



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACION DE CURVAS HORIZONTALES EN CARRETERAS DE
MONTAÑA, VIA E50 TRAMO LIMON PLAYA - TORATA**

**GALARZA MOROCHO GABRIEL OSWALDO
INGENIERO CIVIL**

**GAONA ROMAN CRISTHIAN MAURICIO
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACION DE CURVAS HORIZONTALES EN CARRETERAS
DE MONTAÑA, VIA E50 TRAMO LIMON PLAYA - TORATA**

**GALARZA MOROCHO GABRIEL OSWALDO
INGENIERO CIVIL**

**GAONA ROMAN CRISTHIAN MAURICIO
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**EVALUACION DE CURVAS HORIZONTALES EN
CARRETERAS DE MONTAÑA, VIA E50 TRAMO LIMON
PLAYA - TORATA**

**GALARZA MOROCHO GABRIEL OSWALDO
INGENIERO CIVIL**

**GAONA ROMAN CRISTHIAN MAURICIO
INGENIERO CIVIL**

ROMERO VALDIVIEZO ELSI AMERICA

**MACHALA
2023**

EVALUACION DE CURVAS HORIZONTALES EN CARRETERAS DE MONTAÑA, VIA E50 TRAMO LIMON PLAYA- TORATA

por GABRIEL GALARZA

Fecha de entrega: 28-feb-2024 01:45p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2307151229

Nombre del archivo: S_EN_CARRETERAS_DE_MONTA_A,_VIA_E50_TRAMO_LIMON_PLAYA-TORATA.pdf
(1.72M)

Total de palabras: 14767

Total de caracteres: 82790

EVALUACION DE CURVAS HORIZONTALES EN CARRETERAS DE MONTAÑA, VIA E50 TRAMO LIMON PLAYA-TORATA

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.unilibre.edu.co Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	www.virtualpro.co Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9

Yasmany D. García-Ramírez, Diego Aguilar-Cárdenas. "Passengers' comfort in horizontal curves on mountain roads: a field study using lateral accelerations", Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2020

Publicación

<1 %

10

repository.udistrital.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

11

repositorio.unesum.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, GALARZA MOROCHO GABRIEL OSWALDO y GAONA ROMAN CRISTHIAN MAURICIO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado EVALUACION DE CURVAS HORIZONTALES EN CARRETERAS DE MONTAÑA, VIA E50 TRAMO LIMON PLAYA - TORATA, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



GALARZA MOROCHO GABRIEL OSWALDO

0106159189



GAONA ROMAN CRISTHIAN MAURICIO

0750516395

Dedicatoria

Con sincero agradecimiento y un profundo sentido de gratitud, dirigimos esta tesis a Dios, así como a nuestros amados padres y queridos hermanos. Reconocemos con profunda admiración el apoyo inquebrantable, el amoroso respaldo y la inspiración constante que nos han brindado a lo largo de este extenso y desafiante viaje académico. Sus palabras de aliento y su presencia alentadora han sido la fuerza motriz que nos ha impulsado a alcanzar nuestras metas educativas. En este sentido, valoramos profundamente la comunidad académica y profesional que nos rodea, reconociendo el impacto positivo que cada individuo ha tenido en nuestra formación y desarrollo personal. Con humildad y reconocimiento, dedicamos este trabajo a todos aquellos que han sido parte integral de nuestro crecimiento intelectual y nos han alentado a alcanzar nuestras aspiraciones académicas.

Agradecimiento

En primer lugar, queremos expresar nuestra más profunda gratitud hacia Dios, quien ha sido nuestra guía inquebrantable durante los momentos más desafiantes y nos ha otorgado la fuerza y la perseverancia necesarias para completar con éxito nuestra trayectoria universitaria.

Asimismo, deseamos extender nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, en especial a nuestros padres y hermanos, cuyo apoyo incondicional y presencia constante han sido pilares fundamentales en cada etapa de este exigente recorrido académico.

A la Universidad Técnica de Machala, a la Facultad de Ingeniería Civil y, de manera particular, a la carrera de Ingeniería Civil, les reconocemos profundamente por proporcionarnos un entorno educativo enriquecedor. Agradecemos especialmente a los docentes por su generosidad al compartir sus conocimientos, los cuales han contribuido significativamente a nuestra formación profesional.

Por último, pero no menos importante, deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Ing. Elsi America Romero Valdiviezo, quien ha desempeñado un papel crucial como tutor de esta tesis. Su apoyo constante y orientación a lo largo de todo el proceso de este trabajo de titulación han sido de un valor incalculable para nuestro crecimiento tanto académico como profesional.

Resumen

Un diseño deficiente de carreteras de montaña, caracterizado por curvas mal diseñadas incrementa significativamente el riesgo de accidentes y lesiones. En curvas horizontales las tasas de accidentes son de tres a cuatro veces superiores en comparación con tramos rectos. Por tal motivo, el propósito principal de este trabajo se centra en proponer una alternativa que cumpla con las normas vigentes en Ecuador y resuelva los problemas detectados mediante la evaluación de la curva de estudio. La evaluación se fundamenta en el análisis de la capacidad vial, medido a través del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), y el diseño geométrico de la vía, utilizando indicadores como velocidad, radio de curva, ancho de carril, ancho de berma, pendiente y peralte. El proceso inicia con un aforo vehicular realizado durante tres días para determinar el flujo vehicular de la vía. Posteriormente, se realiza un segundo aforo de velocidades al inicio de la curva para obtener la gráfica de ojiva e identificar la velocidad de diseño. Seguidamente, se realiza un levantamiento topográfico de la curva mediante el uso de Dron y tecnología RTK. Con los datos obtenidos, se utiliza el software AutoCAD Civil 3D para obtener información precisa sobre el diseño actual de la curva. Estos resultados se analizan a través de los indicadores empleados en la evaluación, y se obtiene una ponderación final que indica que el diseño geométrico de la curva de estudio es deficiente. Finalmente, se presenta un nuevo modelo como alternativa de diseño para la curva de estudio, abordando los problemas identificados durante la evaluación. En conclusión, la integración y análisis de todos los parámetros evaluados permitió proponer una alternativa de curvas en carretera de montaña que garantice la seguridad y eficiencia del tránsito vehicular en terrenos montañosos.

Palabras claves: diseño geométrico de curvas, carretera de montaña, capacidad vial, seguridad vial.

Abstract

Poor mountain road design, characterized by poorly designed curves, significantly increases the risk of accidents and injuries. In horizontal curves, accident rates are three to four times higher compared to straight stretches. For this reason, the main purpose of this work focuses on proposing an alternative that complies with current standards in Ecuador and solves the problems detected through the evaluation of the study curve. The evaluation is based on the analysis of the road capacity, measured through the Average Daily Annual Traffic (ADAT), and the geometric design of the road, using indicators such as speed, curve radius, lane width, berm width, slope and superelevation. The process begins with a vehicle gauging carried out during three days to determine the vehicular flow of the road. Subsequently, a second speed survey is performed at the beginning of the curve to obtain the warhead graph and identify the design speed. Next, a topographic survey of the curve is carried out using a drone and RTK technology. With the data obtained, AutoCAD Civil 3D software is used to obtain accurate information about the actual design of the curve. These results are analyzed through the indicators used in the evaluation, and a final weighting is obtained indicating that the geometric design of the study curve is deficient. Finally, a new model is presented as a design alternative for the study curve, addressing the problems identified during the evaluation. In conclusion, the integration and analysis of all the parameters evaluated made it possible to propose an alternative for mountain road curves that guarantees the safety and efficiency of vehicular traffic in mountainous terrain.

Keywords: geometric design of curves, mountain road, road capacity, road safety.

Índice

Dedicatoria.....	8
Agradecimiento.....	9
Resumen.....	10
Introducción	15
Importancia del tema.....	15
Actualidad de la problemática.....	16
Estructura del trabajo	17
1. Planteamiento del problema	18
1.1. Línea base de proyecto.....	18
1.2. Descripción de la situación de la problemática (Causas y efectos).....	18
1.3. Formulación del problema: preguntas científicas	19
1.4. Delimitación del objeto de estudio.....	20
1.5. Justificación.....	21
1.6. Objetivos	22
1.6.1. Objetivo general.....	22
1.6.2. Objetivos específicos	22
2. Estado del arte	23
2.1. Antecedentes contextuales	23
2.2. Antecedentes Conceptuales.....	25
2.3. Antecedentes referenciales.....	30
3. Metodología.....	33
3.1. Modalidad básica de la investigación.....	33
3.2. Tipo de investigación	33
3.3. Objeto de Estudio.....	33
3.4. Descripción de la población y muestra	33
3.5. Materiales y métodos	34
3.5.1. Estudio de tráfico vehicular	34
3.5.2. Estudio de velocidad.....	37

3.5.3.	Levantamiento topográfico	38
3.5.4.	Diseño geométrico de la curva mediante el software AutoCAD Civil 3D	39
3.5.5.	Proceso de jerarquía analítica	41
4.	Análisis e interpretación de resultados	44
4.1.	Análisis de resultados.....	44
4.1.1.	Capacidad vial.....	44
4.1.2.	Diseño Geométrico	44
4.2.	Evaluación del diseño geométrico de curvas en carreteras de montaña	51
4.3.	Propuesta de diseño geométrico de la curva seleccionada en la vía E50	54
	Conclusiones.....	57
	Referencias Bibliográficas	58
	Anexos	62

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Zona de estudio, Vía E50.....	21
Ilustración 2 Formato de polilínea en 3D	40
Ilustración 3 Diseño de la curva en Civil 3D	40
Ilustración 4 Gráfica de ojiva en la dirección Santa Rosa - Torata	46
Ilustración 5 Gráfica de ojiva en la dirección Torata - Santa Rosa	47
Ilustración 6 Radio de curva medido en AutoCAD Civil 3D	48
Ilustración 7 Ancho de carril y berma medido en AutoCAD Civil 3D	50
Ilustración 8 Promedio de peraltes en la curva	50
Ilustración 9 Pendiente longitudinal de la vía.....	51
Ilustración 10 Diseño geométrico de la curva actual - Radio 75 m.....	53
Ilustración 11 Simulación de la curva actual	53
Ilustración 12 Propuesta de diseño geométrico de la curva - Radio 110 m.....	55
Ilustración 13 Simulación del diseño propuesto	56

Índice de Tablas

Tabla 1 Factor de ajuste mensual.....	35
Tabla 2 Tasa de crecimiento del tráfico.....	37
Tabla 3 Clasificación funcional de las vías.....	37
Tabla 4 Descripción de los indicadores de evaluación	42
Tabla 5 Evaluación del diseño geométrico de la curva.....	43
Tabla 6 Distribuciones de frecuencias de velocidades de punto en la dirección Santa Rosa – Torata.....	45
Tabla 7 Distribuciones de frecuencias de velocidades de punto en la dirección Torata - Santa Rosa.....	46
Tabla 8 Velocidades en la dirección Santa Rosa – Torata.....	47
Tabla 9 Velocidades en la dirección Torata – Santa Rosa.....	47
Tabla 10 Promedio del ancho de carril	49
Tabla 11 Promedio del ancho de berma.....	49
Tabla 12 Resultados de la evaluación.....	52
Tabla 13 Resultado del Estado del diseño geométrico	52
Tabla 14 Comparación de las características de la curva de estudio	54
Tabla 15 Resultados de la evaluación	54
Tabla 16 Resultado del Estado del diseño geométrico	55

Introducción

Importancia del tema

El incremento de la población en los últimos años ha generado un crecimiento en las demandas de movilidad y con esto los problemas de seguridad vial requieren un modelo más seguro y estratégico que pueda favorecer el desarrollo, social, económico y ambiental (González Silva et al., 2023). Las carreteras en lugares montañosos deben tener un buen diseño geométrico, esencial para garantizar la seguridad de los conductores y pasajeros que utilizan estas vías.

Las carreteras de montaña a menudo tienen que superar grandes diferencias de altura, por lo que las curvas cerradas son comunes y útiles. Sin embargo, no existen estándares internacionales específicos para este tipo de carreteras (Ciampa & Olita, 2022). El diseño geométrico de trazado de carreteras de montaña es un proceso coherente en la planificación y construcción de infraestructuras viales que atraviesan terrenos montañosos (Chaudhari et al., 2022). Estas carreteras presentan grandes desafíos debido a la topografía irregular y la variabilidad del terreno, lo que requiere un enfoque específico y cuidadoso para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de la vía.

En este tipo de carreteras es esencial que los ingenieros planifiquen tramos con curvas tanto horizontales como verticales (X. Wang & Wang, 2018). Las curvas cerradas son un componente importante de las carreteras de montaña de dos carriles. Sin embargo, los patrones de conducción en curvas cerradas siguen siendo ambiguos (Yu et al., 2021). Estas curvas, por lo general, presentan una inclinación acentuada y son estrechas, lo que implica que los conductores se encuentran con desafíos específicos al transitar por ellas. En curvas horizontales las tasas de accidentes son de tres a cuatro veces superiores en comparación con tramos rectos de características similares (B. Wang et al., 2018). La relevancia de entender y tratar de manera apropiada las técnicas de manejo en curvas cerradas se basa en diversos elementos esenciales, entre ellos la seguridad en las carreteras, la fluidez del tráfico y la comodidad del conductor.

Un diseño deficiente de carreteras de montaña, caracterizado por curvas cerradas y pendientes pronunciadas, incrementa significativamente el riesgo de accidentes y lesiones. Además, el incumplimiento de normativas no solo compromete el diseño geométrico, sino que también puede desencadenar problemas legales y de responsabilidad tanto para las autoridades gubernamentales como para los ingenieros responsables del proyecto. En este contexto, es crucial priorizar la seguridad vial y asegurar el estricto cumplimiento normativo para prevenir

accidentes y mitigar posibles conflictos legales durante la fase de construcción de estas carreteras.

Las carreteras que unen ciudades y provincias facilitan el movimiento de personas y bienes, lo que puede llevar al desarrollo económico y social en un área más amplia, por lo que un buen diseño geométrico puede mejorar la seguridad vial al reducir el riesgo de accidentes, también ayudar con el flujo de tráfico y disminuir los costos de transporte, esto se puede lograr con la implementación de la normativa ya establecida en el país, pero la falta de control en la construcción de estas carreteras no permite que se pueda gozar de vías de calidad.

Actualidad de la problemática

El estado de las carreteras de montaña en el Ecuador ha sido siempre problemático, con frecuentes interrupciones y derrumbes, causados por las condiciones climáticas muy variadas que tiene nuestro país. Los Gobiernos han enfrentado estas situaciones de forma urgente, siendo así que sean costosas para el país.

El diseño geométrico de estas carreteras representa un desafío significativo debido a la topografía escarpada de la región. Este trabajo se propone analizar y discutir sobre el modelo actual de diseño y trazado geométrico de estas carreteras, identificando las limitaciones y proponiendo posibles mejoras.

El riesgo de accidentes de tránsito ocurre más frecuentemente en curvas de radio pequeño ya que estas no permiten una maniobrabilidad al conductor para poder reaccionar de una manera eficiente. Esta problemática se agrava en ausencia de señales y marcas de reducción de velocidad en ciertas secciones de curvas circulares de radio pequeño, así como la falta de barreras de seguridad en algunas pendientes ascendentes y descendentes. Además, la instalación de catadióptricos se vuelve crucial en condiciones de visibilidad deficiente (You, 2014).

Aproximadamente cada año, más de un millón de vidas se pierden a nivel global debido a los accidentes de tráfico, y se estima que entre 20 y 50 millones de personas padecen heridas que no resultan fatales a nivel de todo el mundo (Moomen et al., 2019). En el Ecuador la tasa de mortalidad es de 20 decesos por cada 100.000 habitantes y esto nos ubica como el quinto país con un margen de mortalidad más alta en incidentes viales de América del Sur (Rodríguez Gutierrez et al., 2023).

Uno de los problemas más destacados es la falta de inversión en la mejora de las carreteras de montaña, ya que esto no permite un flujo de tráfico eficiente. Las vías actuales presentan curvas cerradas y pendientes pronunciadas que aumentan el riesgo de accidentes de tráfico y esto se traduce en tiempos de viaje más largos, ya que los vehículos no pueden alcanzar velocidades normales debido a los numerosos baches y grietas en la carretera. Durante la temporada de lluvias, se intensifica el riesgo de deslizamientos, ocasionando daños a los vehículos. Este escenario también dificulta el transporte de productos agrícolas y el turismo desde diferentes ciudades del país hacia las zonas elevadas del Ecuador. Estos desafíos impactan negativamente en el progreso productivo y económico del país, contribuyendo al aumento de la pobreza y restringiendo la disponibilidad de elementos esenciales, como productos y servicios vitales garantizados por la Constitución.

Estructura del trabajo

La estructura del trabajo sobre el diseño de curvas en carreteras de montaña en el Ecuador se ha desarrollado de manera sistemática y se dividió el estudio en 4 capítulos:

El capítulo I, contiene el planteamiento del problema, línea base del proyecto, la descripción de la situación actual de la zona de estudio, la justificación, la formulación de preguntas científicas y los objetivos de la investigación.

El capítulo II, denominado estado del arte contiene información de los antecedentes contextuales, referenciales y conceptuales, donde se detalla toda la información bibliográfica del tema de estudio.

En el capítulo III se presenta la metodología del trabajo, incluyendo la modalidad y el tipo de investigación, la descripción de la población y muestra, así como los métodos usados para la investigación.

En el capítulo IV se describen los datos recopilados a través de la investigación y el trabajo de campo. Después se somete a un análisis e interpretación para proponer una alternativa para el diseño de curvas en carreteras de montañas.

1. Planteamiento del problema

1.1. Línea base de proyecto

Según el trabajo realizado por Aníbal Altamira sobre el “Diseño Geométrico de Caminos de montaña: Particularidades y desafíos”, describe que un camino es una estructura lineal inserta en un espacio tridimensional. Dado que la percepción personal de esta estructura espacial, de parte de un proyectista, no es fácil y las herramientas por ahora disponibles no lo permiten, en el diseño de un camino se sigue una metodología que facilita su interpretación y dimensionamiento (Altamira, 2020). En los caminos de montañas, cuyo trazado está sujeto preponderantemente a lo que la topografía manda, pueden aparecer curvas sucesivas horizontales y/o como curvas sucesivas verticales que tienden a ir cortando o recortando las visuales, producto de sus intersecciones con las laderas o la plataforma del camino, modificando en cada punto del camino la distancia de visibilidad disponible, lo cual induce a apariciones y desapariciones del trazado.

En este modelo, exploraremos los principales aspectos que intervienen en el proceso de diseño geométrico de trazado de carreteras de montaña, incluyendo la selección de alineaciones, la determinación de pendientes, curvas, y la integración de medidas de seguridad vial. Además, se resaltarán la importancia de la colaboración entre las ingenierías para lograr un diseño integral y equilibrado.

El diseño geométrico de trazado de carreteras de montaña es una tarea compleja que requiere de conocimientos técnicos especializados y una planificación cuidadosa para superar los retos inherentes a este tipo de proyectos. El objetivo del trabajo es proporcionar una visión de los principios y mejores prácticas involucrados en el proceso, destacando la importancia de la seguridad y el respeto al medio ambiente al crear carreteras que promuevan el desarrollo y conectividad de las regiones montañosas de manera responsable y eficiente.

1.2. Descripción de la situación de la problemática (Causas y efectos)

Las carreteras de montaña del Ecuador están diseñadas para poder conectar diferentes provincias, dando así que se pueda brindar el acceso al turismo, comercio y el transporte de productos agrícolas, no obstante, el diseño geométrico existente no se apega a la eficiencia óptima en las operaciones de tráfico, lo que impide alcanzar la máxima seguridad vial a un costo justificado.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) del Ecuador desarrolló la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12, que establece las políticas, criterios y metodologías que se deben

cumplir en cada proyecto vial, donde el objetivo de la norma es asegurar la calidad y durabilidad de las carreteras, siendo riguroso con los ensayos, pero, aunque muchas de las veces no se siguen estas normativas y los diseños se vuelven ineficientes.

Un diseño geométrico inadecuado incluye curvas y pendientes peligrosas, cruces mal planificados, señales inexistentes y carriles de anchura inapropiada que no ofrecen espacio suficiente para que los vehículos puedan reaccionar con maniobras de emergencia, lo que reduce la capacidad de la carretera al limitar el número de vehículos que pueden circular simultáneamente. En ciertos casos, cuando la sección transversal estándar de una carretera no se adapta adecuadamente a su finalidad, puede suponer una amenaza para la seguridad de peatones y conductores (Fric et al., 2022).

Los accidentes en curvas pequeñas suelen ser causados por deficiencias en la visibilidad y restricciones en el campo de visión del conductor (You, 2014). Para mejorar la seguridad, se deben considerar medidas como ensanchar la curva, ajustar la pendiente horizontal y optimizar la línea de tránsito central. Además, los parámetros de diseño de la curva, como el radio mínimo y la longitud máxima de la pendiente, deben determinarse con base en la velocidad de manejo, gradiente de carretera, peralte y coeficiente de colocación transversal (DU et al., 2019). Radios de curvatura más grandes y mayores velocidades pueden reducir la probabilidad de riesgo de accidentes. Por lo tanto, el diseño de seguridad en curvas de radio pequeño de carreteras de montaña debe considerar factores como la información de visión, la geometría de la curva, la velocidad de conducción y la posición del paisaje.

En las carreteras de montaña, los accidentes o deslizamientos de material generan un incremento en el tráfico vehicular, dando lugar a la congestión, demoras, desgaste de la infraestructura vial y un aumento en la contaminación atmosférica. A esto se suma la imprevisibilidad del clima, que puede modificar las condiciones del tráfico de manera inmediata.

1.3. Formulación del problema: preguntas científicas

El diseño de curvas en carreteras de montañas es crucial en la seguridad vial para conductores y peatones. Un trazado geométrico deficiente puede resultar en carreteras con curvas peligrosas, carriles inapropiados, distancia de visibilidad limitada y otros obstáculos, incrementando el riesgo de accidentes de tránsito. Además, un mal diseño puede prolongar los tiempos de desplazamiento y reducir la eficiencia y comodidad del transporte (González Silva et al., 2023).

En las carreteras de montaña el servicio de seguridad vial es inadecuado, aumentando la posibilidad de graves accidentes, especialmente considerando el riesgo de laderas cercanas a las carreteras. Distraerse o realizar cambios bruscos al conducir en estas condiciones puede tener consecuencias fatales, destacando la importancia de una infraestructura segura.

Las carreteras en mal estado son una problemática que involucra a la mayoría de los países en desarrollo, traen consigo muchos problemas económicos como la dificultad para el transporte interno de la mercadería. En Ecuador, las carreteras en áreas montañosas, especialmente en tiempos de invierno, se vuelven inseguras debido a derrumbes y desprendimientos de tierra, afectando la distribución de productos y poniendo en peligro el desarrollo del país.

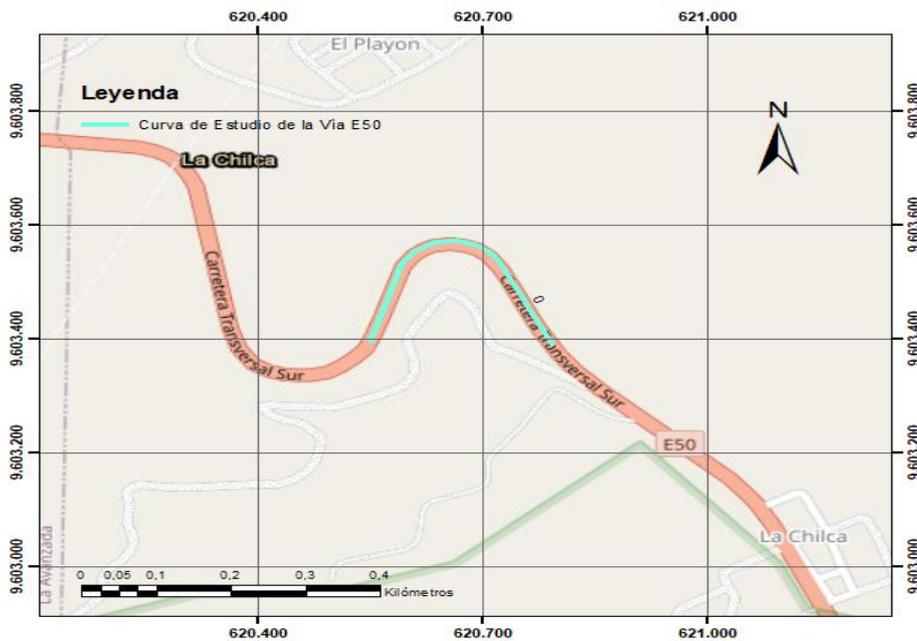
Esta situación vial que se presenta en el país aumenta significativamente el costo de transporte y en ocasiones dificulta la llegada oportuna de productos a los centros de consumo. Otro problema que se presenta exactamente en las carreteras de montaña son las curvas muy cerradas que han causado muchos accidentes, ya que muchos vehículos se salen de su carril, y se producen accidentes de tránsito.

El diseño de estas carreteras, con solo dos carriles cercanos a los taludes y sin bordillo doble en la medianera, no cumple completamente con las normativas de construcción para zonas montañosas. La falta de soluciones sostenibles a esta problemática podría estancar el desarrollo de las áreas circundantes, afectando la prosperidad a largo plazo. La búsqueda de medidas viables y apegadas a las normativas de construcción se vuelve esencial para superar estos desafíos y garantizar un desarrollo seguro y sostenible en las regiones montañosas de Ecuador.

1.4. Delimitación del objeto de estudio

La investigación se enfoca en el diseño de curvas en carreteras de montañas, con énfasis en un tramo específico de la carretera E50 en la provincia de El Oro, Ecuador. Se abordan todos los elementos esenciales para el diseño vial, considerando las normativas vigentes hasta la fecha del estudio. El análisis incluirá conceptos relacionados con el diseño geométrico de carreteras, las normativas de construcción y la seguridad vial.

Ilustración 1 Zona de estudio, Vía E50



Fuente: Elaboración propia

1.5. Justificación

El diseño geométrico de trazado de carreteras de montaña se enmarca en un contexto geográfico y topográfico particular que presenta retos únicos en la planificación de infraestructuras viales. Las regiones montañosas se caracterizan por terrenos irregulares, pendientes pronunciadas, curvas cerradas y condiciones climáticas variables. Estas características hacen que la construcción de carreteras en estas áreas sea compleja y requiera un enfoque especializado para lograr carreteras seguras y eficientes.

Las carreteras de montaña son esenciales para mejorar la accesibilidad y conectividad entre comunidades locales, así como para facilitar el transporte de bienes y servicios. Estas vías mejoran la integración económica y social de las regiones montañosas, promoviendo el desarrollo y la reducción de la brecha de infraestructura entre áreas urbanas y rurales.

Las vías suelen presentar condiciones de conducción más desafiantes debido a las curvas cerradas, pendientes pronunciadas y posibles condiciones climáticas adversas. Un diseño geométrico adecuado es esencial para minimizar los riesgos de accidentes y garantizar la seguridad de los usuarios de la vía, tanto de conductores como de peatones.

La falta de normativas que existen actualmente en Ecuador sobre la construcción de carreteras de montaña preocupa, ya que el crecimiento poblacional y el incremento de tráfico de estas

zonas representan un gran problema en temas de seguridad vial, por lo que es esencial abordar esta carencia de normativas, tomando como referencia a la de otros países, para garantizar la eficiencia en el transporte y el desarrollo sostenible de estas regiones montañosas.

En años recientes y anteriores, se han realizado extensas investigaciones para identificar y abordar los desafíos del diseño de carreteras de montañas. Se han analizado muchos artículos y materiales relevantes para elaborar este estudio. Este trabajo no solo proporciona una visión integral de los problemas actuales, sino que también establece un marco de referencia para futuras investigaciones centradas en descubrir deficiencias en el diseño de curvas de carreteras de montañas (González Silva et al., 2023).

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar el diseño geométrico de curvas horizontales, mediante un análisis detallado de los requisitos y criterios que regulan el diseño y construcción de carreteras de montañas.

1.6.2. Objetivos específicos

- Indagar los parámetros del diseño geométrico de curvas en carreteras de montaña, a través de una revisión bibliográfica para determinar las deficiencias en la configuración geométrica de estas vías.
- Identificar los elementos determinantes en el diseño de curvas en carreteras de montañas mediante el análisis de las normativas de diseño vigentes en Ecuador para garantizar la seguridad y eficiencia del tránsito vehicular en terrenos montañosos.
- Proponer un diseño geométrico que cumpla con las normativas específicas de carreteras de montaña, para brindar un servicio de seguridad vial óptimo.

2. Estado del arte

2.1. Antecedentes contextuales

Las curvas horizontales y verticales son elementos muy importantes en el diseño de carreteras, y más en terrenos montañosos, donde las condiciones topográficas del terreno son un desafío al realizar su diseño.

Las curvas horizontales se diseñan mediante la intersección de dos tangentes en el plano horizontal de un tramo de carretera, como se mencionó anteriormente se debe tener mucho cuidado en el diseño de estas en terrenos montañosos, ya que se debe garantizar la seguridad del conductor, como de sus pasajeros, teniendo en cuenta que las velocidades en estos tramos suelen ser bajas y sus radios de curvatura más pequeños debido a la orografía del terreno.

El diseño de las curvas verticales se hace cuando dos tangentes se intersecan en el plano vertical, en un tramo de carretera, el objetivo principal de estas curvas es minimizar los cambios de pendientes, como su importante papel en manejar los cambios de elevación.

En Turquía se realizó un estudio con el fin de analizar la precisión de la predicción de curvas horizontales de radio pequeño en dos carreteras, mediante la utilización de un software SIG, que ayudo a proporcionar datos de manera segura, fácil, rápida y eficaz para poder detectar las curvas horizontales peligrosas que no cumplían con la normativa del país (Gülci et al., 2022).

Por otro lado en Italia, se considera no utilizar la recta corta insertada entre los elementos geométricos básicos, es decir, entre las curvas circulares que forman la corona circular de las curvas cerradas y las ramas de entrada/salida, ya que en estos tramos rectos se deben permitir que los vehículos que salen de la curva recuperen su alineación “vertical” antes de ingresar a una nueva curva en sentido contrario, aunque tomando en cuenta que estos tramos son cortos para cumplir su función, debido a la comparación de la longitud de los autobuses que circulan por estas curvas, por lo que en este estudio se justifica la eliminación de esta recta corta, ayudando a la simplificación de las disposiciones geométricas sin afectar la seguridad y el confort de marcha, teniendo presente las velocidades típicas permitidas en carreteras con esta orografía montañosa (Ciampa & Olita, 2022).

Las curvas cerradas se usan a menudo en el diseño de alienación y son muy importantes para identificar condiciones peligrosas en carreteras de montaña, pero se debe aclarar que los comportamientos de conducción en curvas cerradas siguen siendo equívocos.

En un estudio realizado en China se realizaron pruebas de conducción de campo en una carretera de montaña de dos carriles con 11 curvas cerradas, donde los principales hallazgos, basándose en las relaciones posicionales laterales entre las vías y las marcas de carril, se pudo determinar seis patrones de vías para giros a la izquierda y cuatro patrones de vías para giros a la derecha. Al pasar un giro a la derecha cortando la curva, un conductor ocupó el borde derecho de la curva; por lo que existe un gran riesgo de chocar con la montaña o la barandilla. Al girar a la izquierda en curvas cerradas, un conductor ocupó el borde derecho de la salida de la curva, lo que provocó que se saliera de la carretera o que chocara con la barandilla. Cabe aclarar que más de 60% y 70% de los conductores ocupaban el carril opuesto al girar a la derecha y a la izquierda, en una curva cerrada, lo que provocaba un entrelazamiento de las vías en los dos sentidos de marcha y, por lo tanto, la existencia de un riesgo de posibles choques entre dos o más vehículos (Z. Yu et al., 2021).

En Argentina las normativas proponen velocidades de diseño para los diferentes tipos de topografía por donde se traza el proyecto: llano, ondulado, montañoso e inclusive muy montañoso. La selección del tipo de terreno permite elegir la velocidad directriz. Luego, en función de ésta, se calcula el valor de los parámetros mínimos y máximos que guían el diseño. Es decir, para una determinada categoría o función, la topografía es considerada a través de diferentes velocidades de diseño, esto les ayudo a concluir que las velocidades de diseño para una topografía montañosa en una categoría superior puede ser la velocidad de diseño de topografía llana u ondulada en una categoría inferior, lo cual ayuda a confirmar que las normativas no particularizan el diseño de caminos de montaña, sino que le asignan una velocidad de diseño inferior con respecto a las topografías más benévolas para caminos dentro de la función o categoría (Altamira, 2020).

La velocidad directriz mencionada en el texto citado es algo más que toda la esencia para el diseño de cualquier camino, donde la selección se debe realizar mediante tomas de datos importantes en el diseño de una vía que son el volumen de tránsito esperado y la topografía del terreno.

En Ecuador se realizó un estudio, que en si no habla mucho diseño de curvas de carreteras en caminos de montaña a partir de las velocidades directrices, sino más bien tuvo como objetivo analizar la relación entre la comodidad del pasajero y la aceleración lateral en carreteras rurales de dos carriles en zonas montañosas, donde mediante la participación de 58 pasajeros ecuatorianos se pudo obtener datos cualitativos que ayudaron a plasmar la desconformidad de

estos y como afecta un mal diseño de curvas con radios muy pequeños, siendo así que mediante el uso de las encuestas y un dispositivo GPS de precisión se pudieron estimar velocidades de los vehículos en distintos puntos de la curva, así mismo con la aceleración lateral y su trayectoria para poder mejorar el diseño geométrico de la carretera para un mejor rendimiento y seguridad (García-Ramírez & Aguilar-Cárdenas, 2020).

Con estos estudios se ha comprobado que países con experiencias similares en la construcción y diseño de carreteras en terrenos montañosos, como Turquía, Italia, China y Argentina, han desarrollado estándares de diseño geométrico que priorizan la seguridad y la eficiencia.

La adopción de mejores prácticas y la alineación con estándares internacionales pueden mejorar significativamente la seguridad vial en Ecuador, permitiendo un acceso más seguro a áreas remotas, fomentando el desarrollo económico y mejorando la calidad de vida de las comunidades locales.

2.2. Antecedentes Conceptuales

Las carreteras de montaña desempeñan un rol significativo porque proporcionan oportunidades para generar el transporte de productos y mejorar la conectividad hacia el empleo, la educación, la atención médica y al comercio, particularmente en las áreas rurales (Wilches et al., 2020). Un modelo de diseño geométrico de carreteras de montaña es fundamental para poder construir caminos de montaña de manera sostenible y poder así minimizar sus efectos negativos en el medio ambiente y garantizar la seguridad vial. La importancia de identificar las mejores prácticas y estándares aplicables para mejorar la calidad y seguridad de las carreteras, particularmente en tramos de descenso pronunciado, es crucial debido a factores que influyen en la seguridad vial en estas condiciones específicas (Yue & Wang, 2019).

Actualmente, el desarrollo económico obligará a construir muchas carreteras nuevas en las próximas décadas, y estas carreteras se extenderán hasta zonas montañosas antes inaccesibles; esto hará que estas regiones se enfrenten los efectos negativos de las carreteras sobre la diversidad vegetal resalta la importancia de considerar la conservación y manejo de las reservas naturales, especialmente cuando se planifica nueva infraestructura para conectar áreas montañosas (Li et al., 2022). Las carreteras montañosas deben ser sostenibles buscando armonizar el progreso social, económico y ambiental teniendo en cuenta la conservación de la biodiversidad de las zonas.

En el diseño de carreteras se debe tomar en cuenta factores como la economía, el impacto ambiental y la seguridad en las carreteras. En el ámbito económico, una infraestructura vial es crucial como motor de crecimiento económico, porque la expansión o reducción de las redes de carreteras afecta directamente a la capacidad de una región para realizar actividades sociales y económicas (Zepeda Ortega et al., 2019).

En el impacto ambiental, las carreteras de montaña cubren una fracción relativamente pequeña de la superficie de la tierra, debido a su diversidad de ambientes y relieves, las zonas montañosas son el hogar de una gran parte de la biodiversidad terrestre (Li et al., 2022). La cantidad de vehículos que circulan por un tramo de carretera está determinada no solo por factores como la ubicación geográfica o la calidad de la infraestructura vial, sino que por el tipo de uso que se le dé al suelo que la rodea (Pulugurtha & Mathew, 2021a).

En materia de seguridad vial, hay que considerar que los vehículos que transitan por una curva ocupan más espacio que cuando van en línea recta debido a que su radio de giro cambia y no es igual al que tienen en un tramo recto, y que este espacio se incrementa cuanto menor es el radio de la curva y mayor es la distancia entre ejes del vehículo, por lo que es importante que se puedan detectar con anticipación los posibles puntos ciegos y los defectos de diseño geométrico de la carretera (Zhang et al., 2021).

Para poder describir un buen diseño de curva con los requisitos mínimos, debemos saber que las curvas dentro de rectas no son adecuadas debido a su limitada longitud. En su lugar, se utilizan curvas cerradas con radios muy pequeños que su intervalo está entre 6 y 15 m para minimizar los movimientos de tierras y limitar el uso de estructuras de contención importantes como muros que son usados para contener los movimientos de tierra (Ciampa & Olita, 2022).

En el contexto de los accidentes de un solo vehículo en tramos de carretera con curvas, suelen ser causados por vuelcos o deslizamientos laterales por problemas de estabilidad laterales. La secuencia de un vuelco se puede explicar de la siguiente manera: la inercia del vehículo impide que el conductor cambie su dirección de inmediato, lo que provoca un aumento en la inclinación lateral del vehículo, culminando finalmente en el vuelco (Yue et al., 2019).

La falta de control del vehículo en curvas horizontales puede surgir debido a una fuerza centrífuga excesiva, es decir, podría originarse por exceder los límites de adherencia lateral permitidos (Cvitanić & Maljković, 2019). Además, en el diseño geométrico de las carreteras, se debe considerar el radio de curvatura, ya que es un factor crítico y relacionado directamente con el diseño de la curva horizontal.

Una curva horizontal en una carretera se refiere a la alineación o qué tan recto es el segmento de la carretera. Una curva vertical se refiere al aumento de la elevación de un pavimento o la superficie de la carretera (Dashti Latif, 2020).

Las curvas verticales son una preocupación importante para la seguridad vial en carreteras montañosas, se dice que los estudios han demostrado que el comportamiento del conductor varía en función de factores como el tamaño del vehículo, las pendientes longitudinales que tendrá esta y las curvas horizontales (Chen et al., 2014).

La percepción visual de los conductores puede cuantificarse para comprender su percepción de alineaciones horizontales y verticales, lo que puede contribuir a mejorar la seguridad vial en las carreteras de montaña (B. Yu et al., 2018).

Las aceleraciones laterales se sustentan a través de tres factores principales, el primero es el peralte de la calzada, la fricción en el pavimento, o una combinación de ambos. Además, estas aceleraciones laterales se ven afectadas por el tipo de vehículo, ya que los automóviles más grandes exhiben un desempeño y están expuestas a fuerzas en curvas de mayor magnitud en comparación con los vehículos más pequeños (Y. D. García-Ramírez & Aguilar-Cárdenas, 2020). Los valores de aceleración lateral también varían según el tipo de carretera, siendo las carreteras de dos carriles propensas a aceleraciones laterales más elevadas en comparación con las carreteras de seis o cuatro carriles.

Los peraltes de las carreteras de montaña pueden aplicarse en un tramo de longitud reducida, esta normalmente no es inferior a 15 m. En algunas ocasiones, si la longitud del tramo hubiera sido inferior a la mínima, el peralte tendría que haber comenzado/terminado en la recta de la entrada/salida (Ciampa & Olita, 2022). Las bajas velocidades de circulación menores a 20 km/h no condicionan el método constructivo del peralte, se puede hacer, sin distinción, mediante la rotación de la carretera en relación con el borde interior, al borde exterior o a la línea central. Esta elección dependerá mucho de las consideraciones geométricas y constructivas de la carretera.

Una acción significativa ha sido el uso de señales de advertencia para informar a los conductores sobre las pendientes pronunciadas, dando así tiempo al conductor de poder contrarrestar la incidencia de las colisiones en pendiente (Moomen et al., 2019). Es conocido que los vehículos de gran tamaño, como los camiones, trailers y buses, se ven más afectados de manera desmedida en las pendientes descendentes que son típicas en las carreteras de montaña, en comparación con otros tipos de vehículos. De esta manera, los conductores

dependen en mayoría de su perspectiva visual para adoptar comportamientos al manejar (Costa et al., 2022), esto significa que las señales son parte fundamental al momento de prevenir accidente ya que estas generan seguridad a los usuarios de la carretera, también es importante que los conductores estén atentos a las señales y respeten las normativas de tráfico para así evitar accidentes trágicos.

En la normativa INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización, Señalización Vial, 2011), nos dice que es necesario implementar tipos de señaléticas horizontales y verticales en las carreteras. En el tipo de señales horizontales se incluyen líneas blancas continuas en los bordes de la calzada para delimitar los carriles y líneas amarillas continuas en el centro de las curvas y entre cortadas en el centro de la calzada para facilitar la visibilidad y orientación al conductor. Para lograr este objetivo, se deben instalar tachas reflejantes para señalar los límites y obstáculos de la vía, reductores de velocidad, cruces peatonales y flechas direccionales que deben ir en el centro de la calzada para que pueda indicar la dirección del flujo vehicular. Para señaléticas verticales, son las señaléticas preventivas, turísticas, informativas y de servicio, adicionando los delineadores de curvas horizontales y barandas de seguridad.

El conjunto de datos de velocidad es de gran importancia, ya que proporciona a la ingeniería de tráfico y transporte información relevante para investigaciones tales como: análisis de accidentes de tráfico, establecimiento de elementos de diseño, planes de operación de tráfico, regulación y control, zonas con problemas de velocidad, estudio de flujos de tráfico y, finalmente, la asignación de velocidades de diseño para proyectos similares y futuros (Wilches et al., 2020). Cuando el diseño geométrico de una carretera exige una variabilidad de la velocidad por encima de los límites de seguridad, los conductores pueden realizar maniobras inadecuadas (X. Wang & Wang, 2018). Entonces esto provocaría que se generen las maniobras de conducción inadecuadas logrando que se pueda provocar colisiones de gran gravedad.

Las carreteras de montaña con fuertes declives y curvas cerradas pueden aumentar la dificultad de frenado, generando mayor velocidad durante el descenso y requiriendo una distancia de frenado mayor, lo que aumenta el riesgo de perder el control sin una técnica de frenado adecuada. Además, un análisis sobre accidentes relacionados con cambios de carril destaca que el uso infrecuente de intermitentes, deficiencias en la evaluación de distancias y velocidad de vehículos cercanos se vinculan a un aumento de accidentes (Ali et al., 2019).

Las curvas horizontales son un factor significativo para determinar los límites de velocidad apropiados en las carreteras montañosas. La diferencia de velocidad en estas curvas es

inversamente proporcional al radio de la curva y proporcional a la velocidad de aproximación. El autor nos revela en su investigación que el límite de velocidad de consulta para curvas con un radio entre 250 m y 300 m debe ser de 80 km/h, mientras que las curvas con un radio mayor a 400 m deben tener un límite de velocidad de asesoría de 90 km/h (Liu et al., 2020). (Barendswaard et al., 2019) nos dice que el intervalo de radios es de 204 y 350 m, y las velocidades están entre 50 y 80 km/h. Entonces esto nos quiere decir que ambos autores nos dan una idea del intervalo de radio de giro y velocidad que podrá tener el conductor cuando vaya a ingresar a la curva.

Actualmente en Ecuador, los límites máximos de velocidad permitidos en vías públicas dentro del país están regulados por el artículo 191 de la Ley Orgánica de Transporte terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (LOTTTSV, 2012). Según este artículo, en carreteras los vehículos livianos, motocicletas y vehículos similares no pueden exceder los 100 km sobre horas en tramos rectos y 60 km /h en curvas. Los vehículos de transporte público de pasajeros tienen un límite de velocidad de 90 km/h en tramos rectos y 50 km sobre horas en curvas, mientras que los vehículos de transporte de carga no pueden superar los 70 km/h en tramos rectos y 40 km sobre horas en curvas (Mestanza Rosero, 2019).

En las carreteras de montaña, el comportamiento del conductor y la velocidad se ven influenciados por las características de la carretera, pero también por las condiciones de visibilidad generalmente desfavorables (Ciampa & Olita, 2022).

Un estudio sobre la visibilidad del conductor encontró que los conductores exhibieron características de fijación de “de lejos a cerca” y tuvieron una proporción significativa de largas duraciones de fijación en tramos con distancias de visión poco visibles de 44 m, 50 m y 56 m. Sin embargo, en tramos con distancias de visión superiores a 70 m y una tasa de cambio de distancia de visión inferior a 1.33, desaparecieron las características de fijación de “de lejos a cerca” y esto genera que el conductor tenga un mejor rango de visión proporcionando una mejor para para reaccionar a cualquier tipo de imprevisto (Tang et al., 2022).

El cambio de la velocidad varía con las teorías y análisis que propone que contar con estas variaciones en velocidades, podría ocasionar un aumento de riesgo de accidentes de tránsito, dándonos a entender que esto influye mucho en el radio de giro de la curva y con que velocidad ingresa el conductor a la misma, se podría ayudar al conductor a prevenir esto con señaléticas para que se pueda anticipar a la curva y no ocurra un accidente catastrófico.

2.3. Antecedentes referenciales

La mayoría de las técnicas de investigación actuales facilitan la estimación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) en diversas carreteras gracias a la facilidad y disponibilidad de los conteos vehiculares (Pulugurtha & Mathew, 2021). Entre estas metodologías se incluyen enfoques estadísticos que permiten una precisa estimación del volumen de tráfico.

En Estados Unidos, los investigadores Pulugurtha y Mathew llevaron a cabo un estudio sobre el Tráfico Promedio Diario Anual, empleando variables como el uso del suelo, la densidad de las carreteras, la distancia a la carretera no local más cercana y el tráfico diario promedio. Utilizaron métodos de regresión ponderada geográficamente y regresión de mínimos cuadrados ordinarios para calcular el TPDA a partir de estos datos. La combinación de conteos vehiculares y categorías de uso del suelo permitió obtener una estimación más precisa del flujo vehicular en la zona (Pulugurtha & Mathew, 2021).

La configuración de carreteras que integra curvas tanto horizontales como verticales en autopistas influye en las variaciones de velocidad de los conductores. De esta manera, curvas combinadas con un diseño deficiente pueden incrementar los peligros asociados a la conducción. Por lo tanto, es esencial comprender las velocidades a las que los conductores abordan dichas curvas (X. Wang & Wang, 2018).

Los autores Xiaomeng Wang y Xuesong Wang llevaron a cabo un estudio en China que se enfoca en investigar los cambios de velocidad en curvas horizontales y verticales combinadas, y cómo estos afectan el comportamiento del conductor. En su análisis, examinaron cuatro categorías de curvas combinadas: pendiente descendente, pendiente ascendente, cresta y hundimiento. Para evaluar las relaciones entre el cambio de velocidad y cada tipo de curva combinada, emplearon modelos logit multinomiales. Los resultados resaltaron la relevancia de abordar el estudio de las curvas combinadas de manera individualizada y tener en cuenta las características de diseño de los segmentos adyacentes al planificar estas curvas (X. Wang & Wang, 2018).

El desarrollo de carreteras en regiones montañosas se enfrenta a desafíos sustanciales debido a las complejas condiciones geológicas y topográficas. Además de estas consideraciones, la seguridad impone la necesidad de identificar de manera adecuada defectos en la disposición geométrica de la vía y posibles puntos de ocurrencia de accidentes (Zhang et al., 2021). El aumento notorio de incidentes viales y las consecuentes pérdidas de vidas subrayan la

importancia crítica de un diseño vial seguro a nivel global, especialmente en áreas montañosas, donde se requiere una aplicación más estricta de las normativas de tránsito. Un diseño meticuloso en estas ubicaciones puede desempeñar un papel significativo en la reducción de la probabilidad de accidentes graves.

Para abordar esta problemática, los investigadores Zhang y Hou implementaron un estudio que desarrolló un novedoso modelo de evaluación de la calidad del diseño geométrico, basado en el Sistema de Información Geográfica (SIG), aplicado específicamente a carreteras de montaña. En este proceso, llevaron a cabo un análisis de árbol de fallas (FTA) para identificar diversos factores de riesgo inherentes al diseño de las carreteras. Asimismo, utilizaron la técnica de Evaluación y Ensayo de Toma de Decisiones de Laboratorio (DEMATEL) y crearon un modelo de evaluación de la calidad del diseño, considerando la idoneidad para la conducción, la sensibilidad a la seguridad del tráfico, los riesgos asociados al diseño y la distancia efectiva. Los resultados de este estudio destacaron que elementos como pendientes pronunciadas, túneles y cambios rápidos en la alineación horizontal y vertical pueden tener un impacto significativo en la calidad del diseño geométrico de las carreteras (Zhang et al., 2021).

Por otro lado, en Ecuador se desarrolló una metodología para el diseño geométrico sostenible de ejes viales, con el objetivo de mejorar la seguridad vial de carreteras inter-cantonales. Esta metodología se fundamentó en el análisis de cuatro indicadores clave: la importancia de la vía, la conectividad vial, el índice de peligrosidad y la seguridad vial. Para llevar a cabo la evaluación de la carretera, se emplearon fichas de observación, contadores vehiculares automáticos, el software AutoCAD y el proceso de jerarquía analítica (AHP) para asignar ponderaciones a los distintos indicadores. La aplicación de estos criterios permitió identificar las deficiencias presentes en la vía, brindando así la oportunidad de implementar mejoras específicas con el propósito de aumentar la seguridad y la confianza del conductor en la carretera (González Silva et al., 2023).

Las tecnologías emergentes están transformando la industria del diseño y la construcción de infraestructuras, y una de las más significativas es el I-BIM (Modelado de Información para la Construcción de Infraestructuras), un sistema de gestión de procesos digitales para infraestructuras. Este enfoque innovador no solo implica una perspectiva renovada del diseño, sino que también incorpora un análisis exhaustivo de la sostenibilidad. La integración de BIM en proyectos de infraestructura vial puede ser una herramienta valiosa en tres etapas esenciales: la pre-construcción, la fase de construcción y la gestión posterior (Vignali et al., 2021).

En Italia, se implementó una iniciativa que empleó el Modelado de Información para la Construcción (BIM) en la mejora de una infraestructura vial existente. Las herramientas BIM utilizadas en este estudio fueron "Autodesk AutoCAD Civil 3D" y "Revit Structure", específicamente aplicadas para la optimización de un tramo de carretera. El modelo tridimensional (3D) del terreno se generó a partir de una nube de puntos, abarcando la creación de la alineación horizontal, perfiles verticales, y la edición de secciones transversales. Además, se modeló un túnel elevado, se diseñó una rotonda, se generó un modelo paramétrico 3D para la totalidad de la carretera y se visualizó la infraestructura en el contexto del entorno real en 3D. Los resultados obtenidos indican que el enfoque I-BIM no solo se presenta como una herramienta robusta para optimizar y validar proyectos viales de acuerdo con las normativas previas a la construcción, sino también como un medio para entender el funcionamiento de la infraestructura dentro del contexto ambiental tridimensional real (Vignali et al., 2021).

3. Metodología

3.1. Modalidad básica de la investigación.

En el presente estudio de investigación, se emplea un enfoque mixto que integra el análisis documental, de campo y descriptivo. Este enfoque se selecciona estratégicamente para explorar una alternativa en el diseño de curvas para carreteras de montaña.

3.2. Tipo de investigación

Documental. - Este tipo de investigación se fundamenta en la recopilación de información procedente de artículos científicos. Esta práctica busca respaldar de manera sólida y sustancial los conceptos relacionados con el diseño de curvas.

De Campo. - A través de la investigación de campo, se busca identificar con precisión las características de la zona de estudio. Este tipo de estudio se llevará a cabo mediante la realización de aforos vehiculares y levantamientos topográficos, permitiendo así obtener datos detallados para el diseño de las curvas.

Descriptiva. - En este documento se detallarán los componentes necesarios para diseño y el análisis de una curva de montaña, analizando las características que conlleva como su velocidad, radio de giro y demás propiedades que serán fundamentales para el desarrollo del trabajo.

3.3. Objeto de Estudio

El propósito principal de este trabajo se centra en proponer una alternativa para el diseño de curvas en carreteras de montaña. Este estudio pretende ofrecer un enfoque que optimice la eficiencia y seguridad de las vías en entornos montañosos.

3.4. Descripción de la población y muestra

La vía E50, con una extensión de 224.14 km que atraviesa las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, es objeto de análisis en este estudio. Nos enfocamos específicamente en un tramo de 6 km del cantón Santa Rosa, desde Limón Playa hasta Torata, que comprende 19 curvas. Para la selección de la muestra, se aplicó el método de observación directa, permitiendo la identificación de la curva considerada como la más peligrosa. Esta curva se convierte en el punto focal del estudio, sirviendo como base para realizar el análisis.

3.5. Materiales y métodos

El enfoque metodológico de esta investigación se basa en la revisión de cinco artículos considerando criterios relevantes de los autores (Pulugurtha & Mathew, 2021), (X. Wang & Wang, 2018), (Zhang et al., 2021), (González Silva et al., 2023) y (Vignali et al., 2021).

El proceso se inicia con un aforo vehicular realizado durante tres días para determinar el flujo vehicular de la vía. A partir de estos datos, se calcula el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA). Posteriormente, se lleva a cabo un segundo aforo de velocidades al inicio de la curva seleccionada para el estudio, clasificando los vehículos según su tipo como motos, autos, camionetas, camiones, buses, volquetas y tráiler, obteniendo diferentes velocidades. A partir de esta información, se construye una gráfica de ojiva para identificar las velocidades correspondientes a los percentiles P15, P50, P85 y P98.

Finalmente, se realiza un levantamiento topográfico de la curva mediante el uso de Dron y tecnología RTK para obtener datos precisos sobre el diseño actual de la curva. La integración y análisis de todos estos datos permitirán presentar una alternativa de diseño para las curvas de carreteras de montaña, proporcionando así una perspectiva detallada en el ámbito vial.

3.5.1. Estudio de tráfico vehicular

Aforo vehicular

Los análisis de flujos de tráfico se llevan a cabo con la finalidad de adquirir información veraz acerca de la circulación de vehículos. La realización de un aforo vehicular implica contabilizar la cantidad de vehículos que transitan por un punto específico en ambas direcciones durante un intervalo de tiempo predefinido. La meta principal de esta actividad es cuantificar el número de vehículos en la ubicación objeto de estudio (Rodríguez Gutierrez et al., 2023).

En este estudio se realizó un aforo manual de 12 horas de siete de la mañana a siete de la noche durante 3 días consecutivos. Se estima que este periodo abarca aproximadamente el 70% del volumen diario. Utilizando la información obtenida, se procedió a calcular el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) (Pulugurtha & Mathew, 2021).

Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El TPDA es el método más utilizado para medir el volumen del tránsito y se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$TPDA = TPDS \times Fm \times Fd$$

Donde:

- TPDS= Tráfico Promedio Diario Semanal
- Fm= Factor de ajuste mensual
- Fd= Factor de ajuste diario

Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)

El TPDS, se lo calcula según la siguiente expresión:

$$TPDS = \left(\frac{5}{7} \times \Sigma \frac{Dn}{m} \right) + \left(\frac{2}{7} \times \Sigma \frac{Df}{m} \right)$$

Donde:

- Dn= Días normales (lunes a viernes)
- Df= Días feriados (sábado y domingo)
- m= Días de conteo

Factor de ajuste mensual (Fm)

El factor de ajuste mensual (Fm) se obtuvo según datos de flujos vehiculares de la provincia de El Oro.

Tabla 1 Factor de ajuste mensual

Mes	Factor
Enero	1.07
Febrero	1.132
Marzo	1.085
Abril	1.093
Mayo	1.012
Junio	1.034
Julio	1.982
Agosto	0.974
Septiembre	0.923
Octubre	0.931
Noviembre	0.953
Diciembre	0.878

Factor de ajuste diario (Fd)

El factor de ajuste (Fd) diario se calcula en base al conteo de la semana.

$$Fd = \frac{TPDS}{TD}$$

Donde:

- TD= Total de vehículos del día

Tráfico futuro

Para estimar el flujo vehicular futuro, es necesario inicialmente adquirir el valor del tráfico asignado, conforme a la expresión que se detalla a continuación:

$$\text{Trafico asignado} = TPDAexistente + TG + TD$$

Donde:

- TG= Tráfico generado
- TD= Tráfico desarrollado

Tráfico generado (TG)

El Tráfico generado (TG) se calcula asignando una tasa de incremento del 25% del tránsito actual.

$$TG = 25\% TPDAexistente$$

Tráfico desarrollado (TD)

El Tráfico desarrollado (TD) se calcula asignando una tasa de incremento del 5% del tránsito actual.

$$TD = 5\% TPDAexistente$$

Por lo tanto, el tráfico futuro se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\text{Trafico futuro} = \text{Trafico asignado}(1 + i)^n$$

Donde:

- i = Tasa de crecimiento del tráfico por el tipo de vehículo
- n = Periodo de proyección, expresada en años

La tasa de crecimiento del tráfico por el tipo de vehículo se obtiene mediante la siguiente tabla:

Tabla 2 Tasa de crecimiento del tráfico

Tipo de vehículo	%
Livianos	3.75
Buses	1.90
Camiones livianos	2.24
Camiones pesados	2.24

La proyección para la vía de estudio será de 20 años desde el 2023 hasta el 2043

Clasificación de la vía bajo la normativa del MTOP

Tabla 3 Clasificación funcional de las vías

Clasificación funcional de las vías en base al TPDA		
Descripción	Clasificación funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) al año de horizonte
Autopista	AP2	80000 – 120000
	AP1	50000 – 80000
Autovía o Carretera multicarril	AV2	26000 – 50000
	AV1	8000 – 26000
Carretera de dos carriles	C1	1000 – 8000
	C2	500 – 1000
	C3	< 500

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial NEVI – 12 – MTOP

3.5.2. Estudio de velocidad

La velocidad de diseño se define como la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular de manera segura en una sección específica de la carretera. En esta investigación, se busca determinar la velocidad necesaria para el diseño de una curva en una carretera de montaña, ya que este dato es fundamental para derivar diversos elementos geométricos necesarios en el proceso de diseño de la curva.

Para evaluar las velocidades de punto de los vehículos, se empleó un método manual. Inicialmente, se trazaron dos líneas transversales en la superficie de la carretera, ubicadas a una

distancia de 50 metros antes de la entrada a la curva. Utilizando un cronómetro, se registraron los tiempos que los vehículos tardaron en recorrer dicha distancia. El observador se posicionó estratégicamente entre las marcas, iniciando el cronómetro cuando las ruedas delanteras alcanzaron la primera línea y deteniéndolo cuando el mismo vehículo cruzó la segunda línea con las ruedas delanteras. La velocidad se calcula dividiendo la distancia predefinida en metros entre el tiempo requerido para su recorrido (Rodríguez Gutierrez et al., 2023).

Este aforo de velocidades se llevó a cabo en la entrada de la curva de estudio, tanto en la dirección de Santa Rosa a Torata, durante dos horas desde las ocho de la mañana hasta las diez de la mañana, como en la dirección opuesta, de Torata a Santa Rosa, desde las once de la mañana hasta la una de la tarde. Durante este proceso, se documentaron las velocidades en ambas direcciones para posteriormente realizar los cálculos correspondientes.

Cálculo de velocidades

Después de recopilar las velocidades, procedimos a organizarlas en intervalos de igual tamaño para facilitar la apreciación de las variaciones de velocidad. Estas velocidades fueron ordenadas desde la más baja hasta la más alta. Se procedió a contar individualmente las velocidades dentro de cada intervalo, lo cual se denomina Frecuencia Observada. Para obtener una perspectiva más completa, se calcularon los porcentajes correspondientes a cada rango. La Frecuencia Acumulada, a su vez, representa la suma de las frecuencias observadas previas, con el cálculo respectivo de sus porcentajes (Marin Aguilar & Roja Morcote, 2015).

A través de operaciones matemáticas, se calculan los percentiles 15, 50, 85 y 98, que representan la velocidad mínima, media, máxima de operación y la velocidad de diseño. Para concluir, se elabora el gráfico de ojiva porcentual, que contrasta la frecuencia acumulada relativa con el último intervalo de velocidad dentro de los rangos iniciales. Es esencial que los valores de los percentiles obtenidos matemáticamente concuerden exactamente con las posiciones correspondientes en la gráfica de la ojiva porcentual (Marin Aguilar & Roja Morcote, 2015).

3.5.3. Levantamiento topográfico

La realización de un levantamiento topográfico preciso de la curva de estudio es esencial, ya que sirve como base para la selección de los criterios adicionales necesarios para el diseño final. Este levantamiento se ejecutó utilizando la avanzada tecnología de Dron en combinación

con la tecnología RTK (Real Time Kinematic), asegurando una obtención de datos altamente exacta y detallada para un adecuado diseño (Baque Solis, 2022).

Para el levantamiento de la curva se utilizó el Dron Mavic Air 2s y el equipo de RTK TOP106-GPS y GNSS. Esta metodología avanzada combina la movilidad del dron con la precisión en tiempo real proporcionada por el sistema RTK.

Los pasos realizados para el levantamiento se detallan a continuación:

Primero, se configuraron los equipos RTK y se colocaron en modo rover, este modo permite realizar correcciones. Para obtener una precisión aún mayor, se optó por correcciones NTRIP, que son correcciones en tiempo real. Se utilizó credenciales del Instituto Geográfico Militar (IGM) para que nos dé correcciones de las coordenadas en tiempo real.

A continuación, se procedió a configurar el equipo RTK ingresando los datos del IGM y la altura instrumental. Con el equipo configurado, se inició el levantamiento de los puntos en el terreno natural para establecer cotas, tomando medidas cada 25 metros en tramos rectos y cada 15 metros en las curvas. Estos puntos se ubicaron en el eje de la vía, en la cuneta y en el centro de la calzada. Por otro lado, los puntos de control fueron marcados en zonas despejadas para evitar obstáculos durante la captura de imágenes con el dron.

Posteriormente, se utilizó la aplicación Litchi para planificar el vuelo del dron, automatizando la altura de vuelo y la ruta. Durante el vuelo, el dron siguió la ruta predefinida, capturando imágenes aéreas de la curva.

Finalmente, mediante un software especializado, se corrigieron los errores señalados por el dron utilizando los puntos marcados por el RTK, contribuyendo así a mejorar aún más la precisión de los datos obtenidos.

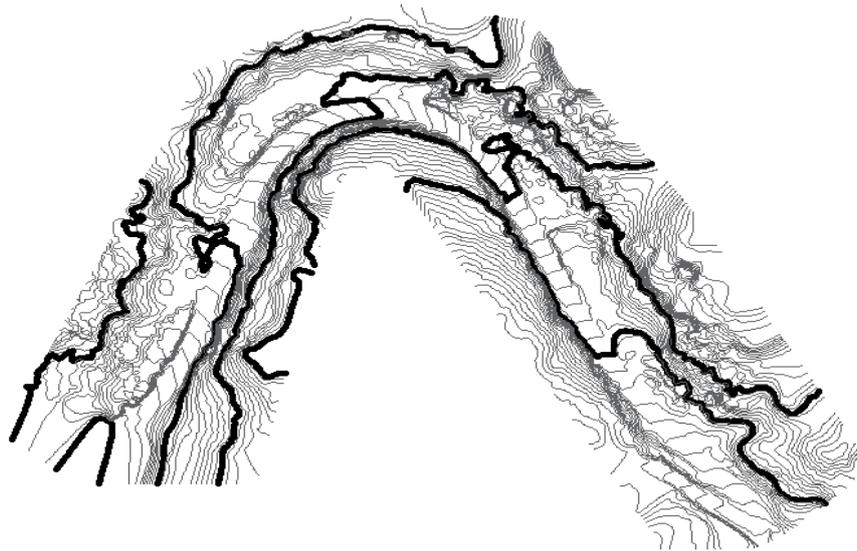
Los datos recopilados en el levantamiento se utilizan para analizar la topografía de la curva, incluyendo factores como radio de la curva, ancho de carril, longitud, peralte, pendiente, entre otros.

3.5.4. Diseño geométrico de la curva mediante el software AutoCAD Civil 3D

Primero se procesan los datos recopilados con el dron utilizando el software PIX4D, para generar un modelo digital de elevación (MDE) y curvas de nivel en formato de polilínea en 3D. Posteriormente, se procedió a la creación y edición del polígono de superficie para establecer la base topográfica. Luego, se creó el alineamiento horizontal a partir del objeto

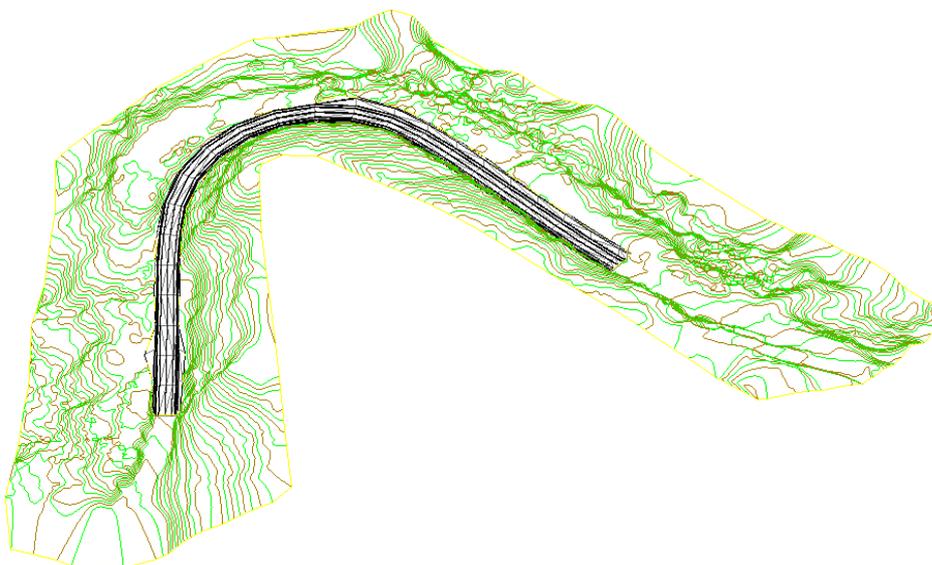
existente, definiendo la geometría precisa de la curva. Seguidamente, se generaron perfiles longitudinales incorporando el porcentaje de pendiente de la rasante y se crearon secciones transversales típicas de carreteras o ensamble, especificando anchos de carril, arcén y talud. Seguidamente, se creó el corredor vial integrando el ensamble. Finalmente, se generó una nueva superficie para realizar el corte del terreno, permitiendo visualizar el corredor vial en relación con el entorno topográfico y completando así el proceso integral de diseño en Civil 3D.

Ilustración 2 Formato de polilínea en 3D



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3 Diseño de la curva en Civil 3D



Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Proceso jerárquico analítico

Para la evaluación del diseño geométrico de curvas en carreteras de montaña se realizó un proceso jerárquico analítico (AHP) con la finalidad de determinar la importancia de cada criterio y ponderar con precisión diversos parámetros de evaluación. Se consideró el diseño geométrico como el criterio principal, dentro de los cuales, se analizaron seis indicadores como la velocidad, radio de curva, ancho de carril, ancho de berma, peralte y pendiente. En la Tabla 4 se muestran las ponderaciones obtenidas mediante el método multicriterio, donde varios ingenieros civiles ponderaron cada indicador. Para el diseño geométrico la ponderación final es de 1.

La evaluación del diseño geométrico se evalúa a través de seis indicadores, el primero se centra en la velocidad, la cual se analiza mediante un análisis comparativo entre la velocidad de diseño obtenida a partir del gráfico de ojiva de velocidades y la establecida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), si el criterio se cumple se le otorgará un valor de 0.20. El segundo indicador es el radio de curva y se analiza mediante un análisis comparativo entre el radio medido en el software AutoCAD y el radio mínimo establecido por la MTO. Si el radio cumple con la normativa se ponderará con 0.20.

El tercer indicador es el ancho de carril y se evaluará mediante la comparación entre el ancho actual de la carretera y el establecido según la norma MTO. Si cumple con el ancho mínimo según la norma se le otorgará un valor de 0.15. El cuarto indicador se enfoca en el ancho de la berma y se evalúa a través de un análisis comparativo entre el espacio lateral actual y el especificado en la normativa. En caso de cumplir con la distancia requerida, se asignará un valor de 0.15.

El quinto indicador se enfoca en el peralte y evalúa la inclinación lateral actual de la superficie de la calzada en la curva, comparándola con lo establecido por la normativa. Si el criterio se cumple se asignará un puntaje de 0.15. Por último, el sexto indicador a evaluar es la pendiente, para lo cual se realizará una comparación entre la inclinación de la carretera medida en AutoCAD y el valor de diseño recomendado por las normas. En caso de cumplir con el criterio establecido, se asignará un puntaje de 0.15.

En el caso de que no se cumpla algún criterio de diseño geométrico, se asignará una puntuación de 0.

Tabla 4 Descripción de los indicadores de evaluación

Proceso	Indicador	Definición	Instrumento	Método	Evaluación	Ponderación
Diseño Geométrico	Velocidad	Velocidad con la que el conductor ingresa a la curva	- Fichas de observación - Software Excel	Observación de campo y Análisis de contenido	Cumple con la velocidad de diseño	0.20
	Radio de curva	Distancia desde el centro de la curva hasta un punto específico en la trayectoria de dicha curva	- Levantamiento topográfico con Dron y RTK - Software AutoCAD Civil 3D	Análisis comparativo con la normativa	Cumple con lo establecido en la normativa MTOP	0.20
	Ancho de carril	Distancia entre los límites de un carril	- Levantamiento topográfico con Dron y RTK - Software AutoCAD Civil 3D	Análisis comparativo con la normativa	Cumple con el ancho establecido en las normas MTOP.	0.15
	Ancho de berma	Espacio lateral adicional entre la calzada y el borde de la carretera	- Levantamiento topográfico con Dron y RTK - Software AutoCAD Civil 3D	Análisis comparativo con la normativa	Cumple con lo establecido en la normativa MTOP	0.15
	Peralte	Inclinación lateral de la superficie de la calzada en la curva	- Levantamiento topográfico con Dron y RTK - Software AutoCAD Civil 3D	Análisis comparativo con la normativa	Cumple con lo establecido en la normativa MTOP	0.15
	Pendiente	Inclinación de la carretera	- Levantamiento topográfico con Dron y RTK - Software AutoCAD Civil 3D	Análisis comparativo con la normativa	Cumple con lo establecido en la norma NEVI-12	0.15
TOTAL						1

Fuente: Elaboración propia

La determinación de la ponderación final en la evaluación se logra al sumar el valor atribuido a cada indicador. En la Tabla 5, se presentan tres rangos establecidos por los especialistas que participaron en el análisis jerárquico. Esta tabla facilita una evaluación precisa del diseño geométrico de la curva de estudio.

Tabla 5 Evaluación del diseño geométrico de la curva

Ponderación	Descripción
0.75 – 1	Diseño geométrico óptimo
0.50 – 0.75	Diseño geométrico aceptable
0 – 0.5	Diseño geométrico deficiente

Fuente: Juicio de expertos

4. Análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Capacidad vial

Con la información recolectada durante los tres días de aforo se calculó el Tráfico promedio diario anual (TPDA) de la vía E50. En la dirección Santa Rosa - Torata, se registró un Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS) de 2880 vehículos. Con un factor de ajuste mensual de 0,878 para diciembre y un factor de ajuste diario de 1,169, se calculó el TPDA de 2957 vehículos. Para proyectar el tráfico futuro, se empleó el tráfico asignado derivado del TPDA, una tasa de crecimiento específica según el tipo de vehículo se muestra en la Tabla 2 y un periodo de proyección de 20 años. Estos cálculos arrojaron un tráfico esperado de 7522 vehículos, clasificando la vía como una Carretera de dos carriles Tipo C1 según la clasificación funcional de la Tabla 3. (Ver anexo 2)

En cambio, en la dirección opuesta Torata – Santa Rosa se registró un TPDS de 3009 vehículos. Utilizando el mismo factor de ajuste mensual y un factor de ajuste diario de 1,211, se determinó un TPDA de 3200 vehículos. La proyección para el tráfico futuro estima un total de 7845 vehículos, clasificando la vía como una Carretera de dos carriles Tipo C1. (Ver anexo 3)

La clasificación obtenida no concuerda con el diseño geométrico actual. Además, durante la observación directa, se identificaron irregularidades en su diseño, en particular la presencia de una curva con pendiente. Esta característica, sumada a la presencia de vehículos pesados, provoca congestión vehicular y, por consiguiente, un mayor riesgo de accidentes. Se observa que algunos conductores son muy imprudentes y a menudo rebasan sin percibir el peligro de colisión con los vehículos que se dirigen en sentido contrario.

Según las normas NEVI-12 para una carretera tipo C1, una de las mejores y únicas soluciones a este problema es el diseño y construcción de un carril de ascenso. Este carril adicional ayudaría a disminuir la congestión vehicular, permitiendo a los vehículos más lentos moverse a un carril separado, liberando así el flujo de tráfico. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta vía está en un terreno montañoso, lo que implica consideraciones de diseño adicionales para garantizar la seguridad y comodidad de los conductores, pasajeros y habitantes de la zona.

4.1.2. Diseño Geométrico

Velocidad de diseño

Para calcular la velocidad de diseño, se llevó a cabo una distribución de frecuencia de las velocidades de punto. Dado que nuestra consistió en 132 vehículos, se optó por seleccionar un número de intervalos de 10. Utilizando la velocidad mínima, máxima e intervalo seleccionado, se calculó el ancho del intervalo de clase, siendo 8 en la dirección Santa Rosa – Torata y 7 en la dirección opuesta, Torata – Santa Rosa. Con estos intervalos determinados, se calculó el punto medio de las velocidades y, a continuación, se determinó la frecuencia observada absoluta, que representa la cantidad de vehículos que cruzaron con una velocidad dentro de los rangos de los intervalos de clase establecidos. Posteriormente, se realizó el cálculo de la frecuencia acumulada absoluta, que es la suma acumulada de las frecuencias observadas en cada intervalo de velocidad, y, por último, la frecuencia acumulada relativa expresada en porcentaje el valor antes obtenido. Los resultados de las distribuciones de frecuencias de velocidades de punto para cada dirección se detallan en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6 Distribuciones de frecuencias de velocidades de punto en la dirección Santa Rosa – Torata

Intervalo de clase de grupos de velocidad (km/h)		Punto medio V_i (km/h)	Frecuencia observada		Frecuencia acumulada	
			Abs. f_i	Relat. $(f_i/n)*100$ (%)	Abs. f_i	Relat. $(f_i/n)*100$ (%)
8,5	16,5	13	3	2,27	3	2,27
16,51	24,51	21	6	4,55	9	6,82
24,52	32,52	29	18	13,64	27	20,45
32,53	40,53	37	20	15,15	47	35,61
40,54	48,54	45	12	9,09	59	44,70
48,55	56,55	53	24	18,18	83	62,88
56,56	64,56	61	21	15,91	104	78,79
64,57	72,57	69	15	11,36	119	90,15
72,58	80,58	77	11	8,33	130	98,48
80,59	88,59	85	2	1,52	132	100,00
Sumatoria total=			132	100,00		

Fuente: Elaboración propia

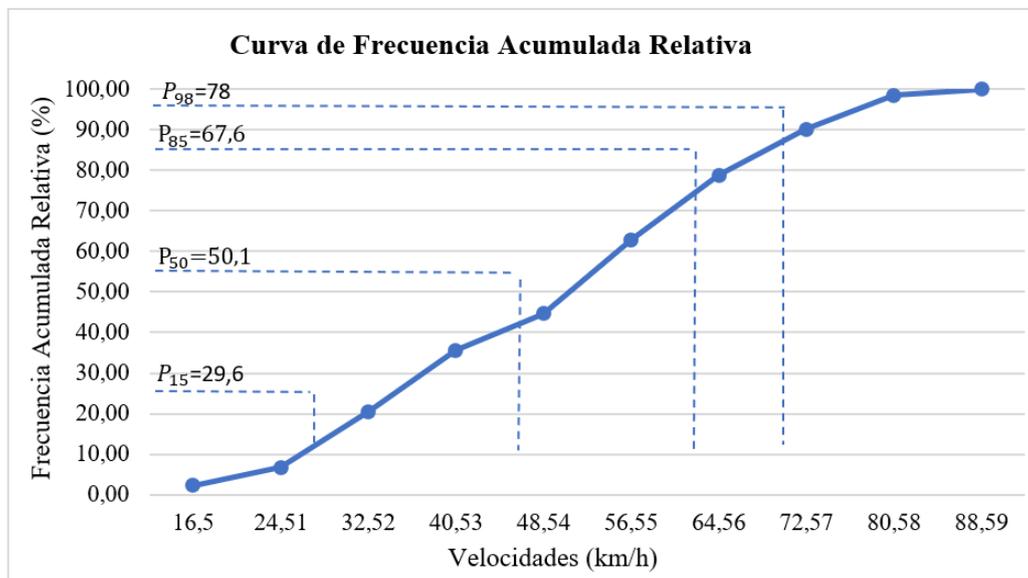
Tabla 7 Distribuciones de frecuencias de velocidades de punto en la dirección Torata - Santa Rosa

Intervalo de clase de grupos de velocidad (km/h)		Punto medio Vi (km/h)	Frecuencia observada		Frecuencia acumulada	
			Abs.	Relat. (fi/n)*100 (%)	Abs.	Relat. (fi/n)*100 (%)
			fi		fi	
27,5	34,5	31	1	0,76	1	0,76
34,51	41,51	38	5	3,79	6	4,55
41,52	48,52	45	15	11,36	21	15,91
48,53	55,53	52	30	22,73	51	38,64
55,54	62,54	59	15	11,36	66	50,00
62,55	69,55	66	21	15,91	87	65,91
69,56	76,56	73	20	15,15	107	81,06
76,57	83,57	80	12	9,09	119	90,15
83,58	90,58	87	9	6,82	128	96,97
90,59	97,59	94	4	3,03	132	100,00
Sumatoria total=			132	100,00		

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos recopilados en la frecuencia acumulada relativa y los intervalos de clase de grupos de velocidad, se generó la gráfica de ojiva. Esta representación gráfica permite obtener los valores correspondientes a los percentiles 15, 50, 85 y 98.

Ilustración 4 Gráfica de ojiva en la dirección Santa Rosa - Torata



Fuente: Elaboración propia

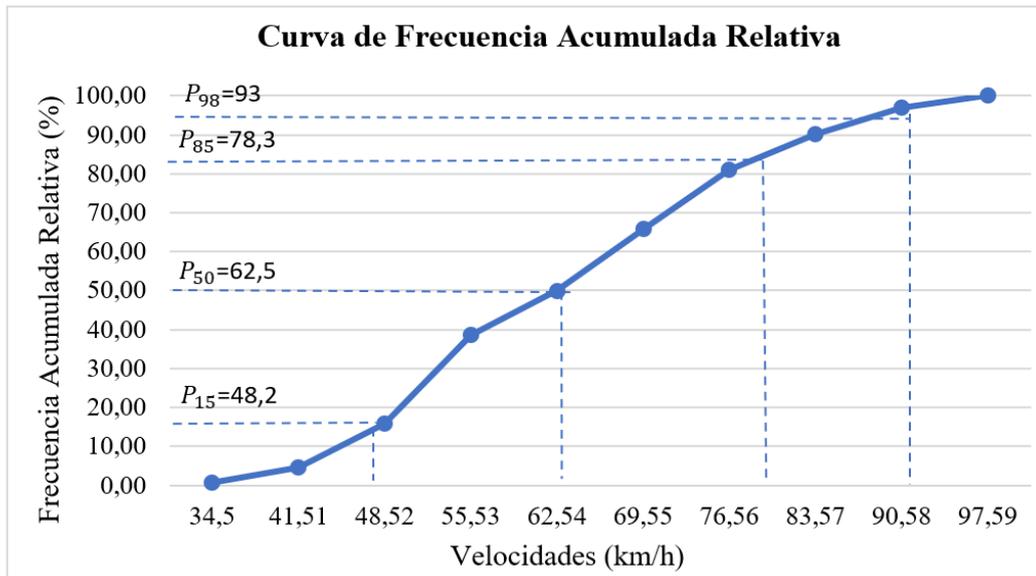
En la Tabla 8 se presentan los valores de los percentiles en la dirección Santa Rosa – Torata.

Tabla 8 Velocidades en la dirección Santa Rosa – Torata

Percentil 98	78,0
Percentil 85	67,6
Percentil 50	50,1
Percentil 15	29,6

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5 Gráfica de ojiva en la dirección Torata - Santa Rosa



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 se presentan los valores de los percentiles en la dirección Torata – Santa Rosa.

Tabla 9 Velocidades en la dirección Torata – Santa Rosa

Percentil 98	93,0
Percentil 85	78,3
Percentil 50	62,5
Percentil 15	48,2

Fuente: Elaboración propia

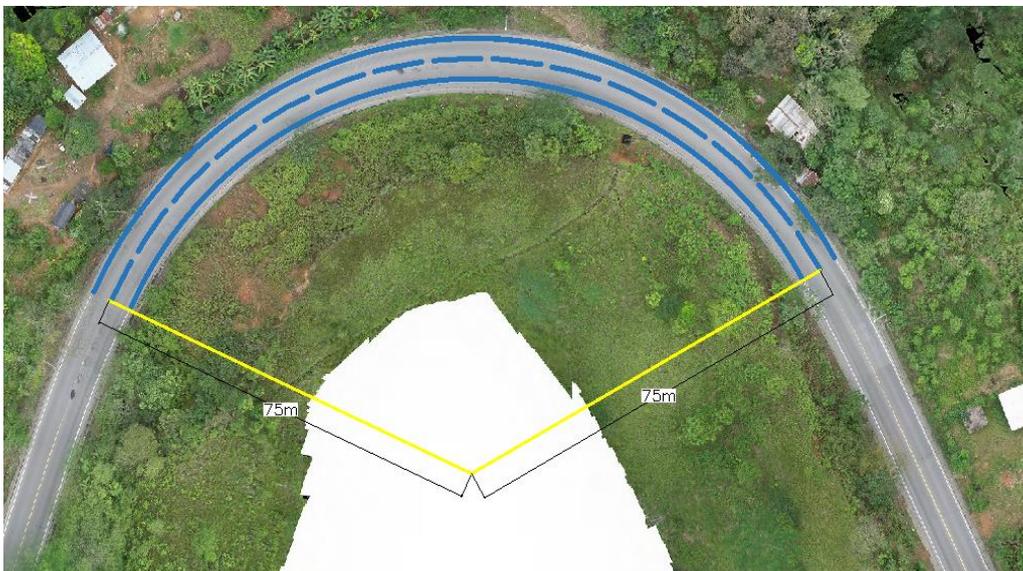
Se calculó un promedio de las velocidades correspondientes al percentil 85 en ambas direcciones, obteniendo como resultado una velocidad de 73 km/h. Al comparar esta velocidad con la establecida en la normativa del MTOP, la cual es de 60 km/h para carreteras de dos carriles Tipo C1 en terrenos montañosos, se observa que no cumple con la velocidad de diseño máxima establecida. Por lo tanto, se asignará un valor de 0 en este criterio.

Para solucionar la problemática de velocidades altas en este tipo de carreteras, se sugiere incrementar la presencia de señales de tráfico y marcas viales de desaceleración en determinadas secciones de la curva.

Radio de curva

Según la normativa MTOP para una Carretera de dos carriles Tipo C1 el radio mínimo permitido para curvas horizontales en terrenos montañosos es de 110 m. Para evaluar si la curva de estudio cumple con lo establecido en la normativa se utilizó la ortofoto previamente obtenida mediante el levantamiento topográfico por Dron. Posteriormente, se midió el radio de la curva utilizando el software AutoCAD Civil 3D. Con un resultado de 75 m para el radio de la curva, se evidencia que no cumple con el mínimo establecido por las normas, lo que lleva a asignarle una calificación de 0 en este parámetro.

Ilustración 6 Radio de curva medido en AutoCAD Civil 3D



Fuente: Elaboración propia

Ancho de carril

De acuerdo con la normativa del MTOP, el ancho mínimo establecido para este tipo de vías es de 3.65 m. Se recopilieron diez datos a lo largo de toda la curva y, al calcular el promedio, se obtuvo un ancho de carril actual de 3.65 m. Esto demuestra que la vía cumple con lo estipulado por la normativa, por lo que se le asigna un valor de 0.15.

Tabla 10 Promedio del ancho de carril

	Subida	Bajada
1	3,7	3,71
2	3,68	3,71
3	3,67	3,69
4	3,66	3,67
5	3,66	3,65
6	3,65	3,64
7	3,63	3,63
8	3,67	3,63
9	3,66	3,6
10	3,65	3,6
Promedio:	3,66	3,65

Fuente: Elaboración propia

Ancho de berma

El ancho mínimo de la berma establecido por la normativa MTOP es de 1.5 m. Mediante el software AutoCAD Civil 3D, se midieron diez anchos a lo largo de la curva, y el resultado indicó un ancho de berma actual en ambas direcciones de 1.19 m. Dado que esta medida no cumple con lo especificado en la norma, se le otorga una calificación de 0.

Tabla 11 Promedio del ancho de berma

	Subida	Bajada
1	0,97	1,16
2	1,01	1,44
3	0,84	1,13
4	1,07	1,15
5	1,16	1,27
6	1,25	1,37
7	1,24	1,33
8	1,22	1,06
9	1,48	1,24
10	1,45	0,96
Promedio:	1,17	1,21

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7 Ancho de carril y berma medido en AutoCAD Civil 3D

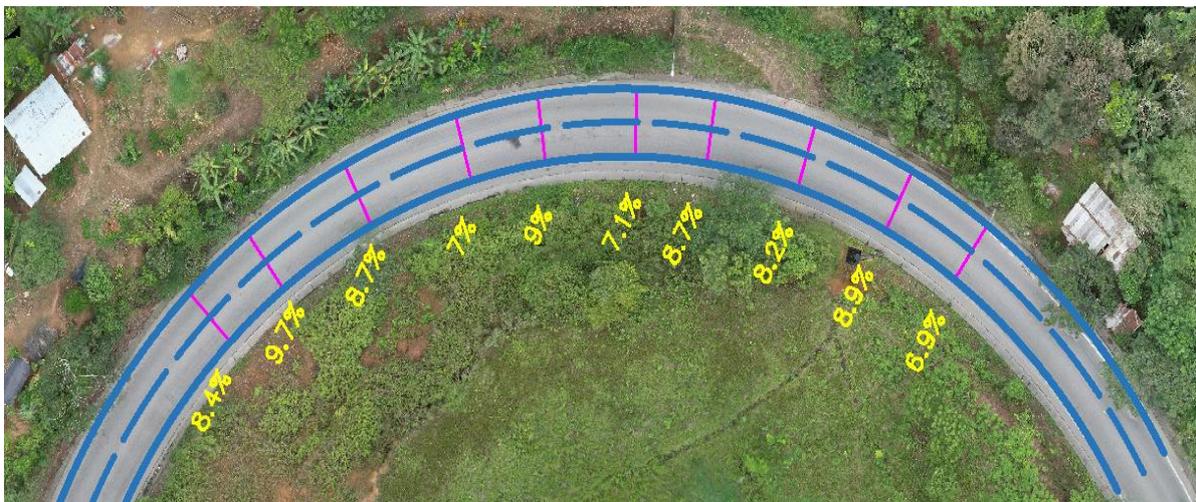


Fuente: Elaboración propia

Peralte

Según la normativa del MTOP, el peralte máximo permitido es del 10%. Utilizando Civil 3D y las curvas de nivel, se calcularon diez datos de peralte a lo largo de toda la curva para obtener un promedio y así tener un valor más preciso del peralte de la curva. El resultado obtenido fue del 8,3%. Por lo tanto, este parámetro cumple con lo establecido en la normativa y se le asignará un valor de 0.15.

Ilustración 8 Promedio de peraltes en la curva

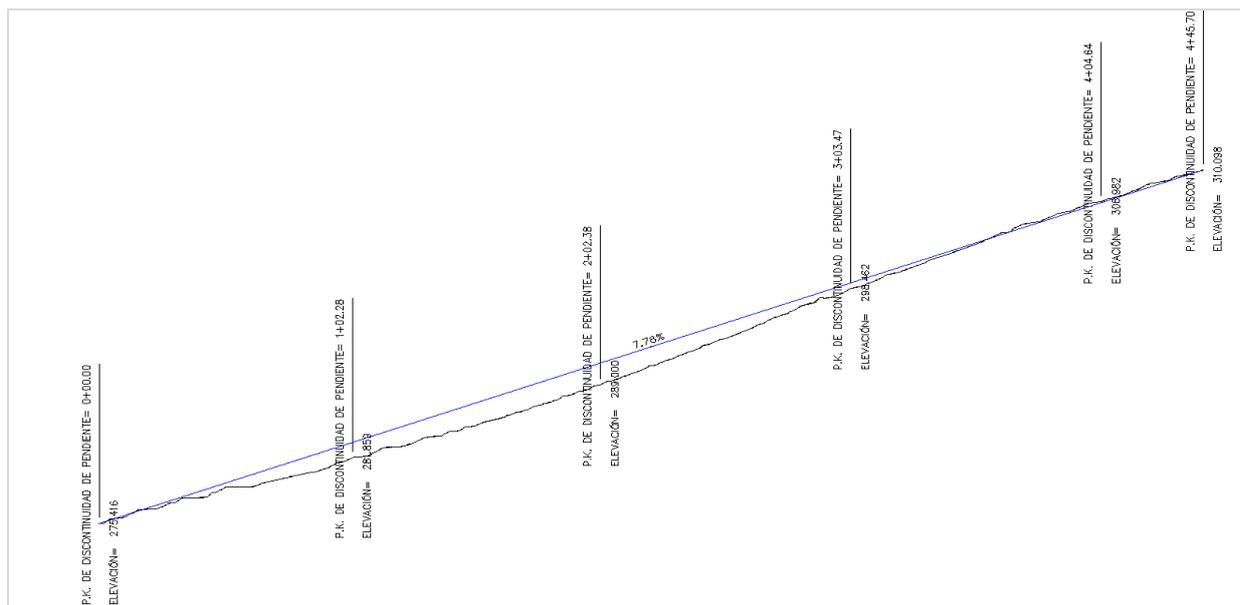


Fuente: Elaboración propia

Pendiente

Conforme a la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12, en el caso de una velocidad de diseño de 60 km/h y una topografía montañosa, la pendiente máxima permitida es del 8%. Utilizando AutoCAD Civil 3D, se determinó la pendiente longitudinal de la vía, la cual resultó ser del 7,78%. Este valor demuestra que dicho criterio cumple con la normativa establecida, por lo que se le asigna un valor de 0.15.

Ilustración 9 Pendiente longitudinal de la vía



Fuente: Elaboración propia

4.2. Evaluación del diseño geométrico de curvas en carreteras de montaña

En la Tabla 12 se presentan los resultados de los seis indicadores evaluados, cada uno acompañado de su respectiva ponderación.

Tabla 12 Resultados de la evaluación

Proceso	Indicador	Definición	Cumple	Ponderación
Diseño Geométrico	Velocidad	Velocidad con la que el conductor ingresa a la curva	No	0
	Radio de curva	Distancia desde el centro de la curva hasta un punto específico en la trayectoria de dicha curva	No	0
	Ancho de carril	Distancia entre los límites de un carril	Si	0.15
	Ancho de berma	Espacio lateral adicional entre la calzada y el borde de la carretera	No	0
	Peralte	Inclinación lateral de la superficie de la calzada en la curva	Si	0.15
	Pendiente	Inclinación de la carretera	Si	0.15
TOTAL				0.45

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los criterios dados por los expertos, se alcanzó una ponderación final de 0.45, señalando así que el diseño geométrico de la curva se encuentra en un estado deficiente.

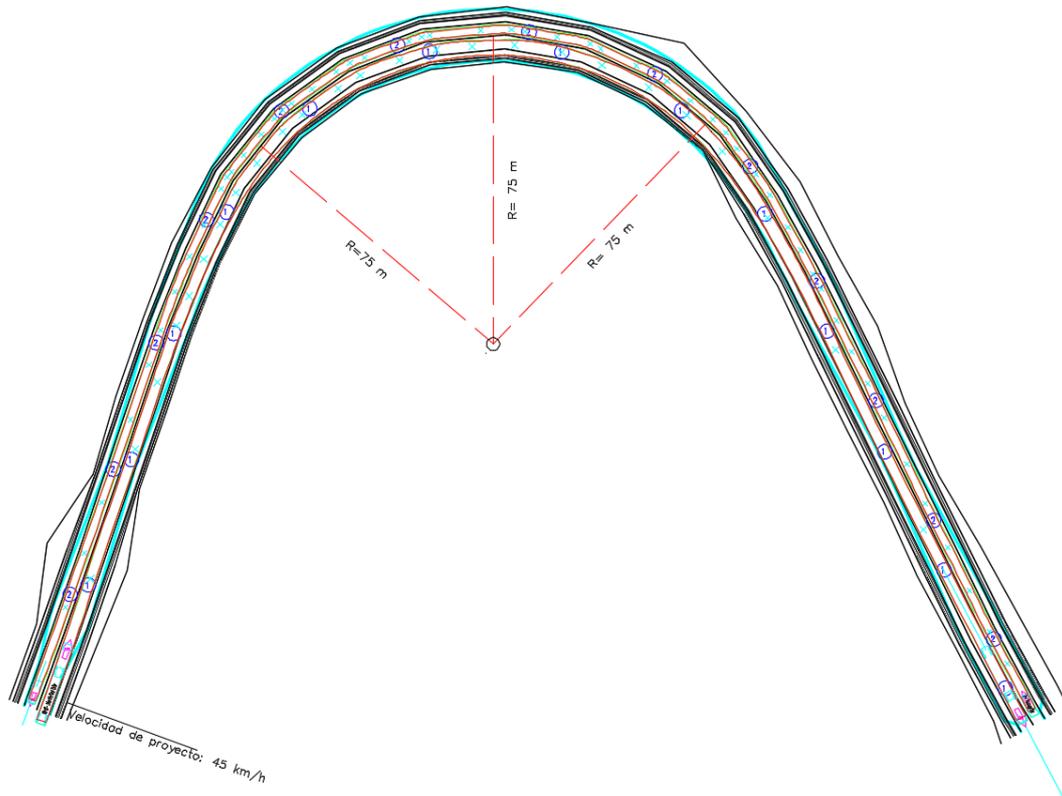
Tabla 13 Resultado del Estado del diseño geométrico

Ponderación	Descripción
0 – 0.5	Diseño geométrico deficiente

Fuente: Juicio de expertos

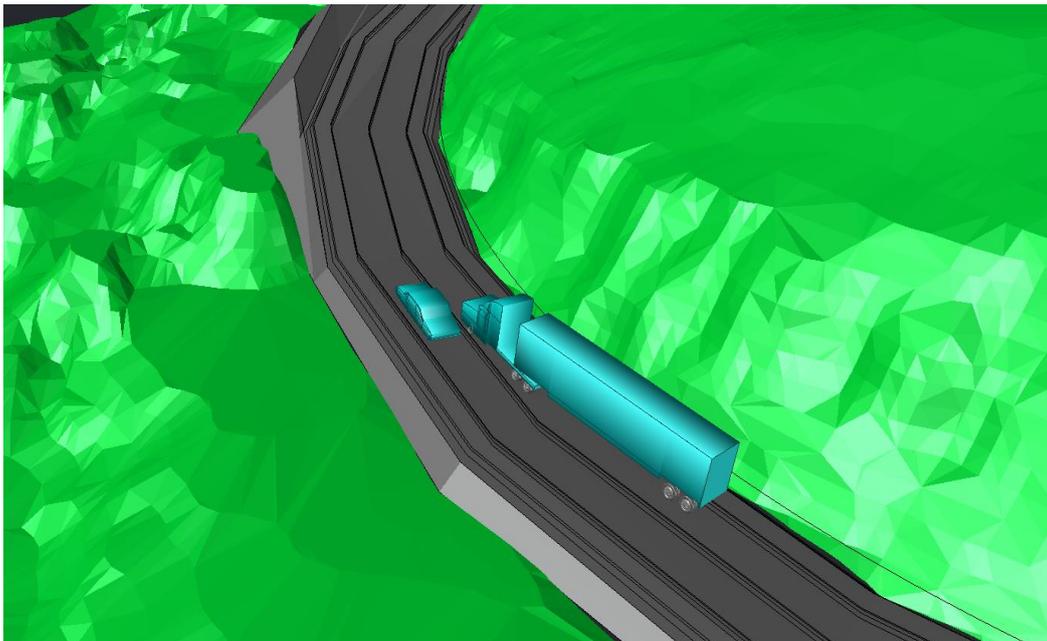
Adicionalmente a la evaluación a través de los indicadores, se simuló la curva existente mediante la extensión de Vehicle Tracking de Civil 3D. Para esta simulación, se seleccionó un semirremolque con una longitud total de 20.88 m y un ancho de 2.59 m, ya que se asemeja al vehículo más grande registrado durante el conteo vehicular, un tractocamión de tres ejes y semirremolque de tres ejes (3S3) con una longitud de 20.50 m y un ancho de 2.60 m según la norma NEVI. Durante la emulación en la dirección Santa Rosa - Torata, se observó que el remolque se salía del carril hacia el lado derecho, invadiendo la cuneta; en la dirección opuesta, invadía el otro carril. La distancia entre los vehículos de ambos carriles era apenas de 0.80 m. La emulación, junto con la evaluación previa, confirmó de manera concluyente que el diseño actual es deficiente.

Ilustración 10 Diseño geométrico de la curva actual - Radio 75 m



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11 Simulación de la curva actual



Fuente: Elaboración propia

4.3. Propuesta de diseño geométrico de la curva seleccionada en la vía E50

Se propone una alternativa de diseño geométrico para la curva analizada, la cual no solo cumple con lo establecido por las normativas ecuatorianas vigentes, sino que también aborda de manera eficiente el problema de congestión vehicular. En la propuesta se incorpora un carril adicional de ascenso, brindando a los vehículos más lentos la posibilidad de moverse por un carril separado. Esta medida está diseñada para mejorar la fluidez del tráfico y reducir la congestión en tramos inclinados. En la tabla 14 se presenta una comparación detallada entre las características de la curva existente y la nueva propuesta de diseño.

Tabla 14 Comparación de las características de la curva de estudio

Parámetros	Curva actual	Propuesta de diseño
Capacidad vial	Carretera de dos carriles Tipo C2	Carretera de dos carriles Tipo C1
N° de carriles	2	3
Velocidad	45 km/h	60 km/h
Radio de curva	75 m	110 m
Ancho de carril	3.65 m	3.65 m
Ancho de berma	1.19 m	1.5 m
Peralte	8.3 %	10 %
Pendiente	7.78 %	7.12 %

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15 se presentan los resultados de los seis indicadores del diseño propuesto evaluados, cada uno acompañado de su respectiva ponderación.

Tabla 15 Resultados de la evaluación

Proceso	Indicador	Definición	Cumple	Ponderación
Diseño Geométrico	Velocidad	Velocidad con la que el conductor ingresa a la curva	No	0
	Radio de curva	Distancia desde el centro de la curva hasta un punto específico en la trayectoria de dicha curva	Si	0.20
	Ancho de carril	Distancia entre los límites de un carril	Si	0.15
	Ancho de berma	Espacio lateral adicional entre la calzada y el borde de la carretera	Si	0.15
	Peralte	Inclinación lateral de la superficie de la calzada en la curva	Si	0.15
	Pendiente	Inclinación de la carretera	Si	0.15
TOTAL				0.80

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la metodología propuesta, se alcanzó una ponderación final de 0.80, señalando así que la nueva propuesta de diseño geométrico de la curva se encuentra en un estado óptimo.

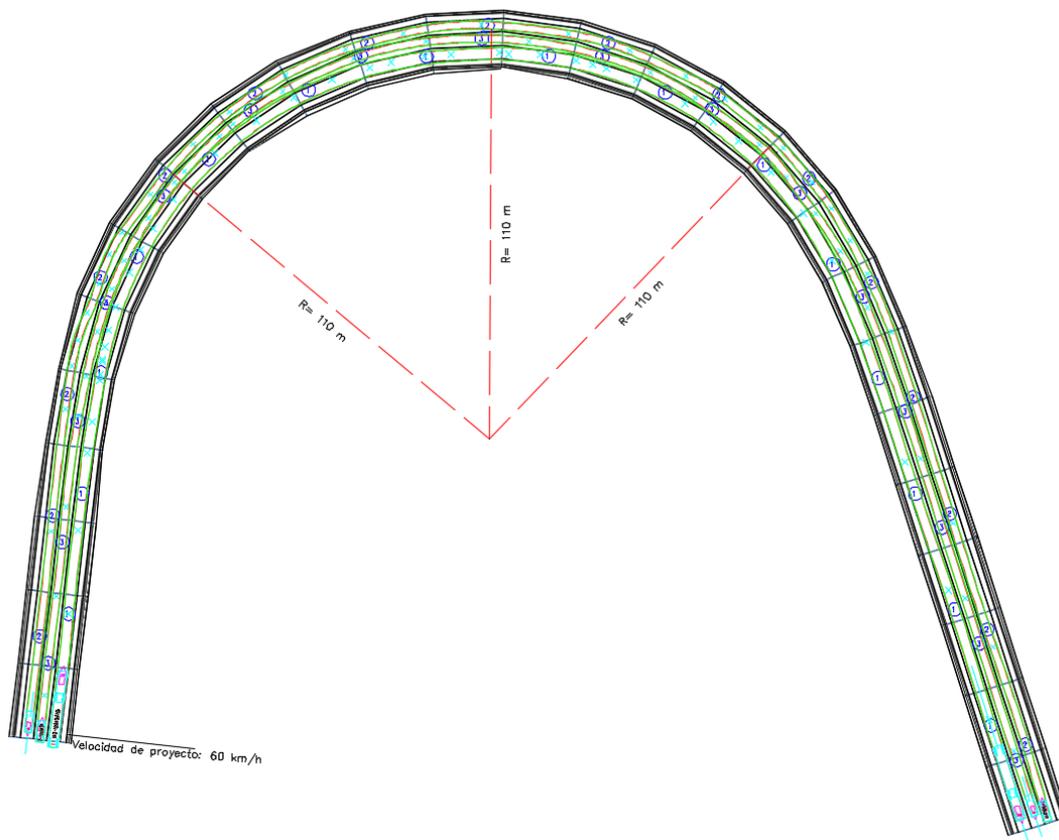
Tabla 16 Resultado del Estado del diseño geométrico

Ponderación	Descripción
0.75 – 1	Diseño geométrico óptimo

Fuente: Juicio de expertos

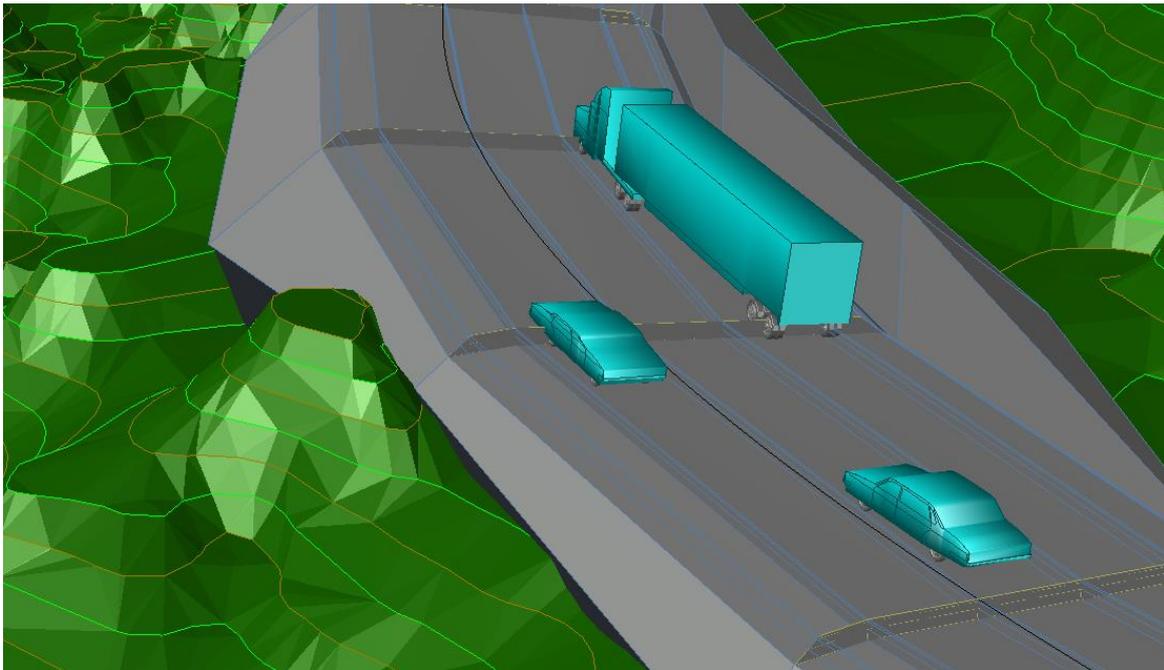
Teniendo en cuenta todos estos parámetros, se llevó a cabo una simulación de la curva, y se observó que, al utilizar el mismo vehículo, este ya no se salía hacia la cuneta ni invadía el otro carril. Además, la distancia entre los vehículos de ambos carriles aumentó a 1.4 metros. Esta alternativa de diseño cumple con las normas y aborda los problemas identificados durante la evaluación. Esta mejora contribuye a minimizar los riesgos de accidentes y a mejorar la experiencia de conducción en curvas de carreteras de montaña.

Ilustración 12 Propuesta de diseño geométrico de la curva - Radio 110 m



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13 Simulación del diseño propuesto



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El estudio se fundamentó en la revisión bibliográfica de varios artículos, los cuales abordaron parámetros esenciales del diseño geométrico de curvas en carreteras de montaña. A través del análisis de indicadores clave, que evaluaron elementos cruciales como clasificación de la vía, velocidad, radio de curva, ancho de carril, ancho de berma, pendiente y peralte, en conjunto con el uso del software AutoCAD Civil 3D. Este enfoque permitirá mejorar el diseño de las curvas, reduciendo significativamente su nivel de peligro y contribuyendo la seguridad y eficiencia del tránsito vehicular en terrenos montañosos.

Se identificaron los elementos determinantes en el diseño de curvas, y con ello se evaluó la curva de estudio mediante seis indicadores, de los cuales tres cumplieron con las normativas ecuatorianas vigentes, mientras que otros tres no las cumplieron. Se detectaron problemas en cuanto a la capacidad vial, ya que la clasificación obtenida no concuerda con el modelo actual. Por otro lado, en el análisis del diseño geométrico se evidenció que los vehículos superaban la velocidad de diseño, lo que ocasionaba complicaciones para conductores de vehículos pesados y livianos. A esto se suma que tanto el radio de curva como el ancho de la berma eran demasiado pequeños, dificultando el ingreso de vehículos pesados y propiciando invasiones en la cuneta. En consecuencia, el juicio de expertos presentado en la tabla 12, da una ponderación de 0.45 indica que el diseño geométrico actual es deficiente.

Con base en los problemas identificados durante la evaluación, se presenta una propuesta de diseño geométrico para la curva de la carretera analizada. Los ajustes realizados incluyen aspectos como la velocidad, el radio de curva y el ancho de berma, todos adaptados a la nueva clasificación obtenida. Estos cambios se implementaron con el objetivo de cumplir con los estándares establecidos por las normativas vigentes en Ecuador. Además, como medida para mejorar la fluidez del tráfico y reducir la congestión vehicular, se implementó un carril de ascenso destinado a vehículos pesados. La validación de esta propuesta se llevó a cabo mediante la simulación realizada a través de la extensión de Vehicle Tracking de Civil 3D y el juicio de expertos de la nueva propuesta de diseño presentada en la tabla 15, evidenciando que el nuevo diseño es aceptable y resuelve las deficiencias identificadas, ya que la nueva ponderación de 0.80, indica un diseño geométrico óptimo. Esta alternativa brinda un servicio de seguridad vial eficiente.

Referencias Bibliográficas

- Ali, Y., Haque, Md. M., Zheng, Z., Washington, S., & Yildirimoglu, M. (2019). A hazard-based duration model to quantify the impact of connected driving environment on safety during mandatory lane-changing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 106, 113–131. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.07.015>
- Altamira, A. L. (2020). Diseño Geométrico de Caminos de Montaña: particularidades y desafíos. *Avances Investigación En Ingeniería*, 17(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7003>
- Baque Solis, J. E. C. T. L. M. P. P. B. G. (2022). Comparative topographic analysis on altimetric surveys with RTK GNSS, Total Station and Drone in Manta. *Polo Del Conocimiento Revista Científico - Profesional*, 1–17. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9227632>
- Barendswaard, S., Breugel, L. van, Schelfaut, B., Sluijter, J., Zuiker, L., Pool, D. M., Boer, E. R., & Abbink, D. A. (2019). Effect of Velocity and Curve Radius on Driver Steering Behaviour before Curve Entry. *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 3866–3871. <https://doi.org/10.1109/SMC.2019.8914263>
- Chaudhari, P. M., Goyani, J., Arkatkar, S., Joshi, G., & Easa, S. M. (2022). Design Consistency Evaluation of Two-Lane Rural Highways in Hilly Terrains. *Transportation Research Procedia*, 62, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.010>
- Chen, T., Zhang, M., & Wei, L. (2014). Driver Behavior on Combination of Vertical and Horizontal Curves of Mountainous Freeways. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/432841>
- Ciampa, D., & Olita, S. (2022). Mountain Roads' Geometric Design: Methodological Proposal for Hairpin Bend Design/Retrofitting. *Infrastructures*, 7(9), 112. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7090112>
- Costa, A. T., Figueira, A. C., & Larocca, A. P. C. (2022). An eye-tracking study of the effects of dimensions of speed limit traffic signs on a mountain highway on drivers' perception. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 87, 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.03.013>

- Cvitanić, D., & Maljković, B. (2019). Determination of Applicable Adjacent Horizontal Curve Radii Using Operating Speed. *PROMET - Traffic & Transportation*, 31(4), 443–452. <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i4.3088>
- Dashti Latif, S. (2020). Design of Horizontal and Vertical Alignment for the Centerline of a Federal Highway. *International Journal of Engineering and Manufacturing*, 10(3), 27–42. <https://doi.org/10.5815/ijem.2020.03.03>
- DU, Y., YUE, L., & LIU, S. (2019). Optimization of Combined Horizontal and Vertical Curves Design of Mountain Road Based on Vehicle-Road Coordination Model. *2019 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, 16–24. <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2019.8883680>
- Fric, S., Trpčevski, F., Gavran, D., Ilić, V., Vranjevac, S., & Lukić, M. (2022). Road safety inspection – Incompatibility between the function of the road and the typical cross section – Belgrade’s Northern Arterian Tangent. *2nd Macedonian Road Congress*, 424–431. <https://grafar.grf.bg.ac.rs/handle/123456789/2784>
- García-Ramírez, Y. D., & Aguilar-Cárdenas, D. (2020). Passengers’ comfort in horizontal curves on mountain roads: a field study using lateral accelerations. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200578>
- González Silva, J. E., León Bonilla, B. G., Sánchez Mendieta, C. E., & Medina Sánchez, Y. P. (2023). Methodology For The Sustainable Geometric Design Of Road Axes In Inter-Cantonal Roads. *Revista Ciencia y Construcción*, 4(3), 30–44. <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/198>
- Gülci, S., Acar, H. H., Akay, A. E., & Gülci, N. (2022). Evaluation of Automatic Prediction of Small Horizontal Curve Attributes of Mountain Roads in GIS Environments. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/ijgi11110560>
- Li, H., Luo, P., Yang, H., Luo, C., Xie, W., Jia, H., Cheng, Y., & Huang, Y. (2022). Assessing the effect of roads on mountain plant diversity beyond species richness. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.985673>
- Liu, Y., Qiao, J., Hu, Y., Fang, T., Xu, T., Xiang, Y., & Han, Y. (2020). Determination of Curve Speed Zones for Mountainous Freeways. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/8844004>

- Marin Aguilar, J. D., & Roja Morcote, N. (2015). *Propuesta de un diseño geométrico de una autopista a doble nivel para la calle 13 entre la avenida Boyacá hasta la intersección con la propuesta del anillo vial para Bogotá* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3692>
- Mestanza Rosero, R. C. (2019). *Estudio de la mejora de la seguridad vial en la carretera E35/E50, tramo Loja-Catamayo de la provincia de Loja, Ecuador*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/122019>
- Moomen, M., Rezapour, M., Raja, M. N., & Ksaibati, K. (2019). Evaluating the safety effectiveness of downgrade warning signs on vehicle crashes on Wyoming mountain passes. *Cogent Engineering*, 6(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1580405>
- Pulugurtha, S. S., & Mathew, S. (2021). Modeling AADT on local functionally classified roads using land use, road density, and nearest nonlocal road data. *Journal of Transport Geography*, 93, 103071. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103071>
- Rodríguez Gutierrez, Y., García Depestre, R. A., & Gálvez Herrera, L. E. (2023). Procedimiento para determinar la velocidad promedio de viaje en carreteras rurales de dos carriles, Cuba. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 17(1), 1–12. <https://www.redalyc.org/journal/1939/193974540002/html/>
- Tang, Y., Peng, X., Xu, S., Bai, M., Lin, L., & Sun, H. (2022). Study on Driver Gaze Characteristics in Sight Distance Limited Section of Mountain Highway Based on Visual Information. *Journal of Mathematics*, 2022, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/9482875>
- Vignali, V., Acerra, E. M., Lantieri, C., Di Vincenzo, F., Piacentini, G., & Pancaldi, S. (2021). Building information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure. *Automation in Construction*, 128, 103752. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103752>
- Wang, B., Hallmark, S., Savolainen, P., & Dong, J. (2018). Examining vehicle operating speeds on rural two-lane curves using naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention*, 118, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.017>
- Wang, X., & Wang, X. (2018). Speed change behavior on combined horizontal and vertical curves: driving simulator-based analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 119, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.019>

- Wilches, F. J., Burbano, J. L. A., & Sierra, E. E. C. (2020). Vehicle operating speeds in southwestern Colombia: An important database for the future implementation of optimization models for geometric design of roads in mountain topography. *Data in Brief*, 32, 106210. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106210>
- You, R. W. (2014). Safety Design on Small Radius Curve of Mountain Road. *Applied Mechanics and Materials*, 587–589, 981–984. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.587-589.981>
- Yu, B., Chen, Y., Bao, S., & Xu, D. (2018). Quantifying drivers' visual perception to analyze accident-prone locations on two-lane mountain highways. *Accident Analysis & Prevention*, 119, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.014>
- Yu, Z., Chen, Y., Zhang, X., & Xu, J. (2021). Track Behavior and Crash Risk Analysis of Passenger Cars on Hairpin Curves of Two-Lane Mountain Roads. *Journal of Advanced Transportation*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4906360>
- Yue, L., & Wang, H. (2019). An Optimization Design Method of Combination of Steep Slope and Sharp Curve Sections for Mountain Highways. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019. <https://doi.org/doi.org/10.1155/2019/2416342>
- Yue, L., Wang, H., & Xu, Z. (2019). Optimized Geometric Design of Mountain Highways based on a Vehicle-Road Coordination Model. *2019 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, 1251–1257. <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2019.8883819>
- Zepeda Ortega, I. E., Ángeles-Castro, G., & Carrillo-Murillo, D. G. (2019). Infraestructura carretera y crecimiento económico en México. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 50(198). <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2019.198.66383>
- Zhang, H., Zhang, M., Zhang, C., & Hou, L. (2021). Formulating a GIS-based geometric design quality assessment model for Mountain highways. *Accident Analysis & Prevention*, 157, 106172. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106172>

Anexos

Anexo 1: Proceso de jerarquía analítica (AHP)

Diseño Geométrico		Diseño Geométrico					
		Velocidad	Radio de curva	Ancho de carril	Peralte	Pendiente	Ancho de berma
Diseño Geométrico	Velocidad	1	1	1,20	1,20	1,50	1,50
	Radio de curva	1	1	1,50	1,50	1,20	1,20
	Ancho de carril	0,83	0,67	1	1,00	1,00	1,00
	Peralte	0,83	0,67	1	1	1,00	1,00
	Pendiente	0,67	0,83	1	1	1	1,00
	Ancho de berma	0,67	0,83	1	1	1	1

Seguridad vial	Velocidad	0,2	1
	Radio de curva	0,2	
	Ancho de carril	0,15	
	Peralte	0,15	
	Pendiente	0,15	
	Ancho de berma	0,15	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: TPDA Santa Rosa – Torata

CLASIFIC. FDOT		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	TDPS	FM	Factor de ajuste diario	TPDA actual
TIPOS		Livianos			Camiones Livianos			Camiones Pesados							
MTOP		Motos	Autos	Camionetas	2DA	2DB	V3A	3S1	3S2	3S3					
Fecha de conteo	Día														
7-dic-23	Jueves	70	429	562	309	91	77	36	5	27	1606	2880	0,878	1,793	2957
8-dic-23	Viernes	88	745	1050	334	141	104	48	15	39	2564			1,123	
9-dic-23	Sábado	129	1850	2005	457	187	115	69	26	28	4866			0,592	
TOTAL		287	3024	3617	1100	419	296	153	46	94	9036			1,169	
TPDS		93	948	1149	360	136	98	50	15	32	2881				
%TPDS		3%	33%	40%	12%	5%	3%	2%	1%	1%	100%				
TPDA Actual		95	973	1180	370	140	101	51	15	33	2958				
%TPDA Actual		3%	33%	40%	13%	5%	3%	2%	1%	1%	100%				
TPDA Asignado		124	1265	1534	481	182	131	66	20	43	3845				
%TPDA Asignado		3%	33%	40%	13%	5%	3%	2%	1%	1%	100%				

Año	n	TIPOS DE VEHICULOS										Total
		%	Motos	%	Livianos	%	Buses	%	C. Livianos	%	C. Pesados	
2023	0		124		2799		182		612		129	3845
2024	1	3,75%	128	3,75%	2904	1,90%	185	2,24%	626	2,24%	132	3975
2025	2	3,75%	133	3,75%	3013	1,90%	189	2,24%	640	2,24%	135	4110
2026	3	3,75%	138	3,75%	3126	1,90%	193	2,24%	654	2,24%	138	4249
2027	4	3,75%	143	3,75%	3243	1,90%	196	2,24%	669	2,24%	141	4392
2028	5	3,75%	148	3,75%	3365	1,90%	200	2,24%	684	2,24%	144	4541
2029	6	3,75%	154	3,75%	3491	1,90%	204	2,24%	699	2,24%	147	4695
2030	7	3,75%	160	3,75%	3622	1,90%	208	2,24%	715	2,24%	150	4855
2031	8	3,75%	166	3,75%	3757	1,90%	212	2,24%	731	2,24%	154	5020
2032	9	3,75%	172	3,75%	3898	1,90%	216	2,24%	747	2,24%	157	5190
2033	10	3,75%	178	3,75%	4045	1,90%	220	2,24%	764	2,24%	161	5368
2034	11	3,75%	185	3,75%	4196	1,90%	224	2,24%	781	2,24%	164	5550
2035	12	3,75%	192	3,75%	4354	1,90%	228	2,24%	799	2,24%	168	5741
2036	13	3,75%	199	3,75%	4517	1,90%	232	2,24%	817	2,24%	172	5937
2037	14	3,75%	207	3,75%	4686	1,90%	237	2,24%	835	2,24%	175	6140
2038	15	3,75%	215	3,75%	4862	1,90%	241	2,24%	854	2,24%	179	6351
2039	16	3,75%	223	3,75%	5044	1,90%	246	2,24%	873	2,24%	183	6569
2040	17	3,75%	231	3,75%	5233	1,90%	251	2,24%	892	2,24%	188	6795
2041	18	3,75%	240	3,75%	5430	1,90%	255	2,24%	912	2,24%	192	7029
2042	19	3,75%	249	3,75%	5633	1,90%	260	2,24%	933	2,24%	196	7271
2043	20	3,75%	258	3,75%	5845	1,90%	265	2,24%	954	2,24%	200	7522

Clasificación de Vía

Descripción	Clasificación funcional	TPDF Esperado
Autopista	AP1 o AP2	> 50000
Autovía o Carretera multicarril	AV2	26000 - 50000
	AV1	8000 - 26000
Carreteras de 2 carriles	C1	1000 - 8000
	C2	500 - 1000
	C3	< 500

TRAFICO FUTURO
= 7522

CLASIFICACION MTOP:
Carreteras de 2 carriles C1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: TPDA Torata – Santa Rosa

CLASIFIC. FDOT		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	TDPS	FM	Factor de ajuste diario	TPDA actual
TIPOS		Livianos			Camiones Livianos			Camiones Pesados							
MTOP		Motos	Autos	Camionetas	2DA	2DB	V3A	3S1	3S2	3S3					
Fecha de conteo	Día														
7-dic-23	Jueves	79	472	596	259	100	64	23	9	22	1624	3009	0,878	1,853	3200
8-dic-23	Viernes	105	742	974	304	154	79	34	18	43	2453			1,227	
9-dic-23	Sábado	254	2032	2005	458	423	107	65	35	56	5435			0,554	
TOTAL		438	3246	3575	1021	677	250	122	62	121	9512			1,211	
TPDS		138	1014	1134	332	212	82	39	20	39	3010				
%TPDS		5%	34%	38%	11%	7%	3%	1%	1%	1%	100%				
TPDA Actual		147	1078	1206	353	225	87	41	21	41	3199				
%TPDA Actual		5%	34%	38%	11%	7%	3%	1%	1%	1%	100%				
TPDA Asignado		191	1401	1568	459	293	113	53	27	53	4159				
%TPDA Asignado		5%	34%	38%	11%	7%	3%	1%	1%	1%	100%				

Año	n	TIPOS DE VEHICULOS										Total
		%	Motos	%	Livianos	%	Buses	%	C. Livianos	%	C. Pesados	
2023	0		191		2969		100		572		134	3966
2024	1	3,75%	198	3,75%	3081	1,90%	102	2,24%	585	2,24%	137	4103
2025	2	3,75%	206	3,75%	3196	1,90%	104	2,24%	598	2,24%	140	4244
2026	3	3,75%	213	3,75%	3316	1,90%	106	2,24%	611	2,24%	143	4389
2027	4	3,75%	221	3,75%	3440	1,90%	108	2,24%	625	2,24%	146	4540
2028	5	3,75%	230	3,75%	3569	1,90%	110	2,24%	639	2,24%	150	4698
2029	6	3,75%	238	3,75%	3703	1,90%	112	2,24%	653	2,24%	153	4859
2030	7	3,75%	247	3,75%	3842	1,90%	114	2,24%	668	2,24%	156	5027
2031	8	3,75%	257	3,75%	3986	1,90%	116	2,24%	683	2,24%	160	5202
2032	9	3,75%	266	3,75%	4136	1,90%	118	2,24%	698	2,24%	163	5381
2033	10	3,75%	276	3,75%	4291	1,90%	121	2,24%	714	2,24%	167	5569
2034	11	3,75%	287	3,75%	4452	1,90%	123	2,24%	730	2,24%	171	5763
2035	12	3,75%	297	3,75%	4618	1,90%	125	2,24%	746	2,24%	175	5961
2036	13	3,75%	308	3,75%	4792	1,90%	128	2,24%	763	2,24%	179	6170
2037	14	3,75%	320	3,75%	4971	1,90%	130	2,24%	780	2,24%	183	6384
2038	15	3,75%	332	3,75%	5158	1,90%	133	2,24%	797	2,24%	187	6607
2039	16	3,75%	344	3,75%	5351	1,90%	135	2,24%	815	2,24%	191	6836
2040	17	3,75%	357	3,75%	5552	1,90%	138	2,24%	834	2,24%	195	7076
2041	18	3,75%	371	3,75%	5760	1,90%	140	2,24%	852	2,24%	200	7323
2042	19	3,75%	385	3,75%	5976	1,90%	143	2,24%	871	2,24%	204	7579
2043	20	3,75%	399	3,75%	6200	1,90%	146	2,24%	891	2,24%	209	7845

Clasificación de Vía

Descripción	Clasificación funcional	TPDF Esperado
Autopista	AP1 o AP2	> 50000
Autovía o Carretera multicarril	AV2	26000 - 50000
	AV1	8000 - 26000
Carreteras de 2 carriles	C1	1000 - 8000
	C2	500 - 1000
	C3	< 500

TRAFICO FUTURO
= 7845

CLASIFICACION MTOP:
**Carreteras de 2 carriles
C1**

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Normas MTOP

NORMAS	CLASE I 3 000 – 8 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE II 1 000 - 3 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE III 300 – 1 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE IV 100 – 300 TPDA ⁽¹⁾						CLASE V MENOS DE 100 TPDA ⁽¹⁾							
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA				
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O
Velocidad de diseño (K.P.H)	110	100	80	100	80	60	100	90	70	90	80	50	90	80	60	80	60	40	80	60	50	60	35	25 ⁽⁶⁾	60	50	40	50	35	25 ⁽⁶⁾		
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	275	160	275	210	75	275	210	110	210	110	42	210	110	75	110	30	20	110	75	42	75	30	20 ⁽⁶⁾		
Distancia de visibilidad para parada (m)	180	160	110	160	110	70	160	135	90	135	110	55	135	110	70	110	70	40	110	70	55	70	35	25	70	55	40	55	35	25		
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	830	690	565	690	565	415	690	640	490	640	565	345	640	565	415	565	415	270	480	290	210	290	150	110	290	210	150	210	150	110		
Peralte	MÁXIMO = 10%																		10% (Para V > 50 K.P.H.) 8% (Para V < 50 K.P.H.)													
Coefficiente "K" para: ⁽²⁾																																
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2		
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3		
Gradiente longitudinal ⁽³⁾ máxima (%)	3	4	6	3	5	7	3	4	7	4	6	8	4	6	7	6	7	9	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14		
Gradiente longitudinal ⁽⁴⁾ mínima (%)	0,5%																															
Ancho de pavimento (m)	7,3			7,3			7,0			6,70			6,70			6,00			6,00						4,00 ⁽⁸⁾							
Clase de pavimento	Carpeta Asfáltica y Hormigón						Carpeta Asfáltica						Carpeta Asfáltica o D.T.S.B.						D.T.S.B, Capa Granular o Empedrado						Capa Granular o Empedrado							
Ancho de espaldones ⁽⁵⁾ estables (m)	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	0,5	0,60 (C.V. Tipo 6 y 7)						---							
Gradiente transversal para pavimento (%)	2,0						2,0						2,0						2,5 (C.V. Tipo 6 y 7) 4,0 (C.V. Tipo 5 y 5E)						4,0							
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 ⁽⁶⁾ - 4,0						2,0 - 4,0						2,0 - 4,0						4,0 (C.V. Tipo 5 y 5E)						---							
Curva de transición	USENSE ESPIRALES CUANDO SEA NECESARIO																															
Puentes	Carga de diseño	HS - 20 - 44; HS - MOP; HS - 25																														
	Ancho de la calzada (m)	SERA LA DIMENSION DE LA CALZADA DE LA VIA INCLUIDOS LOS ESPALDONES																														
	Ancho de Aceras (m) ⁽⁷⁾	0,50 m mínimo a cada lado																														
Minimo derecho de vía (m)	Según el Art. 3º de la Ley de Caminos y el Art. 4º del Reglamento aplicativo de dicha Ley																															
LL = TERRENO PLANO 0 = TERRENO ONDULADO M = TERRENO MONTAÑOSO																																

Anexo 5: Normas NEVI – Pendientes máximas

Orografía	Terreno Plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso	Terreno Escarpado
Velocidad (Km/h)				
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8
70	7	7	7	7
80	7	7	7	7
90	6	6	6	6
100	6	5	5	5
110	5	5	5	5

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12

Anexo 6: Evidencia fotográfica y Planos

Aforo vehicular



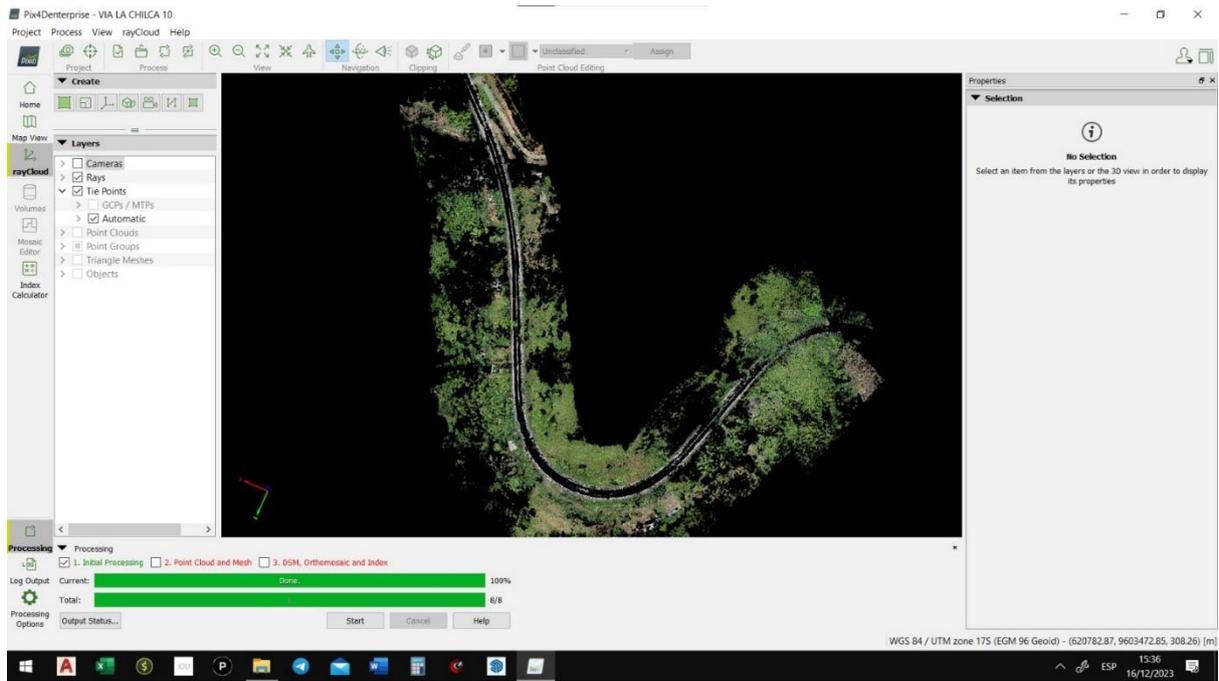


Aforo de velocidades



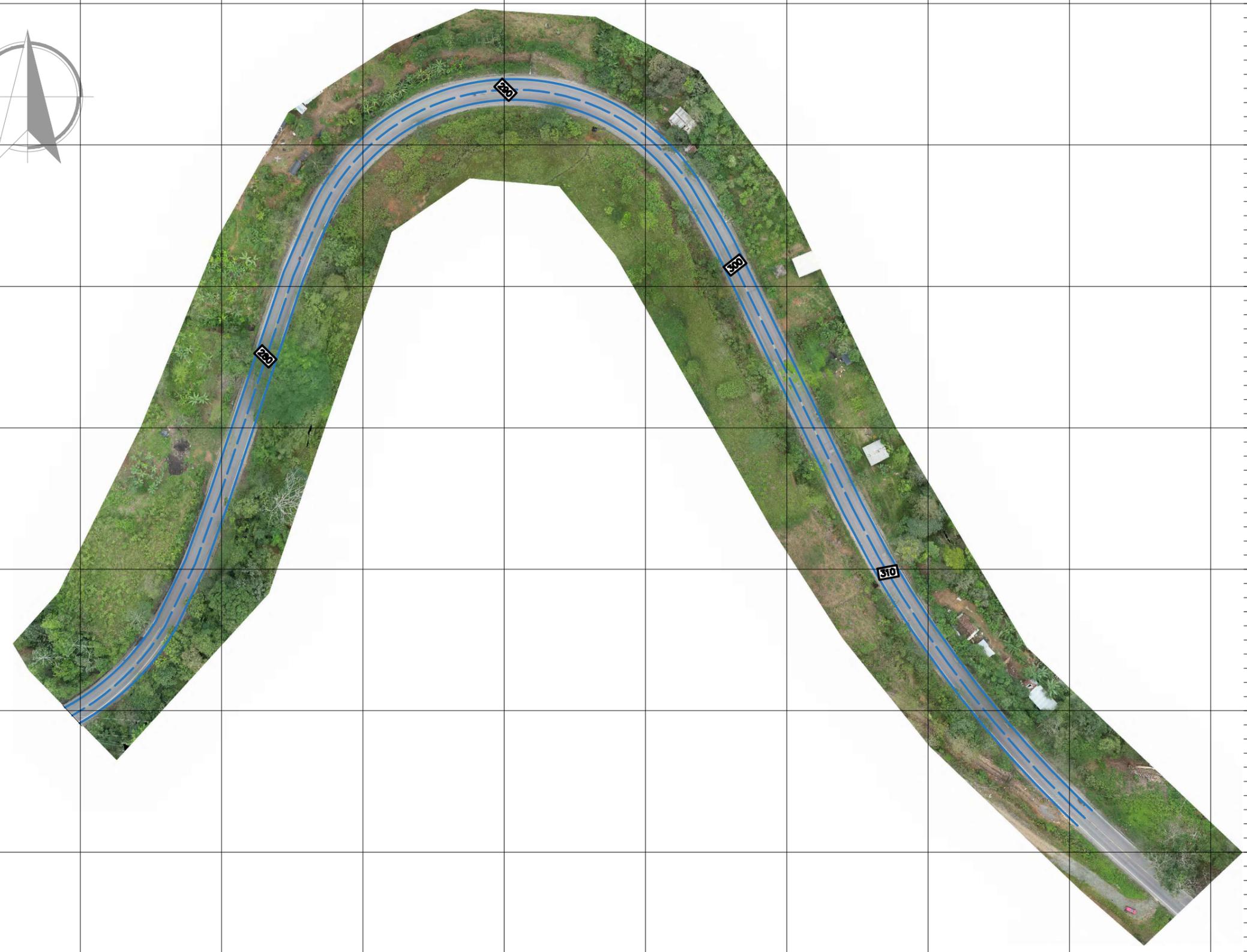
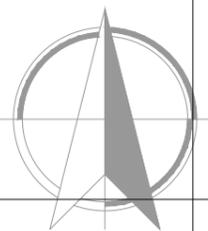
Levantamiento topográfico





620500 620550 620600 620650 620700 620750 620800 620850 620900

9603600
9603550
9603500
9603450
9603400
9603350
9603300

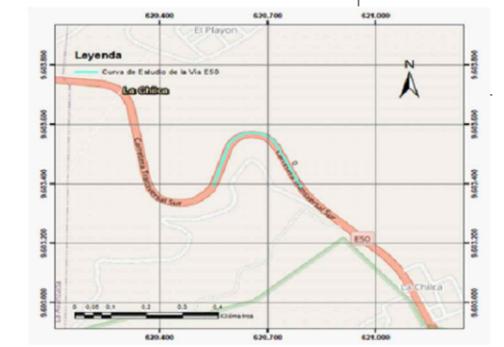


620500 620550 620600 620650 620700 620750 620800 620850 620900

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



PLANO DE UBICACIÓN



SECTOR: **La chilca** PARROQUIA: **Torata**

CANTÓN: **Santa Rosa** PROVINCIA: **EI ORO**

PROYECTO:
VISTA EN PLANTA DE LA VÍA

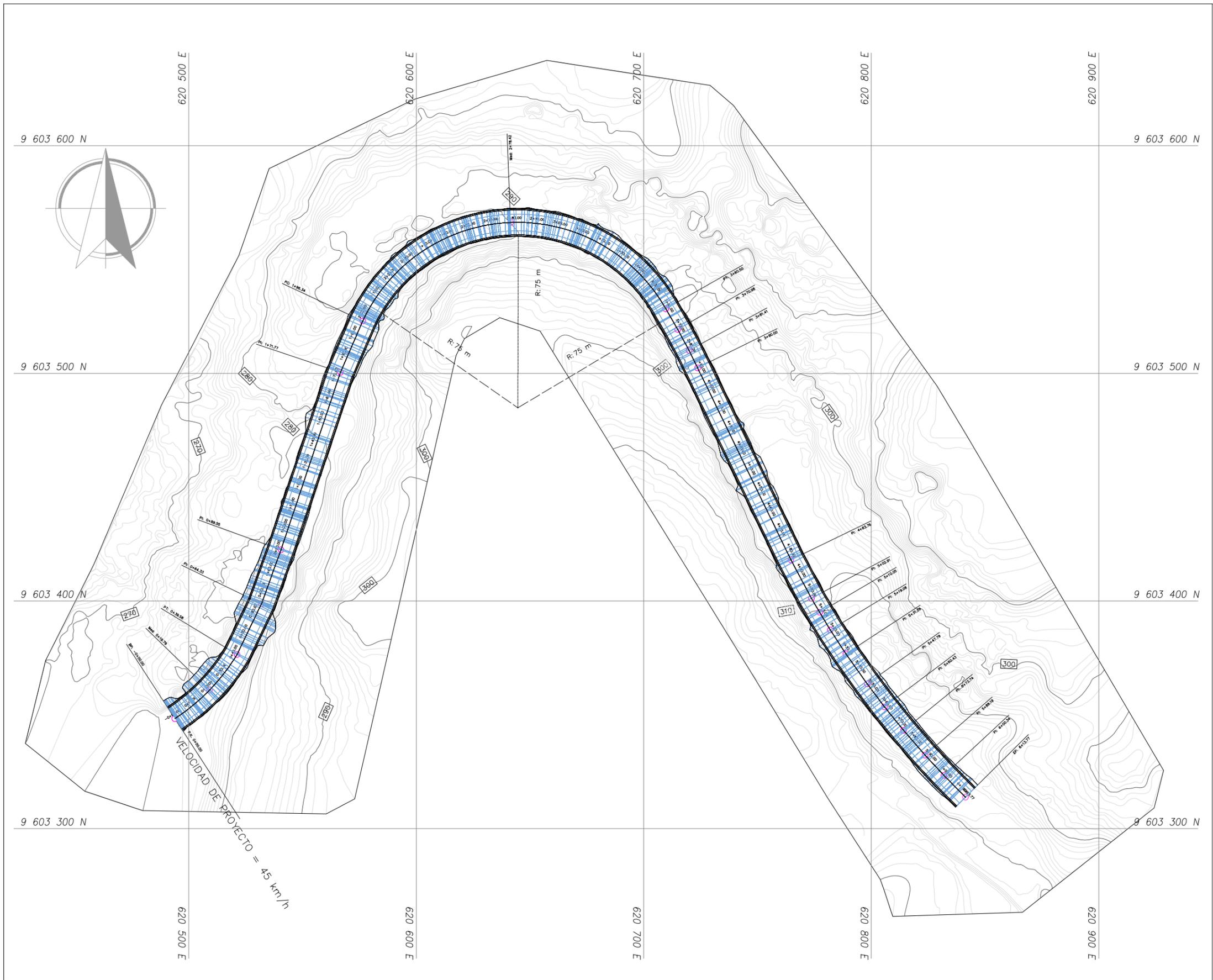
CONTENIDO:
-LEVANTAMIENTO DE LA VÍA
-ORTOFOTO

REVISADO POR:
Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, M.Sc.

DISEÑADO POR:
GABRIEL OSWALDO GALARZA MOROCHO
CRISTHIAN MAURICO GAONA ROMÁN

FECHA:
11/03/2024
ESCALA:
1:1500

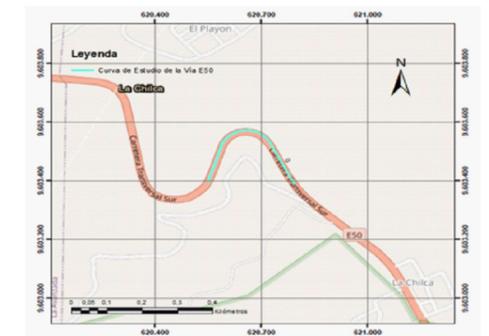
LAMINA:
1/4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



PLANO DE UBICACIÓN



SECTOR: La chilca	PARROQUIA: Torata
-----------------------------	-----------------------------

CANTÓN: Santa Rosa	PROVINCIA: EI ORO
------------------------------	-----------------------------

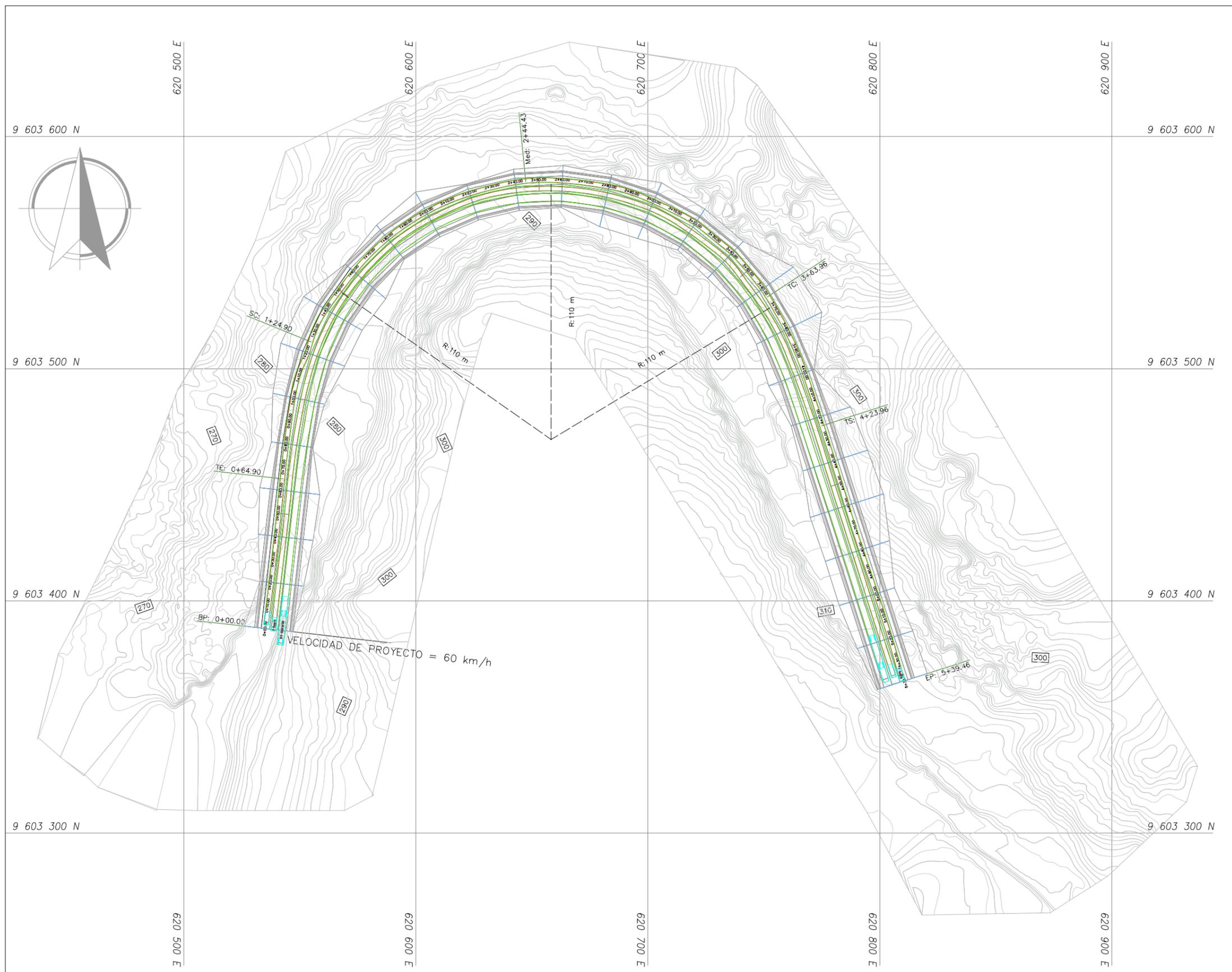
PROYECTO:
VISTA EN PLANTA DE LA VÍA ACTUAL

CONTENIDO:
**-DISEÑO ACTUAL DE LA VÍA
-CURVAS DE NIVEL**

REVISADO POR:
Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, M.Sc.

DISEÑADO POR:
**GABRIEL OSWALDO GALARZA MOROCHO
CRISTHIAN MAURICO GAONA ROMÁN**

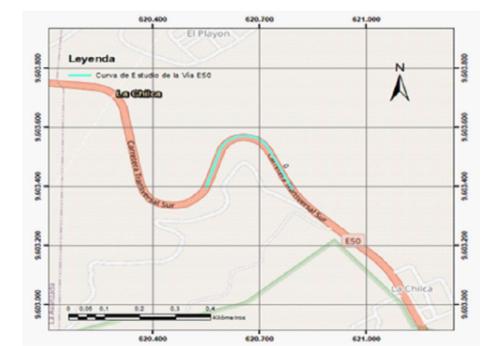
FECHA: 11/03/2024	LAMINA: 2/4
ESCALA: 1:1650	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



PLANO DE UBICACIÓN



SECTOR: La chilca	PARROQUIA: Torata
CANTÓN: Santa Rosa	PROVINCIA: El ORO

PROYECTO:
DISEÑO PROPUESTA DE LA VÍA

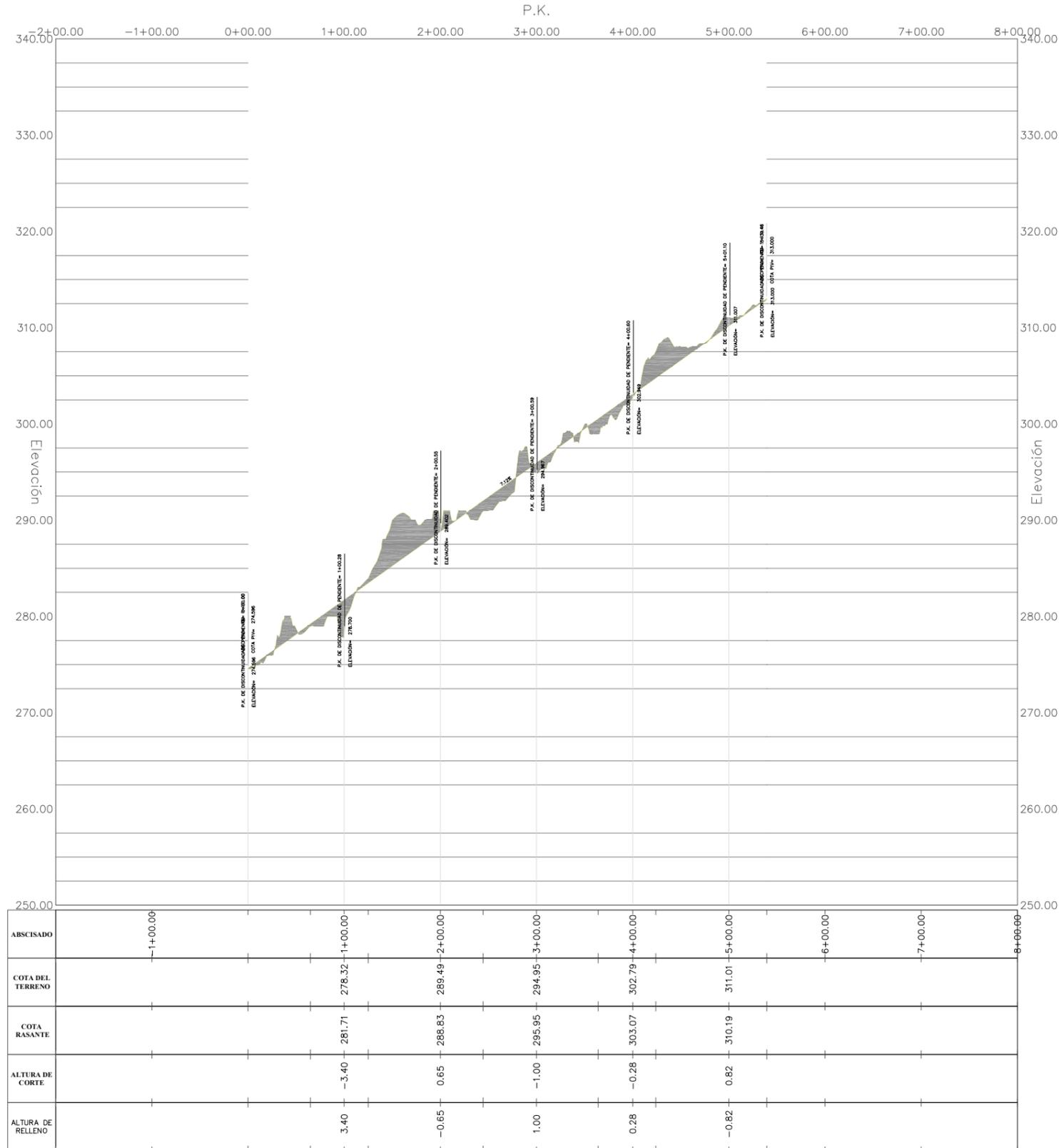
CONTENIDO:
**-CURVAS DE NIVEL
-CARRETERA CON TRES
CARRILES**

REVISADO POR:
Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, M.Sc.

DISEÑADO POR:
**GABRIEL OSWALDO GALARZA MOROCHO
CRISTHIAN MAURICO GAONA ROMÁN**

FECHA: 11/03/2024	LAMINA: 3/4
ESCALA: 1:1650	

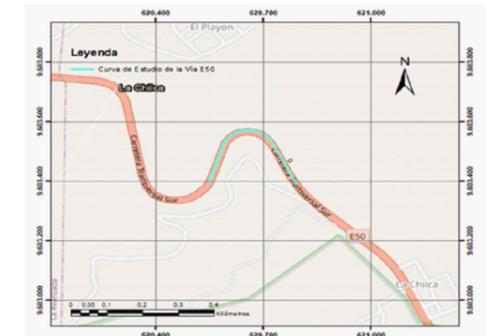
PERFIL LONGITUDINAL- NUEVO DISEÑO -2+00.00 - 8+00.00



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



PLANO DE UBICACIÓN



SECTOR: **La chilca** PARROQUIA: **Torata**

CANTÓN: **Santa Rosa** PROVINCIA: **EI ORO**

PROYECTO:
CORTE Y RELLENO DE LA VÍA LA CHILCA-TORATA

CONTENIDO:
- PERFIL LONGITUDINAL

REVISADO POR:
Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, M.Sc.

DISEÑADO POR:
GABRIEL OSWALDO GALARZA MOROCHO
CRISTHIAN MAURICO GAONA ROMÁN

FECHA: **11/03/2024** LAMINA: **4/4**
ESCALA: **1:1650**