Lmax1	25 m	Lmax2	25 m
Sa	1.90 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	20 m	L1	20 m	L2	20 m
		A1	42 m ²	A2	42 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín con Clotoide		50 m	
P%máx	8.00%				

Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 4		
Curva 4					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	50 m	Lmín1	25 m	Lmín2	25 m
P%	8.00%	Lmax1	35 m	Lmax2	35 m
Sa	3.20 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	30 m	L1	30 m	L2	30 m
		A1	39 m ²	A2	39 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín con Clotoide	50 m		
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 5		
Curva 5					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	50 m	Lmín1	25 m	Lmín2	25 m
P%	8.00%	Lmax1	35 m	Lmax2	35 m
Sa	3.20 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	25 m	L1	25 m	L2	25 m
		A1	35 m ²	A2	35 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide	95 m		
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 6		
Curva 6					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín con Clotoide	50 m		
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 7		
Curva 7					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	50 m	Lmín1	25 m	Lmín2	25 m

P%	8.00%	Lmax1	35 m	Lmax2	35 m
Sa	3.20 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	30 m	L1	30 m	L2	30 m
		A1	39 m ²	A2	39 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 8	
Curva 8					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 9	
Curva 9					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 10	
Curva 10					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²

Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín con Clotoide		50 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 11	
Curva 11					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	60 m	Lmín1	20 m	Lmín2	20 m
P%	7.90%	Lmax1	30 m	Lmax2	30 m
Sa	2.70 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	20 m	L1	20 m	L2	20 m
		A1	35 m ²	A2	35 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín con Clotoide		50 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 12	
Curva 12					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	50 m	Lmín1	25 m	Lmín2	25 m
P%	8.00%	Lmax1	35 m	Lmax2	35 m
Sa	3.20 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	25 m	L1	25 m	L2	25 m
		A1	35 m ²	A2	35 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 13	
Curva 13					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín con Clotoide		50 m	
P%máx	8.00%				

Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 14		
Curva 14					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	50 m	Lmín1	25 m	Lmín2	25 m
P%	8.00%	Lmax1	35 m	Lmax2	35 m
Sa	3.20 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	25 m	L1	25 m	L2	25 m
		A1	35 m ²	A2	35 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín con Clotoide	50 m		
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 15		
Curva 15					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	50 m	Lmín1	25 m	Lmín2	25 m
P%	8.00%	Lmax1	35 m	Lmax2	35 m
Sa	3.20 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	25 m	L1	25 m	L2	25 m
		A1	35 m ²	A2	35 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide	95 m		
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 16		
Curva 16					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide	95 m		
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 17		
Curva 17					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m

P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 18	
Curva 18					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curvva 19	
Curva 19					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 20	
Curva 20					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²

Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín con Clotoide		50 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 21	
Curva 21					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	50 m	Lmín1	25 m	Lmín2	25 m
P%	8.00%	Lmax1	35 m	Lmax2	35 m
Sa	3.20 m	J1	0.5 m/s ³	J2	0.5 m/s ³
LtP	25 m	L1	25 m	L2	25 m
		A1	35 m ²	A2	35 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 22	
Curva 22					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 23	
Curva 23					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				

Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 24		
Curva 24					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	100 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.60%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.70 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide	95 m		
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 25		
Curva 25					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide	95 m		
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 26		
Curva 26					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide	95 m		
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo	curva 27		
Curva 27					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m

P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 29	
Curva 28					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Circular con Curva de Enlace					
Ve	40 Km/h	Rmín sin Clotoide		95 m	
P%máx	8.00%				
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 30	
Curva 29					
Curva 1		Clotoide 1		Clotoide 2	
R	95 m	Lmín1	0 m	Lmín2	0 m
P%	6.70%	Lmax1	0 m	Lmax2	0 m
Sa	1.80 m	J1	0.0 m/s ³	J2	0.0 m/s ³
LtP	17 m	L1	0 m	L2	0 m
		A1	0 m ²	A2	0 m ²
Tipo: Curva Lupa o Bombillo					
Ve	40 Km/h	Rmín de Viraje		17 m	
P%máx	8.00%	Maniobra Vehicular		C2+C2	
Jmáx	0.7 m/s ³	Nombre de Grupo		curva 31	
Curva 30					
Curva 1		Clotoide 1		-	
R1	50 m	Lmín1	0 m		
P1%	0.00%	Lmax1	0 m		
Sa1	0.00 m	J1	0.0 m/s ³		
LtP1	0 m	L1	0 m		
		A1	0 m ²		

Curva 31					
Curva 2		Clotoide 2		-	
R2	50 m	Lmín2	0 m		
P2%	0.00%	Lmax2	0 m		
Sa2	0.00 m	J2	0.0 m/s ³		
LtP2	0 m	L2	0 m		
		A2	0 m ²		

Fuente: Software DG

3.3.4.3. Diseño en perfil

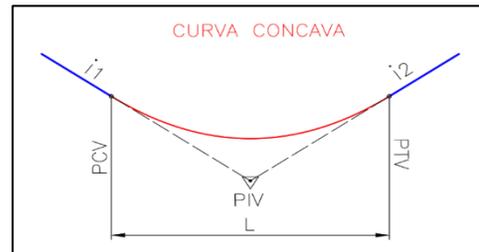
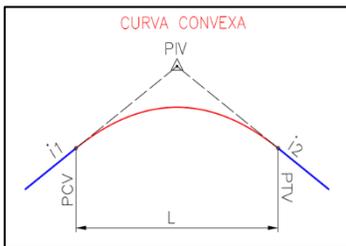


Tabla N°50- Elementos de curva vertical

N° PIV	i1	i2	DV	A	L	K	E	Tipo
PIV - 1	1.72	-7.53	Da	9.25	285	30.81	3.295	Curva Convexa
PIV - 2	-7.53	4.31	Dp	11.84	80	6.76	1.184	Curva Cóncava
PIV - 3	4.31	-3.05	Da	7.36	230	31.25	2.116	Curva Convexa
PIV - 4	-3.05	3.93	Dp	6.98	80	11.46	0.698	Curva Cóncava
PIV - 5	3.93	-0.26	Da	4.19	175	41.77	0.917	Curva Convexa
PIV - 6	-0.26	7.13	Dp	7.39	50	6.77	0.462	Curva Cóncava
PIV - 7	7.13	1.69	Dp	5.44	175	32.17	1.190	Curva Convexa

PIV: Punto de Intersección Vertical - Vel: Velocidad (m/s) - i: Pendiente (%) - DV: Criterio de Visibilidad usado Dp: Distancia de Visibilidad de Parada - Da: Distancia de Visibilidad de Adelantamiento - E: Distancia a Externa (m) PCV: Punto de Inicio de la Curva Vertical - PTV: Punto de Tangencia de la Curva Vertical A: Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes (%) - L: Longitud de la Curva Vertical (m) - K: Parámetro de curvatura

3.3.4.4. Secciones transversales

Tabla N°51- Datos de las secciones transversales

Tópico 304.03: Calzada o Superficie de Rodadura	
Ancho de Calzada	7
Superficie de Rodadura	Pavimento Asfáltico
Precipitación	> 500 mm/año
Pendiente de Bombeo	-2.50%

Tópico 304.04: Bermas							
Ancho de Bermas				1.20 m			
Superficie de las Bermas				Pavimento			
Pendiente de las Bermas				-4.00%			
Tabla 304.10: Talud en Corte (H : V)							
Altura				5 m - 10 m			
Material				Arcilla			
Talud en Corte (H : V)				01:01			
Alabeo en Corte (Transición de Talud)				10 m			
Tabla 304.11: Talud en Relleno (V : H)							
Altura				> 10 m			
Material				Arcilla			
Talud en Relleno (V : H)				1.5:1			
Alabeo en Relleno (Transición de Talud)				10 m			

Fuente: Software DG

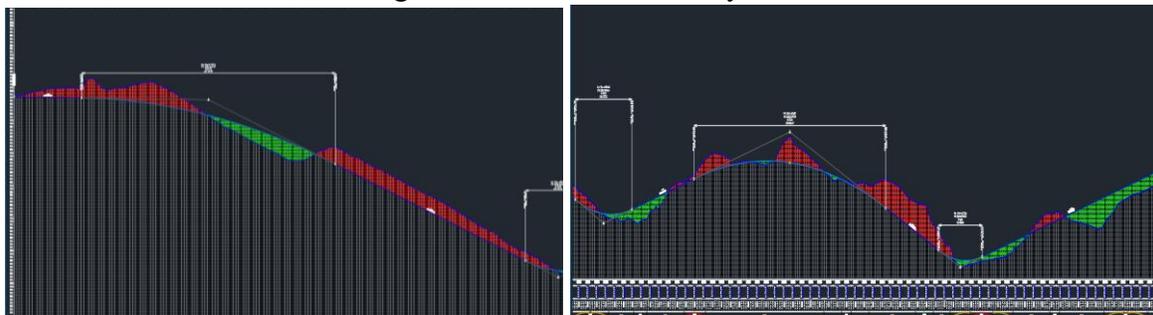
3.3.5. Comparación de los diagramas de masas

Tomando como software patrón a Civil 3D tenemos:

Comparación entre CIVIL 3D y SIMCAR

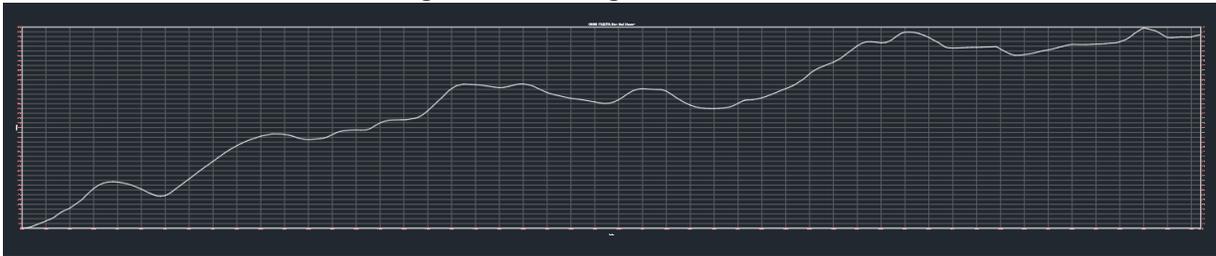
Diagrama de masas resultado del diseño geométrico con Civil 3D:

Imagen N°52- Áreas de corte y relleno



Fuente: software Civil 3D

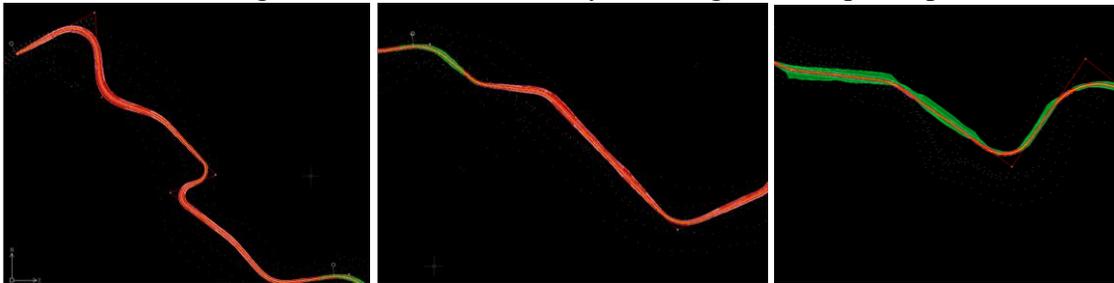
Imagen N°53- Diagrama de masas



Fuente: software Civil 3D

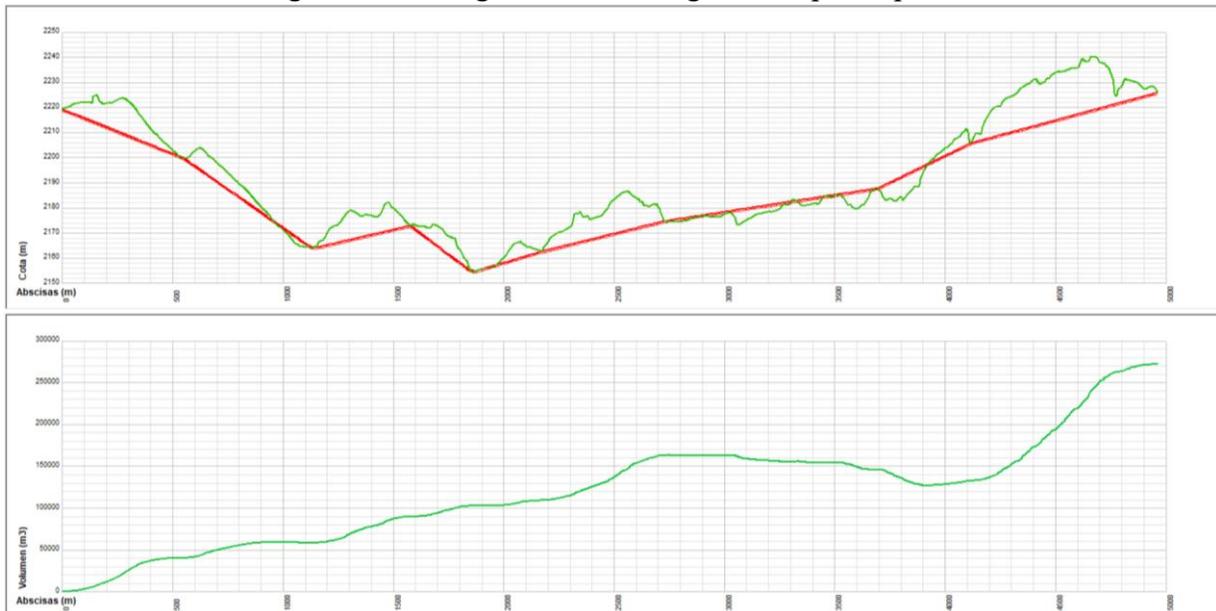
Diagrama de masas resultado del diseño geométrico con SIMCAR:

Imagen N°54- Áreas de corte y relleno generadas por Topo3



Fuente: Software Topo3

Imagen N°55- Diagrama de masas generado por Topo3

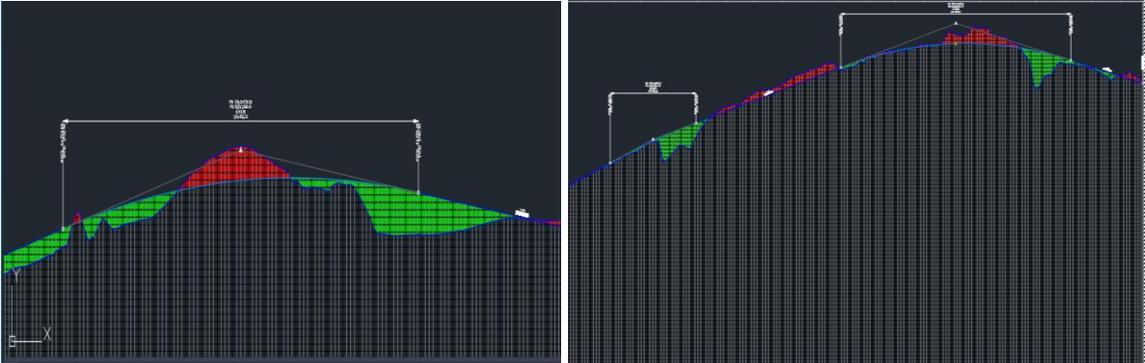


Fuente: Software Topo3

Comparación entre CIVIL 3D y DG

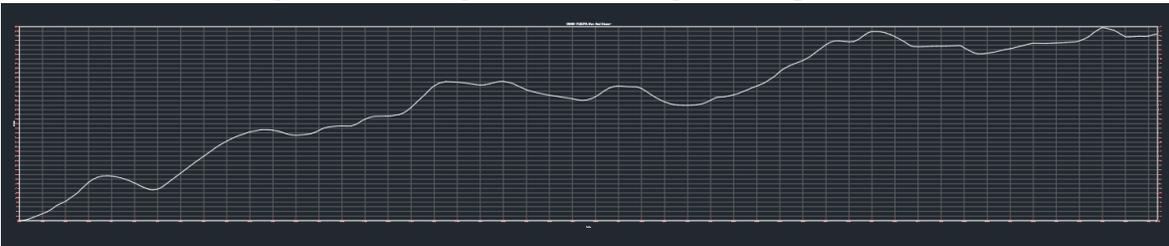
Diagrama de masas resultado del diseño geométrico con Civil 3D:

Imagen N°56- Áreas de corte y relleno generadas por Civil 3D



Fuente: software Civil 3D

Imagen N°57- Diagrama de masas generado por Civil 3D



Fuente: software Civil 3D

Diagrama de masas resultado del diseño geométrico con DG:

Dado que el software DG carece de herramientas para el modelado gráfico y el cálculo de volúmenes de corte y relleno, no es posible obtener ni representar un diagrama de masas directamente en este programa.

Resumen de la comparación

Tabla N°52- Resumen de la comparación de los diagramas de masas

Aspecto	Civil 3D	SIMCAR	DG
Generación de diagramas de masas	Automática y detallada	Automática y básica	No genera diagramas, se limita al diseño de curvas horizontales y verticales
Cálculo de volúmenes de corte y relleno	Automático con visualización gráfica y exportación	Cálculo automático, con visualización básica y resultados exportables	Necesita el apoyo del civil 3d para hacer este cálculo
Generación de informes detallados	Tablas completas de áreas y volúmenes de corte y relleno	Informes completos de áreas y volúmenes de corte y relleno	Necesita el apoyo del civil 3d para este proceso

Fuente: Elaboración propia

3.4. Análisis de la confiabilidad de seguridad vial

Para profundizar en el tema de la seguridad vial en cada software (Civil 3D, SIMCAR y DG), es importante analizar cómo cada uno aborda los elementos relacionados con este aspecto en el diseño geométrico de carreteras, elementos como: Velocidad de diseño, Radio mínimo de curvatura, Distancias de visibilidad, Pendientes máximas y curvas verticales.

Tabla N°53- Elementos del diseño geométrico relacionados con la seguridad vial

Aspecto	Civil 3D	SIMCAR	DG
Normativa	AASHTO/ABC	ABC (normativa boliviana)	Norma peruana
Velocidad de diseño	Personalizable	Personalizable según la norma boliviana.	Definida por la norma peruana
Radio mínimo de curvatura	Definido por la norma boliviana de acuerdo a la velocidad de proyecto	Definido por la norma boliviana	Definido por la norma peruana
Distancia mínima de visibilidad	Cálculo automático	Cálculo automático	Cálculo automático
Modelado 3D	Visible en el mismo software	Capacidades limitadas de visualización 3D	No disponible

Aspecto	Civil 3D	SIMCAR	DG
Pendientes	Personalizable y ajustable a la norma boliviana.	Calculado automáticamente de acuerdo a la norma boliviana	Definidas por el software de acuerdo a la norma peruana
Resultados visuales	Modelos 3D, perfiles longitudinales y transversales	Perfiles longitudinales y transversales	Tablas de diseño exportables

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El análisis comparativo entre Civil 3D, SIMCAR y DG permitió identificar que cada software tiene características únicas que se adaptan a diferentes necesidades de diseño geométrico de carreteras.

Comparando los tres softwares en términos de: Parámetros de entrada, Procedimiento y Resultados:

- Los tres softwares requieren datos de entrada similares, como topografía, categorización de la vía, velocidad de proyecto, radio mínimo de curvatura, pendiente máxima, longitudes en tangentes y peralte máximo.
- Civil 3D es el software que opera de manera más independiente en comparación de los otros dos, ya que realiza todo el proceso de cálculo, dibujo y elaboración de planos del diseño geométrico de forma autónoma, basándose principalmente en la normativa AASHTO, aunque también permite integrar la normativa boliviana.
- SIMCAR, aunque también opera de manera independiente en lo que respecta al dibujo y cálculo, requiere de Civil 3D para la creación de los planos. Su mayor ventaja radica en su facilidad de uso y en la integración automática de la normativa boliviana.
- DG depende completamente de Civil 3D para el dibujo y la generación de los planos, utilizando la normativa peruana para el diseño geométrico a diferencia de los dos anteriores. Esta dependencia puede implicar mayor tiempo de procesamiento en comparación con otros softwares.
- Los tres programas tienen la capacidad de generar tablas con los resultados de todos los elementos del diseño geométrico tanto en planta como en perfil. Sin embargo, es importante señalar que solo Civil 3D y SIMCAR pueden generar volúmenes de corte y relleno, mientras que DG carece de esta funcionalidad.
- El objetivo de comparar los tres softwares en términos de Parámetros de entrada, Procedimiento y Resultados se logró, evidenciando que Civil 3D dispone de un conjunto de herramientas que permite generar un diseño más integral y acorde a lo establecido por la normativa boliviana.

- En resumen, Civil 3D es la alternativa más convencional para llevar a cabo el diseño geométrico del tramo vial Carlazo 0+000-5+000, ya que opera de manera autónoma, abarcando desde el dibujo y cálculo hasta la elaboración de planos, sin necesidad de recurrir a otros programas.

4.2. Recomendaciones

Selección de software

- Se recomienda utilizar Civil 3D para cualquier tipo de proyecto de diseño geométrico de carreteras, debido a su gran versatilidad y capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de trabajo.
- Se recomienda emplear SIMCAR en proyectos de diseño geométrico donde el software disponga de la normativa correspondiente al país en el que se desarrolla el proyecto, ya que no permite agregar normativas adicionales a las que ya incluye (AASHTO 2001, 2004, 2011, 2018, Bolivia, Colombia, Ecuador 2013, México 2016). Además, su compatibilidad con Civil 3D lo hace una herramienta útil en proyectos que requieran detalles que SIMCAR por sí solo no puede ofrecer.
- Se sugiere utilizar DG en proyectos que valoren la simplicidad y que requieran la aplicación de la normativa peruana. No obstante, su principal limitación radica en su dependencia de las herramientas de dibujo, elaboración de planos y ciertas funciones de cálculo de Civil 3D.

En cuanto a las recomendaciones para la capacitación:

- En el uso de Civil 3D es importante conocer la gran variedad de herramientas para el diseño geométrico que posee y sus diversas funciones, así como familiarizarse con su interfaz y las normativas que integra, lo que permitirá aprovechar al máximo su potencial en proyectos de infraestructura vial.
- En cuanto al uso de SIMCAR, es preciso seguir el orden de flujo de trabajo que tiene el programa, además de utilizar adecuadamente sus herramientas para el diseño geométrico de carreteras, asegurándose de seleccionar la normativa correspondiente y verificando los resultados generados para asegurar la correcta adaptación del diseño a las condiciones del proyecto.

- Por último, DG requiere conocimiento acerca de los parámetros que la norma peruana considera para realizar un diseño geométrico, además de que se necesita tener experiencia con las herramientas de Civil 3D para poder visualizar todo lo diseñado dentro del software, ya que DG no cuenta con funciones autónomas para la representación gráfica del diseño.