



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
CENTRO DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE DISEÑOS GEOMÉTRICOS
EN CARRETERAS DE MONTAÑA.**

AUTOR: EDDY ALFREDO MORQUECHO ARICHABALA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL, MENCIÓN VIALIDAD**

TUTOR: ING. CIVIL CARLOS SANCHEZ MENDIETA. M.Sc.

**MACHALA
2024**

DEDICATORIA

A mis padres, que son el ejemplo de vida y superación. Ya que siempre han sido esa fuerza motriz que me permite continuar adelante y afrontar los problemas de la vida con valentía y perseverancia.

A mis hijos, que son el tesoro más grande que la vida me pudo dar, por su cariño y amor.

A mis amigos; que con optimismo y entusiasmo han sido motivación para continuar adquiriendo conocimiento. Además de contar siempre con su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Machala por brindarme la oportunidad de ser parte de ella y abrir sus puertas para poder estudiar este posgrado.

Un agradecimiento al tutor de tesis Ing. Carlos Sánchez Mendieta por su orientación y apoyo durante el desarrollo de la tesis. Así mismo, se le agradece por todos los conocimientos impartidos.

A todas aquellas personas que con su ayuda y apoyo han colaborado con el desarrollo de esta presente investigación.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

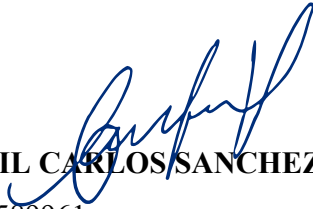
Los contenidos, ideas, criterios, análisis, conclusiones y propuesta emitidos en este informe del trabajo de investigación titulado “METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE DISEÑOS GEOMÉTRICOS EN CARRETERAS DE MONTAÑA”, son de exclusiva responsabilidad del autor.

EDDY ALFREDO MORQUECHO ARICHABALA
C.I. 0105528905

Machala, 2024/5/15

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de titulación “METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE DISEÑOS GEOMÉTRICOS EN CARRETERAS DE MONTAÑA” elaborado por la Ing. Eddy Alfredo Morquecho Arichabala, considero que ha sido realizado con prolijidad, fundamentación teórica y técnica; y, de acuerdo a los requisitos exigidos por la organización del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, mención Vialidad, por lo que autorizo su presentación ante las instancias de aprobación correspondiente.



ING. CIVIL CARLOS SANCHEZ MENDIETA. M.Sc
C.C. 0702589961

Machala, 2024/5/15

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ing. Eddy Alfredo Morquecho Arichabala, con cédula de ciudadanía No.- 0105528905, manifiesto en forma libre y voluntaria, ceder a la Universidad Técnica de Machala, los derechos de autor, consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículo 4, 5, y 6 en calidad de autora del trabajo de titulación denominado “METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE DISEÑOS GEOMÉTRICOS EN CARRETERAS DE MONTAÑA”, que ha sido desarrollado para optar por el título de Magister en Ingeniería Civil, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada, en concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica de Machala.

EDDY ALFREDO MORQUECHO ARICHABALA
C.I. 0105528905

Machala, 2024/5/15

RESUMEN

Los diseños geométricos de vías deben garantizar la seguridad vial y comodidad de los usuarios que la transitan. Para garantizar este requisito se comparó el cumplimiento de las normativas vigentes en el país con el diseño actual de la vía comprendida entre el Centro Parroquial de Santa Ana y el puente de Auquilula.

Se identificaron los puntos críticos de la vía para su evaluación geométrica y se propone un modelo evaluación para los diseños geométricos de vías. Este modelo de evaluación será de utilidad práctica para las diferentes entidades públicas que lo requieran.

Esta investigación pretender dar solución al problema: ¿Como los diseños geométricos de carreteras de montañas se encuentran relacionados con la seguridad vial?, para esto se propondrá una metodología de evaluación para los diseños geométricos que garanticen una seguridad vial en carreteras de montaña. Las cuáles fueron evaluadas con las normativas vigentes de los diseños geométricos de carreteras que son: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras – 2003 y la NEVI – 12, para complementar esta investigación se integró el análisis de consistencia geométrica de Lamm, que analiza la percepción de seguridad que tiene un usuario al transitar por la carretera de montaña.

Finalmente, se propuso la metodología de investigación que permite evaluar el cumplimiento de las normativas vigentes en el país, con valores ponderados que se pueden emplear en diseños de carreteras de diferentes características y entornos, para el caso de estudio específico se determinó que la vía es insegura, pues su porcentaje de cumplimiento es menor al 85%. Cabe mencionar que cada una de las características que intervienen en el diseño geométrico son importantes y contribuyen a la seguridad del conductor, sin embargo, se determinó que el ancho de carril, pendientes longitudinales, otorgan mayor seguridad a los conductores.

PALABRAS CLAVES

Diseño geométrico vial, carreteras de montaña, evaluación, metodología.

ABSTRACT

Roadway geometric designs must guarantee road safety and comfort for road users. To guarantee this requirement, compliance with the regulations in force in the country will be compared with the current state of the roads.

The critical points of the road will be identified for geometric evaluation and an evaluation model for road geometric designs will be proposed. This evaluation model will be of practical use for the different public entities that require it.

This research aims to solve the problem: How are the geometric designs of mountain roads related to road safety? For this purpose, an evaluation methodology will be proposed for geometric designs that guarantee road safety on mountain roads. These will be evaluated with the current regulations for geometric designs of roads, which are: Geometric Design Standards for Roads: Geometric Design Standards for Roads - 2003 and NEVI - 12.

For the execution of this research, the following methodologies will be used: bibliographic and internet research, field research, and documentary writing, which will be used to formulate an evaluation methodology for geometric designs that guarantee road safety on mountain roads.

KEYWORDS

Road geometric design, mountain roads, evaluation, methodology.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	7
1.1 Antecedentes históricos:.....	7
1.2 Antecedentes conceptuales:	8
1.2.1 Diseño Geométrico:	8
1.2.2 Definiciones:	8
1.3 Antecedentes referenciales.....	11
1.3.1 Diseños geométricos de carreteras	11
1.3.2 Parámetros importantes del diseño geométrico de carreteras	13
1.3.3 Experiencias sobre diseños geométrico de carreteras de montaña.....	16
1.3.4 Normas nacionales e internacionales sobre diseño geométrico de carreteras.	16
1.4 Antecedentes contextuales.	17
1.4.1 Ubicación del estudio.....	17
CAPÍTULO 2: MÉTODO.....	20
2.1 Métodos.....	20
2.1.1 Tipo de estudio.....	20
2.2 Paradigma.....	20
2.3 Enfoque	21
2.4 Manejo de datos	21
2.5 Población y muestra	21
2.5.1 Población.....	21
2.5.2 Muestra.....	22
2.6 Métodos teóricos empleados	22
2.6.1 Teórico documental.....	22
2.6.2 Método científico	23
2.7 Métodos empíricos empleados	23
2.7.1 Empírico de observación científica	23
2.8 Técnica estadísticas para el procedimiento de datos	24
2.8.1 Proceso de análisis jerárquico	24
2.9 Operación de variables.....	25
2.9.1 Variable dependiente.....	25
2.9.2 Variable independiente.....	27
CAPÍTULO 3: PROPUESTA METODOLÓGICA.....	29
3.1 Datos informativos.....	29
3.1.1 Metodología para la evaluación de diseños geométricos en carreteras de montaña. 29	29

3.1.2	Análisis de las características geométricas de la vía.	34
3.1.3	Unidad ejecutora.	40
3.1.4	Beneficiarios.....	40
3.1.5	Ubicación.	41
3.1.6	Tiempo estimado de ejecución.....	41
3.2	Antecedentes de la propuesta.	41
3.3	Justificación.	41
3.4	Objetivos.	42
3.4.1	Objetivo General.	42
3.4.2	Objetivos Específicos.....	42
3.5	Fundamento científico- técnico.....	43
3.6	Metodología. Modelo Operativo.....	43
3.6.1	Trabajo de campo.....	43
3.6.2	Trabajo de gabinete.....	44
3.6.3	Construcción del perfil de velocidad.....	62
3.6.4	Evaluación de elementos geométricos.	63
3.7	Administración de la propuesta.....	83
3.8	Plan de monitoreo y evaluación de la propuesta.	83
CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.		89
4.1	Resultados obtenidos.....	90
4.1.1	Evaluación de los elementos geométricos horizontales.	90
4.1.2	Evaluación de los elementos geométricos en vertical.....	91
4.1.3	Evaluación de los elementos geométricos en transversal.....	93
4.1.4	Evaluación de la consistencia geométrica.....	94
4.1.5	Evaluación de la geometría utilizando el proceso de análisis jerárquico.	95
CONCLUSIONES.		110
RECOMENDACIONES.		113
BIBLIOGRAFIA		114

ÍNDICE DE TABLAS.

pág.

Tabla 1. Cuadro III-3 Resumen de los pesos y dimensiones de buses y camiones (MOP-2003).	14
Tabla 2. Coordenadas de la vía.	18
Tabla 3. Escala de Saaty.	25
Tabla 4. Variable dependiente, Diseños Geométricos.	25
Tabla 5. Variable independiente, Carreteras de montaña.	27
Tabla 6. Criterio I de consistencia de Lamm.	32
Tabla 7. Criterio I de consistencia de Lamm (CCR).	32
Tabla 8. Criterio II de Consistencia de Lamm.	33
Tabla 9. Criterio II de Lamm (CCR).	33
Tabla 10. Características por tipos de vehículos.	34
Tabla 11. Radios mínimos de curvas en función del peralte “e” y del coeficiente de fricción lateral “f”	35
Tabla 12. Valores límites permisibles de “F” según el pavimento.	39
Tabla 13. Coordenadas vía.	41
Tabla 14. Características de las curvas horizontales.	46
Tabla 15. Distancias de visibilidad de parada.	48
Tabla 16. Ancho mínimo libre de obstrucciones a la visibilidad.	51
Tabla 17. Cálculo del índice de curvatura.	52
Tabla 18. Cálculo longitud mínima de curvas verticales.	54
Tabla 19. Modelos para el cálculo de operación en función del trazado en planta.	55
Tabla 20. Criterio I de Lamm.	57
Tabla 21. Evaluación de la consistencia basada en la velocidad de operación en curvas horizontales, criterio I de Lamm.	57
Tabla 22. Estimaciones de velocidad de curvas y tangentes.	59
Tabla 23. Evaluación de la calzada.	64
Tabla 24. Evaluación de talud de corte y relleno.	69
Tabla 25. Evaluación de radios.	74
Tabla 26. Evaluación de sobreanchos.	75
Tabla 27. Evaluación de peralte.	76
Tabla 28. Evaluación de longitud de transición de peralte.	77
Tabla 29. Evaluación de la distancia de visibilidad en curvas horizontales.	79
Tabla 30. Evaluación de longitud en curvas verticales.	80
Tabla 31. Evaluación de pendientes longitudinales.	82
Tabla 32. Análisis jerárquico de características horizontales	83
Tabla 33. Ponderación de las características geométricas vial.	85
Tabla 35. Ponderación de las características viales verticales.	86
Tabla 36. Análisis jerárquico de las características transversal.	87
Tabla 37. Ponderación de las características viales transversales.	87
Tabla 38. Evaluación de los elementos geométricos horizontales	90
Tabla 39. Evaluación de los elementos geométricos verticales.	92
Tabla 40. Evaluación de los elementos geométricos transversales.	93
Tabla 41. Resultado de la evaluación de la consistencia geométrica según Lamm.	94
Tabla 42. Evaluación jerárquica de las características geométrica horizontal	95
Tabla 43. Evaluación jerárquica de las características geométrica vertical	98
Tabla 44. Evaluación jerárquica de las características geométrica transversal.	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación de la vía.	18
Figura 2. Visibilidad en curvas horizontales.	50
Figura 3. Perfil de velocidades de operación.	63
Figura 4. Verificación de los elementos geométricos horizontales	91
Figura 5. Verificación de los elementos geométricos verticales.	93
Figura 6. Verificado de los elementos geométricos transversales.	94

INTRODUCCION

Actualmente las carreteras de montaña son un medio de comunicación y desarrollo para la población, sin embargo, estas han sido concebidas sin tomar en cuenta las normativas de diseño, teniendo como resultado vías con pendientes elevadas, escasa o nula visibilidad, curvas con radios de giro pequeños, anchos insuficientes, entre otros.

Alrededor del mundo mueren en las carreteras cerca de 1.2 millones de personas y 50 millones resultan heridas(Casteló, 2018), como resultado de factores mal evaluados sean estos del factor humano, vehículo y la infraestructura. En los últimos años se ha evaluado la infraestructura vial con el diseño geométrico de las mismas basándose en parámetros establecidos en diferentes normativas existentes para cada país en el mundo.

En la ciudad de Cuenca dado que está ubicada en un valle de la cordillera de los Andes, se encuentra afectada por una topografía irregular montañosa y con asentamientos poblacionales distantes, lo que ha generado la implantación de vías para la comunicación y desarrollo entre comunidades, las cuales han sido construidas sin cumplir los lineamientos establecidos por la normativa vigente del país, dando como resultado vías inseguras e incómodas para sus usuarios y con ello accidentes de tránsito y hasta pérdidas humanas.

Es por ello, que un diseño geométrico vial adecuado nos permite generar carreteras seguras con características que permitan a los usuarios mantener velocidades uniformes, que incite a una conducción libre de tensiones y sorpresas, con el objetivo de reducir siniestros de tránsito (Altamirano, 2020). Un diseño consistente, es aquel que no altera la capacidad del conductor para dirigir y mantener bajo control el vehículo, por lo que se encuentra en relación directa con las expectativas del conductor(Glennon & Harwood Douglas, 1978)

Esta investigación pretende dar solución al problema: ¿Como los diseños geométricos de carreteras de montañas se encuentran relacionados con la seguridad vial?, para esto se propondrá una metodología de evaluación para los diseños geométricos que garanticen una seguridad vial en carreteras de montaña.

Es por ello, que esta investigación tiene como objetivo proponer una metodología de evaluación para los diseños geométricos de vías en carreteras de montaña, específicamente en el caso de estudio “Puente de Auquilula – Centro parroquia de Santa Ana” ubicado en una parroquia rural de la ciudad de Cuenca.

En la ciudad de Cuenca, específicamente en la parroquia de Santa Ana existen vías que han sido concebidas, por la necesidad de comunicación y desarrollo entre comunidades, sin cumplir con los parámetros establecidos en la normativa vigente para el diseño de caminos y carreteras en el Ecuador MOP 2003, esto ha provocado una serie de inconvenientes entre los usuarios, ya sea por falta de visibilidad, curvas de giro muy cerradas, falta de señalización, entre otros. Es por ello, que esta investigación se centrará en evaluar el diseño geométrico en carreteras de montaña, concretamente la vía comprendida entre el “Centro parroquial Santa Ana – Puente Auquilula” para garantizar una vía segura y confortable, debido a que será el ingreso alterno hacia el centro parroquial, descongestionando la vía principal.

Objetivo General:

Proponer una metodología mediante criterios técnicos para la evaluación de diseños geométricos, con el propósito de asegurar la seguridad vial en carreteras de montaña.

Objetivos específicos:

Identificar los fundamentos teóricos de los diseños geométricos de carretera de montaña que garantizan una seguridad vial.

Determinar las características geométricas mínimas que debe cumplir una carretera de montaña para garantizar una seguridad vial, caso de estudio: “Vía comprendida entre el centro parroquial de Santa Ana y el Puente Auquilula, ubicado en la parroquia Santa Ana de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay”.

Evaluar el diseño geométrico del caso de estudio con respecto al cumplimiento de los aparatados que exigen las normativas vigentes.

Evaluar la consistencia geométrica del diseño vial propuesto por el Gobierno Autónomo descentralizado parroquial rural de Santa Ana.

Desarrollar la metodología de evaluación para los diseños geométricos que garanticen seguridad vial en las carreteras de montaña.

La presente investigación será realizada desde el punto de vista de la seguridad vial y cumplimiento de la normativa vigente en el país, para esto se empleará la metodología de consistencia de las curvas horizontales a través de la velocidad de operación, con esto se identificará las curvas que cumplen con los parámetros para una adecuada circulación vehicular.

Para el cumplimiento y desarrollo de esta investigación se analizó la hipótesis respondiendo las siguientes preguntas científicas; ¿Cómo los diseños geométricos de carreteras influyen en la seguridad vial?, ¿Existen metodologías que analicen el estado actual de la geometría de las carreteras?, ¿Qué tipo de metodología relaciona la seguridad vial con la geometría vial?, ¿Qué metodología permite evaluar la seguridad vial en una carretera de montaña?

Para el desarrollo el desarrollo de la investigación se plantearon cuatro capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el capítulo 1 se presenta el marco teórico en donde se recopilará la información referente al tema de investigación como antecedentes históricos, teóricos y conceptuales

para establecer la relación entre los diseños geométricos en carreteras de montaña y la seguridad vial.

En el capítulo 2 se describe el método y materiales a utilizarse para la evaluación de la vía de caso de estudio. Se presenta la metodología de investigación, modalidad de la investigación, determinación de la población y muestra, el plan de recopilación de datos y de procesamiento de la información.

En el capítulo 3 se describe la propuesta metodológica para la evaluación de los diseños geométricos en carreteras de montaña que garantice la seguridad vial, para esto se investigará toda la bibliografía necesaria para evaluar las características geométricas existentes versus los establecido en la normativa vigente del país.

En el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos luego de la aplicación de la metodología para su análisis y discusión. Además, se da a conocer el cumplimiento de los parámetros del diseño geométrico, se describe y se explica el estado actual de la carretera y la verificación de la hipótesis planteada al inicio de esta investigación.

Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones, luego de la aplicación de la metodología de evaluación para diseños geométricos en carreteras de montaña.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes históricos:

El diseño geométrico vial comprende la selección y dimensionamiento de sus características visibles, para esto se debe seleccionar los elementos necesarios para un proyecto específico que cubra todas las necesidades de los usuarios y permita circular con seguridad tanto peatones, ciclistas, motociclistas y otros vehículos(Altamira, 2020).

El diseño geométrico es una de las partes más importantes del proyecto de una carretera, a partir de datos conocidos se procede a establecer la configuración geométrica definitiva, persiguiendo establecer al máximo objetivos como; seguridad, comodidad, integración ambiental, armonía o estética y económica(García et al., 2013).

Las carreteras tienen un papel fundamental en el desarrollo de las ciudades en el mundo, es así que son las arterias que canalizan las relaciones entre los distintos núcleos y actividades que lo conforman. La teoría de Vialidad Universal viene detectada por Cerdá, quien identificó las necesidades de movilidad que en su momento el carruaje imponía en las sociedades del XIX, para su adaptación se optó por apertura de nuevas vías, ensanchamiento de las ya existentes, seguidamente un siglo más tarde aparece el automóvil con ello creando nuevas necesidades que cubrir(Coronado & Garmendia, 2008). Es así como nace una serie de estudios que determinen las condiciones idóneas de una carretera.

Los caminos de montaña poseen particularidades que surgen a partir de aspectos topográficos locales y regionales, geológicos y geotécnicos, de drenaje y escurrimiento, ambientales y paisajísticos, climáticos y geográficos, entre otros que afecten su ubicación, trazado y diseño geométrico(Altamira, 2020).

Las carreteras de montaña tienen ciertas diferencias al resto, entre estas las características topográficas locales que condicionan la geometría del trazado, limitando la visibilidad disponible y a partir de esto, la velocidad de operación constante, la eficiencia operacional, la comodidad y la seguridad sobre los usuarios y la economía del transporte.

Es por ello, que los diseños geométricos en carreteras de montaña deben ser diseñadas con especial cuidado para garantizar una seguridad vial. Se puede también garantizar una seguridad vial dentro de la geometría de la vía, cuando dos curvas horizontales consecutivas son diseñadas a una variación de la velocidad no mayor a 20 km/h, salvo se disponga de entre tangencias a la mínima, en tal caso puede llegar hasta 30km/h.(López & Echeverry, 1999).

1.2 Antecedentes conceptuales:

1.2.1 Diseño Geométrico:

Consiste en situar una vía en una topografía designada para suplir una necesidad de transporte de la población, un factor determinante para el mismo es la velocidad, la cual está íntimamente ligada a con la topografía del terreno, este puede ser un terreno llano, ondulado y montañoso, además para que un diseño sea eficiente debe cumplir con las normativas vigentes en cada región o país. El diseño geométrico se le conoce como el proceso de correlacionar elementos físicos de la vía con la operación necesaria que deben realizar los vehículos y las características que presente el terreno y pueda influenciar en él (Burgos, 2021).

1.2.2 Definiciones:

1.2.2.1 Seguridad vial.

Es uno de los objetivos más importantes al momento de diseñar una vía. Todas las normativas existentes en diferentes países recomiendan y se centran en este aspecto, pues busca que los usuarios no sufran ningún percance al momento de conducir, tanto en percepción como en acción (García et al., 2013).

1.2.2.2 Velocidad de diseño:

La velocidad de diseño se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo determinado de una vía, originando un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la carretera, de tal manera que siempre se garantice la seguridad (Cárdenas, 2013).

Según el ministerio de transporte y comunicaciones la seguridad vial es un conjunto de acciones orientadas a prevenir o evitar accidentes automovilísticos y reducir los impactos sociales negativos por causa de la accidentalidad (Ministerio de transporte y comunicaciones, 2005).

1.2.2.3 Velocidad de circulación.

Según el MOP-2003, es la velocidad real con la que circulan los vehículos a lo largo de una carretera, además se puede decir que es la medida de calidad del servicio que el camino proporciona al usuario y por ende se interpreta que tan segura es una vía, este es un parámetro utilizado por varios autores para medir la consistencia geométrica de una carretera, (McLean, 1981) sentó las bases de que la diferencia entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación era causada por la inconsistencia del diseño.

1.2.2.4 Consistencia del diseño geométrico.

La consistencia en el diseño es la conformidad de las características geométricas y operacionales de la vía con las expectativas del conductor, es una de las principales características del diseño geométrico de una carretera (García et al.,

2013), es decir, si una carretera es consistente es segura para el usuario bajo su percepción.

1.2.2.5 Distancia de visibilidad.

Según la normativa MOP-2003, esta distancia es de mucha importancia en la seguridad y eficiencia de operación de los vehículos en una carretera, pues es la distancia en la cual el conductor puede ver lo que se encuentra en su línea de circulación y realizar las maniobras necesarias para evitar cualquier accidente, para (Pineda, 2019) es la longitud continua de visibilidad de carretera que necesita un conductor para invadir el carril de sentido contrario, para sobrepasar un vehículo lento que circula en el mismo sentido y regresar a su carril sin colisionar con un vehículo de sentido opuesto.

1.2.2.6 Carreteras de montaña

Definición de carreteras de montaña

Las carreteras de montaña son las implantadas en asentamientos topográficos montañosos, que permiten la conexión entre diferentes puntos de generación o atracción de viaje, estas vías adquieren diferentes características debido a los ambientes de implantación, ya sean topográficas zonales o regionales, geotécnicas y geológicas, ambientales y paisajísticas, drenaje y escurrimiento, entre otros, debido a lo antes mencionado generalmente estas vías no cumplen con las especificaciones de diseño, y son concebidas para cumplir el fin de conexión o comunicación entre dos asentamientos poblacionales. Estas vías se caracterizan porque las distancias de visibilidad son casi nulas, pues se tiene curvas muy pronunciadas, al igual que las pendientes son muy marcadas y la velocidad no es constante.

1.3 Antecedentes referenciales.

1.3.1 Diseños geométricos de carreteras

Los diseños geométricos de carreteras son lineamientos normados que permiten establecer dimensionamientos y características de una vía, para hacerlas seguras para los usuarios. Se trata de determinar el trazado de una carretera bajo diferentes premisas que permitan tener funcionalidad, comodidad, integración ambiental, seguridad, estética y armonía.

Es un conjunto de procedimientos que tienen como finalidad determinar las características geométricas de una vía basándose en información real con datos recolectados a partir de la topografía, vehículo de diseño, velocidad directriz, de manera que la carretera diseñada permita circular en condiciones seguras y cómodas (Llopis, 2017)

1.3.1.1 Características de un diseño geométrico de carreteras.

La normativa vigente en el país, MOP-2003, establece que un diseño es eficiente y seguro cuando cumple una serie de características con valores máximos y mínimos, tanto en sus alineamiento horizontal, vertical y transversal, estos garantizaran una adecuada transitabilidad.

1.3.1.2 Métodos para la evaluación de diseños geométricos de carreteras

Para evaluar un diseño geométrico se debe determinar los parámetros utilizados para el diseño, sin embargo, en la presente investigación se realizará un análisis íntimamente ligado a la consistencia de un diseño geométrico, que es la relación entre la percepción humana al momento de conducir y la infraestructura vial. Al realizar esta evaluación se podrá determinar la seguridad vial que brinda la carretera.

Métodos de evaluación de la consistencia basados en la velocidad de operación.

Según la AASHTO, la velocidad de operación “es la cual los usuarios de la vía pueden conducir sus vehículos bajo condiciones de flujo libre”, y es un indicador del comportamiento de los conductores. Existen diferentes métodos de evaluación de consistencia de un elemento particular en el trazado según la diferencia de velocidades estudiada; entre estos los modelos basados en la diferencia de velocidad de operación (V85) y la velocidad de diseño (Vd), diferencia de la velocidad entre elementos sucesivos, diferencia entre velocidad de operación inercial y la velocidad de operación. Todos estos métodos tienen como objetivo medir el confort que da la carretera al usuario.

Métodos de evaluación de la consistencia basados en índices de trazado.

Los índices dependen exclusivamente de las características que marcan el diseño geométrico de una carretera, por lo que son cuantificables e interpretables, estos parámetros deben ser calculados para un tramo de vía, como el radio medio o el radio máximo y mínimo del tramo.

Se puede decir que un trazado es inconsistente mediante este método cuando existe un cambio importante entre alguna característica del trazado entre elementos sucesivos, cuando existe una alta variabilidad en un índice específico a lo largo de un tramo de la vía, o también cuando hay una diferencia considerable entre un índice de trazado de un elemento y el valor medio de dicho parámetro.

Métodos de evaluación de la consistencia basados en la estabilidad vehicular.

Cuando un vehículo circula por una curva, existen diferentes fuerzas que actúan sobre este produciendo que tienda a cambiar de dirección, por lo que es importante y fundamental para la seguridad vial la relación entre la fricción de la propia carretera y la demanda de usuarios durante el viaje.

Este método evalúa específicamente la estabilidad vehicular durante la conducción a través de una curva, para esto enfoca el estudio en diferentes fenómenos

como son: comparación entre la fricción suministrada y demanda, modelos basados en la energía cinética, métodos de margen de seguridad(Easa, 2003).

Métodos de evaluación de la consistencia basados en la carga de trabajo del conductor.

Este método estudia el trabajo que realiza un conductor y es una medida sustitutoria del esfuerzo mental, esta no está relacionada con la dificultad de la tarea sino con el factor humano, que es claramente el concepto de consistencia del diseño geométrico. Según Wooldridge en 1994, concluyo que este método debe ser evaluada por las siguientes situaciones de riesgo; tramo con una carga de trabajo elevada, elementos que implican un incremento repentino de la carga de trabajo(Wooldridge, 1994).

Como medir las variables de evaluación es una de las dificultades de esta metodología, es así que sigue en continua evolución. La carga de trabajo puede ser medidas de diferentes formas: medidas subjetivas, medidas relacionadas con la operación del conductor, medidas psicológicas o la combinación de estas(Paxion et al., 2014).

1.3.2 Parámetros importantes del diseño geométrico de carreteras

Según el Ministerio de transporte y obras públicas, se debe considerar los siguientes parámetros fundamentales;

1.3.2.1 Características Humanas.

Se refieren a la visión, percepción, aspectos psicológicos, eficacia, fatiga aspectos fisiológicos, tiempos de percepción y reacción del conductor. Para nuestro país, se considera tiempos de percepción de 1 seg y de reacción 2 seg: alturas de ojo del conductor de 1.05m para vehículos livianos y 2.0m para vehículos pesados, todos estos datos buscan dar confort al usuario(Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador, 2013).

1.3.2.2 Características del Vehículo.

Las características geométricas son las indicadas en la Tabla 1, que buscan establecer los parámetros conocidos para diferentes características de vehículos tipo.

Tabla 1. Cuadro III-3 Resumen de los pesos y dimensiones de buses y camiones (MOP-2003).

DIMENSIONES DE CAMIONES Y BUSES	PROYECTO DE REFORMA SEGÚN MOP	VIGENTES MOP
Ancho camión	2.60m	2.60m
Ancho bus	2.60m	2.60m
Alto camión	4.10m	4.10m
Alto bus	4.10m	4.10m
Largo camión rígido (1, 2 o 3 ejes en el semirremolque)	11.50 m (con 2 ejes) 12.20m (con 3 ejes)	12.0 m
Largo tracto camión + semirremolque (1,2,3 ejes) en el semirremolque	17.50 m (2S1, 2S2, 2S3, ES1) 18.30m(3S2, 3S3)	18.00 (3S2 y 3S3)
Largo semirremolque	9,0 m (1 eje) 12.30 m (2 ejes) 13.00 m (3 ejes)	9,0 m (1 eje) 12.30 m (2 ejes) 13.00 m (3 ejes)
Largo remolque	10.00m	10.00m
Largo camión + remolque	18.30m	18.30m
Largo tracto camión+semoremolque+remolque	18.30m	18.30m
Largo bus larga distancia	Convencional 13.30m Semi integral 15.0 hasta con 3 ejes	
Largo bus articulado	10.30m	

Tabla 1. (Continuación)

Largo bus urbano/suburbano	-	-
Ancho vehículo especiales	-	-
Alto vehículo especiales	-	-
Largo de vehículos especiales (1)	21	21
Separación para ejes compuestos	-	Min 1.2m Max 1.6m
PESOS CAMIONES		
Ejes trasero simple rodado simple (2r)	6.00t	6.00t
Ejes trasero simple rodado simple (1r)	11.00t	12.00t
Ejes trasero simple rodado simple (4r)	12.00t	12.00t
Ejes trasero simple rodado simple y doble (6r)	15.50t	-
Ejes trasero simple rodado simple (8r)	19.00t	20.00t
Ejes trasero triple rodado simple (6r)	18.00t	-
Ejes trasero triple 1 rodado simple y 2 dobles (10r)	24.00t	-
Eje trasero triple 3 rodados dobles (12r)	24.00t	24.00t
Peso bruto total admitido	48.00	46.00t
Tolerancia de pesos	500kg para eje delantero y 1000 kg para cualquiera de	

	los ejes posteriores. No existe tolerancia para el P.B.V.	
Relación potencia de pesos	6.5 lIp/t	8lIp/t y 6.5 lIp/t
En estudio el cambio de valores		

Fuente: MOP 2003.

1.3.2.3 *Características de Diseño*

Los parámetros que determinan las características de diseño de una carretera son la velocidad, la visibilidad, el radio de curvatura horizontal, la distancia de parada, el gradiente, la capacidad de flujo y nivel de servicio, las intersecciones y las facilidades intermedias.

1.3.3 *Experiencias sobre diseños geométrico de carreteras de montaña.*

Un diseño geométrico de carreteras de montaña tiene ciertas particularidades, pues se debe lograr cumplir un diseño consistente, bajo las premisas de una topografía irregular que impide tener una velocidad constante y a su vez no permite tener visibilidad de la carretera, limitando la eficiencia operacional, la comodidad del usuario y sobre todo su seguridad.

1.3.4 *Normas nacionales e internacionales sobre diseño geométrico de carreteras.*

En el país existen ciertas normativas que permiten realizar diseños geométricos viales que garantizan seguridad al usuario, estas están relacionadas entre sí con el afán de uniformizar los parámetros de control, para la presente investigación se empleó las siguientes normativas con el propósito de que la metodología de evaluación involucre todas las características geométricas para un correcto diseño vial:

- Norma de diseño geométrico de carreteras-2003.

- Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018.
- AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.
- Manual de diseño geométrico de carreteras 2008.

1.4 Antecedentes contextuales.

1.4.1 Ubicación del estudio.

El estudio se realizó en la parroquia de Santa Ana del cantón Cuenca Provincia del Azuay, según el PDOT (Plan de ordenamiento territorial) posee una extensión de 4495.31ha, esta cuenta con 21 comunidades y tiene una población según el CENSO 2010 de 5.366 habitantes, donde se registra una población mayoritariamente joven, con base en la proyección del mismo INEC se esperaría que la población al año 2020 se de 6.761 habitantes.

1.4.1.1 Ubicación geográfica y Política.

La parroquia Santa Ana se encuentra delimitada según el PDOT-2019 de siguiente manera:

- Norte, con la parroquia Paccha.
- Sur, con la parroquia Quingeo.
- Este, con el Cantón Gualaceo, Parroquia Zhidmad y Sígsig-Parroquia San Bartolomé.
- Oeste, con la parroquia El Valle.

1.4.1.2 Características del área de estudio.

El lugar de implantación tiene topografía montañosa, en la actualidad se puede observar el mal trazado de la carretera, debido a que al conducir está no ofrece seguridad ni confort, es así que hay curvas con radios pequeños, no se tiene visibilidad lo que provoca cambios bruscos de velocidad, incomodidad, a más de esto cabe recalcar que la

vía se encuentra en pésimo estado y tiene un acabado a nivel de lastre, que debido a la falta de drenaje ha contribuido a la inseguridad vial.

1.4.1.3 Ubicación de vía.

La vía en estudio es de vital importancia para la parroquia debido a que es la vía que comunica a la parroquia rural con la zona urbana del Cantón, es una vía que descongestiona el tráfico existente en la actualidad en la vía principal de acceso al centro de la parroquia. Esta se extiende desde el centro parroquial de la parroquia Santa Ana hasta el puente localizado en la comunidad de Auquilula.

Figura 1. Ubicación de la vía.



Fuente: Google Maps.

Se encuentra en las siguientes coordenadas siguientes:

Tabla 2. Coordenadas de la vía.

TRAMO	DESCRIPCIÓN DE LA VÍA	LONG	COORDENADAS DE INICIO			COORDENADAS DE FINAL	
			M	X	Y	X	Y
1	Vía Puente de Auquilula - Centro Parroquial	1911 m	730075.00	9675454.00	731177.00	9675286.00	

Fuente: Elaboración propia.

1.1.1. Topografía.

El sector de implantación de la vía, es exactamente el sector de Auquilula- Centro parroquial, es de topografía irregular combinado con las fuertes pendientes.

1.4.1.4 Clima.

La parroquia está ubicada al sur de la región interandina, posee un clima Ecuatorial Mesotérmico semihúmedo, el promedio anual de las precipitaciones oscila entre 500 a 200mm.

La época lluviosa está presente en los meses de febrero a mayo y de octubre a noviembre. La temperatura anual promedio varía entre 12 a 20° Celsius, siendo la máxima de 30°C y una mínima de 6°, presenta una humedad relativa entre 65% al 85%.

CAPÍTULO 2: MÉTODO

2.1 Métodos

Los métodos que se empleó para la elaboración de este proyecto de titulación fueron: inducción, observación y encuestas.

2.1.1 Tipo de estudio

Exploratorio. - El presente trabajo de investigación es de tipo exploratorio ya que se realizó un análisis documental - cuantitativo con la finalidad de recabar conceptos que permitan cumplir con el objetivo del trabajo de titulación. Las variables son diseño geométricos y carreteras de montaña.

Descriptivo. – La investigación es de tipo descriptivo de acuerdo a las variables propuestas en esta investigación que fueron relacionadas con trabajos de tipo documental y de campo, considerando su coherencia entre los resultados obtenidos. Ya que se enfoca en identificar las propiedades y características que debe cumplir esta metodología para la evaluación de diseños geométricos de carreteras de montaña que garanticen una seguridad vial.

2.2 Paradigma

“El paradigma positivista establece la posibilidad de llegar a verdades absolutas en medida en que se afrontan los problemas y establece una distancia entre el investigador y el objeto de estudio” (Miranda & Ortiz, 2020). Además, este paradigma parte de un sistema hipotético deductivo que reafirma la importancia de hacer del conocimiento un proceso sistemático y manejable en el marco del control empírico y análisis causal de los fenómenos.

La investigación tiene un paradigma positivista, debido a que el objeto del presente trabajo es evaluar de los diseños geométricos en carreteras de montaña que permita brindar una seguridad vial para los usuarios de estas.

2.3 Enfoque

Esta investigación tiene un enfoque mixto (cualitativo – cuantitativo) porque se centra en aspectos observables y cuantificables relacionados con el diseño geométrico de las carreteras de montaña, mediante una metodología empírica que se sirve de pruebas estadísticas y porque se orienta al estudio del significado de las actuaciones humanas de quienes transitan por ellas.

2.4 Manejo de datos

Los datos se obtuvieron de la recopilación de información proporcionada por el GAD parroquial de Santa Ana, en lo referente al estado actual de la vía.

Para el manejo de datos se utilizó documentos obtenidos a través de revistas científicas, manuales, tesis, entre otros. Luego se realizaron fichas de observación sobre las características de la vía.

Encuestas y entrevistas realizadas a las personas aledañas a la vía y a los usuarios de esta.

2.5 Población y muestra

2.5.1 Población

“La población de estudio será aquella que ha sido establecida por los criterios de selección previamente determinados en esta investigación” (Mucha Hospinal et al., 2021). Como criterio de selección para esta investigación se consideró las vías que cruzan

por terrenos accidentados o muy accidentados, por lo general estas son vías rurales que conectan a ciudades, parroquias o comunidades.

La población para esta investigación se consideró las vías rurales del cantón Azuay con un total 5055.50 km, cuenta con una población de 881 394 habitantes, según datos sustraídos del Plan de desarrollo vial integral de la provincia del Azuay.

2.5.2 Muestra

“La característica más importante que debe cumplir la muestra es la representatividad, la cual debe garantizar la inferencia de los resultados de la muestra hacia la población”(Mucha Hospinal et al., 2021). La muestra para esta investigación se consideró el caso de estudio la vía comprendida entre el Centro parroquial de Santa Ana – Puente Auquilula, la cual cuenta aproximadamente 2.75km. La cual cumple con los criterios de selección establecidos para esta investigación.

2.6 Métodos teóricos empleados

2.6.1 Teórico documental

El método de investigación documental se mayormente utilizada para estudios cualitativos. Además, implica un acercamiento indirecto a la realidad que se basa en fuentes secundarias. Es por ello, que este método se centra en datos disponibles en fuentes escritas o visuales que han sido desarrollados por personas, investigadores o instituciones para diversos propósitos (Sánchez, 2020). Mediante la aplicación de este método se pretende identificar, interpretar, analizar y se elaborarán teorías o generalizaciones del objeto de estudio de esta investigación. Se inicializará con la búsqueda de información acerca de los parámetros de evaluación de los diseños geométricos en carreteras de montaña que garanticen una seguridad vial a sus usuarios, para esto fue necesario la revisión de artículos científicos indexados, tesis de maestría o doctorado relacionados con el tema de esta investigación, libros, leyes y normativa vigentes en el país.

El análisis que se aplicó a las carreteras de montaña dará lugar a propuestas para la evaluar las características de los diseños geométricos. En donde se analizarán criterios como velocidad de operación, distancia de visibilidad, radio de giros, peralte, sobreelevaciones, etc.

2.6.2 Método científico

Según De Hoyos (2019), el método científico es el conjunto de pasos técnicas y procedimientos utilizados para formular y resolver problemas de investigación a través de la comprobación o confirmación de la hipótesis

2.7 Métodos empíricos empleados

2.7.1 Empírico de observación científica

La observación científica es una observación estructurada y dirigida, en donde el observador tiene un objetivo claro y determina qué aspectos del objeto resultan de interés para su observación, siendo una observación dirigida y estructurada del objeto de investigación por parte del investigador (López Falcón & Serpa Ramos, 2021).

La observación científica es un método empírico universal que comúnmente se utiliza en la primera etapa para la formulación del problema, en el transcurso de la investigación puede convertirse en el procedimiento propio del método utilizado en la comprobación de la hipótesis y al finalizar puede predecir las directrices y el desarrollo de fenómenos de un mayor de generación (López Falcón & Serpa Ramos, 2021).

La técnica de observación utilizará como instrumento de recolección de información fichas o guías de observación digital, planos, videos y fotografías, las cuales servirán como evidencias del marco de realidad. Se presenta los análisis de datos en forma de gráficos y cuadros siguiendo los detalles de la teoría ostentada.

2.8 Técnica estadísticas para el procedimiento de datos

Los datos recopilados por la técnica de análisis de documentos se tratarán como estimaciones puntuales para el marco teórico; en el caso del método de observación científica serán analizados en software apropiado, visualizando cuadros y gráficos.

En la presente investigación se aplicó la técnica de la estadística descriptiva, la misma que nos permitió analizar e interpretar de forma cuantitativa los resultados que se obtuvieron de la metodología para evaluación de diseños geométricos en carreteras de montaña.

2.8.1 *Proceso de análisis jerárquico*

El proceso de análisis jerárquico es una herramienta sencilla utilizada para la toma de decisiones, la cual nos permite estructurar, medir y sintetizar la información necesaria para cumplir con el objetivo de esta investigación. Este proceso de análisis está basado en el principio que la experiencia y el conocimiento son tan primordiales como los datos utilizados en el proceso (Gómez, O; Orejuela, 2008).

Para la aplicación del proceso de análisis jerárquico se propondrán indicadores que valoran este proceso. En esta etapa inicial se identifica las características geométricas que debe cumplir los diseños viales en carreteras de montaña, las cuales serán evaluadas en comparación con la normativa vigente del país.

Además de la selección de los indicadores se utilizará la escala de comparación de Saaty, la cual establece que, por medio de cálculos, se dará un grado de preferencia como indica la **Tabla 3** y así ponderar en grados de importancia cada indicador para su próxima evaluación.

Tabla 3. Escala de Saaty.

Escala	Definición	EXPLICACION
1	Igualmente, preferida	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	Moderadamente preferida	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro
5	Fuertemente preferida	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro
7	Muy fuertemente preferida	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio
9	Extremadamente preferida	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor en frente al otro

Fuente: El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio.

2.9 Operación de variables.

2.9.1 Variable dependiente.

Esta variable se conceptualizó como los diseños geométricos de carreteras, pues dependen de las características del entorno de implantación de la vía y la percepción del usuario, en la **Tabla 4**, se identifica los diferentes escenarios que influyen en los diseños geométricos.

Tabla 4. Variable dependiente, Diseños Geométricos.

VARIABLE DEPENDIENTE: DISEÑOS GEOMETRICOS DE VIAS							
CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	ITEMS	TECNICAS	INSTUMENTOS	INFORMANTES
DISEÑOS GEOMETRICOS DE VIAS: es la técnica de trazar una vía en el terreno, en donde	Terreno	Tipo de terreno	Llano Ondulado Accidentado Muy accidentado	¿Cuál es el relieve del sector por donde cruza la vía?	Observación	Guía de observación	Investigador

circularán vehículos en condiciones de continuidad y que requiere cierto nivel de seguridad, rapidez y comodidad.	Vehículos	Tipo de vehículos que circulan	Bicicletas Automóviles Volquetas Buses Camiones Tráiler	¿Qué tipo de vehículo circula por la vía?	Encuesta	Formulario de encuesta	Transportista
	Seguridad	Señalización horizontal	Tachas reflectivas (ojos de gato)	¿Cómo nos orientan la señalización horizontal?	Encuesta	Formulario de encuesta	Transportista
		Señalización vertical	Informativas Preventivas Reglamentarias	¿Cómo nos informa la señalización vertical de posibles problemas más adelante?		Formulario de encuesta	Transportista
	Comodidad	Curvas grandes	50-75 m 75-100 m 100 m o más	¿Qué radio de giro brinda comodidad al realizar el giro?	Encuesta	Formulario de encuesta	Transportista
		Velocidades altas para minimizar el tiempo de viaje	40-70 km/h 70-90 km/h 90 km/h o más	¿Qué velocidad de circulación es		Formulario de encuesta	

satisfactoria para movilizar se?

Fuente: Elaboración propia.

2.9.2 Variable independiente.

Estas variables son las que intervienen de manera independiente en cada una de las vías, pues son íntimamente ligadas a cada caso, en la **Tabla 5**, se puede observar las características de entorno que intervienen en las carreteras de montaña.

Tabla 5. Variable independiente, Carreteras de montaña.

VARIABLE INDEPENDIENTE: CARRETERAS DE MONTAÑA							
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	ITEMS	TECNICA	INSTRUMENTOS	INFORMANTES
CARRETERAS DE MONTAÑA: son carreteras que cruzan por terrenos muy accidentados que tienen un tráfico reducido o su funcionalidad sea de uso muy específico	Topografía	Características	Locales Zonales Regionales	¿Qué tipo de topografía cruza la vía?	Observación	Guía de observación	Investigador
	Geología	Formaciones geológicas	Rocas ígneas Sedimentaria Metamórficas	¿Qué tipo de formación predomina en el sector?	Observación	Guía de observación	Investigador
	Drenaje	Drenaje superficial Drenaje	Cunetas Cunetas de coronación Alcantarillas Subdrenes	¿Qué tipo de drenaje superficial es recomendable en sectores húmedos? ¿Qué tipo de drenaje	Entrevistas Entrevistas	Formulario de encuesta Formulario de encuesta	Empresas consultoras Empresas

	subterráneo		superficiales ¿recomendable en sectores húmedos?			consultoras
Volumen de tráfico	TPDA	Menor a 100 100 – 300 300 – 1000	¿Qué TPDA tiene la vía?	Observación	Guía de observación	Investigador
Sección transversal	Ancho de vía	3.00 3.50 3.65	¿Qué ancho de vía mínimo se puede emplear en estas vías?	Encuesta	Formulario de encuesta	Transportista / empresas consultoras
	Desempeño	Agrícola / forestal Básico Carretera convencional básica Carretera de mediana capacidad	¿Cuáles serían las características mínimas de la sección a emplear en estas vías?	Encuesta	Formulario de encuesta	Empresas consultoras

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA METODOLÓGICA.

El principal problema que tiene una vía es su seguridad y está íntimamente relacionada con el trazado geométrico, ya que es en este proceso donde se debe establecer los parámetros que garanticen una carretera consistente, que permita al usuario transitar sin tener que hacer cambios bruscos de velocidad ni maniobras al manejar.

Es por esto que la presente investigación busca evaluar un diseño geométrico vial en particular, con los diferentes parámetros de diseño, esto, con el afán de establecer la operabilidad de la vía, mediante la consistencia de la misma. Para ello se emplea la Metodología de consistencia del trazado geométrico, relacionando la velocidad de diseño existente y el establecido por la norma. Además, se revisará si las características geométricas del diseño vial existente cumplen con lo establecido en la norma que rige los diseños geométricos en el país.

3.1 Datos informativos.

3.1.1 Metodología para la evaluación de diseños geométricos en carreteras de montaña.

La metodología implementada será la de EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA BASADO EN LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y EL CUMPLIMIENTO DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO QUE INDICA LA NORMA DEL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS 2003.

La consistencia es el grado en que las carreteras se diseñan y se construyen con el fin de evitar maniobras de conducción críticas que proporcionen algún riesgo de sufrir un accidente, para medir la consistencia de un diseño geométrico de debe basar en criterios como; velocidad de operación, Índices de trazado, comportamiento en la conducción, carga de trabajo del conductor. En términos generales para calificar cualitativamente una vía se debe relacionar la consistencia y seguridad vial.

La velocidad es uno de los indicadores del comportamiento de los conductores, por lo que se han determinado una serie de modelos con el objetivo de que el diseñador pueda determinar la velocidad de la vía antes de ser construida y con esto el supuesto comportamiento que debería tener el conductor al transitar por la carretera, mientras mayor variabilidad en la velocidad de operación menos consistente es una vía, es así que la consistencia geométrica puede ser evaluada de manera sencilla a partir de modelos locales o globales.

Las características viales establecidas por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), son de suma importancia para que una vía sea segura y confortable, cada uno de los parámetros a cumplir contribuyen a un diseño que genere confianza al conductor y disminuya el estrés al momento de manejar.

Para la evaluación de consistencia se emplean los modelos locales y se evaluará bajo los criterios de Lamm et al. en 1988, estos pueden clasificarse en:

- Modelos basados en la diferencia entre la velocidad de operación (V_{85}) y la velocidad de diseño (V_d).
- Modelos basados en la diferencia de velocidad entre elementos sucesivos.

Se puede decir que un análisis de consistencia no pretende sustituir los métodos tradicionales sino más bien complementar y que cada diseño sea seguro y transitable bajo la percepción del conductor.

3.1.1.1 Modelos basados en la diferencia entre la velocidad de operación y la velocidad de diseño.

La velocidad de diseño es uno de los datos que el diseñador supone al momento de establecer la geometría de una vía, pues esta será la máxima velocidad segura que puede ser mantenida a lo largo de una determinada sección de carretera, esta se determina a

partir de la función de la carretera, tipo de vía, el entorno y la orografía, esta velocidad es el parámetro que determinará los valores máximos y mínimos de diseño. Sin embargo, esta velocidad es un valor referencial, pues en la vida real la velocidad que desarrollan los usuarios es la velocidad de operación. Se dice mientras más se acerque la velocidad de operación a la velocidad de diseño más segura será la vía, pues se estaría llegando a los parámetros con la que fue concebida.

En Estados Unidos en 1977 Leisch y Leisch, proponen una metodología de diferencia entre la velocidad de operación y la velocidad de diseño, y que esta diferencia entre la velocidad de operación de vehículos ligeros y pesados no debía exceder de 16km/h. Esta propuesta nace de que un conductor tiene de capacidad de mantenerse en una velocidad dentro del límite establecido. Cabe recalcar que mientras mayor es la diferencia entre las velocidades desarrolladas por los vehículos ligeros y los pesados, mayor era la tasa de siniestralidad(Leisch & Leisch, 1977).

Según Fitzpatrick et al, en 2003, estudiaron la relación entre las velocidades de diseño, de operación y las velocidades límites permitidas en las vías convencionales y llegaron a la conclusión de que una curva era consistente cuando la velocidad de circulación era mayor a la de diseño, es decir el conductor lleva una circulación libre y moderada(Fitzpatrick et al., 2003).

Sin embargo, en 1988 Lamm et al, definen la consistencia como “buena”, “aceptable” o “pobre” a partir de criterios de variación de velocidad y las tasas de siniestralidad, estos criterios son:

Criterio I: evalúa la diferencia entre la velocidad de operación y la velocidad de diseño.

Criterio II: evalúa la diferencia entre la velocidad de operación entre elementos sucesivos.

Bajo estas premisas en la **Tabla 6** se propone los siguientes rangos de diferencias:

Tabla 6. Criterio I de consistencia de Lamm.

Criterio I de consistencia de Lamm et al. (1988)		
Buena	Aceptable	Pobre
$V_{85} - V_d \leq 10 \text{ km/h}$	$10 < V_{85} - V_d \leq 20 \text{ km/h}$	$V_{85} - V_d > 20 \text{ km/h}$

Fuente: Lamm et al. (1988)

Luego de una calibración los modelos de velocidad fueron llevados a términos de tasa de cambio de curvatura (CCR), obteniendo en la **Tabla 7** los siguientes rangos:

Tabla 7. Criterio I de consistencia de Lamm (CCR).

Criterio I de consistencia de Lamm et al. (1988)		
Buena	Aceptable	Pobre
$ \text{CCR}_{si} - \text{ØCCR}_s \leq 180$	$180 < \text{CCR}_{si} - \text{ØCCR}_s \leq 360$	$ \text{CCR}_{si} - \text{ØCCR}_s > 360$

Fuente: Lamm et al (1988).

Donde CCRs es la tasa de cambio de curvatura de la curva (gon/km); y ØCCR_s es la tasa de cambio de curvatura media del tramo de carretera considerando solo las curvas (gon/km).

3.1.1.2 Modelos basados en la diferencia de velocidad entre elementos sucesivos.

Existen varios métodos para evaluar la consistencia entre ellos es que analiza los elementos geométricos sucesivos, otros se basan en los lineamientos o índices del trazado, sin embargo, el más simple para evaluar la consistencia entre elementos sucesivos se basa en la velocidad de operación.

El objetivo de esta metodología es identificar los cambios bruscos de velocidad, ya que este suceso es directamente proporcional a la probabilidad de ocurrencia de accidentes. Luego de varios estudios se pudo determinar un rango de valores entre la

diferencia de velocidades de dos elementos sucesivos, para que un diseño sea consistente y seguro el valor no debía exceder de 15km/h (Babkov, 1968).

En el año de 1988, Lamm y otros, presentan un modelo basado en la velocidad de operación y que dependían del grado de curvatura de la misma, y se determinaron los límites que fueron definidos por las tasas de siniestralidad observada entre elementos consecutivos, más adelante en este capítulo se detallaran cuáles son las expresiones para la valoración de la velocidad de operación en tangentes. En la **Tabla 8** se muestra el Criterio II de Lamm.

Tabla 8. Criterio II de Consistencia de Lamm.

Criterio II de consistencia de Lamm et al. (1988)		
Buena	Aceptable	Pobre
$V_{85\ i+1} - V_{85\ i} \leq 10\text{km/h}$	$10 < V_{85\ i+1} - V_{85\ i} \leq 20\text{km/h}$	$V_{85\ i+1} - V_{85\ i} > 20\text{km/h}$

Fuente: Lamm et al. (1988)

En este caso como en el Criterio I, el criterio II de Lamm también puede ser traducido en términos de incremento de la tasa de cambio de curvatura (CCR) y el grado de curvatura (DC), a continuación, en la **Tabla 9** se muestran los rangos y límites de estas variables:

Tabla 9. Criterio II de Lamm (CCR).

Criterio II de consistencia de Lamm et al. (1988)		
Buena	Aceptable	Pobre
$\Delta CCR \leq 180\ \text{gon/km}$	$180\ \text{gon/km} < \Delta CCR \leq 360\ \text{gon/km}$	$\Delta CCR > 360\ \text{gon/km}$
$\Delta DC \leq 5^\circ$	$5^\circ < \Delta DC \leq 10^\circ$	$\Delta DC > 10^\circ$

Fuente: Lamm et al. (1988) en termino de CCR y DC.

Donde CCRs es la tasa de cambio de curvatura de la curva (gon/km); y ØCCRs es la tasa de cambio de curvatura media del tramo de carretera considerando solo las curvas (gon/km).

Criterios I y II.

Lamm en 1999, propuso tres umbrales para los dos criterios que permiten determinar la seguridad del diseño geométrico, que son bueno, tolerable y pobre.

Calificación bueno: significa que esta correcto y que no necesita cambios de acuerdo a la perspectiva del conductor.

Calificación tolerable: significa que está relativamente bien pero que debe ser sujeto a cambios menores, además depende a que extremo está cerca; es decir si el margen está cerca a bueno se acepta, y si se acerca a la calificación pobre este necesita cambios.

Calificación pobre: significa que este tramo no es seguro para conducir y es necesario rediseñarlo.

3.1.2 Análisis de las características geométricas de la vía.

Para realizar el análisis del diseño vial existente de la vía Centro Parroquial-Puente de Auquilula de la parroquia Santa Ana del cantón Cuenca, se toma en cuenta todas las características que exige la normativa vigente en el país. Para esto a continuación se da a conocer los conceptos y parámetros que intervienen.

Para el análisis de esta investigación se empleará como vehículo de diseño vehículo un camión tipo 2DA, que, según el Ministerio de Obras Públicas, en su tabla 2A, tienen las siguientes características representada en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Características por tipos de vehículos.

Vehículo de diseño	A	B	C	R
Altura máxima (m)	2.40	4.10	4.10	4.30
Longitud máxima (m)	5.80	13.00	20.00	>20.50*
Anchura máxima (m)	2.10	2.60	2.60	3.00
Radios mínimos de giro (m)				

Rueda interna	4.70	8.70	10.00	12.00
Rueda externa	7.50	12.80	16.00	20.00
Esquina externa delantera	7.90	13.40	16.00	20.00

Fuente: MOP-2003, Tabla 2A. 106-1

3.1.2.1 Alineamiento Horizontal.

Radio Mínimo de Curvatura Horizontal.

Este parámetro es muy importante para la evaluación de la seguridad de una vía pues el radio mínimo de curvatura horizontal es el valor más bajo que posibilita la seguridad en el tránsito a una velocidad de diseño en función del máximo peralte(e) adoptado y el coeficiente (f) de fricción lateral. Según el MOP del año 2003 este parámetro puede ser calculado con la ecuación 1, que involucra la velocidad de diseño(V) en Km/h, coeficiente de fricción lateral (f) y el peralte (e) en m/m

$$R = \frac{V^2}{127(e+f)} \quad (1)$$

En la **Tabla 11**, se puede observar los radios mínimos calculados y recomendados por el MOP-2003, los cuales dependen de su velocidad de diseño, coeficiente de fricción y peralte máximo.

Tabla 11. Radios mínimos de curvas en función del peralte “e” y del coeficiente de fricción lateral “f”.

Velocidad de diseño Km/h	“f” de máximo	Radio Mínimo Calculado				Radio Recomendado			
		e=0.1	e=0.0	e=0.0	e=0.0	e=0.1	e=0.0	e=0.0	e=0.0
		0	8	6	4	0	8	6	4
20	0.350	7.52	7.68	8.08		18	20		20
25	0.315	12.48	13.12	13.88		20	25		25

30	0.284	19.47	30.62	21.87	25	30	30		
35	0.256	26.79	44.83	32.70	30	35	35		
40	0.221	41.85	59.94	48.27	42	45	60		
45	0.206	66.75	76.74	64.82	68	60	86		
50	0.190	72.91	126.98	86.60	75	80	90		
60	0.165	106.97	116.70	183.73	138.28	110	120	130	140
70	0.150	164.33	187.75	251.97	203.07	160	170	186	206
80	0.140	209.97	229.06	328.70	279.97	210	230	266	280
90	0.134	272.68	298.04	414.42	366.66	275	300	330	370
100	0.130	342.25	374.96	517.80	483.18	360	378	416	466
110	0.124	426.34	467.04	517.80	580.96	430	420	620	565
120	0.120	615.39	608.93	629.92	708.66	620	670	630	710

Fuente: MOP (2003).

Distancia de visibilidad de parada.

Para el análisis de la vía específica de esta investigación se considera factores importantes como la distancia de visibilidad de parada que según (Pineda, 2019) es la distancia que necesita el conductor para detener el vehículo, en caso de que ocurra una situación de peligro o se visualice un objeto imprevisto delante de su marcha. (Altamira, 2020) dice que la distancia de visibilidad disponible versus la distancia de visibilidad del frenado calculada para la velocidad de operación es un control necesario para evaluar la seguridad del trazado. La misma está compuesta de dos factores, la distancia de percepción y reacción del conductor d_1 más la distancia de frenado que se denomina d_2 .

Estudios han determinado que por lo general el tiempo de reacción es de 2.5 segundos, por lo que consideran que este tiempo es suficiente para situaciones complejas

y adversas. Seguido de esto se puede decir que la formulación es la siguientes según el MOP 2003:

$$d1 = 0.7 Vc \quad (2)$$

Donde:

d1= distancia recorrida durante el tiempo de percepción más reacción (m).

Vc= velocidad de circulación del vehículo (km/h)

t= tiempo de percepción más reacción en seg.

Para la distancia de frenado el MOP 2003, establece la siguiente expresión que relaciona la velocidad de circulación (Vc) y es inversamente proporcional a el coeficiente de fricción longitudinal(f)

$$d2 = \frac{Vc^2}{254*f} \quad (3)$$

Para el coeficiente de fricción longitudinal se utilizará la siguiente expresión que también está ligada de la velocidad de circulación (Vc).

$$f = \frac{1.15}{Vc^{0.3}} \quad (4)$$

Para la evaluación del caso de estudio específico se comparará con los rangos establecidos por el MOP 2003, en el CUADRO VI-I, que determina que el mayor mínimo es de 25 metros.

Sobrecarga en las curvas.

El sobrecarga tiene como objetivo dar paso al tránsito de vehículos con seguridad y comodidad (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011) en las curvas con el afán de que los vehículos puedan circular al mismo tiempo en ambos sentidos, el MOP-2003 establece la siguiente expresión empírica para el cálculo del mismo que será el mínimo valor que debe cumplir, esta característica depende del número de carriles(n), radio de la curvatura circular(R) en metros, la longitud entre la parte frontal y el eje posterior del vehículo de diseño (L) en metros y finalmente la

velocidad de diseño(V) en km/hora. Este parámetro es importante pues evita accidentes de tránsito en curvas.

$$S = n (R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{V}{10 \sqrt{R}} \quad (5)$$

Peralte

Para esta investigación se empleó varias características a cumplir como la del peralte que es la que se opone cuando un vehículo recorre una curva y sufre el fenómeno de ser empujado hacia afuera debido al efecto de la fuerza centrífuga, a esta se opone la fuerza de los componentes del peso del vehículo, debido a la fuerza de fricción entre las llantas y la calzada. Según el MOP-2003 la inestabilidad debida a la fuerza centrífuga puede manifestarse ya sea en deslizamientos o en volcamientos es ahí donde el peralte juega un papel importante debido a que es uno de los parámetros que se puede establecer en obra y hacer que el vehículo no pierda pista ni sufra ningún accidente. El MOP-2003 establece el límite máximo de peralte en zona rural montañosa es de 10%.

$$e = \frac{V^2}{127 * R} - f \quad (6)$$

Donde:

E= peralte de curva, m/m

V= Velocidad de diseño (km/h)

R= Radio de la curva (m)

F= Máximo coeficiente de fricción lateral. (tabla 12).

Para poder determinar el peralte de una carretera se debe considerar el factor “F” que es el máximo coeficiente de fricción lateral, que depende del requerimiento a contrarrestar los fenómenos físicos, está ligado también por el estado del ambiente sea este seco, húmedo, con hielo, en la **Tabla 12** se encuentra los valores para cada ambiente donde se vaya a implantar una vía.

Tabla 12. Valores límites permisibles de “F” según el pavimento.

REQUERIMIENTOS	VALORES LÍMITES PERMISIBLES DE “F” SEGÚN EL PAVIMENTO		
	SECO	HUMEDO	CON HIELO
Estabilidad contra el volcamiento	0.60	0.60	0.60
Estabilidad contra el deslizamiento	0.36	0.24	0.12
Comodidad del viaje para el pasajero	0.15	0.15	0.15
Explotación económica del vehículo.	0.16	0.10	0.10

Fuente: MOP 2003-Tabla V.1

Longitud de transición del peralte.

Otro factor importante es la longitud de transición del peralte, esta debe ser gradual de modo que el cambio no sea brusco para el usuario de la vía, esta longitud tiene como objetivo mantener el vehículo dentro de la calzada y contrarrestar el deslizamiento del vehículo, esta se proyecta al inicio y al final de las curvas horizontales en una vía, es una variación gradual de la pendiente, inclinada hacia el eje del proyecto. Según (Moreno et al., 2018) esta transición es un factor muy importante utilizados para definir la estabilidad de los vehículos en curvas.

El MOP-2003, facilita la siguiente expresión de cálculo, para lo cual se determina la diferencia de nivel del eje al borde de la vía y es directamente proporcional a la velocidad de diseño(V) en km/h de la carretera

$$L_{min} = 0.56 V \quad (7)$$

3.1.2.2 *Alineamiento Vertical.*

Longitud mínima en curvas verticales

Según la Normativa vigente en el país MOP 2003, la longitud mínima de las curvas verticales está determinada a partir de la distancia de visibilidad, considerando una altura del ojo del conductor de 1.15 metros, para (Leisch & Leisch, 1977) este parámetro permitirá que el conductor pueda maniobrar en caso de tener un obstáculo o un vehículo en sentido contrario, es así que a continuación se presenta la ecuación que determinara la longitud mínima que se debe tener para evitar accidentes y maniobras forzadas. La longitud de curvas verticales será calculada por la ecuación 8 y 9 dependiendo del tipo de curva, estas expresiones están directamente relacionadas con la velocidad de diseño (V) en km/h.

Longitud de curvas verticales convexas:

$$L_{min} = 0.60 V \quad (8)$$

Longitud de curvas verticales cóncavas:

$$L_{min} = 0.60 V \quad (9)$$

3.1.3 *Unidad ejecutora.*

Al ser una evaluación de un diseño ya presentado en el Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Ana, esta investigación beneficiará directamente al mismo, pues dará las directrices para un diseño correcto y funcional.

3.1.4 *Beneficiarios.*

Los beneficiarios de la investigación son los habitantes de la Parroquia de Santa Ana perteneciente al cantón Cuenca provincia del Azuay, debido a que esta vía es la de ingreso directo al centro poblado de la parroquia, según el PDOT del año 2019, existe 6,761 habitantes y en el sector de Auquilula tiene 253 habitantes y el centro parroquial

tiene 612 habitantes que serían los beneficiarios directos ya que esta vía está implantada sobre estos dos sectores.

3.1.5 Ubicación.

La vía está comprendida entre el puente de Auquilula y el Centro parroquial de Santa Ana, en la **Tabla 13** se describe las coordenadas de inicio y fin de la vía en estudio

Tabla 13. Coordenadas vía.

TRAMO	DESCRIPCIÓN DE LA VIA	LONG	COORDENADAS DE INICIO			COORDENADAS DE FINAL	
			M	X	Y	X	Y
1	Vía Puente de Auquilula - Centro Parroquial	1911 m	730075.00	9675454.00	731177.00	9675286.00	

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6 Tiempo estimado de ejecución.

El tiempo estimado para la ejecución de esta investigación es de 3 meses, en los cuales se realiza investigación en campo y en oficina en el procesamiento de información, para esto se necesita realizar conteos de vehículos que circulan sobre la vía, además se corrobora la topografía presentada, seguidamente se realiza las comprobaciones establecidas por la norma MOP 2003.

3.2 Antecedentes de la propuesta.

La metodología implementada pretende contrastar la metodología habitual con la de consistencia, con el afán de corroborar el cumplimiento de la normativa actual y a su vez realizar un análisis tomando en cuenta la impresión del conductor llevando el diseño tradicional a estimar la siniestralidad por medio de la consistencia.

3.3 Justificación.

La seguridad vial tiene mucha importancia al momento de diseñar una vía, debido a que a diario hay accidentes de tránsito, provocados por el incumplimiento de normativas

de diseño pues no se considera la particularidad que tienen las carreteras de montaña por su topografía y accidentes geográficos. Sin embargo, se debe tratar de cumplir con todos los parámetros de diseño establecidos por las diferentes normativas con el afán de ofrecer un vía transitable y segura para los usuarios. Es por esto que esta investigación pretende evaluar un diseño geométrico vial específico con el propósito de establecer el cumplimiento e incumplimiento de ciertos parámetros, con el fin de establecer si la carretera diseñada es segura.

3.4 Objetivos.

3.4.1 Objetivo General.

Evaluar un diseño geométrico vial específico, con el afán de determinar qué tan segura es la vía, mediante la verificación del cumplimiento de los parámetros de diseño según la normativa y su consistencia geométrica.

3.4.2 Objetivos Específicos.

- Realizar el levantamiento topográfico del lugar de implantación de la carretera, con el propósito de tener la geometría real del entorno.
- Determinar el tráfico promedio diario anual (TPDA), empleando conteos manuales durante siete días continuos.
- Determinar los parámetros de diseños establecidos en la normativa vigente en el país (MOP-2003).
- Realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos entre la aplicación de la normativa y el diseño geométrico proporcionado por el GAD parroquial de Santa Ana.
- Aplicar el análisis de consistencia geométrica de Lamm, mediante el análisis de la velocidad de circulación V85, para determinar el nivel de seguridad de la vía.

3.5 Fundamento científico- técnico.

Estudio de la geometría de la vía.

Para este análisis se determinó cada una de las características geométricas en planta y perfil dadas por el estudio existente, seguidamente se comparó con los parámetros calculados con lo que establece la norma MOP 2003; verificando el porcentaje que cumple para cada uno de los elementos que constituye la vía. Para la evaluación se consideró como vehículo de diseño al dado en la CUADRO III-3 de la MOP 2003 como “Largo camión rígido (1, 2 o 3 ejes en el semirremolque)”, debido a que son los vehículos que circulan en el medio de estudio.

Evaluación de consistencia del diseño geométrico.

Para esta evaluación se ha utilizado el método establecido por (Lamm et al., 1999) que propone dos criterios de evaluación basados en la velocidad de operación y la velocidad de diseño, para lo cual determino umbrales o límites de valores con el afán de dar un valor cualitativo, y con ello integrar al diseño el concepto de consistencia o comportamiento del conductor al momento de usar la vía. Lamm propone esta metodología para integrar la seguridad vial desde la percepción del conductor.

3.6 Metodología. Modelo Operativo.

3.6.1 Trabajo de campo.

Procedimiento de reconocimiento de la zona.

Se realizó una primera inspección para el reconocimiento del lugar donde se encuentra la vía, se optó por visitarla para observar la topografía del área de implantación, establecer los lugares de ubicación de los puntos estáticos, además donde se puede colocar la estación para una mayor visibilidad al momento de hacer el levantamiento topográfico.

Levantamiento topográfico.

Este levantamiento nos servirá para tener las características topográficas en sitio, para esto se utilizará estación total. Se procedió a hacer el levantamiento buscando tener puntos estratégicos que permitan tener una amplia visión de la carretera, se tomó en cuenta los ejes de la vía actual, bordes de carretera, cunetas, alcantarillas, quebradas, postes, casas entre otros, cada 10 metros en toda la vía. Se colocó BM's fuera de las áreas de corte de la carretera en zonas fijas como veredas y piedras fijas.

Información de vehículos que transitan por la carretera.

Se realizó un conteo vehicular durante siete días, en el horario de 7:00 am a 7:00 pm, con estos datos podemos definir la clasificación de la vía, establecer un análisis de tráfico, estos datos se encuentran anexados a esta investigación.

3.6.2 Trabajo de gabinete.

Se importó los puntos generados en la estación total en campo hacia la computadora, para luego ser incorporados al programa AutoCAD Civil 3D, para realizar el procesamiento de datos.

Para la modelación de la carretera se procesó todos los datos en el Software AutoCAD Civil 3D, y se genera curvas de nivel cada 1 metro, con el fin de elaborar planos en perfil, planta y secciones transversales.

Se procede a procesar toda esta información y reflejarla en cuadros para el análisis y la comparación con la normativa MOP 2003, además se realiza el análisis de consistencia de carreteras mediante el método de "Consistencia de trazado geométrico" con la formulación de Lamm (1999).

3.6.2.1 Estudio del diseño de la geometría de la carretera.

Se estableció cada una de las características geométricas de la carretera tanto en planta, vertical y sección transversal, los cuales serán comprobados con los parámetros de diseños establecidos en el MOP-2003; de esta manera se podrá verificar el porcentaje

de cumplimiento de cada elemento de la geometría de la vía, además de garantizar que los vehículos puedan desplazarse de manera cómoda y segura.

Para la evaluación de la geometría se consideró como vehículo de diseño el camión de dos ejes (2DA), ya que el TPDA es de 4 veh/día en el día más desfavorable, siendo muy bajo debido a las condiciones desfavorables como curvas con radios de giros mínimos o pendientes longitudinales fuertes, provocando que el vehículo de diseño circule con gran dificultad.

Vehículo de diseño.

El vehículo de diseño se consideró el camión de dos ejes (2DA), diseñado para el transporte pesado de mercadería. A continuación, se presentan las dimensiones del vehículo de diseño a considerarse en el diseño geométrico vial:

Nomenclatura: 2DA

Alto total: 3.50m

Ancho total: 2.60m

Largo total: 7.50m

Radio mínimo rueda externa delantera: 16.00m

Radio mínimo rueda interna trasera: 10.00m

Características de curvas horizontales.

En base al levantamiento topográfico se obtuvo la poligonal abierta de la carretera para posteriormente trazar las curvas que definen a la carretera, de tal manera que se identifican las características de las curvas horizontales y cada uno de sus componentes. Para evaluar el cumplimiento de parámetros mínimos exigidos por la MOP-2003.

A continuación, se muestran las fórmulas para el cálculo de los elementos de las curvas horizontales establecidas en el MOP-2003 para curvas circulares horizontales.

$$\text{Tangente} \quad T = R * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (10)$$

$$\text{Cuerda} \quad C = 2 * R * \text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (11)$$

$$\text{External} \quad E = R * \left(\text{sec}\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1\right) \quad (12)$$

$$\text{Flecha} \quad F = R * \left(1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) \quad (13)$$

$$\text{Longitud de curva} \quad L_c = 2 * \pi * R * \left(\frac{\alpha}{360}\right) \quad (14)$$

$$\text{Sobreechancho} \quad S_a = n * \left(R - \sqrt{R^2 - L^2}\right) + \frac{V}{10 * \sqrt{R}} \quad (15)$$

En la **Tabla 14**, se encuentran las características de las curvas horizontales, las cuales fueron proporcionadas por el GAD parroquial de Santa Ana, estas son importantes para determinar el grado de cumplimiento de la normativa al ser comparadas entre sí.

Tabla 14. Características de las curvas horizontales.

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL								
PI	DIRECCIÓN	DEFLEXIÓN (°)	R	T	L	LC	E	M
C1	N11° 37' 43E	20°04'23	50	8.85	17.52	17.43	0.78	0.77
C2	N21° 17' 07W	85°54'03	15	13.96	22.49	20.44	5.49	4.02
C3	N57° 22' 29W	13°43'20	50	6.02	11.97	11.95	0.36	0.36
C4	N83° 26' 41W	65°51'43	25	16.19	28.74	27.18	4.79	4.02
C5	S78° 52' 20W	30°29'43	50	13.63	26.61	26.3	1.82	1.76
C6	S69° 23' 01W	49°28'20	20	9.21	17.27	16.74	2.02	1.84
C7	S87° 31' 35W	85°45'28	20	18.57	29.94	27.22	7.29	5.34
C8	N29° 45' 34W	39°40'12	50	18.04	34.62	33.93	3.15	2.97
C9	N1° 04' 23W	17°42'10	200	31.15	61.79	61.55	2.41	2.38
C10	N17° 11' 41W	49°56'46	80	37.26	69.74	67.55	8.25	7.48
C11	N56° 11' 10W	28°02'13	130	32.46	63.61	62.98	3.99	3.87
C12	N76° 36' 39W	12°48'45	120	13.47	26.83	26.78	0.75	0.75
C13	N61° 39' 40W	42°42'43	40	15.64	29.82	29.13	2.95	2.75
C14	S84° 17' 00W	110°49'23	22	31.9	42.55	36.22	16.8	9.51
C15	S60° 28' 24W	63°12'10	30	18.46	33.09	31.44	5.22	4.45
C16	S78° 02' 57W	28°03'04	40	9.99	19.58	19.39	1.23	1.19
C17	S86° 50' 27W	45°38'03	20	8.41	15.93	15.51	1.7	1.57
C18	N37° 54' 59W	64°51'05	75	47.64	84.89	80.43	13.9	11.7

C19	S86° 41' 16W	175°38'35	11.3	297.1	34.64	22.58	286	10.9
C20	S13° 16' 48E	24°17'32	50	10.76	21.2	21.04	1.14	1.12
C21	S13° 25' 44E	23°59'40	100	21.25	41.88	41.57	2.23	2.18
C22	S41° 13' 13W	85°18'16	15	13.82	22.33	20.33	5.39	3.97
C23	S42° 17' 38W	83°09'26	20	17.74	29.03	26.55	6.74	5.04
C24	S28° 45' 24W	56°04'57	25	13.32	24.47	23.51	3.33	2.93
C25	S50° 24' 36W	12°46'33	50	5.6	11.15	11.13	0.31	0.31
C26	S54° 56' 47W	21°50'56	50	9.65	19.07	18.95	0.92	0.91
C27	S73° 49' 28W	15°54'24	50	6.99	13.88	13.84	0.49	0.48
C28	S70° 42' 37W	22°08'06	50	9.78	19.32	19.2	0.95	0.93
C29	S87° 41' 46W	56°06'25	20	10.66	19.59	18.81	2.66	2.35

Fuente: Elaboración propia (2023).

Cálculo de peralte y longitud de transición de peralte

El peralte tiene como finalidad reducir la fuerza centrífuga que experimentan los vehículos al circular por las curvas horizontales, de esta manera mantener a los vehículos dentro de la carretera. Para la longitud total de transición de peralte se definirá mediante la siguiente ecuación, la cual relaciona la longitud de desarrollo de peralte (L) y la longitud dentro de la tangente necesaria para realizar el giro plano del carril, es decir hasta colocarlo en horizontal (X).

$$L_C = L + X \quad (16)$$

La longitud de desarrollo de peralte L y la longitud necesaria para realizar el giro plano de carril (X) se encuentra definida por la siguiente ecuación 17 y 18, que relaciona el ancho de la calzada (b), el peralte (e) la gradiente de borde (i) y la pendiente transversal (P). Este parámetro está establecido en el MOP-2003.

$$L = \frac{e*b}{2*i} \quad (17)$$

$$X = \frac{b*P}{2*i} \quad (18)$$

Distancia de visibilidad (D.V)

La distancia mínima de visibilidad de parada de un vehículo es igual a la suma de dos distancias: d_1 ; distancia recorrida por el vehículo desde el instante que el conductor avizora un objeto en el camino y d_2 ; distancia que recorre el vehículo desde el frenado

hasta detener su marca por completo, estas distancias hacen referencia al tiempo que transcurre desde la percepción hasta la reacción, y al recorrido del vehículo durante el frenaje.

La distancia recorrida durante el tiempo de percepción más reacción se calcula mediante la siguiente ecuación, la misma que incorpora la velocidad de circulación (V_c) en km/h y el tiempo de percepción (t) en segundos.

$$d_1 = \frac{V_c * t}{3.6} \quad (19)$$

La distancia que recorre el vehículo desde el frenado hasta detener su marcha (d_2), esta depende directamente del cuadrado velocidad de circulación y es inversamente proporcional a la suma del coeficiente de fricción longitudinal (f) y la gradiente (G).

$$d_2 = \frac{V_c^2}{254 * (f \pm G)} \quad (20)$$

A continuación, en la **Tabla 15** se presenta el cálculo de la distancia de visibilidad de parada y su cuadro de cumplimiento con respecto a los datos proporcionados por el GAD parroquial de Santa Ana.

Tabla 15. Distancias de visibilidad de parada.

EVALUACION DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD MINIMA PARA PARADA DE UN VEHICULO						
TRAMO	TRAMO	PENDIEN	DVP,	DV	DV, para	OBSERVACI
O	O	TE	RECOMENDA	P,	un solo	ON
INICIA	FINAL		DO	CAL	carril con	
L					tráfico en	
					dos	
					direccion	
					es	
0+000.0	0+048.6	-2.20%	25.00	18.9	37.97	CUMPLE
0	7			9		
0+048.6	0+134.8	-22.31%	25.00	19.5	39.17	CUMPLE
7	1			9		
0+134.8	0+197.6	-4.70%	25.00	19.0	38.09	CUMPLE
1	5			5		
0+197.6	0+293.7	-15.00%	25.00	19.3	38.67	CUMPLE
5	0			3		

0+293.7 0	0+349.9 3	-4.90%	25.00	19.0 5	38.10	CUMPLE
0+349.9 3	0+391.8 1	-20.60%	25.00	19.5 2	39.05	CUMPLE
0+391.8 1	0+458.7 3	-4.71%	25.00	19.0 5	38.09	CUMPLE
0+458.7 3	0+529.0 5	-20.49%	25.00	19.5 2	39.04	CUMPLE
0+529.0 5	0+587.7 5	13.61%	25.00	18.6 6	37.33	CUMPLE
0+587.7 5	0+670.8 3	-16.12%	25.00	19.3 7	38.74	CUMPLE
0+670.8 3	0+796.5 1	-4.23%	25.00	19.0 3	38.07	CUMPLE
0+796.5 1	0+896.9 0	-19.58%	25.00	19.4 9	38.97	CUMPLE
0+896.9 0	0+922.5 6	15.70%	25.00	18.6 3	37.25	CUMPLE
0+922.5 6	1+012.2 7	-13.08%	25.00	19.2 8	38.55	CUMPLE
1+012.2 7	1+034.8 5	-25.95%	25.00	19.7 3	39.46	CUMPLE

Tabla 15. (Continuación)

1+034.8 5	1+220.2 5	-11.25%	25.00	19.2 2	38.44	CUMPLE
1+220.2 5	1+418.3 3	-20.55%	25.00	19.5 2	39.04	CUMPLE
1+418.3 3	1+495.6 7	-5.25%	25.00	19.0 6	38.12	CUMPLE
1+495.6 7	1+553.3 5	-16.74%	25.00	19.3 9	38.78	CUMPLE
1+553.3 5	1+617.5 3	15.50%	25.00	18.6 3	37.26	CUMPLE
1+617.5 3	1+688.2 5	0.50%	25.00	18.9 2	37.85	CUMPLE
1+688.2 5	1+748.1 8	-16.60%	25.00	19.3 9	38.77	CUMPLE
1+748.1 8	1+865.8 7	-11.01%	25.00	19.2 1	38.43	CUMPLE
1+865.8 7	1+905.7 1	-0.50%	25.00	18.9 5	37.89	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

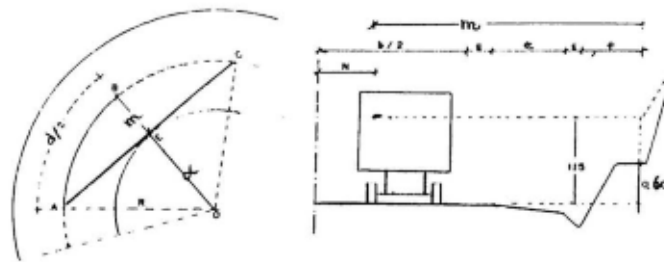
En la **Tabla 15** se pudo observar el cumplimiento de distancia mínima de parada, con este parámetro garantizamos la seguridad del usuario, debido a que se garantiza una

distancia prudencial para realizar cualquier maniobra en el caso de tener un obstáculo en el sentido de marcha.

Distancia de visibilidad en curvas horizontales

Debido a la presencia de obstáculos laterales sobre el borde interno de las curvas horizontales como murallas, taludes de corte, edificios, etc. que dificultan la visibilidad a la trayectoria en la curva horizontal. Es por ello que en las curvas horizontales deberá garantizar una adecuada distancia de visibilidad para evitar accidentes de tránsito, que generalmente se ocasionan en las curvas.

Figura 2. Visibilidad en curvas horizontales.



Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras (DG-2001)

El valor de la distancia de visibilidad en curvas horizontales “m” depende de la sección transversal optada para la vía en estudio (b), sobreebancho (g), distancia del eje de la vía al ojo del conductor (N), si se considera el uso de espaldón en la vía (e), ancho de cuneta (c) y el ancho generado por el talud medido desde el desnivel de la calzada a 1.15m de altura (t).

$$m = \frac{b}{2} + g - N + e + c + t \quad (21)$$

El ancho mínimo libre de obstrucciones, será calculado por la siguiente expresión.

$$m = \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) R \quad (22)$$

En la **Tabla 16**, se muestra la evaluación de la distancia de visibilidad en las curvas horizontales, así mismo se compara la distancia mínima requerida por el MOP-2003 y la presente en el diseño geométrico proporcionado por el GAD parroquial de Santa Ana.

Tabla 16. Ancho mínimo libre de obstrucciones a la visibilidad.

EVALUACION DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN LAS CURVAS HORIZONTALES									
PI	b	g	N	e	c	t	m_{,cal}	m_{,dis}	EVALUACION m
C1	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.8	3.2	CUMPLE
C2	6	2.66	0.8	0	0.6	1.7	4.0	3.2	NO CUMPLE

Tabla 16. (Continuación)

C3	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.4	3.2	CUMPLE
C4	6	1.65	0.8	0	0.6	1.7	4.0	3.2	NO CUMPLE
C5	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	1.8	3.2	CUMPLE
C6	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	1.8	3.2	CUMPLE
C7	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	5.3	3.2	NO CUMPLE
C8	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	3.0	3.2	CUMPLE
C9	6	0.32	0.8	0	0.6	1.7	2.4	3.2	CUMPLE
C10	6	0.63	0.8	0	0.6	1.7	7.5	3.2	NO CUMPLE
C11	6	0.44	0.8	0	0.6	1.7	3.9	3.2	NO CUMPLE
C12	6	0.46	0.8	0	0.6	1.7	0.7	3.2	CUMPLE
C13	6	1.10	0.8	0	0.6	1.7	2.7	3.2	CUMPLE
C14	6	1.85	0.8	0	0.6	1.7	9.5	3.2	NO CUMPLE
C15	6	1.41	0.8	0	0.6	1.7	4.4	3.2	NO CUMPLE
C16	6	1.10	0.8	0	0.6	1.7	1.2	3.2	CUMPLE
C17	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	1.6	3.2	CUMPLE
C18	6	0.66	0.8	0	0.6	1.7	11.7	3.2	NO CUMPLE
C19	6	3.59	0.8	0	0.6	1.7	10.9	3.2	NO CUMPLE
C20	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	1.1	3.2	CUMPLE
C21	6	0.53	0.8	0	0.6	1.7	2.2	3.2	CUMPLE
C22	6	2.66	0.8	0	0.6	1.7	4.0	3.2	NO CUMPLE
C23	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	5.0	3.2	NO CUMPLE
C24	6	1.65	0.8	0	0.6	1.7	2.9	3.2	CUMPLE
C25	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.3	3.2	CUMPLE
C26	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.9	3.2	CUMPLE
C27	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.5	3.2	CUMPLE
C28	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.9	3.2	CUMPLE
C29	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	2.3	3.2	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (2023).

Analizando la **Tabla 16**, se observa que 18 curvas horizontales cumplen con la condición de la distancia mínima de visibilidad en curvas horizontales, las cuales representa el 62% del total de la curvas y 11 curvas horizontales no cumplen y representan el 38%.

Características de curvas verticales.

Las características de las curvas verticales como: pendientes longitudinales, longitud de curva vertical y de los índices de curvatura, se evaluarán de acuerdo al perfil generado en el diseño geométrico. El cálculo de los índices de curvatura se representa a partir de las longitudes de las curvas verticales y pendientes, de acuerdo a la siguiente ecuación que involucra la longitud de la curva (L) y la diferencia algebraica de pendientes (A):

$$k = \frac{L}{A} \quad (23)$$

En la **Tabla 17**, se muestra el cálculo de los diferentes índices de curvatura para las 23 curvas verticales existentes a lo largo de la vía de estudio.

Tabla 17. Cálculo del índice de curvatura.

N. °	P.K. de VAV	Inclina ción de rasant e T.E.	Inclina ción de rasant e T.S.	A (Camb io de pendie nte)	Longi tud de curva de perfil	Val or de K	Tipo de curv a	k, min MO P- 200 3	OBSERVA CION
1	0+000. 00m		-2.20%						
2	0+048. 67m	-2.20%	- 22.31%	20.11 %	60	2.9 84	Conv exo	2	CUMPLE
3	0+134. 81m	- 22.31%	-4.70%	17.61 %	20	1.1 36	Cónc avo	3	NO CUMPLE
4	0+197. 65m	-4.70%	- 15.00%	10.30 %	50	4.8 55	Conv exo	2	CUMPLE
5	0+293. 70m	- 15.00%	-4.90%	10.10 %	30	2.9 7	Cónc avo	3	NO CUMPLE

6	0+349. 93m	-4.90%	- 20.60%	15.70 %	30	1.9 11	Conv exo	2	NO CUMPLE
7	0+391. 81m	- 20.60%	-4.71%	15.89 %	20	1.2 59	Cónc avo	3	NO CUMPLE
8	0+458. 73m	-4.71%	- 20.49%	15.77 %	45	2.8 53	Conv exo	2	CUMPLE
9	0+529. 05m	- 20.49%	13.61%	34.10 %	45	1.3 2	Cónc avo	3	NO CUMPLE
1 0	0+587. 75m	13.61%	- 16.12%	29.74 %	70	2.3 54	Conv exo	2	CUMPLE
1 1	0+670. 83m	- 16.12%	-4.23%	11.90 %	70	5.8 84	Cónc avo	3	CUMPLE
1 2	0+796. 51m	-4.23%	- 19.58%	15.35 %	35	2.2 8	Conv exo	2	CUMPLE
1 3	0+896. 90m	- 19.58%	15.70%	35.28 %	30	0.8 5	Cónc avo	3	NO CUMPLE
1 4	0+922. 56m	15.70%	- 13.08%	28.78 %	20	0.6 95	Conv exo	2	NO CUMPLE
1 5	1+012. 27m	- 13.08%	- 25.95%	12.87 %	20	1.5 54	Conv exo	2	NO CUMPLE
1 6	1+034. 85m	- 25.95%	- 11.25%	14.70 %	20	1.3 61	Cónc avo	3	NO CUMPLE
1 7	1+220. 25m	- 11.25%	- 20.55%	9.31% %	60	6.4 46	Conv exo	2	CUMPLE
1 8	1+418. 33m	- 20.55%	-5.25%	15.30 %	65	4.2 48	Cónc avo	3	CUMPLE
1 9	1+495. 67m	-5.25%	- 16.74%	11.49 %	50	4.3 51	Conv exo	2	CUMPLE
2 0	1+553. 35m	- 16.74%	15.50%	32.24 %	55	1.7 06	Cónc avo	3	NO CUMPLE
2 1	1+617. 53m	15.50%	0.50%	15.00 %	40	2.6 67	Conv exo	2	CUMPLE
2 2	1+688. 25m	0.50%	- 16.60%	17.10 %	35	2.0 47	Conv exo	2	CUMPLE
2 3	1+748. 18m	- 16.60%	- 11.01%	5.59% %	20	3.5 81	Cónc avo	3	CUMPLE
2 4	1+865. 87m	- 11.01%	-0.50%	10.52 %	40	3.8 03	Cónc avo	3	CUMPLE
2 5	1+905. 71m	-0.50%							

Fuente: Elaboración propia (2023).

Según los resultados obtenidos en la **Tabla 17**, se observa que 13 curvas verticales cumplen con el índice de curvatura, es decir, que este factor favorecerá a la seguridad del trazado vial pues garantiza una adecuada visibilidad a los usuarios de la vía, estas representan el 57 % del total de las curvas verticales, por lo que se considera que la vía no es segura en su totalidad.

Longitud mínima de curvas verticales.

La longitud de curva mínima se evaluará mediante la ecuación $L=K*A$, para velocidades de 25km/h, en curvas convexas el coeficiente k será: $k=2$ y para curvas cóncavas el coeficiente será $k=3$, según lo establecido en el MOP-2003. En la **Tabla 18** se muestra los resultados del cálculo de la longitud mínima de curvas verticales que impone la normativa con el objetivo de generar un suavizado en el trazado de las curvas verticales y con ello lograr seguridad en la vía brindando una adecuada distancia de visibilidad a los usuarios.

Tabla 18.Cálculo longitud mínima de curvas verticales.

N.º	Tipo de curva de perfil	A (Cambio de pendiente)	Índice de curvatura	Long mínima de curva vertical	Longitud de curva de perfil	OBSERVACION
1						
2	Convexo	20.11%	2	40.2	60	CUMPLE
3	Cóncavo	17.61%	3	52.8	20	NO CUMPLE
4	Convexo	10.30%	2	20.6	50	CUMPLE
5	Cóncavo	10.10%	3	30.3	30	NO CUMPLE
6	Convexo	15.70%	2	31.4	30	NO CUMPLE
7	Cóncavo	15.89%	3	47.7	20	NO CUMPLE
8	Convexo	15.77%	2	31.5	45	CUMPLE
9	Cóncavo	34.10%	3	102.3	45	NO CUMPLE
10	Convexo	29.74%	2	59.5	70	CUMPLE

11	Cóncavo	11.90%	3	35.7	70	CUMPLE
12	Convexo	15.35%	2	30.7	35	CUMPLE
13	Cóncavo	35.28%	3	105.8	30	NO CUMPLE
14	Convexo	28.78%	2	57.6	20	NO CUMPLE
15	Convexo	12.87%	2	25.7	20	NO CUMPLE
16	Cóncavo	14.70%	3	44.1	20	NO CUMPLE
17	Convexo	9.31%	2	18.6	60	CUMPLE
18	Cóncavo	15.30%	3	45.9	65	CUMPLE
19	Convexo	11.49%	2	23.0	50	CUMPLE
20	Cóncavo	32.24%	3	96.7	55	NO CUMPLE
21	Convexo	15.00%	2	30.0	40	CUMPLE
22	Convexo	17.10%	2	34.2	35	CUMPLE
23	Cóncavo	5.59%	3	16.8	20	CUMPLE
24	Cóncavo	10.52%	3	31.6	40	CUMPLE
25						

Fuente: Elaboración propia (2023).

Luego del análisis de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la normativa MOP-2003 se tiene que 13 curvas verticales cumplen con la longitud mínima de curva vertical, garantizando una adecuada transitabilidad.

Análisis de consistencia.

Para esta investigación se ha integrado la evaluación de consistencia del diseño geométrico, esta nos permite evaluar la seguridad desde el punto de vista del usuario. Para esto a continuación se presenta el cálculo de los siguientes parámetros.

VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE PERCENTIL 85 CONSIDERADAS EN TANGENTES Y CURVAS.

La velocidad de operación se calculó en cada tramo a lo largo de la alineación del trazado geométrico horizontal utilizando el modelo desarrollado por Lamm (1990). A continuación, en la **Tabla 19** se presenta algunos modelos de cálculo de velocidades de operación en curvas y tangentes.

Tabla 19. Modelos para el cálculo de operación en función del trazado en planta.

AÑO	AUTOR	ECUACION	R ²	OBSERVACION
-----	-------	----------	----------------	-------------

1990	Lamm et al.	$V_{85} = 94.398 - (3188.656/R)$	0.79	Para velocidades inferior a 94 km/h, datos en 322 curvas
1990	Kenellaidis et al.	$V_{85} = 129.88 - (623.1/R^{0.5})$	0.78	Para velocidades cercanas hasta 130 km/h, datos en 58 curvas
1994	Islam y Seneviratne	$V_{85} = 103.03 - (4208.76/R) - (36597.92/R^2)$	0.98	
1994	Morall et al.	$V_{85} = e^{4.56-0.0058*Gc}$	0.63	Ecuación donde involucra el grado de curvatura
1994	Islam et al.	$V_{85} PC = 95.41 - 0.45Gc - 0.001Gc^2$ $V_{85} PM = 96.11 - 0.32 Gc$ $V_{85} PT = 103.03 - 0.76Gc - 0.003Gc^2$	0.99 0.98 0.98	
1999	Lamm et al.	$V_{85} = 95.594 - 1.597Gc$	0.79	
2005	Missaghi y Hassan	$V_{85} = 94.30 + 8.67 * 10^{-6} R^2$	0.52	
2006	Castro et al.	$V_{85} = 120.16 - (5596.72/R)$	0.75	
2012	CIIC	$V_{85} = 106.863 - (60.1185/e^{0.00422596R})$	0.72	

Fuente: Lamm, (1999)

Se seleccionó el modelo de Lamm debido a que la velocidad de diseño para el caso de estudio es inferior a 94km/h, además, este modelo ha considerado 322 curvas horizontales, lo que nos garantiza una mayor confiabilidad en el uso del método.

En la **Tabla 21**, se analiza la variación entre las velocidades de operación y la velocidad de diseño seleccionada para el caso de estudio, utilizando el método de Lamm.

En el criterio I de Lamm relaciona la velocidad de diseño y la velocidad de operación en las curvas horizontales, las cuales se describen a continuación; en la **Tabla 20**, que otorga un valor cualitativo dependiendo de la diferencia entre velocidades y los umbrales establecidos por la metodología de Lamm:

Tabla 20. Criterio I de Lamm.

BUENO	REGULAR	MALO
$ V_{85} - V_d \leq 10 \text{ [km/h]}$	$10 < V_{85} - V_d \leq 20 \text{ [km/h]}$	$ V_{85} - V_d > 20 \text{ [km/h]}$

Fuente: Lamm (1999).

Tabla 21. Evaluación de la consistencia basada en la velocidad de operación en curvas horizontales, criterio I de Lamm.

PI	RADIO	V85 Lamm et al. (m)	 V85- Vd 	OBSERVACION
C1	50	30.6	5.6	BUENO
C2	15	0.0	25.0	MALO
C3	50	30.6	5.6	BUENO
C4	25	0.0	25.0	MALO
C5	50	30.6	5.6	BUENO
C6	20	0.0	25.0	MALO
C7	20	0.0	25.0	MALO
C8	50	30.6	5.6	BUENO
C9	200	78.5	53.5	MALO
C10	80	54.5	29.5	MALO
C11	130	69.9	44.9	MALO
C12	120	67.8	42.8	MALO
C13	40	14.7	10.3	TOLERABLE
C14	22	0.0	25.0	MALO
C15	30	0.0	25.0	MALO
C16	40	14.7	10.3	TOLERABLE
C17	20	0.0	25.0	MALO
C18	75	51.9	26.9	MALO
C19	11.3	0.0	25.0	MALO
C20	50	30.6	5.6	BUENO
C21	100	62.5	37.5	MALO
C22	15	0.0	25.0	MALO
C23	20	0.0	25.0	MALO
C24	25	0.0	25.0	MALO
C25	50	30.6	5.6	BUENO
C26	50	30.6	5.6	BUENO

C27	50	30.6	5.6	BUENO
C28	50	30.6	5.6	BUENO
C29	20	0.0	25.0	MALO

Fuente: Elaboración propia (2023).

Como se describe en la **Tabla 21** existe únicamente 9 curvas horizontales que se categorizan como BUENO, 2 curvas horizontales como REGULAR y el resto de curvas como MALO, siendo esta última categoría la más representativa en el trazado vial con el 62%, corroborando que el trazado horizontal de la vía de estudio no es aceptable, ni segura según el criterio de Lamm la cual evalúa la percepción del usuario.

Velocidad de operación en tangentes

Para el criterio II propuesto por Lamm la velocidad de operación en tangentes está condicionada por las curvas que la preceden y suceden, por lo que es preciso determinar si la tangente es independiente o no. Para ello se determino L_{Tmin} y L_{Tmax} para determinar los 3 casos posibles que se describen a continuación:

Caso 1: si $LT \leq LT_{min}$, la tangente es independiente y no se alcanza acelerar hasta $V_{85,n+1}$, entonces la velocidad de operación en la tangente será:

$$V_{85,T} = \frac{V_{85,n-1} + V_{85,n+1}}{2} \quad (24)$$

Caso 2: si $LT \geq LT_{max}$, la tangente es independiente y alcanza acelerar hasta la velocidad V_{des} y la velocidad de operación en la tangente es igual a la velocidad deseada V_{des}

$$V_{85,T} = V_{des} \quad (25)$$

Caso 3: si $LT_{min} < LT < LT_{max}$, la tangente es independiente y alcanza acelerar hasta V_{85n+1} y la velocidad de operación en la tangente será:

$$V_{85,T} = \sqrt{12.04 * a * (LT - LT_{min}) + V_{85n-1}^2} \quad (26)$$

Para determinar LTmin y LTmax se utilizó las siguientes expresiones que relacionan la aceleración (d), velocidad estimada del percentil 85 (V85) y velocidad deseada (Vdes)

$$LT_{min} = \frac{|V_{85,n-1}^2 - V_{85,n+1}^2|}{25.92 * a} \quad (27)$$

$$LT_{max} = \frac{|2 * V_{des}^2 - (V_{85,n-1}^2 - V_{85,n+1}^2)|}{25.92 * a} \quad (28)$$

En la **Tabla 22** se muestran las velocidades de operación en curvas y tangentes, en donde se evalúa la consistencia geométrica según el criterio II de Lamm y se otorga una calificación cualitativa según el umbral establecido por Lamm

Tabla 22. Estimaciones de velocidad de curvas y tangentes.

PI	ELEMENTO	LONG TANGENTE	PC	PT	RADIO	V(85)	LT, min	LT, max	VEL
-	tangente	5.34					43	40	15
C1	curva		0+005.3 4	0+022.8 6	50	30.62488			
-	tangente	28.52					43	45	15
C2	curva		0+051.3 8	0+073.8 7	15	0			
-	tangente	15.04					43	40	15
C3	curva		0+088.9 1	0+100.8 9	50	30.62488			
-	tangente	16.11					43	45	15
C4	curva		0+117.0 0	0+145.7 4	25	0			
-	tangente	10.83					43	40	15
C5	curva		0+156.5 7	0+183.1 9	50	30.62488			
-	tangente	11.27					43	45	15
C6	curva		0+194.4 6	0+211.7 2	20	0			
-	tangente	14.80					0	2	24
C7	curva		0+226.5 2	0+256.4 6	20	0			
-	tangente	74.63					43	40	24
C8	curva		0+331.0 9	0+365.7 1	50	30.62488			
-	tangente	48.42					322	235	55

C9	curva		0+414.1 3	0+475.9 3	200	78.45472			
-	tangente	64.30						414	147 66
C1 0	curva		0+540.2 3	0+609.9 7	80	54.5398			
-	tangente	85.34						357	84 62
C1 1	curva		0+695.3 1	0+758.9 3	130	69.8698769 2			
-	tangente	60.29						430	15 69
C1 2	curva		0+819.2 2	0+846.0 6	120	67.8258666 7			
-	tangente	5.43						219	201 41
C1 3	curva		0+851.4 9	0+881.3 0	40	14.6816			
-	tangente	4.33						10	12 7
C1 4	curva		0+885.6 3	0+928.1 8	22	0			
-	tangente	48.89						0	2 24
C1 5	curva		0+977.0 7	1+010.1 6	30	0			
-	tangente	16.91						10	8 24
C1 6	curva		1+027.0 7	1+046.6 6	40	14.6816			
-	tangente	2.32						10	12 7
C1 7	curva		1+048.9 8	1+064.9 1	20	0			
-	tangente	31.45						122	120 26
C1 8	curva		1+096.3 6	1+181.2 5	75	51.8825866 7			
-	tangente	9.55						122	124 26
C1 9	curva		1+190.8 0	1+225.4 4	11.3	0			
-	tangente	23.07						43	40 15
C2 0	curva		1+248.5 1	1+269.7 1	50	30.62488			
-	tangente	27.92						220	133 47
C2 1	curva		1+297.6 3	1+339.5 0	100	62.51144			
-	tangente	13.24						177	180 31
C2 2	curva		1+352.7 4	1+375.0 8	15	0			
-	tangente	39.10						0	2 24
C2 3	curva		1+414.1 8	1+443.2 1	20	0			
-	tangente	34.45						0	2 24
C2 4	curva		1+477.6 6	1+502.1 3	25	0			
-	tangente	23.08						43	40 15
C2 5	curva		1+525.2 1	1+536.3 6	50	30.62488			

-	tangente	126.49				85	2	24
C2 6	curva		1+662.8 5	1+681.9 2	50	30.62488		
-	tangente	39.10				85	2	31
C2 7	curva		1+721.0 2	1+734.9 0	50	30.62488		
-	tangente	14.77				85	2	31
C2 8	curva		1+749.6 7	1+768.9 9	50	30.62488		
-	tangente	52.97				43	45	24
C2 9	curva		1+821.9 6	1+841.5 4	20	0		

Continuación Tabla 22

PI	ELEMENTO	LONG, TANG	RADIO	V(85	V85- V85 _{N+1}	OBSERVACION
-	tangente	5.34		15	0	
C1	curva		50	31	15	TOLERABLE
-	tangente	28.52		15	15	TOLERABLE
C2	curva		15	0	15	TOLERABLE
-	tangente	15.04		15	15	TOLERABLE
C3	curva		50	31	15	TOLERABLE
-	tangente	16.11		15	15	TOLERABLE
C4	curva		25	0	15	TOLERABLE
-	tangente	10.83		15	15	TOLERABLE
C5	curva		50	31	15	TOLERABLE
-	tangente	11.27		15	15	TOLERABLE
C6	curva		20	0	15	TOLERABLE
-	tangente	14.80		24	24	POBRE
C7	curva		20	0	24	POBRE
-	tangente	74.63		24	24	POBRE
C8	curva		50	31	7	BUENO
-	tangente	48.42		55	24	POBRE
C9	curva		200	78	24	POBRE
-	tangente	64.30		66	12	TOLERABLE
C10	curva		80	55	12	TOLERABLE
-	tangente	85.34		62	8	BUENO
C11	curva		130	70	8	BUENO
-	tangente	60.29		69	1	BUENO
C12	curva		120	68	1	BUENO
-	tangente	5.43		41	27	POBRE
C13	curva		40	15	27	POBRE
-	tangente	4.33		7	7	BUENO
C14	curva		22	0	7	BUENO
-	tangente	48.89		24	24	POBRE

C15	curva		30	0	24	POBRE
-	tangente	16.91		24	24	POBRE
C16	curva		40	15	9	BUENO
-	tangente	2.32		7	7	BUENO
C17	curva		20	0	7	BUENO
-	tangente	31.45		26	26	POBRE
C18	curva		75	52	26	POBRE
-	tangente	9.55		26	26	POBRE
C19	curva		11.3	0	26	POBRE
-	tangente	23.07		15	15	TOLERABLE
C20	curva		50	31	15	TOLERABLE
-	tangente	27.92		47	16	TOLERABLE
C21	curva		100	63	16	TOLERABLE
-	tangente	13.24		31	31	POBRE
C22	curva		15	0	31	POBRE
-	tangente	39.10		24	24	POBRE
C23	curva		20	0	24	POBRE
-	tangente	34.45		24	24	POBRE
C24	curva		25	0	24	POBRE
-	tangente	23.08		15	15	TOLERABLE
C25	curva		50	31	15	TOLERABLE
-	tangente	126.49		24	7	BUENO
C26	curva		50	31	7	BUENO
-	tangente	39.10		31	0	BUENO
C27	curva		50	31	0	BUENO
-	tangente	14.77		31	0	BUENO
C28	curva		50	31	0	BUENO
-	tangente	52.97		24	7	BUENO
C29	curva		20	0	24	POBRE

Fuente: Elaboración propia (2023)

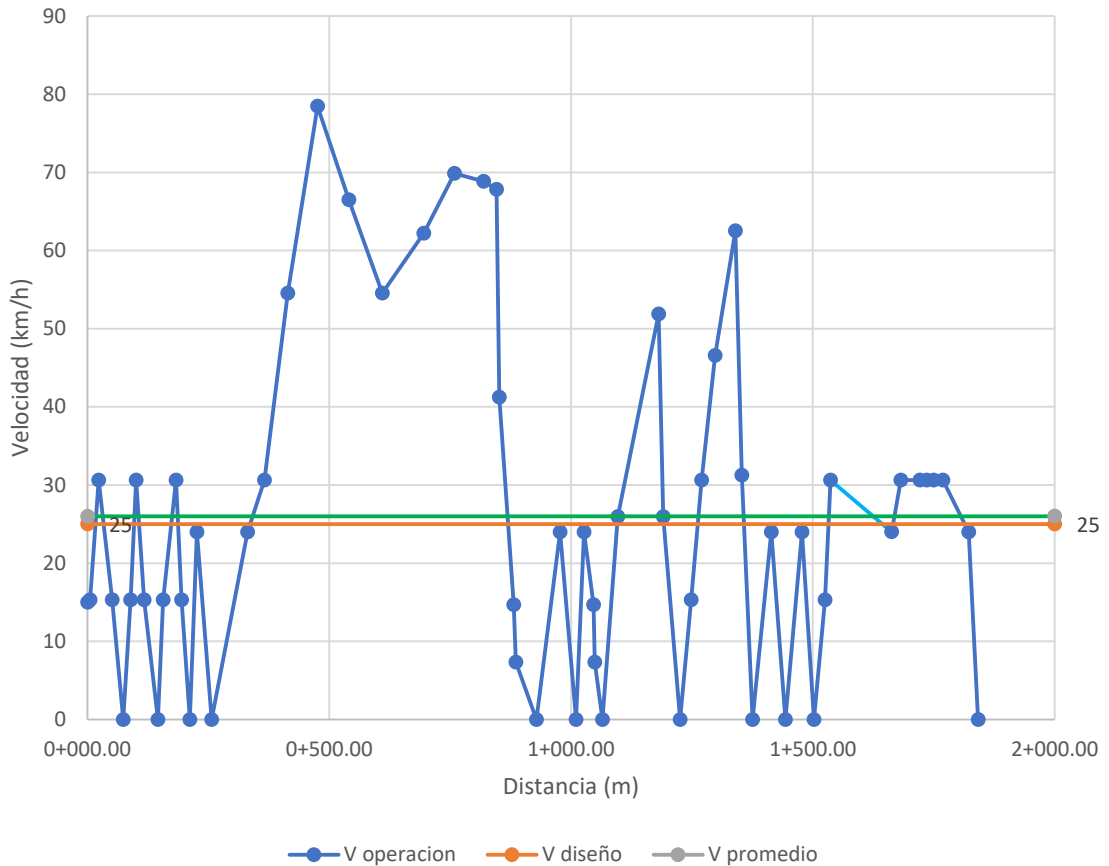
La **Tabla 22** indica que existen 17 elementos horizontales que cumple con la condición del criterio II de Lamm para la consistencia del diseño geométrico y se los categoriza como BUENO, 19 elementos horizontales son TOLERABLES debido a la variación de las velocidades entre los elementos geométricos y 21 elementos horizontales sobre pasan los 20 km/h, lo cual se los caracteriza como POBRE.

3.6.3 Construcción del perfil de velocidad.

El perfil de velocidades es una línea de operación que se grafica en el eje vertical contra la distancia a lo largo del eje horizontal. El perfil de la velocidad de operación se

obtuvo a partir del modelo propuesto por Lamm, para su elaboración se debe conocer la geometría del tramo y a partir de ello se obtienen las velocidades de operación estimada.

Figura 3. Perfil de velocidades de operación.



Fuente: Elaboración propia (2023).

En la figura 3, se observa que hay una variedad en la velocidad de operación entre elementos consecutivos, y la velocidad de operación de cada elemento con respecto a la velocidad de diseño.

3.6.4 Evaluación de elementos geométricos.

Los elementos geométricos de la vía de caso de estudio se validaron con el levantamiento topográfico y del procesamiento de la información para corroborar lo diseñado anteriormente. A partir de esto se evaluaron las características geométricas en planta, vertical y transversal

3.6.4.1 Evaluación del ancho de calzada.

Según el cuadro VIII-1 del MOP-2003 el ancho de calzada absoluto es de 6.0m para la clase de carretera del caso de estudio. El caso de estudio según los conteos realizados tiene un TPDA de 159 veh/día, el cual se encuentra dentro de la categoría IV, la cual clasifica al TPDA en un rango de 100 a 300 vehículos por día. En la **Tabla 23** se muestra la evaluación del ancho de calzada con respecto a la normativa.

Tabla 23.Evaluación de la calzada.

ABSCISA	ANCHO DISEÑO	ANCHO NORMATIVA	OBSERVACION
0+000.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+010.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+020.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+030.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+040.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+050.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+060.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+070.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+080.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+090.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+100.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+110.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+120.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+130.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+140.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+150.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+160.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+170.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+180.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+190.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+200.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+210.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+220.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+230.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+240.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+250.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+260.00	6.00	6.00	CUMPLE

0+270.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+280.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+290.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+300.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+310.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+320.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+330.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+340.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+350.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+360.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+370.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+380.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+390.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+400.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+410.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+420.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+430.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+440.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+450.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+460.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+470.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+480.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+490.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+500.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+510.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+520.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+530.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+540.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+550.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+560.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+570.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+580.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+590.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+600.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+610.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+620.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+630.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+640.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+650.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+660.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+670.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+680.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+690.00	6.00	6.00	CUMPLE

0+700.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+710.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+720.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+730.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+740.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+750.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+760.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+770.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+780.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+790.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+800.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+810.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+820.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+830.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+840.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+850.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+860.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+870.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+880.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+890.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+900.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+910.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+920.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+930.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+940.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+950.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+960.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+970.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+980.00	6.00	6.00	CUMPLE
0+990.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+000.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+010.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+020.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+030.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+040.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+050.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+060.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+070.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+080.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+090.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+100.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+110.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+120.00	6.00	6.00	CUMPLE

1+130.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+140.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+150.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+160.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+170.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+180.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+190.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+200.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+210.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+220.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+230.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+240.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+250.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+260.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+270.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+280.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+290.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+300.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+310.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+320.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+330.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+340.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+350.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+360.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+370.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+380.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+390.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+400.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+410.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+420.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+430.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+440.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+450.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+460.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+470.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+480.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+490.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+500.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+510.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+520.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+530.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+540.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+550.00	6.00	6.00	CUMPLE

1+560.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+570.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+580.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+590.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+600.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+610.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+620.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+630.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+640.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+650.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+660.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+670.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+680.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+690.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+700.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+710.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+720.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+730.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+740.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+750.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+760.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+770.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+780.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+790.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+800.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+810.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+820.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+830.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+840.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+850.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+860.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+870.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+880.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+890.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+900.00	6.00	6.00	CUMPLE
1+905.71	6.00	6.00	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (2023)

Según se observa en la **Tabla 23** a lo largo del eje vial el ancho propuesto para el diseño de la vía es aceptable en un 100%, de esta manera se puede garantizar una correcta fluidez en el tráfico vehicular evitando cuellos de botella.

3.6.4.2 Evaluación de talud de corte y relleno.

Para la evaluación de los taludes de corte y relleno se utilizó el Cuadro VIII-4 del MOP-2003 el cual establece que para esta categoría de carretera el talud de corte será 1.8 -1:1 y el talud de relleno será 1.5-2:1. Se escogieron los taludes mínimos tanto de corte como de relleno para la evaluación de los mismos. En la **Tabla 24** se muestra la evaluación de taludes tanto en corte como en relleno con respecto a la normativa.

Tabla 24.Evaluación de talud de corte y relleno.

ABSCISA	CORTE	RELLENO	OBSERVACION CORTE	OBSERVACION RELLENO
0+000.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+010.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+020.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+030.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+040.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+050.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+060.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+070.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+080.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+090.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+100.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+110.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+120.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+130.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+140.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+150.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+160.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+170.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+180.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+190.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+200.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+210.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+220.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+230.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+240.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+250.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+260.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+270.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE

0+280.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+290.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+300.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+310.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+320.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+330.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+340.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+350.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+360.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+370.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+380.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+390.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+400.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+410.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+420.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+430.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+440.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+450.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+460.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+470.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+480.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+490.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+500.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+510.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+520.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+530.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+540.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+550.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+560.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+570.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+580.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+590.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+600.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+610.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+620.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+630.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+640.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+650.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+660.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+670.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+680.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+690.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+700.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE

0+710.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+720.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+730.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+740.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+750.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+760.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+770.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+780.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+790.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+800.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+810.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+820.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+830.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+840.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+850.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+860.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+870.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+880.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+890.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+900.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+910.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+920.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+930.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+940.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+950.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+960.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+970.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+980.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
0+990.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+000.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+010.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+020.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+030.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+040.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+050.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+060.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+070.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+080.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+090.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+100.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+110.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+120.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+130.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE

1+140.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+150.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+160.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+170.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+180.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+190.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+200.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+210.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+220.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+230.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+240.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+250.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+260.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+270.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+280.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+290.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+300.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+310.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+320.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+330.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+340.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+350.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+360.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+370.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+380.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+390.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+400.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+410.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+420.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+430.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+440.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+450.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+460.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+470.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+480.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+490.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+500.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+510.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+520.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+530.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+540.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+550.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+560.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE

1+570.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+580.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+590.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+600.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+610.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+620.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+630.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+640.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+650.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+660.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+670.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+680.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+690.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+700.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+710.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+720.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+730.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+740.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+750.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+760.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+770.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+780.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+790.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+800.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+810.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+820.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+830.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+840.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+850.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+860.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+870.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+880.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+890.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+900.00	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE
1+905.71	0.5	1.5	NO CUMPLE	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la **Tabla 24** se observa que los taludes de relleno cumplen con lo establecido en el MOP-2003 que establece un talud de relleno mínimo de 1.5:1 y los taludes de corte no cumple con el mínimo requerido provocando una falta de visibilidad en las curvas horizontales y con ello provocar accidentes de tránsito.

3.6.4.3 Evaluación de radios.

Para la evaluación de los radios de curvas horizontales se consideró lo mínimo establece el MOP-2003 de 20m para un peralte máximo de 8%. Para garantizar un giro adecuado para el vehículo de diseño. A continuación, se presenta la **Tabla 25** de evaluación de radios mínimos de giro con respecto a la normativa.

Tabla 25.Evaluación de radios.

PI	RADIO	RADIO MIN (m)	OBSERVACION	V85 Lamm et al. (m)	V85- Vd	OBSERVACION
C1	50	20	CUMPLE	30.6	5.6	BUENO
C2	15	20	NO CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C3	50	20	CUMPLE	30.6	5.6	BUENO
C4	25	20	CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C5	50	20	CUMPLE	30.6	5.6	BUENO
C6	20	20	NO CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C7	20	20	NO CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C8	50	20	CUMPLE	30.6	5.6	BUENO
C9	200	20	CUMPLE	78.5	53.5	MALO
C10	80	20	CUMPLE	54.5	29.5	MALO
C11	130	20	CUMPLE	69.9	44.9	MALO
C12	120	20	CUMPLE	67.8	42.8	MALO
C13	40	20	CUMPLE	14.7	10.3	TOLERABLE
C14	22	20	CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C15	30	20	CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C16	40	20	CUMPLE	14.7	10.3	TOLERABLE
C17	20	20	NO CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C18	75	20	CUMPLE	51.9	26.9	MALO
C19	11.3	20	NO CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C20	50	20	CUMPLE	30.6	5.6	BUENO
C21	100	20	CUMPLE	62.5	37.5	MALO
C22	15	20	NO CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C23	20	20	NO CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C24	25	20	CUMPLE	0.0	25.0	MALO
C25	50	20	CUMPLE	30.6	5.6	BUENO
C26	50	20	CUMPLE	30.6	5.6	BUENO
C27	50	20	CUMPLE	30.6	5.6	BUENO
C28	50	20	CUMPLE	30.6	5.6	BUENO
C29	20	20	NO CUMPLE	0.0	25.0	MALO

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la **Tabla 25** establece que 21 curvas horizontales cumplen con el radio mínimo de giro establecido en el MOP-2003 y representan el 72% y 8 curvas horizontales tiene un radio inferior al mínimo.

3.6.4.4 Evaluación de sobreanchos.

La evaluación de los sobreanchos se los realizo considerando que el vehículo de diseño tiene una longitud de 7.50m. Por motivos de costo el MOP-2003 establece que para velocidades de diseño menores a 50km/h, el sobreancho será de 30cm.

A continuación, se presenta la **Tabla 26** de evaluación de sobreanchos con respecto a la normativa.

Tabla 26.Evaluación de sobreanchos.

PI	RADIO	L	S,cal	S,MIN	S,DIS	EVALUACION DE S
C1	50	7.5	0.92	0.3	0.4	CUMPLE
C2	15	7.5	2.66	0.3	0.4	CUMPLE
C3	50	7.5	0.92	0.3	0.4	CUMPLE
C4	25	7.5	1.65	0.3	0.4	CUMPLE
C5	50	7.5	0.92	0.3	0.4	CUMPLE
C6	20	7.5	2.02	0.3	0.4	CUMPLE
C7	20	7.5	2.02	0.3	0.4	CUMPLE
C8	50	7.5	0.92	0.3	0.4	CUMPLE
C9	200	7.5	0.32	0.3	0.4	CUMPLE
C10	80	7.5	0.63	0.3	0.4	CUMPLE
C11	130	7.5	0.44	0.3	0.4	CUMPLE
C12	120	7.5	0.46	0.3	0.4	CUMPLE
C13	40	7.5	1.10	0.3	0.4	CUMPLE
C14	22	7.5	1.85	0.3	0.4	CUMPLE
C15	30	7.5	1.41	0.3	0.4	CUMPLE
C16	40	7.5	1.10	0.3	0.4	CUMPLE
C17	20	7.5	2.02	0.3	0.4	CUMPLE
C18	75	7.5	0.66	0.3	0.4	CUMPLE
C19	11.3	7.5	3.59	0.3	0.4	CUMPLE
C20	50	7.5	0.92	0.3	0.4	CUMPLE
C21	100	7.5	0.53	0.3	0.4	CUMPLE
C22	15	7.5	2.66	0.3	0.4	CUMPLE
C23	20	7.5	2.02	0.3	0.4	CUMPLE
C24	25	7.5	1.65	0.3	0.4	CUMPLE

C25	50	7.5	0.92	0.3	0.4	CUMPLE
C26	50	7.5	0.92	0.3	0.4	CUMPLE
C27	50	7.5	0.92	0.3	0.4	CUMPLE
C28	50	7.5	0.92	0.3	0.4	CUMPLE
C29	20	7.5	2.02	0.3	0.4	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (2023)

Dado que el MOP-2003 establece que para carreteras de bajo tráfico el sobreebanco mínimo es de 0.30m, el sobreebanco propuesto cumple en todas las curvas horizontales.

3.6.4.5 Evaluación de peralte.

La evaluación de los peraltes se realizó comparando con el calculado según los establecido en el MOP-2003 y lo diseñado. **En la Tabla 27** se muestra la evaluación del peralte.

Tabla 27. Evaluación de peralte.

PI	RADIO	PERALTE CALCULADO	PERALTE DE DISEÑO	EVALUACION DE PERALTE
C1	50	4%	6%	CUMPLE
C2	15	4%	8%	CUMPLE
C3	50	4%	8%	CUMPLE
C4	25	4%	6%	CUMPLE
C5	50	4%	8%	CUMPLE
C6	20	4%	8%	CUMPLE
C7	20	4%	6%	CUMPLE
C8	50	4%	3%	NO CUMPLE
C9	200	4%	5%	CUMPLE
C10	80	4%	4%	CUMPLE
C11	130	4%	4%	CUMPLE
C12	120	4%	7%	CUMPLE
C13	40	4%	8%	CUMPLE
C14	22	4%	8%	CUMPLE
C15	30	4%	7%	CUMPLE
C16	40	4%	8%	CUMPLE
C17	20	4%	5%	CUMPLE
C18	75	4%	8%	CUMPLE
C19	11.3	10%	6%	NO CUMPLE
C20	50	4%	5%	CUMPLE
C21	100	4%	8%	CUMPLE

C22	15	4%	8%	CUMPLE
C23	20	4%	8%	CUMPLE
C24	25	4%	6%	CUMPLE
C25	50	4%	6%	CUMPLE
C26	50	4%	6%	CUMPLE
C27	50	4%	8%	CUMPLE
C28	50	4%	6%	CUMPLE
C29	20	4%	6%	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (2023)

Según la **Tabla 27** existen 27 curvas horizontales que cumplen con el peralte establecido según el MOP-2003 que representan el 93%, con ello se garantiza una adecuada transitabilidad y seguridad de los vehículos. Además, cabe mencionar que al existir curvas con radio de giro muy pequeñas se deberá implementar señalización horizontal y vertical, para evitar posibles accidentes.

3.6.4.6 Evaluación de la longitud de transición de peralte.

La longitud de transición del peralte se comparó lo diseñado con lo calculado según lo establecido en MOP-2003, la transición del peralte debe garantizar el espacio suficiente para la transición del bombeo natural de la vía hasta llegar al peralte máximo, cuyo objeto es minimizar la fuerza centrífuga que se genera cuando el vehículo atraviesa una curva horizontal. En la **Tabla 28**, se realizó la evaluación de transición de peralte tanto en el ingreso de la curva como a la salida y se corroboró el cumplimiento de cada una de las curvas con respecto a la normativa.

Tabla 28. Evaluación de longitud de transición de peralte.

PI	RADIO	LONGITUD MINIMA	DESARROLLO DE PERALTE							
			X	L	L _{Dt,c} al	L _D D T	L _D T.E NT	L _D T.S AL	EVA INGRESO	EVA SALIDA
C1	50	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	30	22	CUMPLE	NO CUMPLE
C2	15	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	27	16	CUMPLE	NO CUMPLE

C3	50	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	13	13	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C4	25	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	17	17	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C5	50	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	14	11	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C6	20	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	14	16	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C7	20	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	16	48	NO CUMPLE	CUMPLE
C8	50	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	37	31	CUMPLE	CUMPLE
C9	200	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	31	23	CUMPLE	CUMPLE
C10	80	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	35	35	CUMPLE	CUMPLE
C11	130	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	30	30	CUMPLE	CUMPLE
C12	120	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	31	9	CUMPLE	NO CUMPLE
C13	40	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	13	12	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C14	22	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	14	37	NO CUMPLE	CUMPLE
C15	30	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	35	20	CUMPLE	NO CUMPLE
C16	40	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	18	8	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C17	20	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	9	22	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C18	75	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	22	11	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C19	11.3	14	7. 7	38. 7	46.5	4 6	17	22	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C20	50	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	22	25	NO CUMPLE	CUMPLE
C21	100	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	19	16	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C22	15	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	16	31	NO CUMPLE	CUMPLE
C23	20	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	31	29	CUMPLE	CUMPLE
C24	25	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	29	21	CUMPLE	NO CUMPLE
C25	50	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	16	33	NO CUMPLE	CUMPLE
C26	50	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	40	29	CUMPLE	CUMPLE

C27	50	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	29	14	CUMPLE	NO CUMPLE
C28	50	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	14	31	NO CUMPLE	CUMPLE
C29	20	14	7. 7	15. 5	23.2	2 3	40	43	CUMPLE	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (2023)

Según los resultados obtenidos de la **Tabla 28**, existen 13 curvas horizontales que cumplen con la longitud de transición de peralte y representan el 45% del total de las curvas y 16 curvas horizontales no cumplen con esta condición. Este parámetro se encuentra afectado por su topografía que es montañosa escarpada y es casi imposible realizar tramos rectos más largos.

3.6.4.7 Evaluación de las distancias de visibilidad.

La evaluación de la distancia de visibilidad se realizó para determinar si es necesario la utilización de banquetas que permitan una adecuada visibilidad en curvas horizontales. Como resultado de la evaluación se determinó que debe existir una distancia igual a la ordena media o también llamada flecha. A continuación, se presenta la **Tabla 29** de evaluación de la distancia de visibilidad en curvas horizontales.

Tabla 29. Evaluación de la distancia de visibilidad en curvas horizontales.

PI	b	g	N	e	c	t	m_{,cal}	m_{,dis}	EVALUACION DE m
C1	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.8	3.2	CUMPLE
C2	6	2.66	0.8	0	0.6	1.7	4.0	3.2	NO CUMPLE
C3	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.4	3.2	CUMPLE
C4	6	1.65	0.8	0	0.6	1.7	4.0	3.2	NO CUMPLE
C5	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	1.8	3.2	CUMPLE
C6	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	1.8	3.2	CUMPLE
C7	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	5.3	3.2	NO CUMPLE
C8	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	3.0	3.2	CUMPLE
C9	6	0.32	0.8	0	0.6	1.7	2.4	3.2	CUMPLE
C10	6	0.63	0.8	0	0.6	1.7	7.5	3.2	NO CUMPLE
C11	6	0.44	0.8	0	0.6	1.7	3.9	3.2	NO CUMPLE
C12	6	0.46	0.8	0	0.6	1.7	0.7	3.2	CUMPLE
C13	6	1.10	0.8	0	0.6	1.7	2.7	3.2	CUMPLE

C14	6	1.85	0.8	0	0.6	1.7	9.5	3.2	NO CUMPLE
C15	6	1.41	0.8	0	0.6	1.7	4.4	3.2	NO CUMPLE
C16	6	1.10	0.8	0	0.6	1.7	1.2	3.2	CUMPLE
C17	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	1.6	3.2	CUMPLE
C18	6	0.66	0.8	0	0.6	1.7	11.7	3.2	NO CUMPLE
C19	6	3.59	0.8	0	0.6	1.7	10.9	3.2	NO CUMPLE
C20	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	1.1	3.2	CUMPLE
C21	6	0.53	0.8	0	0.6	1.7	2.2	3.2	CUMPLE
C22	6	2.66	0.8	0	0.6	1.7	4.0	3.2	NO CUMPLE
C23	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	5.0	3.2	NO CUMPLE
C24	6	1.65	0.8	0	0.6	1.7	2.9	3.2	CUMPLE
C25	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.3	3.2	CUMPLE
C26	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.9	3.2	CUMPLE
C27	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.5	3.2	CUMPLE
C28	6	0.92	0.8	0	0.6	1.7	0.9	3.2	CUMPLE
C29	6	2.02	0.8	0	0.6	1.7	2.3	3.2	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los resultados obtenidos en la **Tabla 29** indican que 18 curvas horizontales cumplen con la condición de la distancia de visibilidad en curvas horizontales, las cuales representan un 62% y 11 curvas no cumplen. En las carreteras de montaña es casi imposible cumplir con este parámetro debido a que la sección transversal se encuentra limitada en la mayoría de circunstancias por construcciones muy cercanas a la vía.

3.6.4.8 Evaluación de curvas verticales.

La evaluación de las curvas verticales se efectuó comparando las longitudes del diseño geométrico con las mínimas establecidas según el MOP-2003, la longitud de curva vertical debe ser la necesaria para garantizar una seguridad en la vía. En la **Tabla 30** se muestra la evaluación de curvas verticales a lo largo del trazado vertical.

Tabla 30. Evaluación de longitud en curvas verticales.

N.º	Tipo de curva de perfil	Longitud de curva de perfil	Long de curva mínima	Long de curva mínima	OBSERVACION
1					
2	Convexo	60	15	30	CUMPLE

3	Cóncavo	20	15	53	NO CUMPLE
4	Convexo	50	15	15	CUMPLE
5	Cóncavo	30	15	30	NO CUMPLE
6	Convexo	30	15	23	CUMPLE
7	Cóncavo	20	15	47	NO CUMPLE
8	Convexo	45	15	23	CUMPLE
9	Cóncavo	45	15	102	NO CUMPLE
10	Convexo	70	15	44	CUMPLE
11	Cóncavo	70	15	36	CUMPLE
12	Convexo	35	15	23	CUMPLE
13	Cóncavo	30	15	105	NO CUMPLE
14	Convexo	20	15	42	NO CUMPLE
15	Convexo	20	15	19	CUMPLE
16	Cóncavo	20	15	44	NO CUMPLE
17	Convexo	60	15	14	CUMPLE
18	Cóncavo	65	15	46	CUMPLE
19	Convexo	50	15	17	CUMPLE
20	Cóncavo	55	15	96	NO CUMPLE
21	Convexo	40	15	22	CUMPLE
22	Convexo	35	15	25	CUMPLE
23	Cóncavo	20	15	17	CUMPLE
24	Cóncavo	40	15	31	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la **Tabla 30** se realiza la comparación con la longitud mínima de curva vertical establecida por la MOP-2003 y la longitud de curva propuesta en el trazado vertical, en donde se tuvo como resultado que existen 15 curvas verticales que cumplen con este parámetro, representando el 65% del total y 8 curvas verticales no cumple.

3.6.4.9 Evaluación de pendientes.

Para la evaluación de las pendientes longitudinales se consideró como pendiente mínima $\pm 0.50\%$ y como pendiente máxima $\pm 12.00\%$ que establece el MOP-2003. En la **Tabla 31** se representa la evaluación de las pendientes longitudinales con respecto a la normativa vigente.

Tabla 31. Evaluación de pendientes longitudinales.

N.º	Inclinación de rasante T.E.	PENDIENTE LONG MAXIMA - MOP 2003	OBSERVACION
1			
2	-2.20%	12%	CUMPLE
3	-22.31%	12%	NO CUMPLE
4	-4.70%	12%	CUMPLE
5	-15.00%	12%	NO CUMPLE
6	-4.90%	12%	CUMPLE
7	-20.60%	12%	NO CUMPLE
8	-4.71%	12%	CUMPLE
9	-20.49%	12%	NO CUMPLE
10	13.61%	12%	NO CUMPLE
11	-16.12%	12%	NO CUMPLE
12	-4.23%	12%	CUMPLE
13	-19.58%	12%	NO CUMPLE
14	15.70%	12%	NO CUMPLE
15	-13.08%	12%	NO CUMPLE
16	-25.95%	12%	NO CUMPLE
17	-11.25%	12%	CUMPLE
18	-20.55%	12%	NO CUMPLE
19	-5.25%	12%	CUMPLE
20	-16.74%	12%	NO CUMPLE
21	15.50%	12%	NO CUMPLE
22	0.50%	12%	CUMPLE
23	-16.60%	12%	NO CUMPLE
24	-11.01%	12%	CUMPLE
0	-0.50%	12%	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la **Tabla 31** se realizó la evaluación de las pendientes longitudinales realizando una comparación entre lo mínimo y máximo establecido por el MOP-2003 y lo propuesto en el diseño geométrico. En donde se obtuvo como resultado que existen 9 tramos que cumplen con este parámetro representando el 39% de cumplimiento y existen 14 tramos rectos verticales que no cumplen con este parámetro y representan el 61 %. Dentro de las carreteras de montaña al verse afectadas por su relieve muy accidentado, es casi imposible el cumplimiento de este parámetro y al tener la necesidad de transportarnos de un lugar a

otro, donde es imposible evitar este tipo de relieve, se está en la obligación de construir vías con características más exigentes a lo establecido en las normativas

3.7 Administración de la propuesta.

La propuesta que realiza esta investigación será de utilidad para los gobiernos gubernamentales para evaluar los diseños geométricos viales y lograr con ello vías mejor diseñadas y con esto garantizar la seguridad del usuario de la vía.

3.8 Plan de monitoreo y evaluación de la propuesta.

Para evaluar un diseño geométrico vial en carreteras de montaña se debe identificar el cumplimiento de cada uno de los parámetros de control que establece las normativas MOP 2003 y el método de consistencia del trazado geométrico propuesto por Lamm, para esto se pretende dar un valor ponderado validado por el método analítico jerárquico de SAATY y sus comprobación, es decir, corroborar que la relación del índice de consistencia sea menor a 0.1 para que el nivel de inconsistencia sea aceptable, este valor dependerá del tamaño de la matriz que se genera a partir de las características geométricas a evaluar.

Luego de realizar el análisis de las matrices se estableció la siguiente ponderación en las características del diseño geométrico;

Análisis jerárquico características horizontales:

En la **Tabla 32** se muestra la matriz del análisis jerárquico de las características horizontales relacionadas entre sí con una ponderación según su importancia, basándose en el método de SAATY. Los parámetros que se evalúan son: radio, sobreebancho, peralte, longitud de transición de peralte, tangente intermedia y distancia de visibilidad en curvas horizontales.

Tabla 32. Análisis jerárquico de características horizontales

Análisis jerárquico de las características geométricas horizontales										
	Radio	Sobre ancho	Peralte	Longitud de transición de peralte	Tangente intermedia	Distancia de visibilidad en curvas horizontales	Criterio I, Lamm	Criterio II, Lamm	SUMATORIA	PONDERADO
Radio	0.37	0.21	0.28	0.31	0.21	0.54	0.26	0.36	2.55	0.32
Sobrea ncho	0.07	0.04	0.01	0.02	0.09	0.06	0.03	0.02	0.35	0.04
Peralt e	0.05	0.13	0.04	0.02	0.09	0.03	0.03	0.04	0.43	0.05
Longit ud de transic ion de peralte	0.07	0.13	0.12	0.06	0.09	0.06	0.03	0.04	0.60	0.08
Tange nte intermedia	0.05	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.20	0.03
Distan cia de visibili dad en curvas horizo ntales	0.12	0.13	0.28	0.19	0.26	0.18	0.26	0.36	1.79	0.22
Criteri o I, Lamm	0.12	0.13	0.12	0.19	0.09	0.06	0.09	0.04	0.84	0.10
Criteri o II, Lamm	0.12	0.21	0.12	0.19	0.15	0.06	0.26	0.12	1.24	0.15
Σ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.00	1.00

Fuente: Elaboración propia (2023).

Según el método jerárquico esta sería la ponderación por característica, luego de la aplicación del método se obtuvo como resultado que la distancia de visibilidad en curvas horizontales tiene la mayor puntuación entre las otras características, por lo que al

diseñar una vía se tiene que considerar este parámetro como unos de los más importantes con respecto a la seguridad vial. En la **Tabla 33** se muestra un resumen de la ponderación.

Tabla 33.Ponderacion de las características geométricas vial.

PARAMETRO	PONDERADO
Radio	0.32
Sobreancho	0.04
Peralte	0.05
Longitud de transición de peralte	0.08
Tangente intermedia	0.03
Distancia de visibilidad en curvas horizontales	0.22
Criterio I, Lamm	0.10
Criterio II, Lamm	0.15

Fuente: Elaboración propia (2023).

Cabe recalcar que para la obtención de la matriz se empleó la escala de comparación variada y se corrobora que la misma sea consistente y que no estemos procesando información incoherente, para esto se comprobó que la relación de consistencia (RC) es menor que 0.1.

RI	0.0973
-----------	---------------

Análisis jerárquico características verticales:

Para esta investigación se valoró las características verticales de la vía, de modo que nos permita tener un estudio completo de la carretera. En la **Tabla 34** se observa la matriz de análisis del método jerárquico. En donde se analizó la importancia de cada una de las características y su importancia entre sí.

Tabla 34 Análisis jerárquico de las características geométricas horizontales.

	LONG DE CURVA VERTICAL	PENDIENTES	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	SUMATORIA	PONDERADO
LONG DE CURVA VERTICAL	0.11	0.13	0.08	0.32	0.11
PENDIENTES	0.56	0.65	0.69	1.90	0.63
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	0.33	0.22	0.23	0.78	0.26
Σ	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00

Fuente: Elaboración propia (2023).

Según el método jerárquico esta sería la ponderación por característica.

Una vez realizado el análisis jerárquico, en la **Tabla 35** se presenta el resumen de las ponderaciones por característica vertical, siendo las pendientes las de mayor puntuación, lo que se traduce como la principal característica al momento de diseñar una vía con respecto a la seguridad vial.

Tabla 34. Ponderación de las características viales verticales.

Parametro	Ponderado
Long de curva vertical	0.11
Pendientes	0.63
Distancia de visibilidad de parada	0.26

Fuente: Elaboración propia (2023).

Se comprueba la consistencia de la matriz de comparación variada:

RI	0.0334
-----------	---------------

Análisis jerárquico características transversales:

Finalmente, para que la evaluación del trazado geométrico sea completa se realiza el análisis jerárquico de las características transversales. A continuación, en la Tabla 36 se presenta la matriz de análisis jerárquico de las características transversales, entre ellas: el ancho de calzada, taludes de corte y relleno y gradiente transversal.

Tabla 35. Análisis jerárquico de las características transversal.

Análisis jerárquico de las características geométricas horizontales						
	Ancho	Corte	Relleno	Gradiente	Sumatoria	Ponderado
Ancho	0.39	0.38	0.41	0.42	1.60	0.40
Corte	0.39	0.38	0.41	0.25	1.43	0.36
Relleno	0.13	0.13	0.14	0.25	0.64	0.16
Gradiente	0.08	0.13	0.05	0.08	0.33	0.08
Σ	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00

Fuente: Elaboración propia (2023).

A continuación, en la Tabla 37 se presenta el cuadro de ponderación por característica evaluada, en donde el ancho de calzada es la de mayor ponderación con respecto a la seguridad vial.

Tabla 36. Ponderación de las características viales transversales.

Parametro	Ponderado
Ancho	0.40
Corte	0.36
Relleno	0.16
Gradiente	0.08

Fuente: Elaboración propia (2023).

Se comprueba la consistencia de la matriz de comparación variada:

RI	0.0433
-----------	---------------

Con los parámetros ya determinados por la metodología de SAATY, evaluaremos el cumplimiento de los parámetros y con ello la toma de decisiones de cuan correcto está el diseño geométrico.

También, se busca monitorear la seguridad de la vía mediante la evaluación de la velocidad de operación en base a los criterios de consistencia geométrica de Lamm, para esto se validará el cumplimiento de cada uno de los criterios antes mencionados.

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Al realizar el levantamiento de información de la vía de caso de estudio, se pudo constatar que la geometría de la vía no se encuentra dentro de las exigencias mínimas que requieren las normativas vigentes. Es por ello, que se realizó una investigación exhaustiva de metodologías que permitan evaluar los diseños geométricos de las vías en carreteras de montaña para tener como resultado una metodología que pueda ser empleada en carreteras de diferentes características a la de este caso de estudio.

Dado que, en las carreteras de montaña, su geometría se encuentra limitada por la topografía que es accidentada, ciertas características de la vía como radios de giro mínimo, son casi imposibles de cumplir con la normativa. En ocasiones esta condición se encuentra limitada por la existencia de construcciones muy cercanas a la vía produciendo afecciones, y en consecuencia en problemas políticos y sociales.

Una vez realizado los cálculos de cada uno de los parámetros que establece la Normativa MOP 2003, se los compara con los que están dados dentro del diseño geométrico vial proporcionado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Ana, pues el propósito es evaluar si el mismo cumple con la normativa y con ello ofrecer seguridad a los usuarios, para complementar el análisis se incrementó los parámetros de la consistencia geométrica de Lamm.

Para tener una ponderación de cada uno de los parámetros a evaluar se usó el método jerárquico de SAATY, esta validación con el afán de tener un porcentaje por característica de análisis geométrico, establecidos con el nivel de influencia a la seguridad de la carretera, con esta ponderación se pretende tener un valor equitativo para que el método sea empleado para la evaluación de diseños geométricos viales con diferentes características.

4.1 Resultados obtenidos

Se realizó la evaluación de la vía Centro parroquial Santa Ana – Puente Auquilula haciendo énfasis en la seguridad vial en función de los elementos geométricos y el cumplimiento de estos según la normativa vigente del país, los cuales son: ancho de vía, taludes de corte y relleno, radio, sobreebancho, peralte, longitud de transición de peralte, distancia de visibilidad en curvas horizontales, longitud de curva vertical y pendientes longitudinales.

4.1.1 Evaluación de los elementos geométricos horizontales.

Las características geométricas horizontales fueron evaluadas en comparación a lo establecido con la MOP-2003 como se muestra en la **Tabla 38**, teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 37. Evaluación de los elementos geométricos horizontales

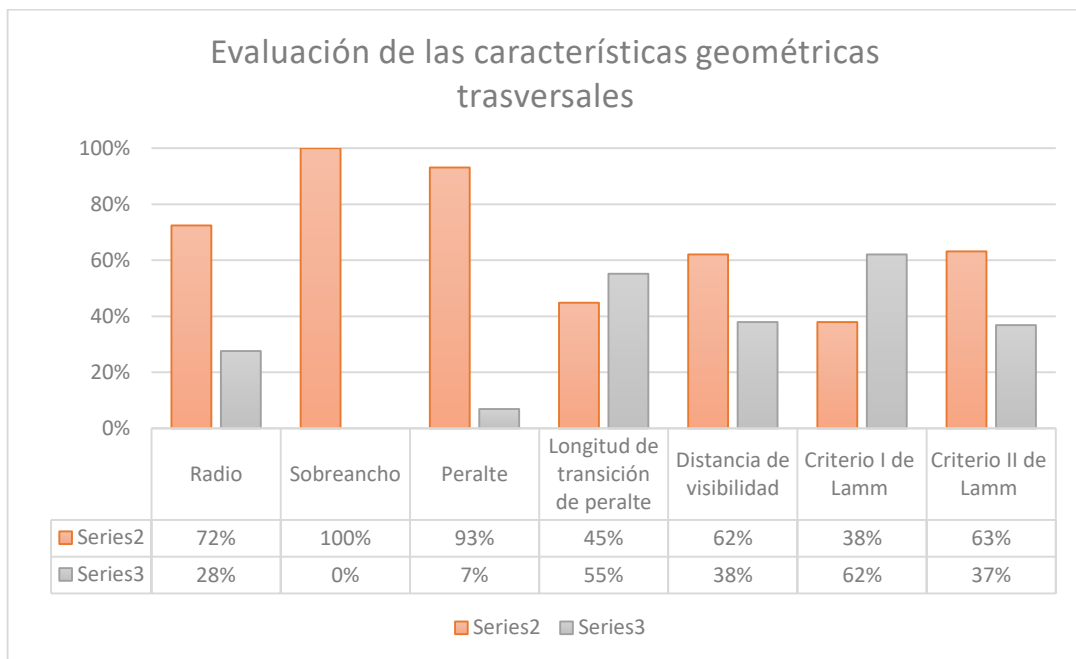
EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS GEOMETRICAS HORIZONTALES					
PARAMETROS	CUMPLE		NO CUMPLE		ANÁLISIS
Radio	21	72%	8	28%	Seguro
Sobreebancho	29	100%	0	0%	Seguro
Peralte	27	93%	2	7%	Seguro
Longitud de transición de peralte	13	45%	16	55%	Inseguro
Distancia de visibilidad	18	62%	11	38%	Inseguro
Criterio I de Lamm	11	38%	18	62%	Inseguro
Criterio II de Lamm	36	63%	21	37%	Tolerable

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la **Tabla 38** se observa que 21 curvas horizontales cumplen con el radio mínimo establecido por el MOP-2003 según su velocidad de diseño, 29 curvas cumplen con el sobreebancho, cabe recalcar que el MOP-2003 establece que para carreteras de montaña cuya velocidad sea menor a 50km/h se considerara un sobreebancho de 0.30m, con respecto al peralte existen 27 curvas que cumplen con la normativa, además, 13 curvas cumplen con la longitud de transición y 18 curvas cumplen con la distancia de visibilidad,

11 curvas cumplen con el criterio I de Lamm y 36 entidades consecutivas cumplen con el criterio II de Lamm. Debido a que ciertas curvas horizontales no cumplen con los parámetros establecidos, se considera que la carretera es insegura, ya que para garantizar la seguridad del usuario se debe cumplir con todos los parámetros mínimos. En la **Figura 4** se ilustra el porcentaje de cumplimiento según los elementos geométricos horizontales que se utilizaron en la evaluación del trazado geométrico. Donde los elementos que cumplen en su mayoría son el radio mínimo, sobree ancho y peralte, los cuales representan un 72%, 100% y 93% respectivamente.

Figura 4. Verificación de los elementos geométricos horizontales



Fuente: Elaboración propia (2023)

4.1.2 Evaluación de los elementos geométricos en vertical

Las características geométricas verticales fueron evaluadas en comparación a lo establecido con la MOP-2003, teniendo como resultado lo siguiente:

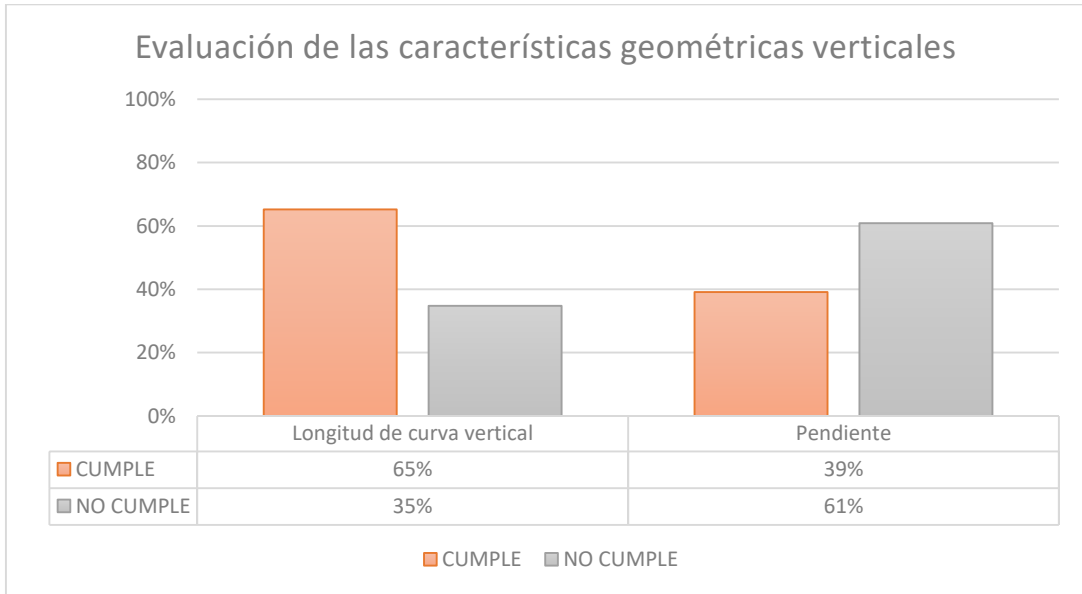
Tabla 38. Evaluación de los elementos geométricos verticales

EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS GEOMETRICAS VERTICALES					
PARAMETROS	CUMPLE		NO CUMPLE		ANÁLISIS
	Longitud de curva vertical	15	65%	8	
Pendiente	9	39%	14	61%	Inseguro

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la **Tabla 39** se observa que 15 curvas verticales cumplen con la longitud mínima establecida según el MOP-2003 y 14 pendientes longitudinales no cumple con la pendiente máxima establecida. Debido a estos parámetros se considera que el alineamiento vertical es inseguro debido que las pendientes longitudinales al ser superiores a lo máximo establecido, dificultan el frenado de los vehículos, además de aumentar el consumo de combustible. Cabe recalcar que al tener una vía con pendientes pronunciadas el usuario tiene una percepción de inseguridad constante, esto se podrá contrastar con lo evaluado con los criterios de Lamm. En la **Figura 5** se ilustra el porcentaje de cumplimiento de los elementos geométricos utilizados para la evaluación del trazado vertical, longitud de curva vertical y pendiente longitudinal, en donde la longitud de curva vertical cumple con un 65% y la pendiente longitudinal cumple un 39% según los parámetros establecidos por el MOP-2003.

Figura 5. Verificación de los elementos geométricos verticales.



Fuente: Elaboración propia (2023)

4.1.3 Evaluación de los elementos geométricos en transversal

Las características geométricas transversales fueron evaluadas en comparación a lo establecido con la MOP-2003, teniendo como resultado lo siguiente:

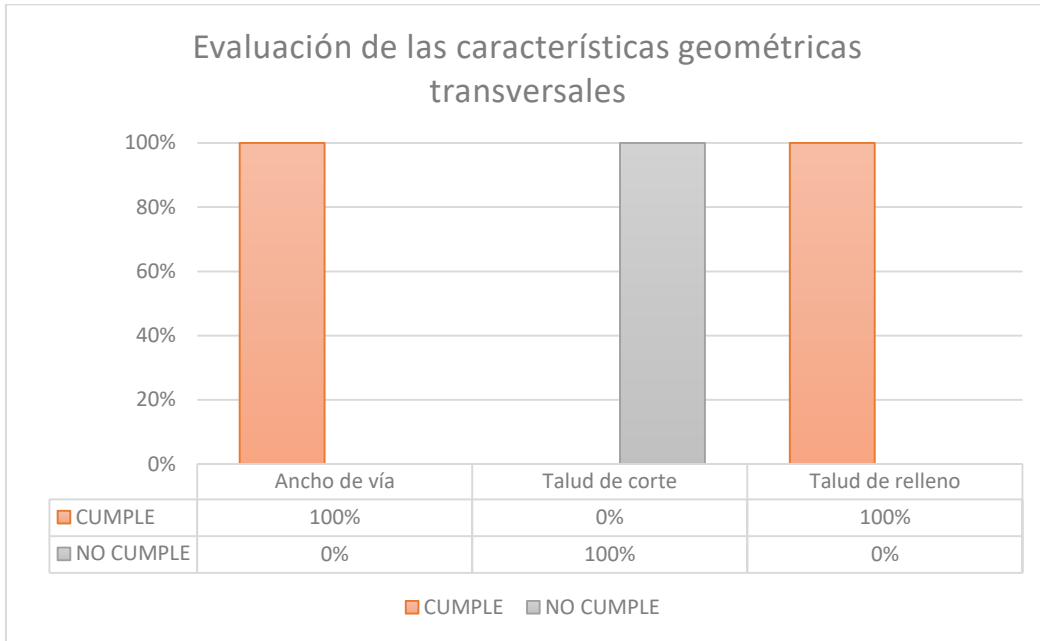
Tabla 39. Evaluación de los elementos geométricos transversales.

EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS GEOMETRICAS TRANSVERSALES					
PARAMETROS	CUMPLE		NO CUMPLE		ANÁLISIS
Ancho de vía	192	100%	0	0%	Seguro
Talud de corte	0	0%	192	100%	Inseguro
Talud de relleno	192	100%	0	0%	Seguro

Fuente: Elaboración propia (2023)

De acuerdo a la **Tabla 40** se puede observar que el 100% de la vía cumple con el ancho mínimo y con el talud de relleno, sin embargo, el 100% de la vía no cumple con el talud de corte, este parámetro es de gran importancia debido a que si se garantiza un adecuado corte de talud se garantizara una buena visibilidad en la vía y con ello se da seguridad al usuario.

Figura 6. Verificado de los elementos geométricos transversales.



Fuente: Elaboración propia (2023)

4.1.4 Evaluación de la consistencia geométrica

La consistencia geométrica está altamente relacionada con la velocidad de operación, para evaluar esta relación se emplean los criterios de Lamm. Criterio I; que evalúa la velocidad de operación con respecto a la velocidad de diseño, Criterio II; evalúa la variación de la velocidad de operación entre elementos consecutivos.

Tabla 40. Resultado de la evaluación de la consistencia geométrica según Lamm.

CRITERIO I DE EVALUACION		
Consistencia	Puntos	Porcentaje
BUENO	9	31.03%
TOLERABLE	2	6.90%
MALO	18	62.07%
TOTAL	29	100.00%

CRITERIO II DE EVALUACION		
Consistencia	Puntos	Porcentaje
BUENO	17	29.82%
TOLERABLE	19	33.33%
POBRE	21	36.84%
TOTAL	57	100.00%

Fuente: Elaboración propia (2023)

De acuerdo con la **Tabla 41** se concluye que la consistencia de la vía comprendida entre el centro parroquial de Santa Ana – puente Auquilula, es pobre debido a la gran variación de la velocidad de operación entre elementos consecutivos, es por ello que se considera que la vía del caso de estudio es inconsistente y por ende insegura en su estado actual.

4.1.5 Evaluación de la geometría utilizando el proceso de análisis jerárquico.

Mediante el proceso de análisis de jerarquización se obtuvieron los siguientes resultados de la evaluación de la geometría de la vía. Este análisis jerárquico se realizó desde el punto de vista de la importancia de las características geométricas con respecto a la seguridad vial.

Evaluación jerárquica de la geometría horizontal.

En la evaluación se consideró las siguientes características geométricas horizontales: radio, sobreaño, peralte, longitud de transición de peralte, tangente intermedia y la distancia de visibilidad en curvas horizontales, es así que en la **Tabla 42** se muestra la evaluación jerárquica de las características geométricas horizontales y la obtención del porcentaje final de cumplimiento con respecto a la normativa.

Tabla 41. Evaluación jerárquica de las características geométrica horizontal

MATRIZ DE COMPRACION DE CARACTERISTICAS GEOMETRICAS HORIZONTALES									
ALTERNATIVAS	Radio	Sobreaño	Peralte	Longitud de transición de peralte	Tangente intermedia	Distancia de visibilidad en curvas horizontales	Criterio I, Lam	Criterio II, Lam	SUMATORIA
C1	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPL E	CUMPLE	CUMPLE	0.90

	0.32	0.04	0.05	0.00	0.00	0.22	0.10	0.15	
C2	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPL E	NO CUM PLE	CUM PLE	0.57
	0.32	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	
C3	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPL E	CUM PLE	CUM PLE	0.90
	0.32	0.04	0.05	0.00	0.00	0.22	0.10	0.15	
C4	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPL E	NO CUM PLE	CUM PLE	0.57
	0.32	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	
C5	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPL E	CUM PLE	CUM PLE	0.90
	0.32	0.04	0.05	0.00	0.00	0.22	0.10	0.15	
C6	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPL E	NO CUM PLE	CUM PLE	0.79
	0.32	0.04	0.05	0.00	0.00	0.22	0.00	0.15	
C7	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPL E	NO CUM PLE	NO CUM PLE	0.49
	0.32	0.04	0.05	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	
C8	NO CUMPL E	CUMPL E	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPL E	CUM PLE	CUM PLE	0.63
	0.00	0.04	0.00	0.08	0.03	0.22	0.10	0.15	
C9	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPL E	NO CUM PLE	NO CUM PLE	0.74
	0.32	0.04	0.05	0.08	0.03	0.22	0.00	0.00	
C10	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL E	NO CUM PLE	CUM PLE	0.67
	0.32	0.04	0.05	0.08	0.03	0.00	0.00	0.15	
C11	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL E	NO CUM PLE	CUM PLE	0.67
	0.32	0.04	0.05	0.08	0.03	0.00	0.00	0.15	
C12	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPL E	NO CUM PLE	CUM PLE	0.82
	0.32	0.04	0.05	0.00	0.03	0.22	0.00	0.15	
C13	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPL E	CUM PLE	NO CUM PLE	0.74
	0.32	0.04	0.05	0.00	0.00	0.22	0.10	0.00	

C14	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	CUMPLE 0.08	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPL E 0.00	NO CUM PLE 0.00	CUM PLE 0.15	0.65
C15	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.03	NO CUMPL E 0.00	NO CUM PLE 0.00	NO CUM PLE 0.00	0.44
C16	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPL E 0.22	CUM PLE 0.10	CUM PLE 0.15	0.90
C17	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPL E 0.22	NO CUM PLE 0.00	CUM PLE 0.15	0.79
C18	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPL E 0.00	NO CUM PLE 0.00	NO CUM PLE 0.00	0.42
C19	NO CUMPL E 0.00	CUMPL E 0.04	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPL E 0.00	NO CUM PLE 0.00	NO CUM PLE 0.00	0.04
C20	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	CUMPLE 0.08	NO CUMPLE 0.00	CUMPL E 0.22	CUM PLE 0.10	CUM PLE 0.15	0.97
C21	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPL E 0.22	NO CUM PLE 0.00	CUM PLE 0.15	0.79
C22	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	CUMPLE 0.08	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPL E 0.00	NO CUM PLE 0.00	NO CUM PLE 0.00	0.49
C23	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	CUMPLE 0.08	CUMPLE 0.03	NO CUMPL E 0.00	NO CUM PLE 0.00	NO CUM PLE 0.00	0.52
C24	CUMPL E	CUMPL E	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPL E	NO CUM PLE	NO CUM PLE	0.67
	0.32	0.04	0.05	0.00	0.03	0.22	0.00	0.00	
C25	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	CUMPLE 0.08	NO CUMPLE 0.00	CUMPL E 0.22	CUM PLE 0.10	CUM PLE 0.15	0.97
C26	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	CUMPLE 0.08	CUMPLE 0.03	CUMPL E 0.22	CUM PLE 0.10	CUM PLE 0.15	1.00

C27	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.03	CUMPL E 0.22	CUM PLE 0.10	CUM PLE 0.15	0.92
C28	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	CUMPLE 0.08	NO CUMPLE 0.00	CUMPL E 0.22	CUM PLE 0.10	CUM PLE 0.15	0.97
C29	CUMPL E 0.32	CUMPL E 0.04	CUMPLE 0.05	CUMPLE 0.08	CUMPLE 0.03	CUMPL E 0.22	NO CUM PLE 0.00	NO CUM PLE 0.00	0.74
TOTAL									0.71

Fuente: Elaboración propia (2023)

Como resultado de la evaluación jerárquica se obtuvo que el 71% de la vía cumple con los parámetros establecidos en la normativa y el análisis de consistencia geométrica según los criterios de Lamm, basándose en la ponderación según la importancia de cada característica vial horizontal, esto conlleva a que esta metodología pueda ser empleada para el análisis de vías con diferentes entornos.

Evaluación jerárquica de la geometría vertical.

En la evaluación se consideró las siguientes características geométricas verticales: longitud de curva vertical, pendientes y distancia de visibilidad de parada. En la **Tabla 43** se muestra la evaluación jerárquica de las características geométricas verticales y su sumatoria para finalmente obtener el porcentaje de cumplimiento de la normativa.

Tabla 42. Evaluación jerárquica de las características geométrica vertical

MATRIZ DE COMPRACION DE CARACTERISTICAS GEOMETRICAS VERTICALES				
ALTERNATIVAS	LONG DE CURVA VERTICAL	PENDIENTES	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	SUMATORIA
1	- 0.00	- 0.00	CUMPLE 0.26	0.26
2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	1.00

	0.11	0.63	0.26	
3	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.26
4	CUMPLE 0.11	CUMPLE 0.63	CUMPLE 0.26	1.00
5	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.26
6	CUMPLE 0.11	CUMPLE 0.63	CUMPLE 0.26	1.00
7	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.26
8	CUMPLE 0.11	CUMPLE 0.63	CUMPLE 0.26	1.00
9	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.26
10	CUMPLE 0.11	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.37
11	CUMPLE 0.11	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.37
12	CUMPLE 0.11	CUMPLE 0.63	CUMPLE 0.26	1.00
13	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.26
14	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.26
15	CUMPLE 0.11	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.37
16	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.26
17	CUMPLE 0.11	CUMPLE 0.63	CUMPLE 0.26	1.00
18	CUMPLE 0.11	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.37
19	CUMPLE 0.11	CUMPLE 0.63	CUMPLE 0.26	1.00
20	NO CUMPLE 0.00	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.26
21	CUMPLE 0.11	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.37

22	CUMPLE 0.11	CUMPLE 0.63	CUMPLE 0.26	1.00
23	CUMPLE 0.11	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.26	0.37
24	CUMPLE 0.11	CUMPLE 0.63	CUMPLE 0.26	1.00
TOTAL				0.56

Fuente: Elaboración propia (2023)

Como resultado de la evaluación jerárquica se obtuvo que el 56% de la vía cumple con los parámetros establecidos en la normativa. Esto se debe a que el mayor de los pesos otorgado por el análisis jerárquico son las pendientes longitudinales, teniendo relación con la evaluación antes desarrollada.

Evaluación jerárquica de la geometría transversal

En la **Tabla 44** se muestra la ponderación y la aplicación de la evaluación jerárquica en donde intervienen las características transversales como: ancho de vía, taludes de corte o relleno y gradiente transversal, cada una de ellas evaluadas en intervalos de 10 metros, cuya sumatoria nos da el porcentaje de cumplimiento de la normativa.

Tabla 43. Evaluación jerárquica de las características geométrica transversal.

MATRIZ DE COMPARACION DE CARACTERISTICAS GEOMETRICAS TRANSVERSALES					
ALTERNATIVAS	ANCHO	CORTE	RELLENO	GRADIENTE	SUMATORIA
0+000.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+010.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+020.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+030.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+040.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+050.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+060.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56

0+070.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+080.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+090.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+100.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+110.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+120.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+130.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+140.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+150.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+160.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+170.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+180.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+190.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+200.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+210.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+220.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+230.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+240.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+250.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+260.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+270.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+280.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+290.00	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	0.56

	0.40	0.00	0.16	0.00	
0+300.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+310.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+320.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+330.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+340.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+350.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+360.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+370.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+380.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+390.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+400.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+410.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+420.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+430.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+440.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+450.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+460.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+470.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+480.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+490.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+500.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+510.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56

0+520.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+530.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+540.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+550.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+560.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+570.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+580.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+590.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+600.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+610.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+620.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+630.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+640.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+650.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+660.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+670.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+680.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+690.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+700.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+710.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+720.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+730.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+740.00	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	0.56

	0.40	0.00	0.16	0.00	
0+750.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+760.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+770.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+780.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+790.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+800.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+810.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+820.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+830.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+840.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+850.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+860.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+870.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+880.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+890.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+900.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+910.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+920.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+930.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+940.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+950.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+960.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56

0+970.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+980.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
0+990.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+000.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+010.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+020.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+030.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+040.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+050.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+060.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+070.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+080.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+090.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+100.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+110.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+120.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+130.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+140.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+150.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+160.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+170.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+180.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+190.00	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	0.56

	0.40	0.00	0.16	0.00	
1+200.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+210.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+220.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+230.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+240.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+250.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+260.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+270.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+280.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+290.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+300.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+310.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+320.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+330.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+340.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+350.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+360.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+370.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+380.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+390.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+400.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+410.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56

1+420.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+430.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+440.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+450.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+460.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+470.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+480.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+490.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+500.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+510.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+520.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+530.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+540.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+550.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+560.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+570.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+580.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+590.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+600.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+610.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+620.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+630.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+640.00	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	0.56

	0.40	0.00	0.16	0.00	
1+650.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+660.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+670.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+680.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+690.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+700.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+710.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+720.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+730.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+740.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+750.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+760.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+770.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+780.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+790.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+800.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+810.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+820.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+830.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+840.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+850.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+860.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56

1+870.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+880.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+890.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+900.00	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
1+905.71	CUMPLE 0.40	NO CUMPLE 0.00	CUMPLE 0.16	NO CUMPLE 0.00	0.56
TOTAL					0.56

Fuente: Elaboración propia (2023)

Como resultado de la evaluación jerárquica se obtuvo que el 56% de la vía cumple con los parámetros establecidos en la normativa, cabe mencionar que según el análisis jerárquico el parámetro más importante para que una vía sea segura en sus características transversales es el ancho de vía, y en el diseño proporcionado por GAD parroquial de Santa Ana, todas las curvas cumplen con el ancho mínimo establecido para una carretera tipo IV.

CONCLUSIONES.

- La metodología propuesta en esta investigación se basa en un diseño geométrico vial existente, en donde se evaluaron cada una de las características geométricas del trazado vial en base a la normativa vigente del país, MOP-2003, de manera simultánea se realizó la evaluación de la consistencia del trazado geométrico mediante el método de consistencia de Lamm, donde se evalúa la consistencia en las curvas horizontales y de los elementos consecutivos a través de la variación de la velocidad de operación V_{85} y la velocidad de diseño V_d ; y con esto establecer los puntos críticos del trazado geométrico. Posteriormente mediante el análisis jerárquico se evaluó el trazado geométrico tanto horizontal, vertical y transversal, en base al cumplimiento del MOP-2003 y de la evaluación de la consistencia del trazado geométrico, en donde se obtiene una ponderación según la importancia en relación a la seguridad vial. Finalmente, como resultado de este análisis se obtiene un porcentaje de cumplimiento de las características del trazado geométricos en base al cumplimiento de la normativa y de la seguridad vial.
- La ponderación establecida en esta metodología se encuentra validada por la comprobación de la relación de la consistencia de las matrices, que involucran la correspondencia de cada uno de los parámetros del diseño geométrico vial con respecto a la seguridad de la carretera de montaña. En las características horizontales el parámetro de mayor ponderación es el “Radio” es decir este parámetro definirá la seguridad de los usuarios de la carretera, en los parámetros verticales la de mayor ponderación son “Pendientes”, es decir si la vía cumple con las pendientes máximas y mínimas establecidas contribuirá a la seguridad de los conductores brindando una velocidad de circulación homogénea y confortable, para los parámetros transversales la característica que prima es el “Ancho de

calzada” es decir si las vías tienen un ancho preestablecido por importancia evitara accidentes o inconvenientes viales.

- Al involucrar los criterios de consistencia geométrica de Lamm, permitió que la metodología involucre la percepción del usuario en un instante al transcender por la vía como al finalizar el viaje sobre la carretera, en la vía de análisis se pudo determinar que para el Criterio I se obtuvo que el 62% de las curvas analizadas causan una percepción “MALO”, es decir que el conductor debe realizar constantemente cambios de velocidad provocando con esto que el usuario no tenga un viaje confortable ni seguro, para el Criterio II el mayor porcentaje lo tiene la característica “POBRE” con un 37%, es decir la variación de velocidad al entrar y salir de una curva es excesiva provocando malestar al conductor y posibles accidentes.
- Al tener un porcentaje de cumplimiento el usuario del método, posee una idea clara de cuando un diseño geométrico vial puede ser considerado como válido, sin tener que evaluar cada uno de los parámetros, si no directamente asignar el valor ponderado por característica,
- Cuando una vía tiene más del 90% de cumplimiento de la metodología propuesta, se puede considerar que la carretera es segura para los usuarios, sin embargo, se debe revisar los parámetros que no cumplen con la finalidad de mitigar y lograr establecer medidas emergentes y puntuales para cada caso, esto se podrá lograr mediante señalización horizontal y vertical.
- Finalmente, luego de aplicar la metodología propuesta en esta investigación se obtuvo que las características horizontales cumplen en un 71%, considerando así que el trazado geométrico horizontal propuesto no es seguro para el usuario, en las características verticales cumplen un 56% haciendo que esta vía no sea

confortable para los conductores debido al cambio de velocidades que produce la variación de las pendientes longitudinales, en las características transversales se obtuvo que el 56% del trazado cumple con los parámetros mínimos y máximos establecidos en la normativa vigente MOP-2003. Al finalizar el análisis en sus diferentes geometrías se considera que la vía de estudio no tiene un trazado eficiente que contribuya a la seguridad del conductor, esto debido a que la vía se encuentra implantada en una topografía montañosa, además de encontrarse limitada por construcciones cercanas a la vía, lo cual genera indemnizaciones y por lo tanto encarecimiento de la vía.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda seguir con la investigación del tema para incorporar más valores de evaluación, con el afán de que la metodología se complemente.
- Dar a la población seguridad vial e insertar en la vía señalización vial tanto horizontal como vertical, con el afán de que el usuario pueda proveer ciertas curvas que no pueden cumplir con las especificaciones técnicas requeridas.
- Se recomienda realizar estudios para profundizar el conocimiento sobre velocidad de operación en vías de nuestro país, pues para la investigación se emplearon ecuaciones de un caso de estudio con una muestra de 322 curvas.

BIBLIOGRAFIA

- Altamira, A. L. (2020). *Diseño Geométrico de Caminos de Montaña : particularidades y desafíos Geometric Design of Mountain Roads : special features and challenges Resumen*. 17(2), 1–15. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7003>
- Altamirano, A. (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>.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011. (2011). *Apolicy on geometric design of highways and street*.
- Babkov, V. (1968). Road design and traffic safety. *Road Design and Traffic Safety. Control*.
- Burgos, H. (2021). *EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS ACTUALES Y PROPUESTA DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA LLULLAPUQUIO – CHETILLA, DISTRITO DE CHETILLA, CAJAMARCA 2019*.
- Cárdenas, J. (2013). *Diseño geometrico de carreteras* (2da ed.). ECOE EDICIONES.
- Casteló, D. (2018). Desarrollo de una metodología para el diseño y mejora de carreteras convencionales a partir del análisis de la seguridad vial mediante modelos de consistencia. In *Dialnet* (p. 48).
- Coronado, J., & Garmendia, M. (2008). *Carreteras-Planeamiento . Algunas claves de la evolución histórica de una relación imperfecta HIGHWAY- URBAN PLANNING . SOME KEYS OF THE*. June. <https://doi.org/10.24197/ciudades.11.2008.33-51>
- Easa, S. (2003). Distributing superelevation to maximize highway design consistency. *Journal of Transportation Engineering*, 2, 127–133.
- Fitzpatrick, K., Carlson, P., Brewer, M., & Wooldridge, M. D. (2003). Design speed, operating speed, and posted speed limit practices. In *82nd Annual Meeting of the*

Transportation Research Board.

- García, A., Camacho, F., Pérez, A., & López, M. (2013). Nuevo proceso de diseño geométrico seguro de carreteras convencionales. *REVISTAS CARRETERAS*, 191, 30.
- García, A., Camacho, F., Pérez, A., Moreno, A., & Lorca, C. (2013). Nuevo proceso de diseño geométrico para unas carreteras convencionales más seguras. *Plataforma Tecnológica Española de La Carretera*.
- Glennon, J., & Harwood Douglas, W. (1978). Highway design consistency and systematic design related to highway safety. *Transportation Research Record*, 681, 77–88.
- Gómez, O; Orejuela, J. (2008). El proceso de análisis jerárquico y la toma de decisiones multicriterio. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, XIV(39), 247–252.
- Lamm, R., Psarianos, B., & Mailaender, T. (1999). Highway design and traffic safety engineering handbook. *McGraw-Hill*.
- Leisch, J., & Leisch, J. (1977). New concepts in design-speed application. *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*, 631, 4–14.
- Llopis, D. (2017). Desarrollo de una metodología para el diseño y mejora de carreteras convencionales a partir del análisis de la seguridad vial mediante modelos de consistencia. *Universidad Politécnica de Valencia. España*.
<https://doi.org/doi.org/10.4995/Thesis/10251/100271>
- López, A. M. C., & Echeverry, A. C. A. (1999). Manual de Diseño Geométrico para Carreteras. López y Echeverry. In *Ciencia E Ingeniería Neogranadina* (Vol. 1, pp. 145–156).
- López Falcón, A., & Serpa Ramos, G. (2021). ACERCA DE LOS MÉTODOS

TEÓRICOS Y EMPÍRICOS DE INVESTIGACIÓN: SIGNIFICACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA. *Conrado*, 17(1), 22–31.

McLean, J. (1981). Driver speed behaviour and rural road alignment design. *Traffic Engineering & Control*, 22(no HS-032 471).

Ministerio de transporte y comunicaciones. (2005). *Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentados De Bajo Volumen De Tránsito. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.* Lima, Perú.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/%0Anormas_carreteras/manuales.html

Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador, E. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP.*

Miranda, S., & Ortiz, J. (2020). Los paradigmas de la investigación: un acercamiento teórico para reflexionar desde el campo de la investigación educativa. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo*, 11(21).
<https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.717>

Moreno, G., Vieira, R., & Martins, D. (2018). Highway designs: effects of heavy vehicles stability. *DYNA. MEDELLIN*, 85(ISSN 0012-7353), 205–210.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.69676>.

Mucha Hospinal, L., Chamorro Mejía, R., Oseda Lazo, M., & Alania Contreras, R. (2021). Evaluación de procedimientos empleados para determinar la población y muestra en trabajos de investigación de posgrado. *Revista Científica de Ciencias Sociales y Humanidades*, 12(1), 1–8.

Paxion, J., Galy, E., & Berthelon, C. (2014). Mental workload and driving. *Frontiers in Psychology*, 5.

Pineda, B. (2019). Implementation of the sight distance passing on two-lane roads in

Colombia. *Ingeniera y Desarrollo Universidad Del Norte*, 37, 212–232.

<https://doi.org/https://doi.org/10.14482/inde.37.2.1257>

Sánchez, A. (2020). *Libro los métodos de investigación - maestría 2020* (Issue August).

Wooldridge, M. (1994). Design consistency and driver error. *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*, 1445.