

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del Proyecto:

**“ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DEL MODELO DE CONSISTENCIA DE
VELOCIDAD EN CURVAS CERRADAS EN LA CARRETERA PENIPE - BAÑOS”**

Autor:

Guaranga Allauca Oscar Marcelo

Tutor:

MsC. Víctor Rene Velásquez Benavides

Riobamba – Ecuador

Año 2022

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DEL MODELO DE CONSISTENCIA DE VELOCIDAD EN CURVAS CERRADAS EN LA CARRETERA PENIPE - BAÑOS”**, presentado por: **Oscar Marcelo Guaranga Allauca** y dirigida por: **MsC. Víctor Rene Velásquez Benavides**. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo. Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Víctor Velásquez
Tutor del Proyecto



Firmado electrónicamente por:
**VICTOR RENE
VELASQUEZ
BENAVIDES**

Firma

Ing. Vladimir Pazmiño
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**HERNAN VLADIMIR
PAZMIÑO
CHILUIZA**

Firma

Ing. Ángel Paredes
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**ANGEL EDMUNDO
PAREDES GARCIA**

Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Víctor Velásquez**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “**ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DEL MODELO DE CONSISTENCIA DE VELOCIDAD EN CURVAS CERRADAS EN LA CARRETERA PENIPE - BAÑOS**”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al señor; **Oscar Marcelo Guaranga Allauca**, para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente;



Firmado electrónicamente por:
**VICTOR RENEE
VELASQUEZ
BENAVIDES**

**Ing. Víctor Velásquez
Tutor de Tesis**

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación nos corresponde exclusivamente a: Oscar Marcelo Guaranga Allauca y al MsC. Víctor Rene Velásquez Benavides y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Sr. Oscar Marcelo Guaranga Allauca
C.I. 060478419-9

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico a mi familia la cual ha sido el pilar principal más grande en mi vida, de una manera especial a mis padres Juan Enrique Guaranga Sánchez que desde el cielo ve cristalizado su gran sueño hecho realidad y Laura Cecilia Allauca Allauca que con tiempo, amor, cariño y lecciones me han encaminado a conseguir este título profesional, a cada uno de mis hermanos Patricio, Sandra, Walter, Wilson, Verónica, Juan y Jairo ya que han sido una inspiración en cada aspecto personal, absorbiendo lo mejor de cada uno de ellos .

Para mi esposa e hija Gabriela Telenchana y Emilia Salomé quienes son mi alegría y la vez el impulso para concluir con éxito mi carrera.

Oscar Marcelo Guaranga Allauca

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la vida, salud e inteligencia, con mucho afecto de igual manera a las personas que en esta travesía universitaria fueron un apoyo tanto moral, económico e intelectual cuales fueron un conjunto esencial para lograr esta meta.

A mi padre en paz descansa que, gracias a su trabajo de toda una vida, nos dejó las bases económicas y el camino trazado hacia el éxito. A mi madre y hermanos por inculcarme los mejores valores, compartir sus experiencias y darme sus consejos, como la perseverancia la cual me mantuvo firme para alcanzar esta meta profesional.

Para mi familia política, de manera especial a mis suegros “Don Alfredo” y “Doña Lida” que son el tripié de mi matrimonio quienes me brindaron su confianza y apoyo en las últimas etapas de la obtención de mi título.

Mis queridos docentes, de esta noble institución los cuales día a día me impartiendo su sabio conocimiento académico, para lograr llegar a ser un gran profesional.

Oscar Marcelo Guaranga Allauca

CONTENIDO

REVISIÓN	II
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	III
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. MARCO TEÓRICO	15
4. METODOLOGÍA	23
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
6. CONCLUSIONES	46
6.1. Conclusiones	46
6.1 Limitaciones	47
6.2 Futuras líneas de investigación	47
7. RECOMENDACIONES	48
8. REFERENCIAS	49
9. ANEXOS	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de la Investigación	23
Figura 2. Porcentaje de curvas según su consistencia analizando velocidades de diseño vs de operación en sentido Penipe – Baños.....	32
Figura 3. Porcentaje de las diferencias de velocidades (estimada vs observada) tramo Penipe - Baños	34
Figura 4. Velocidad de diseño, velocidad de operación estimada vs velocidad de operación observada	35
Figura 5. Línea de tendencia de la velocidad estimada vs velocidad observada	36
Figura 6. Porcentajes de curvas correspondientes a cada nivel de consistencia, sentido Baños - Penipe	38
Figura 7. Porcentajes de curvas cerradas correspondientes a su nivel de consistencia (IHSDM)	41
Figura 8. Velocidad de diseño, velocidad estimada vs velocidad observada	42
Figura 9. Línea de tendencia de la velocidad estimada vs velocidad observada	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites para el análisis de la consistencia de diseño geométrico aplicables para los Criterios I y II de Lamm	20
Tabla 2. <i>Valores de velocidad de diseño de tramos homogéneos</i>	21
Tabla 3. Información de las 14 curvas cerradas en sentido de ida y vuelta	29
Tabla 4. Valores de diseño para una vía CLASE III, Norma Ecuatoriana	30
Tabla 5. Comparación entre la velocidad de diseño vs la velocidad observada del tramo PENIPE – BAÑOS	31

Tabla 6. <i>Porcentajes de la evaluación consistencia de la vía PENIPE – BAÑOS, Velocidad de diseño vs Velocidad de operación</i>	32
Tabla 7. <i>Velocidades de operación estimadas en IHSDM del tramo PENIPE - BAÑOS</i>	33
Tabla 8. <i>Diferencia entre la velocidad de operación estimada vs la velocidad de operación observada del tramo PENIPE – BAÑOS:</i>	33
Tabla 9. <i>Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Penipe – Baños</i>	34
Tabla 10. <i>Tabla de comparación de porcentajes entre los métodos de análisis de consistencia utilizados en sentido Penipe – Baños</i>	35
Tabla 11. <i>Diferencia entre la velocidad de diseño vs la velocidad de operación observada del tramo BAÑOS - PENIPE</i>	37
Tabla 12. <i>Porcentajes de la evaluación consistencia del tramo Baños – Penipe, Velocidad de diseño vs Velocidad de operación</i>	38
Tabla 13. <i>Velocidades de operación estimadas en IHSDM del tramo PENIPE - BAÑOS</i>	39
Tabla 14. <i>Diferencia entre la velocidad estimada vs la velocidad observada del tramo Baños – Penipe.</i>	40
Tabla 15. <i>Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Baños – Penipe.</i>	40
Tabla 16. <i>Tabla de comparación de porcentajes entre los métodos de análisis de consistencia utilizados en sentido Baños - Penipe</i>	41

RESUMEN

El incremento del parque automotor pone en marcha diariamente miles de vehículos en circulación, aumentando el riesgo de siniestrabilidad los cuales generalmente se deben a tres factores, el conductor, el vehículo y la infraestructura. Ahora bien, existen métodos como el análisis de consistencia de diseño el cual analiza la variabilidad de la velocidad de operación con respecto a la velocidad de diseño, ayudándonos a identificar puntos en los cuales existe una alta probabilidad de siniestrabilidad, esta puede ser evaluada dentro de la etapa de diseño y en vías en funcionamiento. El presente trabajo de investigación establece las condiciones en las cuales se encuentran las curvas cerradas de la vía Penipe Baños bajo el concepto de la consistencia de diseño geométrico. Para ello se extrajo los datos de los elementos geométricos de la vía tanto en elevación como en planta mediante Google Earth, Civil 3D y Global Mapper. Se verificó la velocidad de diseño bajo las normativas correspondientes a Ecuador, Perú y Colombia, posterior a ello mediante el velocímetro del vehículo, GPS, Google Maps y Waze se determinó la velocidad de operación para cada curva. Finalmente, con el software IHSDM se estimó las posibles velocidades de operación, las mismas que servirán para evaluar su precisión, en comparación con las velocidades de operación observadas. Los resultados servirán como referencia para proponer mejoras en las características geométricas de la vía, además de incentivar al uso de estos métodos de predicción en la etapa de diseño para garantizar la seguridad vial.

Palabras clave:

Curvas cerradas, IHSDM, Modelo de consistencia, Penipe-Baños, Velocidad de Operación

ABSTRACT

The increase in the fleet puts thousands of vehicles in circulation daily, increasing the risk of accidents which are usually due to three factors, the driver, the vehicle and the infrastructure. However, there are methods such as the design consistency analysis which analyzes the variability of the operating speed with respect to the design speed, helping us to identify points in which there is a high probability of accidents, this can be evaluated within the design stage and in working ways. This research paper establishes the conditions in which the closed curves of the via Penipe Baños are located under the concept of geometric design consistency. To do this, the data of the geometric elements of the road was extracted both in elevation and in plan using Google Earth, Civil 3D and Global Mapper. The design speed was verified under the regulations corresponding to Ecuador, Peru and Colombia, after which the speedometer of the vehicle, GPS, Google Maps and Waze determined the operating speed for each curve. Finally, with the IHSDM software, the possible operating speeds were estimated, the same ones that will serve to evaluate their accuracy, in comparison with the observed operating speeds. The results will serve as a reference to propose improvements in the geometric characteristics of the road, in addition to encouraging the use of these prediction methods at the design stage to ensure road safety.

Keywords:

Sharp Curves, IHSDM, Consistency Model, Penipe-Baños, Operating Speed

Reviewed by:



Firmado electrónicamente por:
ANDREA
CRISTINA
RIVERA PUGLLA

Lic. Andrea Rivera
ENGLISH PROFESSOR
C.C 0604464008

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las redes viales de cada país son consideradas como patrimonio nacional, debido a su importante aporte al progreso y desarrollo del estado, aun mas cuando en la sociedad moderna se caracteriza por mantener una elevada movilidad de personas y mercancías (Aghón, 2001). Como consecuencia se ha observado un incremento en la cantidad de vehículos de transporte liviano y pesado, lo cual recae en un aumento del riesgo de sufrir un accidente de tránsito al momento de circular por las redes viales del país. Se conoce que los factores que influyen para que se genere un accidente de tránsito han sido simplificados en una red de interacciones entre el conductor, el vehículo y la vía (Ruesta, 2016). Donde figuran como factores de mayor relevancia al factor humano, el estado y geometría de la carretera. Si la geometría de la carretera proviene de un diseño pobre la seguridad vial no es garantizada, por la razón que el conductor siempre se adaptará a las características de la vía (Gómez et al., 2017). Es por ello que es esencial realizar un buen diseño especialmente de las curvas ya que varios estudios los detectan como puntos conflictivos, puesto que aproximadamente el 50% de pérdidas de vidas humanas en las redes viales se han producido en estas secciones (Pérez I. , 2008).

Vinculando el diseño de la vía con el usuario, se han desarrollado varios métodos para evaluar las características geométricas de la vía en relación con la circulación real por parte del usuario. La técnica más utilizada para ello es la “Consistencia del diseño geométrico”. La consistencia de diseño geométrico se basa en que los cambios de velocidad de operación que se evidencian a lo largo de la vía no presenten variaciones significantes, además de no tener una diferencia representativa con respecto a la velocidad de diseño la cual dependerá de cada norma local de diseño en función de tipo de carretera, la topografía y las expectativas del conductor (Pérez et al., 2011).

A pesar de ser un método muy conocido a nivel mundial, en Ecuador se registra poca bibliografía acerca de este tema. Arévalo (2020), analiza la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas de la vía Colta – Bucay, donde se calculó la velocidad de diseño en base a la norma colombiana, peruana y ecuatoriana, para así compararla con la velocidad de operación (concepto más utilizado) siendo esta la velocidad a la cual los conductores circulan en condiciones de flujo libre y equivale al percentil 85 de la distribución de velocidades observadas en un sitio en particular (Pérez A. , 2012). También se la comparó con la velocidad estimada la cual fue realizada con la ayuda del software IHSDM (Interactive Highway Safety Desing Model). Siguiendo la misma línea, el presente trabajo de investigación se realiza el análisis de la consistencia del diseño geométrico de la vía Penipe Baños considerando únicamente las curvas cerradas, analizando en el criterio I propuesto por Lamm et al. (1995), el cual se basa en la comparación entre velocidades de diseño y la de operación (Pico y Solarte, 2017).

Se ha propuesto realizar el análisis de la vía Penipe - Baños pues se ha evidenciado que para el diseño de la vía Cahujá empalme vía Ambato - Baños se la clasifíco como una vía clase III sabiendo que estudios actuales enfatizan que deberían haberla catalogado como una vía CLASE I, además se observó que se habría empleado un TPDA no proyectado. También se observó que 6 curvas no cumplen con el radio mínimo (42m) exigido por las normas del diseño geométrico del MTOP (Pacheco y Pacheco, 2015). Además, a lo largo de su funcionamiento se ha evidenciado de manera reiterada derrumbes por inestabilidades en los taludes de gran altura que presenta la vía lo cual no permite una circulación óptima y segura (Ver anexo 3). Con ello podremos verificar si la vía cumple con los criterios de análisis de la consistencia de diseño geométrico y así identificar los puntos en los cuales se debería de realizar mejoras o intervenciones para que la circulación sea cómoda y sobre todo segura.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Analizar la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas en la carretera Penipe – Baños.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la velocidad de operación de los vehículos en las curvas cerradas del tramo de la vía E490 y vía a Baños / E30.
- Recolectar datos de los elementos geométricos de las curvas cerradas de la vía E490 y vía a Baños / E30.
- Comparar la velocidad de operación con la velocidad escogida en las diferentes normas de diseño geométrico de carretera (Ecuador, Colombia y Perú); adicional con el modelo IHSDM.

3. MARCO TEÓRICO

Para la sociedad actual una de las principales problemáticas son los accidentes de tránsito, pues se tiene conocimiento que en cada año aproximadamente se pierden 1.2 millones de vidas humanas por esta causa a nivel mundial, además se ha identificado que entre 20 a 50 millones de personas terminan heridas de gravedad leve a alta cada año por la misma causa (Pérez et al., 2011).

Dentro de los aspectos que influyen en la accidentalidad en las carreteras y redes viales, el diseño geométrico es uno de los aspectos con mayor ponderación, siendo en algunos casos como el responsable del 30% de los accidentes de tránsito, además se debe tomar en cuenta también a la capacidad del conductor y el estado del vehículo (Treat et al., 1979).

Por esta razón, el proceso de diseño geométrico de carreteras debe cumplir los objetivos de ser funcional, además de buscar la integración del proyecto en su entorno, armónica y estéticamente, sin dejar de lado la economía, pero, sobre todo deberá brindar comodidad y seguridad a los futuros usuarios (García et al., 2012). Esta geometría que toma finalmente la carretera dependerá de los factores propios de la topografía por el que se va a trazar la vía y los criterios de diseño basados principalmente en la proyección del tráfico, tratando de satisfacer tanto como sea posible los diferentes objetivos de diseño (WPS, 2020).

Por otra parte, Reyes y Fernández (1983) con la finalidad de crear conciencia sobre la importancia que el proceso del diseño geométrico desde su concepción debe apuntar hacia la seguridad y comodidad del usuario llevaron a cabo una investigación donde se estableció una relación de la accidentabilidad y las características geométricas de vías rurales mediante métodos de regresiones y consistencias de diseño. Esto produjo que a partir de este punto el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), creó un plan integral de intervención en las vías de

Colombia, pero se centró tan solo en recuperar la capa de rodadura, sin tomar en cuenta que se seguía manteniendo una deficiente geometría (Flórez et al., 2015).

A pesar de todos los lineamientos que debe seguir el proceso de diseño, en previas investigaciones se ha evidenciado que además de impertinencias por parte de los conductores al hacer uso de su vehículo, las condiciones geométricas de la vía toman protagonismo al producirse una colisión, puesto que los accidentes de tránsito tienden a presentarse desproporcionalmente en determinadas zonas de las vías (Pérez et al., 2011).

Es así que se observa que a nivel mundial se han llevado cabo varios estudios sobre la relación del diseño geométrico y su influencia en la accidentabilidad de una carretera (Posada – Henao et al., 2014), a pesar de aquello en Ecuador no se han encontrado investigaciones que tengan como enfoque principal la incidencia de las características de la vía y los accidentes de tránsito (Arévalo, 2020). A partir de este punto, la infraestructura vial toma protagonismo, puesto que todo lo antes mencionado puede deberse a una baja consistencia del diseño geométrico.

Ahora bien, la consistencia en el diseño geométrico hace referencia a que la variación en la velocidad de operación que pueden alcanzar los vehículos en carretera, no sean tan divergentes con respecto a las expectativas del conductor y la velocidad de diseño plasmada en los códigos y normas vigentes de cada país acorde a la función de la carretera (Posada – Henao et al., 2014). Por otro lado, la consistencia de diseño geométrico podría considerarse como el nivel de correspondencia entre el comportamiento de la vía y lo que espera el conductor al circular por ella. En otras palabras, un diseño se lo podrá catalogar como consistente cuando cada elemento geométrico de la carretera y su configuración sucesiva de forma coordinada brinden una circulación cómoda y libre de sorpresas (Pérez et al., 2011). En este sentido la consistencia del diseño ya se la está considerando como uno de los factores

más importantes del cual dependerá la seguridad vial al estar ligada con la satisfacción de lo que esperan los conductores al circular por la carretera (Llopis y Camacho, 2020).

Para llevar a cabo su evaluación muchos de los criterios han concordado que se las puede realizar especialmente en torno a cuatro enfoques, dentro de los cuales está presente la estabilidad del vehículo, los índices de trazado, la carga de trabajo del conductor, y el estudio de la velocidad de operación, el cual a la vez se lo cataloga como el más utilizado (Ng y Sayed, 2004) (Awata y Hassan, 2002).

En el caso de la estabilidad del vehículo, se fundamenta en los datos registrados en accidentes de tránsito en contexto de salida de calzada y choques frontales los cuales demuestran que podrían ser causados por una deficiente fuerza transversal de rozamiento al tomar las curvas (Cvitanić y Maljković, 2019).

Para una evaluación mediante los índices de trazado, es necesario sintetizar las características geométricas en varios parámetros, los cuales nos evidenciarán inconsistencias en el diseño donde se observe una variación anormal de sus resultados. Estos se clasifican en índices de trazados horizontales, índices de trazados verticales, además de los índices combinados. Entre todos los índices existentes figuran como los más utilizados el radio medio (AR), el coeficiente entre el radio máximo y el radio mínimo (RR) y la media de la curvatura vertical (AVC) (Sánchez, 2011). Este método es ser fácil de entender y utilizar, pero nos condensa el resultado en un único valor sin dejarnos la posibilidad de realizar un análisis individual en los tramos, puesto que lo realiza de manera global o conjunta condensando aspectos de la geometría en planta y elevación (Pérez et al., 2011).

Ahora bien, para realizar una evaluación basado en la carga de trabajo del conductor, se debe entender que hace referencia a la cantidad de esfuerzo mental utilizado para la realización de una actividad, en este caso se deberá analizar, cuanta información percibe el

usuario al transitar por la vía (Delgado et al., 2021). La carga de trabajo se debería mantener en una medida media, por lo que, si llegara a ser mayor o menor, es una alerta de presencia de inconsistencias en el trazado de la vía, ya que, al tener una alta carga de trabajo, el conductor no será capaz de asimilar toda la información, presentándose imprevistos a la circular. Por otro lado, en el caso de tener una baja carga de trabajo, el conductor tiende a distraerse fácilmente y poner en riesgo su integridad y la de los demás (Pérez et al., 2011). Al revisar investigaciones con respecto a este método de evaluación, varios autores concuerdan que el punto débil lo tiene al momento de analizar y cuantificar este factor tan subjetivo y a su vez validar los resultados (Hassan et al., 2001).

Por último, tenemos los criterios utilizados para evaluar la consistencia de diseño geométrico en base a la velocidad de operación. Para abordar este tema tenemos que enfatizar que una gran parte de los inconvenientes de seguridad vial se producen a partir de una mala adaptación de la velocidad por parte de los conductores. Cabe recalcar que tanto como la estimación y la medición de la velocidad de operación se vuelven métodos más fáciles de utilizar y más precisos con el fin de comprobar la consistencia comparándola con los otros criterios, es por esto que se ha convertido en el criterio más utilizado para este tipo de análisis e investigaciones (Cafiso y La Cava, 2009).

Para la obtención de la velocidad de operación hay que tener en claro que dependerá del estado en el que se encuentre el proyecto vial, ya que si se encuentra en proceso de diseño se deberá recurrir al uso de ecuaciones de predicción en base a las características geométricas. De este tipo de ecuaciones existe una gran cantidad de modelos, ya que depende si se requiere el cálculo de la velocidad de operación en rectas o curvas, también se debe considerar los diferentes índices de aceleración y desaceleración, además de estar en función de la región geográfica. Por el contrario, si la carretera está construida la recolección de datos

es mucho más fácil, ya que bastará con registrar las velocidades de los vehículos cuando transiten por la calzada (García y Paladines, 2018).

En efecto, el incremento en la variabilidad de la velocidad de operación ya sea analizada en cada punto individual como a lo largo del desarrollo de la carretera, es un factor importante para la ocurrencia de un siniestro (Fitzpatrick y Collins, 2000). Por esta razón, el análisis de las variaciones de las velocidades de operación (V_{85}) entre elementos consecutivos y la evaluación de la consistencia del diseño geométrico verificando la diferencia cuantitativa entre la velocidad de diseño (V_d) y la velocidad de operación (V_{85}) se han convertido los métodos que más se han llevado a la práctica para la evaluación de la consistencia.

Dentro de las metodologías que se manejan para proceder a su análisis se identifican los de evaluación local (analiza los elementos geométricos de forma individual) y los de evaluación continua (permite un análisis de la consistencia global de un tramo) (Echaveguren, 2012).

Es necesario indicar que el análisis de la consistencia del diseño geométrico con metodología local nos ayuda a identificar tramos peligrosos, dándonos la oportunidad de rediseñar o en su efecto realizar las adecuaciones correspondientes. En este aspecto tenemos tres criterios por los cuales realizar la evaluación de la consistencia de diseño geométrico (Lamm et al., 1995).

El primer criterio es un buen indicador que se enfoca en la comparación de la velocidad de operación con la de diseño, en el segundo criterio se deberá comparar las velocidades de operación entre los elementos consecutivos de la carretera determinando la inconsistencia que perciben los conductores al transitar de un elemento geométrico al siguiente, finalmente el tercer criterio se basa en determinar la diferencia entre el rozamiento transversal movilizado y demandado (Pérez et al., 2011).

Para el análisis de los resultados, Lamm determina los límites o umbrales correspondientes a los criterios I y II, los cuales son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 1. Límites para el análisis de la consistencia de diseño geométrico aplicables para los Criterios I y II de Lamm

Nivel de Consistencia	Criterio I (km/h)	Criterio II (km/h)
Buena	$ v_{85} - v_d \leq 10$	$ v_{85 i} - v_{85 i+1} \leq 10$
Aceptable	$10 < v_{85} - v_d \leq 20$	$10 < v_{85 i} - v_{85 i+1} \leq 20$
Pobre	$ v_{85} - v_d > 20$	$ v_{85 i} - v_{85 i+1} > 20$

Nota: Pérez A.; Camacho F. y García A.

A raíz de todo lo antes expuesto, se ha optado por utilizar el criterio I de Lamm para el desarrollo del presente trabajo de investigación, por lo cual el concepto de velocidad de diseño se hace necesario ya que es el parámetro con el cual se lleva a cabo la comparación y así determinar el nivel de consistencia de diseño geométrico.

La velocidad de diseño será la máxima velocidad que debe alcanzar el usuario para mantener una conducción segura y cómoda sobre un tramo determinado de una vía. En efecto esta velocidad es el punto de partida para determinar los valores de diseño de los distintos elementos geométricos que componen de la carretera (Jiménez, 2009).

La velocidad del diseño para un tramo homogéneo (VRT) puede ser definido en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno, por ende, a una vía se le puede asignar una velocidad de diseño tomando en cuenta la homogeneidad en sus características de entorno, de funcionabilidad, ubicación y orografía. (INVÍAS, 2008). Ver tabla 6 expuesta a continuación.

Highway Administration), ampliamente adoptado en países como Canadá, EEUU y Colombia para evaluar la seguridad vial (Pérez-Rojas, 2013), la cual mediante las características geométricas obtenidas del diseño, nos entrega velocidades estimadas de operación valorando la seguridad y expectativas del conductor en un determinado tramo de la vía. Esta velocidad obtenida puede ser comparada con la velocidad de diseño y así analizar el nivel de consistencia del diseño geométrico, esto en el caso de tener una vía en la etapa de diseño (Arévalo, 2020). Por lo tanto, IHSDM parece ser una herramienta conveniente para el análisis de seguridad vial.

Los datos de geometría de la carretera se pueden incorporar manualmente o importar desde archivos LandXML. Para nuevas alineaciones es relativamente fácil obtener los datos de los elementos geométricos (curvas, tangentes, pendientes, secciones transversales) ya que esta información se define con un programa de diseño geométrico; mientras que evaluar las alineaciones existentes requiere mucho trabajo; la información de la geometría de la carretera para cada elemento debe generarse o recopilarse en el campo y agregarse al registro IHSDM (Pérez-Rojas, 2013).

En la actualidad IHSDM se ha convertido en una de las herramientas principales para evaluar los impactos de seguridad y la evaluación operativa de alineaciones de carreteras nuevas o existentes, útil para tomar decisiones de diseño geométrico, maximizando los beneficios de seguridad de los proyectos de carreteras dentro de las limitaciones de costos y consideraciones ambientales, (Pérez-Rojas, 2013), ayudando a planificadores y diseñadores a identificar y evaluar los problemas de seguridad con el fin proponer nuevos diseños.

4. METODOLOGÍA

La presente investigación es un estudio de carácter **exploratorio**, pues se busca analizar el nivel de consistencia de diseño geométrico de la vía Penipe-Baños, la cual no existe registro alguno de haber sido analizada con anterioridad y así poder identificar los tramos conflictivos que pudieran ser un riesgo para los usuarios de esta ruta. Para desarrollar este trabajo se realizó la siguiente metodología.

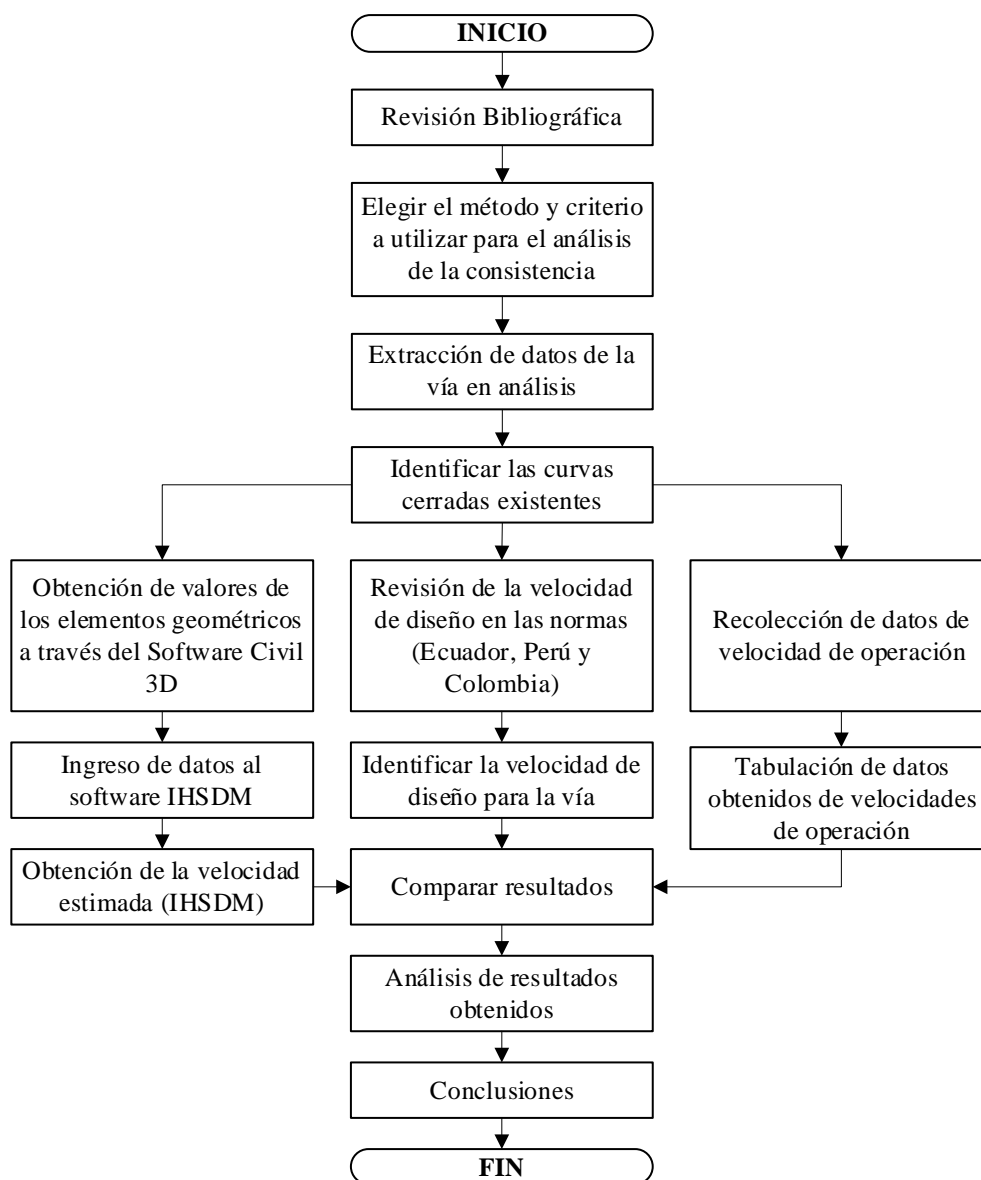


Figura 1. Metodología de la Investigación

a) **Búsqueda bibliográfica:** Se realizó una búsqueda bibliográfica detallada y definida en base a cinco enfoques: la consistencia de diseño geométrico, obtención de la velocidad de operación, lineamientos para la selección de la velocidad de diseño de acuerdo a las normas, manejo y prestaciones del software IHSDM como herramienta para la obtención de la velocidad estimada y antecedentes de la vía Penipe – Baños. Se usó bases de datos científicos como: ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles), Scopus, ScienceDirect y Web of Science.

Además, también se revisó tesis que albergan en repositorios de las universidades, principalmente de España, Colombia y Ecuador Para encontrar la información deseada se empleó herramientas de filtro como son palabras claves: velocidad de operación, consistencia de diseño, IHSDM, factores de accidentabilidad y velocidad de diseño.

b) **Elección de método y criterio para la evaluación de la consistencia de diseño**

geométrico: A través de la revisión de la literatura, el método que fue elegido para el análisis es el criterio de evaluación basados en la velocidad de operación, tomando en cuenta una evaluación local de consistencia, enfocándonos en el Criterio I propuesto por Lamm que corresponde a la comparación entre la velocidad de diseño y la de operación. Adicional se optó por incluir para el análisis, la velocidad de operación estimada obtenida del software IHSDM con respecto a la velocidad de operación observada.

c) **Extracción de datos de la vía de análisis:** Con la ayuda del software Google Earth Pro en su versión 7.3.4.8281 se realizó el trazado de la vía iniciando en Penipe hasta llegar a la ciudad de Baños (Ver anexo 6), la misma que en forma de plantilla fue exportada a Civil 3D 2021 para así concatenar con la ortofoto Bing que nos facilita el

software, también con las mediciones tomadas en campo acorde a las secciones, calzadas, características de la vía (Ver Anexo 11) y así para realizar un diseño de tangentes y curvas en base a la plantilla con el fin de tener como resultado las características geométricas horizontales, representando las líneas de entretangencia, radios, curvas circulares, longitudes de curvas horizontales y espirales.

Con el fin de tener nuestro modelo lo más cercano a la realidad se procedió a obtener los datos de la geometría vertical mediante el software Global Mapper v22.1 la cual se sincroniza con la información extraída de Google Earth y así obtener toda la información con respecto a las características geométricas verticales (Ver Anexos 7 y 8). Es importante recalcar que tanto como Google Earth Pro y Global Mapper han sido ampliamente analizados en su nivel de confiabilidad, en la actualidad poseen un error o diferencia máxima de 5.427 m, destacando su uso como softwares innovadores debido a su potencia y su versatilidad en su uso, considerándolos como complemento y apoyo a un SIG (Aeado, 2013).

- d) Identificar las curvas cerradas existentes:** Una vez obtenido los perfiles longitudinales y transversales se procedió a clasificar las curvas cerradas. Se asignó con un código cada curva cerrada que se encuentra en esta carretera, recordándose, para nuestro caso hemos considerado, para que sea curva cerrada debe sobrepasar el ángulo de deflexión los 120° como lo indica Arévalo (2020), además se consideró las curvas en las cuales presentaban ángulo de deflexión cercanos a este valor, también, se tomó en cuenta lo argumentado por los moradores de cada sector lo cuales nos supieron mencionar los lugares en los cuales se han presenciado varios accidentes de tránsito (Ver Anexo 2), por otro lado, se denomina también curvas de retorno, a aquellas curvas de una calle o carretera que giran aproximadamente 180° y son muy

cerradas, se incluyeron las coordenadas de inicio y fin de las curvas cerradas facilitándonos el estudio de cada uno de ellos. Se identificó catorce curvas que entran para el análisis de presente trabajo de investigación.

e) Obtención de los valores de elementos geométricos a través del software Civil 3D:

Con la ayuda del software se pudo extraer la información como las abscisas de inicio y de fin de las tangentes y curvas, longitudes de tangentes y radio de curvas y sus respectivos sentidos de giro, todos estos datos deberán ser tabulados y ordenados en un archivo de Excel.

f) Ingreso de datos al software IHSDM: Antes de iniciar a ingresar los datos al software debemos configurar el un nuevo proyecto en base a las características geométricas de la vía. En el apartado Desing Consistency Data, es donde se debe ingresar cada uno de los datos correspondiente a la configuración de la vía. Estos aparatados se denominan “Horizontal Alignment”, “Vertical Alignment”, “Desing Speed”, “Posted Speed”, “Desired Speed” y por último “Roadside Hazard Rating”.
(Ver Anexo 9 y 10)

g) Obtención de la velocidad estimada en IHSDM: Para ello ya después de tener todos los datos ingresados, el programa nos genera un reporte en formato PDF en el cual se muestran las velocidades de operación estimadas en cada una de las abscisas ingresadas en sentido de ida y de vuelta, perfiles de velocidad, puntos críticos, entre otros datos adicionales.

h) Revisión de la velocidad de diseño en las normas de Ecuador, Perú y Colombia:

En este punto es necesario recalcar que mediante la revisión bibliográfica varios autores concuerdan que los lineamientos para la selección de la velocidad de diseño son básicamente los mismos para los tres países, por lo cual el análisis fue unificado al momento de realizar las comparaciones para las diferentes normas mencionadas.

i) Identificar la velocidad de diseño para la vía en análisis: La vía estudiada comprende a una carretera primaria de tipo montañoso, denotando una velocidad de diseño igual a 60 km/h utilizando para el cálculo los elementos de la sección transversal, así como las pendientes de esta. Lo que concuerda con lo encontrado en la investigación realizada por Pacheco y Pacheco (2015), donde la vía Cahuají – empalme Ambato – Baños se consideró una velocidad de diseño igual al 60 km/h para el cálculo de los diferentes elementos geométricos. Por lo cual será nuestro dato de partida con el cual realizaremos las comparaciones respectivas.

j) Recolección de datos de la velocidad de operación: Una vez obtenidas las características geométricas de la vía, se procedió a circular con un automóvil TOYOTA YARIS HB AC 1.5 5P 4X2 TM del año 2019 fabricado en TAILANDIA color NEGRO (Ver Anexo 12), el cual fue utilizado para tomar registro de las velocidades de operación en las curvas identificadas como cerradas de la carretera tanto de ida como de vuelta, con la ayuda del velocímetro propio del vehículo, un GPS, la App Google Maps y la App Waze. (Ver Anexo 4)

k) Tabulación de datos obtenidos de la velocidad de operación: Una vez recolectados los datos, ingresaremos en una hoja de Excel, procediendo a sacar a la media de las

velocidades obtenidas de los diferentes medios antes mencionados y así aproximarnos más a la velocidad real de circulación. A continuación, los ordenaremos clasificándolos en los datos de ida como los de vuelta con sus respectivas abscisas.

- 1) **Comparación de resultados:** Una vez obtenidos los datos de velocidad estimada, velocidad de diseño y la velocidad de operación, procedimos a su comparación teniendo en cuenta los umbrales propuestos por Lamm (Tabla 1) para el criterio I, basándonos en la velocidad de operación enfocados en una evaluación local. En primer lugar, se comparó los datos de la velocidad de diseño vs la velocidad de operación en cada curva cerrada con su respectiva abscisa tanto en sentido de ida como de vuelta. Posterior a ello se realizó el análisis de la velocidad de operación observada vs la velocidad de operación estimada obtenida del reporte de resultados del software IHSDM, con el fin de evaluación su precisión al momento de estimar las velocidades de operación en este caso de estudio. Finalmente se presentó una gráfica en la cual se observan los tres perfiles de velocidad para su análisis global.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la obtención de los datos de geometría en perfil longitudinal y transversal mediante la ayuda de softwares como Google Earth Pro, Global Mapper, Autodesk Civil 3D, IHSDM y las mediciones tomadas en campo, se estableció un total de 14 curvas que serán analizadas, las mismas que tienen su codificación para el análisis en ida como de vuelta. En la Tabla 3, se detalla las curvas con su respectiva codificación y abscisa.

Tabla 3. *Información de las 14 curvas cerradas en sentido de ida y vuelta*

DATOS DE CURVAS CERRADAS EN SENTIDO PENIPE – BAÑOS		DATOS DE CURVAS CERRADAS EN SENTIDO BAÑOS – PENIPE	
Código	Abscisa (km)	Código	Abscisa (km)
CV001	6+722.09	CV014	6+639.11
CV002	9+480.66	CV013	16+542.28
CV003	9+732.96	CV012	17+067.51
CV004	10+425.55	CV011	23+127.81
CV005	11+740.77	CV010	26+833.85
CV006	16+576.53	CV009	30+391.40
CV007	17+360.18	CV008	31+707.62
CV008	17+695.12	CV007	32+042.56
CV009	19+011.35	CV006	32+826.21
CV010	22+568.89	CV005	37+661.97
CV011	26+274.93	CV004	38+977.20
CV012	32+335.23	CV003	39+669.79
CV013	32+860.46	CV002	39+922.09
CV014	42+763.63	CV001	42+680.65

Es necesario indicar que el tramo estudiado posee una longitud total de 49 kilómetros con 402 metros y 74 centímetros, partiendo en la abscisa 0+000 tomando como punto de referencia la gasolinera del cantón Penipe, llegando a la abscisa 49+402.74 donde tenemos como punto de referencia la terminal terrestre de la ciudad de Baños. De igual manera se tomaron estos puntos referencia para el análisis en sentido de vuelta. (Ver Anexo 1)

En este punto se verificó la velocidad de diseño, los cuales debemos determinar acorde a lo que nos indica las normas de diseño geométrico de vías o carreteras, tanto la ecuatoriana, la peruana y la colombiana.

En lo que respecta a la norma ecuatoriana, basándonos en los documentos contractuales se determina que fue considerada como una vía CLASE III cuyos valores de diseño, Pacheco y Pacheco (2015) nos detallan en su trabajo de investigación:

Tabla 4. Valores de diseño para una vía CLASE III, Norma Ecuatoriana

NORMAS	CLASE III					
	300-1000 TPDA					
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA		
	LL	O	M	LL	O	M
Velocidad de diseño (K.P.H)	90	80	60	80	60	40
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	275	210	110	210	110	42
Distancia de visibilidad para parada (m)	135	110	70	110	70	40
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	640	565	415	565	415	270
Peralte	Máximo 10%					
Curvas verticales convexas (m)	43	28	12	28	12	4
Curvas verticales cóncavas (m)	31	24	13	245	15	6
Gradiente longitudinal máxima (%)	4	6	7	6	7	9
Gradiente longitudinal mínima (%)	0.50					

(Pacheco & Pacheco, 2015)

Dando como resultado la utilización de 60 km/h como velocidad de diseño basándonos en la norma ecuatoriana. Para el caso de la norma peruana y colombiana, la velocidad de diseño resulta estar acorde a lo argumentado anteriormente, puesto que las dos se basan en cuadros de selección donde de acuerdo a la demanda (tipo de carretera) y la orografía (tipo de terreno). (Ver Anexo 5)

En la Tabla 5, se detalla cada una de las curvas cerradas, seguido de la abscisa tomada en el centro del trayecto, además su respectiva velocidad de diseño la cual será para todos los casos igual a 60 km/h; la velocidad de operación u observada, su respectiva diferencia e intervalo al cual pertenecen según los umbrales propuestos por Lamm, y, por último, la evaluación de la consistencia de cada una de las curvas de análisis.

Tabla 5. Comparación entre la velocidad de diseño vs la velocidad observada del tramo

PENIPE – BAÑOS

No.	Abscisa (km)	Velocidad de diseño (km/h)	Velocidad Observada (km/h)	Diferencia Velocidades (km/h)	Intervalo (km/h)	Evaluación consistencia
CV001	6+722.09	60	63	3	< 10	BUENA
CV002	9+480.66	60	54.6	5.4	< 10	BUENA
CV003	9+732.96	60	56.5	3.5	< 10	BUENA
CV004	10+425.55	60	57.7	2.3	< 10	BUENA
CV005	11+740.77	60	64.8	4.8	< 10	BUENA
CV006	16+576.53	60	61.8	1.8	< 10	BUENA
CV007	17+360.18	60	59.8	0.2	< 10	BUENA
CV008	17+695.12	60	58.7	1.3	< 10	BUENA
CV009	19+011.35	60	51.6	8.4	< 10	BUENA
CV010	22+568.89	60	61.1	1.1	< 10	BUENA
CV011	26+274.93	60	51.7	8.3	< 10	BUENA
CV012	32+335.23	60	44.8	15.2	10 - 20	ACEPTABLE
CV013	32+860.46	60	48.1	11.9	10 - 20	ACEPTABLE
CV014	42+763.63	60	27.5	32.5	> 20	POBRE

De la tabla 5, se puede obtener el porcentaje de las curvas cerradas que se encuentran en los diferentes estados de consistencia; bueno, malo, regular, dando como resultado que la mayoría de las curvas mantienen una buena consistencia de diseño geométrico, a excepción de las curvas CV012 y CV013 que son las únicas que se encuentran en estado aceptable.

Para su debido ajuste, Lamm nos recomienda revisar el peralte de la curva ya que de ser el caso deberíamos cambiarlo o en su efecto modificar la distancia de parada y así lograr ajustar la velocidad de diseño a la velocidad de operación. Es necesario indicar que, dentro de todo el tramo analizado, se identificó a la curva CV014 con una consistencia de diseño geométrico pobre, donde lo más recomendable sería revisar el tramo en cuestión para poder dar solución sugiriendo un rediseño del tramo.

A través de los datos anteriores se puede obtener el porcentaje de curvas que pertenecen a cada estado de consistencia, lo cual se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6. *Porcentajes de la evaluación consistencia de la vía PENIPE – BAÑOS, Velocidad de diseño vs Velocidad de operación*

Diferencia de velocidad (km/h)	Porcentaje curvas	Nivel de consistencia
< 5	57%	Bueno
5 - 10	21%	
10 - 15	7%	Aceptable
15 - 20	7%	
> 20	7%	Pobre
100%		

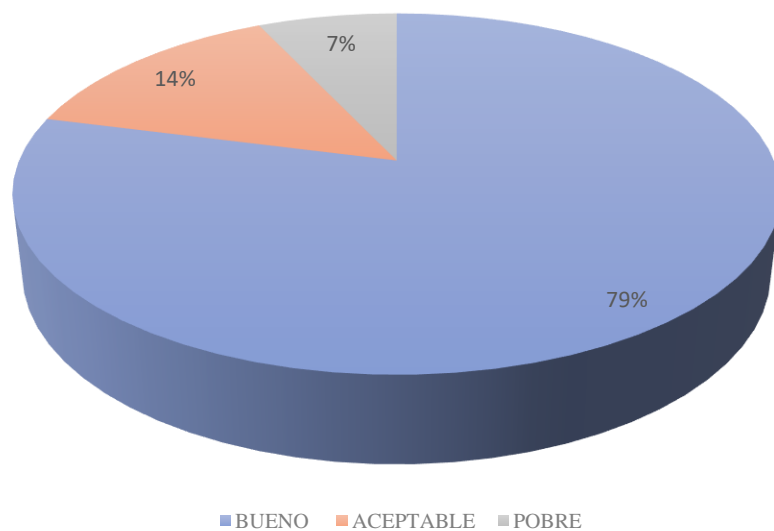


Figura 2. *Porcentaje de curvas según su consistencia analizando velocidades de diseño vs de operación en sentido Penipe – Baños*

De la Tabla 6 y la Figura 2, se puede determinar que el carril derecho correspondiente a la circulación en sentido Penipe Baños mantiene nivel bueno con respecto a la consistencia de diseño geométrico en la mayoría de la trayectoria.

Cabe recalcar que las curvas identificadas con un nivel aceptable y pobre necesitaran de un análisis más profundo y así mejorar su nivel de consistencia.

A continuación, se presentan los resultados entorno a la velocidad de operación estimada con la ayuda del software IHSDM en sentido Penipe – Baños, cada uno de ellos con su respectiva abscisa y su código de identificación.

Tabla 7. *Velocidades de operación estimadas en IHSDM del tramo PENIPE - BAÑOS*

No.	Abscisa en el punto medio de la curva	Velocidad estimada
Curva	km	Km/h
CV001	6+722.09	65
CV002	9+480.66	63
CV003	9+732.96	62
CV004	10+425.55	63
CV005	11+740.77	64
CV006	16+576.53	63
CV007	17+360.18	63
CV008	17+695.12	61
CV009	19+011.35	59
CV010	22+568.89	64
CV011	26+274.93	62
CV012	32+335.23	55
CV013	32+860.46	56
CV014	42+763.63	47

Con los datos obtenidos de la Tabla 7, se puede comparar la velocidad de operación estimada vs la velocidad de operación observada, y así evaluar su consistencia.

Tabla 8. *Diferencia entre la velocidad de operación estimada vs la velocidad de operación observada del tramo PENIPE – BAÑOS:*

No.	Abscisa (km)	Velocidad de diseño (km/h)	Velocidad estimada (km/h)	Velocidad Observada (km/h)	Diferencia Velocidades (km/h)	Intervalo (km/h)	Evaluación consistencia
CV001	6+722.09	60	65	63	2	< 10	BUENA
CV002	9+480.66	60	63	54.6	8.4	< 10	BUENA
CV003	9+732.96	60	62	56.5	5.5	< 10	BUENA
CV004	10+425.55	60	63	57.7	5.3	< 10	BUENA
CV005	11+740.77	60	64	64.8	0.8	< 10	BUENA
CV006	16+576.53	60	63	61.8	1.2	< 10	BUENA
CV007	17+360.18	60	63	59.8	3.2	< 10	BUENA
CV008	17+695.12	60	61	58.7	2.3	< 10	BUENA
CV009	19+011.35	60	59	51.6	7.4	< 10	BUENA
CV010	22+568.89	60	64	61.1	2.9	< 10	BUENA
CV011	26+274.93	60	62	51.7	10.3	10 – 20	ACEPTABLE
CV012	32+335.23	60	55	44.8	10.2	10 – 20	ACEPTABLE
CV013	32+860.46	60	56	48.1	7.9	< 10	BUENA
CV014	42+763.63	60	47	27.5	19.5	10 - 20	ACEPTABLE

En la Tabla 8, se muestra que al realizar este método no se observa ninguna curva en estado pobre, lo cual nos indica que el software IHSDM se aproxima de una mejor manera a

las velocidades de operación reales. En efecto es necesario indicar que la curva CV011 presenta una consistencia aceptable, a diferencia del anterior análisis donde se encontraba en un nivel bueno. Es preciso revisar todos los resultados para saber si es un dato aislado o si el resultado obtenido se mantiene y de ser el caso, se recomienda revisar sus características geométricas y así mejorar su consistencia de diseño. En este punto se observa que la CV013 sube de nivel de aceptable a bueno, con lo cual se afirmarí que la estimación de la velocidad de operación con IHSDM se va ajustando de una manera satisfactoria a la velocidad de operación observada.

En la siguiente tabla se presentan los porcentajes correspondientes a cada estado de consistencia aplicando este método.

Tabla 9. *Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Penipe – Baños*

Diferencia de velocidad (km/h)	Porcentaje curvas	Nivel de consistencia
< 5	43%	Bueno
5 - 10	36%	
10 - 15	14%	Aceptable
15 - 20	7%	
> 20	0%	Pobre
100%		

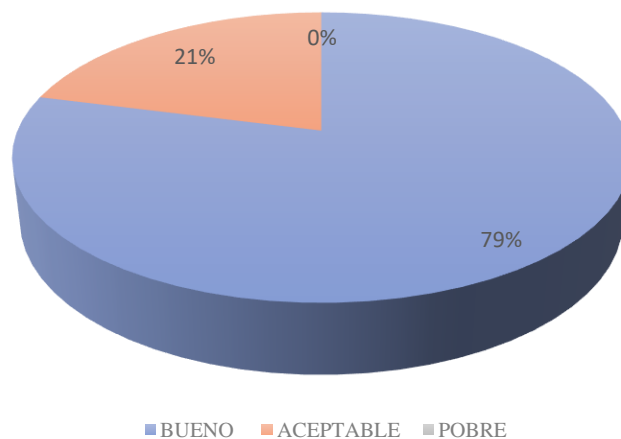


Figura 3. *Porcentaje de las diferencias de velocidades (estimada vs observada) tramo Penipe - Baños*

Como era de esperarse, se observa que las velocidades estimadas por IHSDM mantienen una mejor correlación con las velocidades de operación observadas en campo que al comparar la velocidad de diseño con la de operación.

Tabla 10. *Tabla de comparación de porcentajes entre los métodos de análisis de consistencia utilizados en sentido Penipe – Baños.*

Consistencia/Método	Velocidad Diseño vs Velocidad de Operación Observada	Velocidad de operación estimada IHSDM vs Velocidad de Operación Observada
Bueno (0 – 10)	79%	79%
Aceptable (10 – 20)	14%	21%
Pobre (más de 20)	7%	0%

En los dos casos se mantiene un porcentaje del 79% de curvas con nivel bueno de consistencia, dejando en claro que el carril de circulación en sentido Penipe – Baños, no representa un riesgo de siniestrabilidad. Únicamente en la primera comparación se expresa un 7% de las curvas analizadas en estado pobre de consistencia. En este sentido la Figura 4 nos ayuda a visualizar de una mejor manera los resultados comparando los perfiles de velocidad de diseño, de operación observada y de operación estimada.

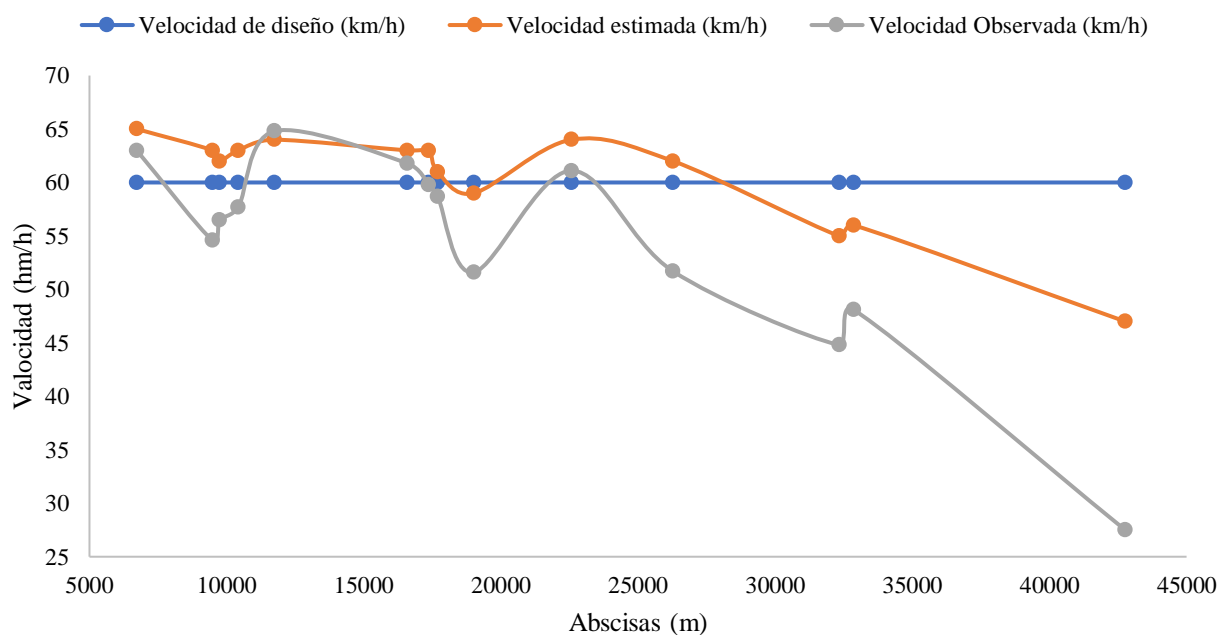


Figura 4. Velocidad de diseño, velocidad de operación estimada vs velocidad de operación observada

En términos generales se visualiza que la mayoría de las curvas cerradas del carril de circulación en sentido Penipe - Baños se encuentra dentro de los parámetros de consistencia, a diferencia del final del tramo en las cuales es significativa la falta de consistencia.

Además, la velocidad de operación estimada (IHSDM), se ajusta mucho mejor con la velocidad de circulación real, teniendo una buena base con lo cual en etapas de diseño de carreteras será una herramienta muy útil para ayudar a la seguridad vial.

Cabe recalcar que la velocidad de operación observada puede estar por debajo de la estimada y la velocidad de diseño en ciertos tramos por el estado de la vía ya que los usuarios reportan constantemente derrumbes de los taludes, con lo cual el estado de la vía se ve afectado (Ver Anexo 3).

A continuación, se presenta la figura 6, en la cual se realiza una gráfica de línea de tendencia relacionando la velocidad de operación estimada con la observada.

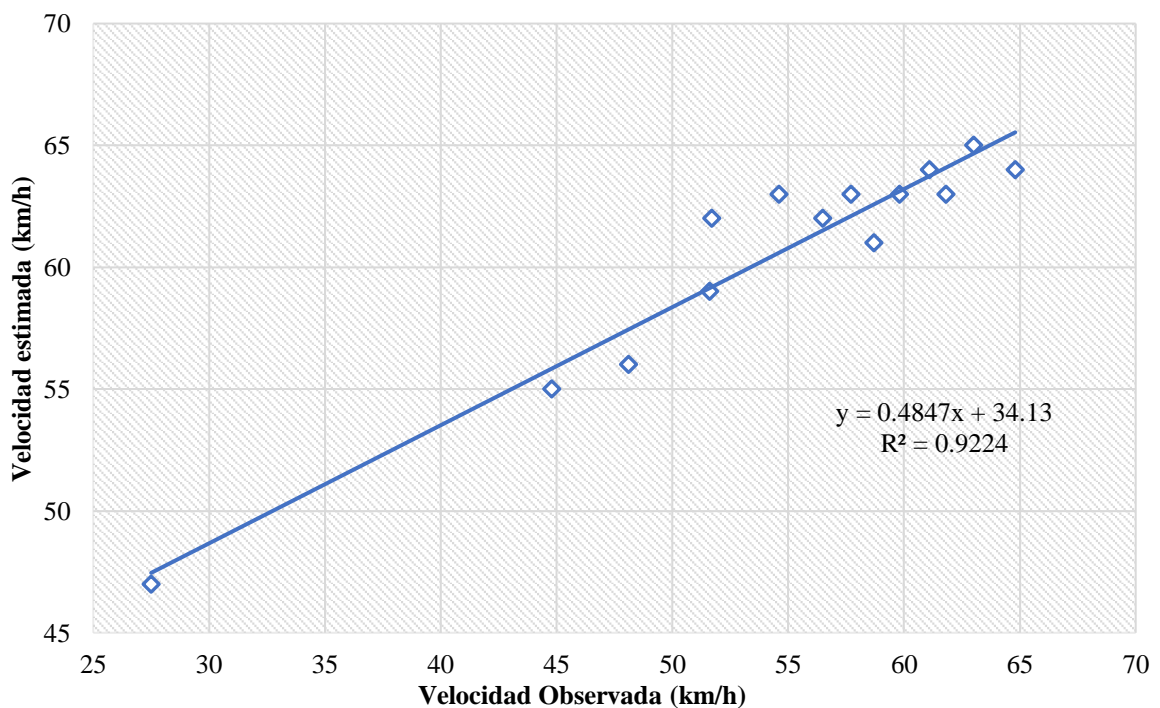


Figura 5. Línea de tendencia de la velocidad estimada vs velocidad observada

Como se observa los valores obtenidos se agrupan cerca de la línea de tendencia con lo cual se mantiene la afirmación que el método de predicción de la velocidad de operación del software IHSDM se ajusta de manera satisfactoria a la velocidad real de operación. Cabe recalcar que se identifica que no existe evidencia de disparidad, manteniendo un valor de correlación igual a 0,9224.

Una vez realizado el análisis en sentido Penipe – Baños, se procede al estudio en sentido contrario, en este caso por el carril de circulación Baños – Penipe.

En la Tabla 11, se presentan cada curva cerrada identificadas con su código, su respectiva abscisa, velocidad diseño, velocidad de operación observada, la diferencia encontrada en valor absoluto entre las dos indicando a que intervalo pertenece y finalmente se identificó el nivel de consistencia.

Tabla 11. *Diferencia entre la velocidad de diseño vs la velocidad de operación observada del tramo BAÑOS - PENIPE*

No.	Abscisa (km)	Velocidad de diseño (km/h)	Velocidad Observada (km/h)	Diferencia Velocidades (km/h)	Intervalo (km/h)	Evaluación consistencia
CV014	6+639.11	60	23.70	36.3	> 20	POBRE
CV013	16+542.28	60	47.60	12.4	10 – 20	ACEPTABLE
CV012	17+067.51	60	48.50	11.5	10 – 20	ACEPTABLE
CV011	23+127.81	60	59.30	0.7	< 10	BUENA
CV010	26+833.85	60	57.40	2.6	< 10	BUENA
CV009	30+391.40	60	54.50	5.5	< 10	BUENA
CV008	31+707.62	60	58.80	1.2	< 10	BUENA
CV007	32+042.56	60	59.70	0.3	< 10	BUENA
CV006	32+826.21	60	64.70	4.7	< 10	BUENA
CV005	37+661.97	60	60.70	0.7	< 10	BUENA
CV004	38+977.20	60	61.70	1.7	< 10	BUENA
CV003	39+669.79	60	60.60	0.6	< 10	BUENA
CV002	39+922.09	60	56.20	3.8	< 10	BUENA
CV001	42+680.65	60	58.10	1.9	< 10	BUENA

La tabla 11, nos permite identificar que curvas se encuentran con una buena, aceptable y pobre consistencia de diseño y se observa que la curva CV014, es la única que permanece con una consistencia pobre. El resultado ya es reiterado si revisamos los análisis anteriores lo cual nos induce a que se debe realizar un análisis de la configuración geométrica de dicha curva. Sin embargo, la mayoría del resto del tramo mantiene una buena consistencia, siendo tan solo dos curvas en estado aceptable. La tabla 12 nos sintetiza los resultados obtenidos.

Tabla 12. *Porcentajes de la evaluación consistencia del tramo Baños – Penipe, Velocidad de diseño vs Velocidad de operación*

Diferencia de velocidad (km/h)	Porcentaje curvas	Nivel de consistencia
< 5	71%	Bueno
5 - 10	7%	
10 - 15	14%	Aceptable
15 - 20	0%	
> 20	8%	Pobre
100%		

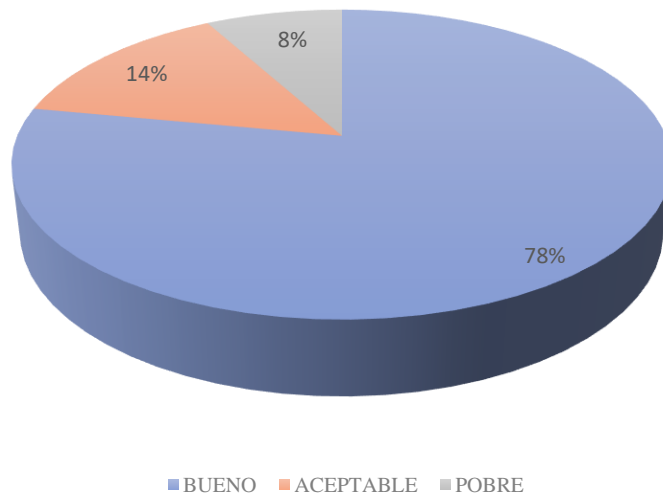


Figura 6. *Porcentajes de curvas correspondientes a cada nivel de consistencia, sentido Baños - Penipe*

Los resultados son más favorables que en sentido Penipe Baños, si bien es cierto se mantienen los mismos porcentajes, el 78% tienen en buena consistencia, en su mayoría (71%)

manteniendo una diferencia menor a 5 km/h. En lo demás los porcentajes no varían con respecto a lo obtenido en sentido contrario.

En este punto es necesario indicar que las curvas CV012, CV013 se mantienen con nivel de consistencia aceptable tanto en ida como de vuelta, lo que significa que toda la calzada en estos puntos necesita un estudio más profundo para establecer que modificaciones se deben realizar para poder ajustarnos más a la velocidad de diseño, ahora bien la curva CV014 prácticamente necesita una reestructuración en su diseño puesto que se obtienen valores representativos los cuales nos alertan de una alta probabilidad de siniestrabilidad.

Tabla 13. *Velocidades de operación estimadas en IHSDM del tramo BAÑOS - PENIPE*

No.	Abscisa en el punto medio de la curva	Velocidad estimada
Curva	km	Km/h
CV014	6+639.11	47
CV013	16+542.28	56
CV012	17+067.51	55
CV011	23+127.81	62
CV010	26+833.85	64
CV009	30+391.40	59
CV008	31+707.62	61
CV007	32+042.56	63
CV006	32+826.21	63
CV005	37+661.97	64
CV004	38+977.20	63
CV003	39+669.79	62
CV002	39+922.09	63
CV001	42+680.65	65

Las velocidades obtenidas en el software nos servirán para compararlas con la velocidad de operación observadas y así revisar en qué nivel de consistencia se encuentran.

Tabla 14. Diferencia entre la velocidad estimada vs la velocidad observada del tramo Baños – Penipe.

No.	Abscisa (km)	Velocidad de diseño (km/h)	Velocidad estimada (km/h)	Velocidad Observada (km/h)	Diferencia Velocidades (km/h)	Intervalo (km/h)	Evaluación consistencia
CV014	6+639.11	60	47	23.70	23.3	> 20	POBRE
CV013	16+542.28	60	56	47.60	8.4	< 10	BUENA
CV012	17+067.51	60	55	48.50	6.5	< 10	BUENA
CV011	23+127.81	60	62	59.30	2.7	< 10	BUENA
CV010	26+833.85	60	64	57.40	6.6	< 10	BUENA
CV009	30+391.40	60	59	54.50	4.5	< 10	BUENA
CV008	31+707.62	60	61	58.80	2.2	< 10	BUENA
CV007	32+042.56	60	63	59.70	3.3	< 10	BUENA
CV006	32+826.21	60	63	64.70	1.7	< 10	BUENA
CV005	37+661.97	60	64	60.70	3.3	< 10	BUENA
CV004	38+977.20	60	63	61.70	1.3	< 10	BUENA
CV003	39+669.79	60	62	60.60	1.4	< 10	BUENA
CV002	39+922.09	60	63	56.20	6.8	< 10	BUENA
CV001	42+680.65	60	65	58.10	6.9	< 10	BUENA

En la Tabla 14, se muestra que el nivel de consistencia se mantiene casi en su totalidad en nivel bueno. La particularidad que se logra observar es que la curva CV014 sigue teniendo problemas al momento de medir su constancia, puesto que mantienen un valor mayor a 20. Sigue siendo un punto de preocupación ya que nos indica un punto de alto riesgo de siniestrabilidad.

Para una mejor comprensión y distribución de las curvas cerradas se presenta la siguiente tabla en la cual se detalla los porcentajes a los cuales pertenecen.

Tabla 15. Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Baños – Penipe.

Diferencia de velocidad (km/h)	Porcentaje curvas	Nivel de consistencia
< 5	57%	Bueno
5 - 10	36%	
10 - 15	0%	Aceptable
15 - 20	0%	
> 20	7%	Pobre
100%		

Dentro del nivel de consistencia de nivel bueno, encontramos que el 57% de las curvas mantienen una diferencia de 5 km/h, el 36% de las curvas entre 5 a 10 km/h. No se registra datos en el nivel aceptable, pero en el caso del nivel pobre se mantiene presente la CV014.

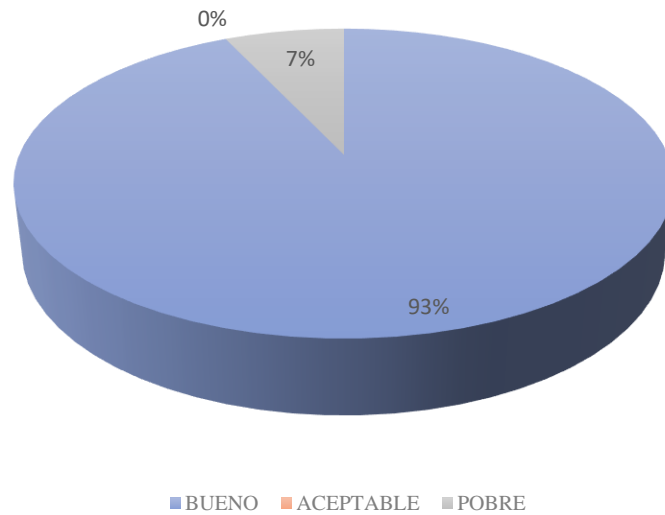


Figura 7. Porcentajes de curvas cerradas correspondientes a su nivel de consistencia (IHSDM)

El 93% de los datos nos demuestran que el carril de circulación en sentido Baños Penipe, se encuentra con un nivel de consistencia Bueno, dejando atrás el riesgo de siniestrabilidad en términos generales.

Particularmente la curva CV014 se mantiene con un nivel pobre de consistencia de diseño. Para una vista general de lo que sucede a lo largo del tramo de análisis se presenta la Figura 9, donde se observan los tres perfiles de velocidades.

Tabla 16. Tabla de comparación de porcentajes entre los métodos de análisis de consistencia utilizados en sentido Baños - Penipe

Consistencia/Método	Velocidad Diseño vs Velocidad de Operación Observada	Velocidad de operación estimada IHSDM vs Velocidad de Operación Observada
Bueno (0 – 10)	78%	93%
Aceptable (10 – 20)	14%	0%
Pobre (más de 20)	8%	7%

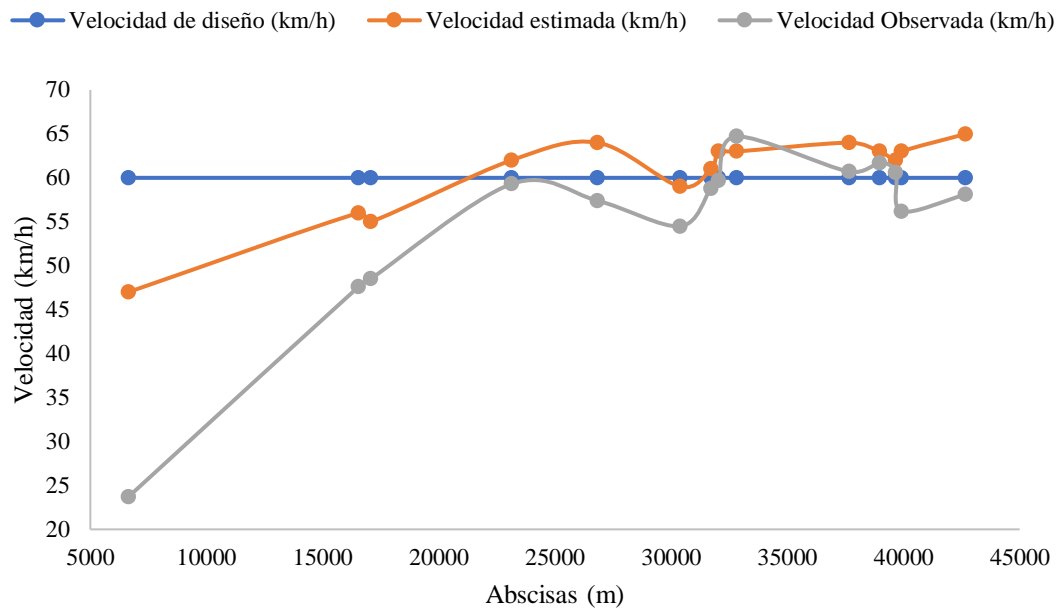


Figura 8. Velocidad de diseño, velocidad estimada vs velocidad observada

En la Figura 8, se observa que a medida que se avanza por la vía, la velocidad de operación estimada y observada mantiene una relación en la forma de sus curvas tanto en los picos altos como en los bajos en la mayoría del tramo analizado, el mismo efecto sucedió en el trayecto de ida, lo que nos indica que la vía Penipe Baños tanto en ida como en vuelta mantienen un nivel de consistencia bueno, lo cual se comprueba con los resultados obtenidos a lo largo de la investigación. Pero es necesario el análisis de la curva CV012, CV013 y CV014 con el fin de brindar seguridad a los usuarios de la vía y disminuir el riesgo de siniestrabilidad.

Para finalizar se presenta la Figura 10, la cual está representada por una línea de tendencia en la cual se compara la velocidad de operación observada vs la estimada para verificar su correlación y su importancia al momento de predecir las velocidades reales de circulación.

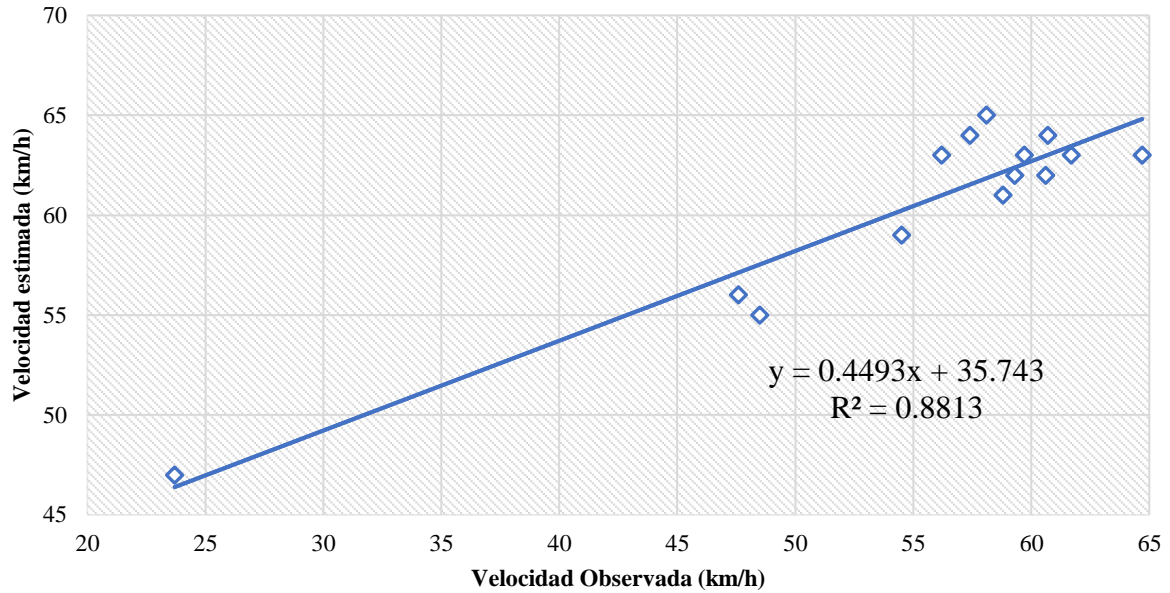


Figura 9. Línea de tendencia de la velocidad estimada vs velocidad observada

Se evidencia, que la mayoría de las velocidades se agrupan en el extremo derecho lo cual nos indica que se mantienen relativamente constantes a lo largo del trayecto de la ruta Baños Penipe, como puntos lejanos solo se obtiene al inicio con la curva CV014. Con este análisis se obtiene una correlación igual a 0.8813, dándonos a entender que la velocidad estimada es una herramienta útil para la predicción de la velocidad de operación real, tanto en sentido de ida como vuelta.

Una vez realizado el análisis, es necesario indicar que en general la vía posee un nivel de consistencia bueno, manteniendo porcentajes que superan el 75%, lo cual lo excluye de ser una vía con riesgo de siniestrabilidad alto, esto se debe a que el estado de la vía se encuentra en buenas condiciones y existe la debida señalización tanto vertical como horizontal. Si bien es cierto esta carretera ha venido sufriendo desde su concepción el riesgo de derrumbes lo cual, afectado ciertos tramos del estado de la estructura del pavimento, pero no llegan a ser representativos al momento de realizar este análisis.

En este sentido las velocidades de operación reales u observadas tienden ajustarse bastante bien con las de diseño, pero cabe recalcar que es mucho mejor su ajuste en sentido Baños Penipe que Penipe Baños, esto puede deberse a que al momento de circular las pendientes son favorables para el usuario ya que en su mayoría el trayecto es cuesta abajo facilitando su conducción. Es evidente que existen curvas en las cuales mediante varios análisis han demostrado tener un déficit en su consistencia de diseño, donde figuran las denominadas CV012 y CV013 como curvas en nivel aceptable, donde lo más recomendable por varios autores es revisar el peralte de la curva y proceder a su rectificación, además de fijarse en las longitudes de parada y rebasamiento antes y después de las mismas.

En este caso estas curvas se ubican en una zona donde la pendiente de la carretera es sumamente pronunciada generando un riesgo al tránsito previo y posterior al a travesar las curvas, puesto que son longitudes extensas donde se mantiene la pendiente, y en sentido contrario representan un esfuerzo al desempeño del vehículo.

Por otro lado, tenemos una curva en particular la denominada, CV014, la cual en casi la totalidad de análisis ha permanecido con un nivel de consistencia pobre, representando un riesgo de siniestrabilidad muy notorio, ya sea por la pendiente y características geométricas la velocidad en esta curva se disminuye a cierto punto de mantener diferencias con la velocidad de diseño de más de 20 km/h siendo el mismo resultado también al compararla con la velocidad estimada por el software IHSDM.

Varios autores recomiendan realizar un rediseño completo de la curva con el fin de garantizar la seguridad del usuario, siendo un punto crítico donde se puede generar accidentes de tránsito. Cabe recalcar que las autoridades pertinentes ya han detectado este punto como conflictivo y por ello se han realizado trabajos de modificación de la sección, del peralte, además se llevó a cabo la construcción de romper velocidades antes y después de la curva

cerrada. Todo esto llega a ser factores que alteran la velocidad de operación de los usuarios y por ello sea la razón por la cual se dispersa significativamente de los demás resultados.

Finalmente, el haber llevado a cabo el análisis con la velocidad de operación observada y la velocidad de operación estimada por el software IHSDM, nos ayudó a entender la importancia del análisis de la consistencia tanto en una vía en etapa de diseño como en una vía ya construida puesto que nos brinda la facilidad de identificar los puntos en los cuales es necesario un rediseño o en el mejor de los casos una revisión de los peraltes. Pero es así como un análisis de consistencia aporta a la seguridad vial, en etapa de diseño y también en una vía existente, pues su estimación de la velocidad de operación real se ajusta bastante bien con la observada en este caso de estudio, de lo cual se encuentra evidencia en previas investigaciones.

6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- En el presente trabajo de investigación la importancia del modelo de consistencia ha quedado demostrada por la razón que nos ayudó a identificar los puntos en los cuales se requiere un análisis del diseño y características geométricas con el fin de garantizar a la seguridad vial, en este caso en la vía Penipe Baños tanto en sentido de ida como de vuelta. Pero cabe recalcar que aun si la vía no estuviera construida sino en etapa de diseño, sigue siendo una herramienta muy importante habiendo demostrado que el método de estimación de velocidades de operación realizadas por el programa IHSDM se ajustan bastante bien a las velocidades de operación reales ayudando a realizar diseños más eficientes con lo cual se puede mitigar hasta cierto punto las seguridad y comodidad de los conductores. Con ello se concluye que si existe una relación directa entre la velocidad de operación estimada con respecto a las características geométricas de la carretera.
- La velocidad de operación es posible obtenerla mediante la circulación en un vehículo particular por medio de la recopilación de las velocidades que marca el velocímetro en el centro de las curvas en análisis en flujo libre, además para mitigar el sesgo se deberá utilizar herramientas tecnológicas como Google Maps, Waze y GPS.
- Las características de los elementos geométricos en planta y en elevación de un tramo vial en análisis fue obtenido por medio de herramientas tecnológicas que trabajan en conjunto las cuales son Civil 3D, Google Earth, Global Mapper y en torno a la estimación de la velocidad de operación el software fundamental es IHSDM.

- La velocidad de diseño fue analizada en torno a la normativas vigentes de diseño geométrico de carreteras correspondientes a los países Ecuador , Perú y Colombia donde al haber hallado en los documentos contractuales las condiciones en las cuales fue diseñada la vía Penipe Baños, se las concateno con las demás normativas las cuales mostraron resultados similares, ya que las consideraciones eran semejantes y así obteniendo los mismos rangos para escoger la velocidad de diseño, la cual para el análisis fue de 60 km/h.
- Una vez conocidos los puntos donde se tiene una consistencia de diseño en niveles aceptables y pobre, en el mejor de los casos bastara con evaluar sus características geométricas como el peralte o en ciertos casos críticos se debe proceder a rediseñar y reconstruir con el fin de evitar zonas de alto riesgo de siniestrabilidad.

6.1 Limitaciones

- Por razón de limitaciones presupuestarias y restricciones de movilidad emitidas por la emergencia sanitaria, todos los datos obtenidos con respecto a la geometría han sido extraídos por medio de softwares y herramientas digitales, mas no con un levantamiento con equipo topográfico.
- Por otra parte, el clima y el tráfico muchas de las veces no nos permitían realizar una circulación en flujo libre por lo cual la recolección de datos se prolongó más de lo esperado.

6.2 Futuras líneas de investigación

A continuación, se proponen ideas para futuras líneas de investigación, donde se trata de mejorar, ampliar o dar seguimiento al presente estudio.

- Investigar las razones específicas por las cuales la curva cerrada CV014, permanece en todos los análisis con un nivel de consistencia pobre y sus respectivas correcciones técnicas.
- Investigar las razones específicas por las cuales las curvas CV012 y CV013 mantienen un nivel de constancia aceptable en la mayoría de los análisis y sus respectivas correcciones técnicas.
- Analizar los posibles rediseños y correcciones que se deberían aplicar a las curvas identificadas como puntos de riesgo de siniestralidad.
- Reproducir el presente estudio en otras vías las cuales se tenga registro de un alto riesgo de siniestralidad.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el análisis de consistencia de diseño geométrico en la etapa de diseño puesto que se podrá realizar diseños más eficientes y que minimicen el riesgo de siniestralidad a los usuarios. Esto deberá partir desde un mandado gubernamental hasta la ética profesional de los diseñadores, pues está en sus manos también garantizar por todos los medios posibles la seguridad de los conductores.
- La última actualización de la normativa para el diseño geométrico de carreteras en el Ecuador se hizo en el 2013 por lo que es de suma importancia actualizarla para estar a la vanguardia de los métodos utilizados a nivel mundial tanto para el diseño geométrico de carreteras como para el análisis de constancia de diseño geométrico.

8. REFERENCIAS

- Aeado, C. (2013). *COMPARACIÓN DE VOLUMENES CON DATOS DE DIFERENTES FUENTES*. Los Ángeles: Universidad de Concepción.
- Aghón, G. (2001). *Desarrollo económico local y descentralización en América Latina: Análisis comparativo*. Santiago de Chile: CEPAL/GTZ.
- Arévalo, J. (2020). *ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DEL MODELO DE CONSISTENCIA DE VELOCIDAD EN CURVAS CERRADAS DE UNA CARRETERA RURAL*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Awata, M., & Hassan, Y. (2002). *Towards establishing an overall safety-based geometric design consistency measure*. Montreal: 4th Transportation Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering.
- Cafiso, S., & La Cava, G. (2009). Driving performance, alignment consistency and road safety. real-world experiment. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2102(1), 1-8.
- Cvitanić, D., & Maljković, B. (2019). Determination of Applicable Adjacent Horizontal Curve Radii Using Operating Speed. *Promet-Traffic&Transportation*, 31(4), 443-452.
- Delgado, D., Medina, L., Ulate, J., & García, R. (2021). Modelos de velocidad de operación de carreteras rurales en terreno llano en Costa Rica. *Enfoque UTE*, 12(2), 52-68. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.732>
- Echaveguren, T. (2012). Análisis de consistencia de caminos bidireccionales usando mediciones continuas de velocidad de operación obtenidas con GPS. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(2), 55-70. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732012000200004>

- Fitzpatrick, K., & Collins, J. M. (2000). Speed-profile model for two-lane rural highways. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 1737(1), 42-49.
- Flórez, C., Reyes, F., Giraldo, L., Bernal, O., & Quintana, L. (2015). INCIDENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y DE TRÁNSITO DE VÍAS EN ALTA MONTAÑA Y DE BAJAS ESPECIFICACIONES GEOMÉTRICAS SOBRE LA ACCIDENTALIDAD “CASO PLAN 2500: DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO”. *Pontificia Universidad Javeriana*, 1-19.
- García Depestre, R. A., Delgado Martínez, D. E., & Díaz García, E. E. (2012). Modelos de perfil de velocidad para evaluación de consistencia del trazado en carreteras de la provincia de Villa Clara, Cuba. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(2), 71-82. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v27n2/art05.pdf>
- García, Y., & Paladines, L. (2018). Calibración de Modelos de Velocidad de Operación en Calles Urbanas no SemafORIZADAS: Estudio de Caso. *Revista Politécnica*, 40(2), 41-46.
- Gómez, M., Escobar, D., & Urazán, C. (2017). Relación técnica entre seguridad vial, accidentalidad y lineamientos de diseño geométrico. Estudio de caso: Vía Manizales – Neira (Colombia). *Revista Espacios*, 38(46), 13.
- Hassan, Y., Sayed, T., & Taberner, V. (2001). Establishing practical approach for design consistency evaluation. *Journal of Transportation Engineering*, 127(4), 295-305.
- INVÍAS. (2008). *Manual de diseño geométrico*. Bogotá D.C: Instituto Nacional de Vías.
- Jiménez, E. (2009). Capítulo 2. Controles para el diseño geométrico. En *Diseño geométrico de vías Ingeniería Civil* (págs. 1-41). Ambalá: Universidad de Ibagué.

- Lamm, R., Choueiri, E., Psarianos, B., & Soilemezoglou, G. (1995). A practical safety approach to highway geometric design. International case studies: Germany, Greece, Lebanon, and the United States. *International Symposium on Highway Geometric Design Practices*, 9, 1-9.
- Llopis, D., & Camacho, F. (2020). *Análisis de la seguridad vial mediante modelos locales de consistencia*. Valencia: Ingeniería e Infraestructura de los Transportes.
- Ng, J., & Sayed, T. (2004). Effect of geometric design consistency on road safety. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31(2), 218.
- Pacheco, L., & Pacheco, A. (2015). *EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL EN LA CARRETERA CAHUAJÍ*. Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.
- Pérez, A. (2012). *Caracterización y modelización de la velocidad de operación en carreteras convencionales a partir de la observación naturalística de la evolución de vehículos ligeros*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Pérez, A., Camacho, F., & García, A. (2011). *La velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistencia de carreteras para la mejora de la seguridad vial*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Pérez, I. (2008). *Diseño geométrico y accidentes de circulación en carreteras rurales de dos carriles. Estado del arte*. Cartagena: Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte (15°. 2008. Cartagena de Indias).
- Pérez-Rojas, Y. A. (2013). Uso del módulo de predicción de accidentes (CPM) del IHSDM para evaluación de seguridad en segmentos de carreteras de dos carriles. *Respuestas*,

18(2), 87-95. Obtenido de

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/362/379>

Pico, R., & Solarte, N. (2017). *Definición del modelo de consistencia de velocidad para una carretera rural en el Departamento de Santander a partir de un tramo experimental*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Posada-Henao, J., Cadavid-Agudelo, S., & Castro-Gómez, L. (2014). Consistencia en el diseño: predicción de la velocidad de operación en carreteras. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 39-47. doi:<http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.803>

Reyes, F., & Fernández, A. (1983). *Incidencia de las características geométricas de diseño de las vías rurales en la accidentalidad*. Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería. Bogotá: Colombia.

Ruesta, G. (2016). *CONSIDERACIONES DEL FACTOR HUMANO EN EL SISTEMA VIAL PARA LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO Y SU SEVERIDAD*. Piura: Universidad de Piura.

Sánchez, J. (2011). *Metodología para la evaluación de la consistencia del trazado de carreteras interurbanas de dos carriles*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Treat, J., Tumbas, N., McDonald, S., Shinar, D., Hume, R., Mayer, R. S., & Castellan, N. (1979). *Tri-level study of the causes of traffic accidents: Final report – Executive summary*. Bloomington: Instituto de Investigación en Seguridad Pública.

WPS. (2020). Obtenido de Diseño de carreteras y autopistas: <https://www.wsp.com/es-ES/servicios/highway-and-road-design>

9. ANEXOS

Anexo 1. Toma de datos y mediciones en punto de inicio y fin del tramo analizado.



Anexo 2. Identificación de puntos con alto riesgo de siniestrabilidad en conjunto con la población local.



Anexo 3. Presencia de derrumbes y afectaciones a estructuras de contención en la vía a analizada.



Anexo 4. Obtención de datos de velocidad de operación observada



Anexo 5. Cuadro para determinar la velocidad de diseño a) Norma peruana b) Norma colombiana

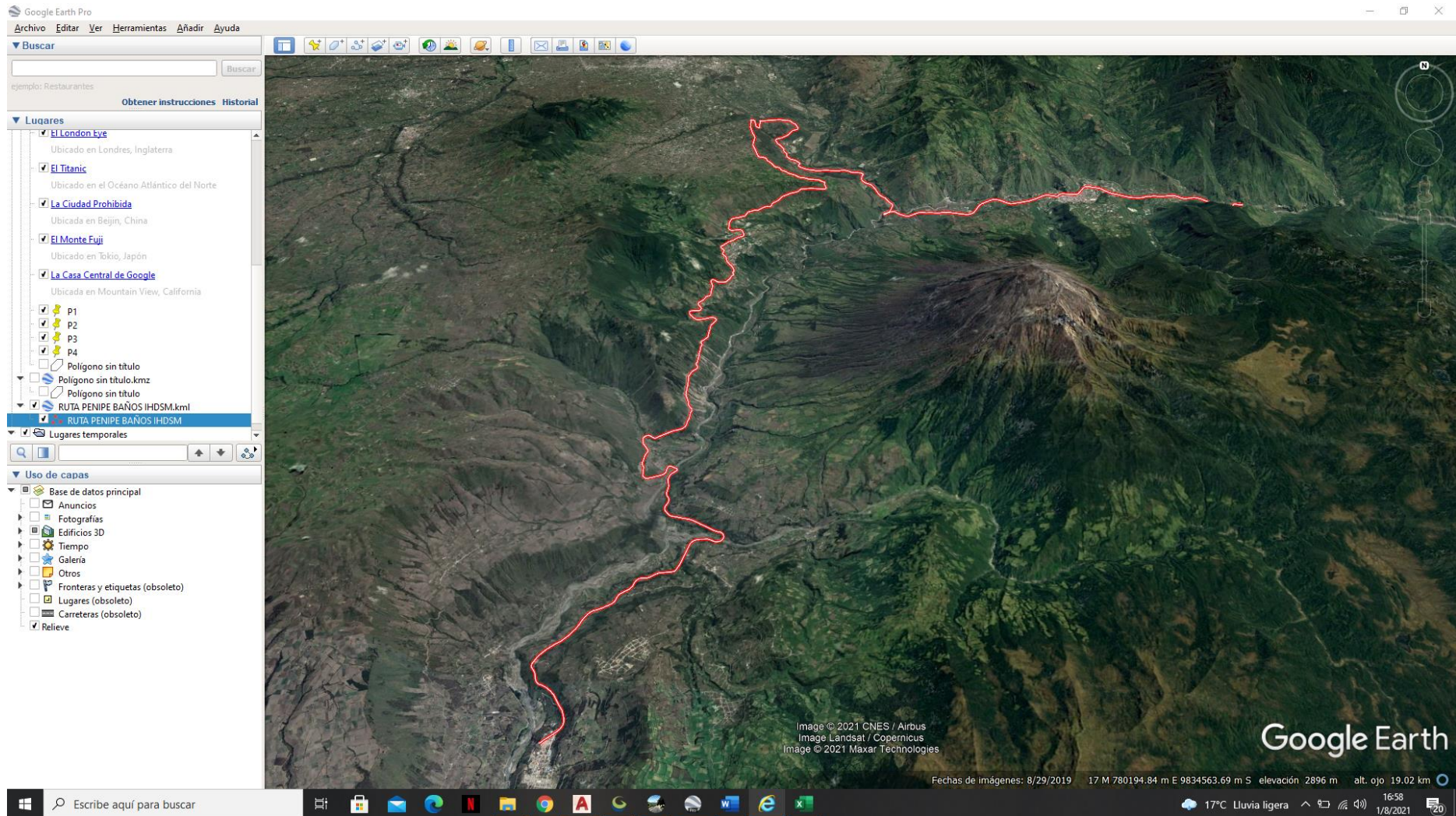
CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V _{TR} (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Autopista de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Autopista de segunda clase	Plano											
	Ondulado						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

a)

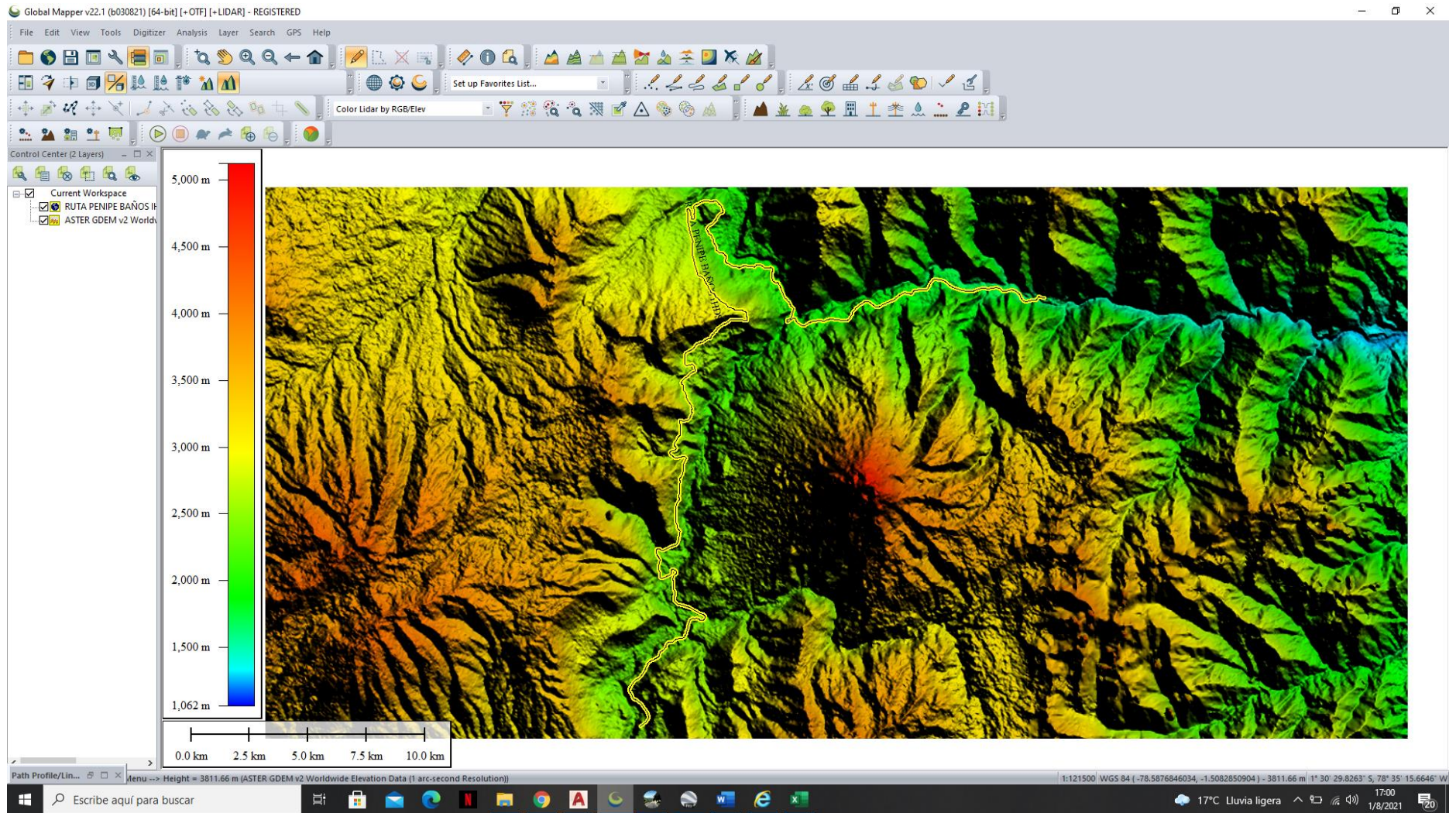
CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V _{TR} (km/h)										
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Primaria de dos calzadas	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Primaria de una calzada	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Secundaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Terciaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											

b)

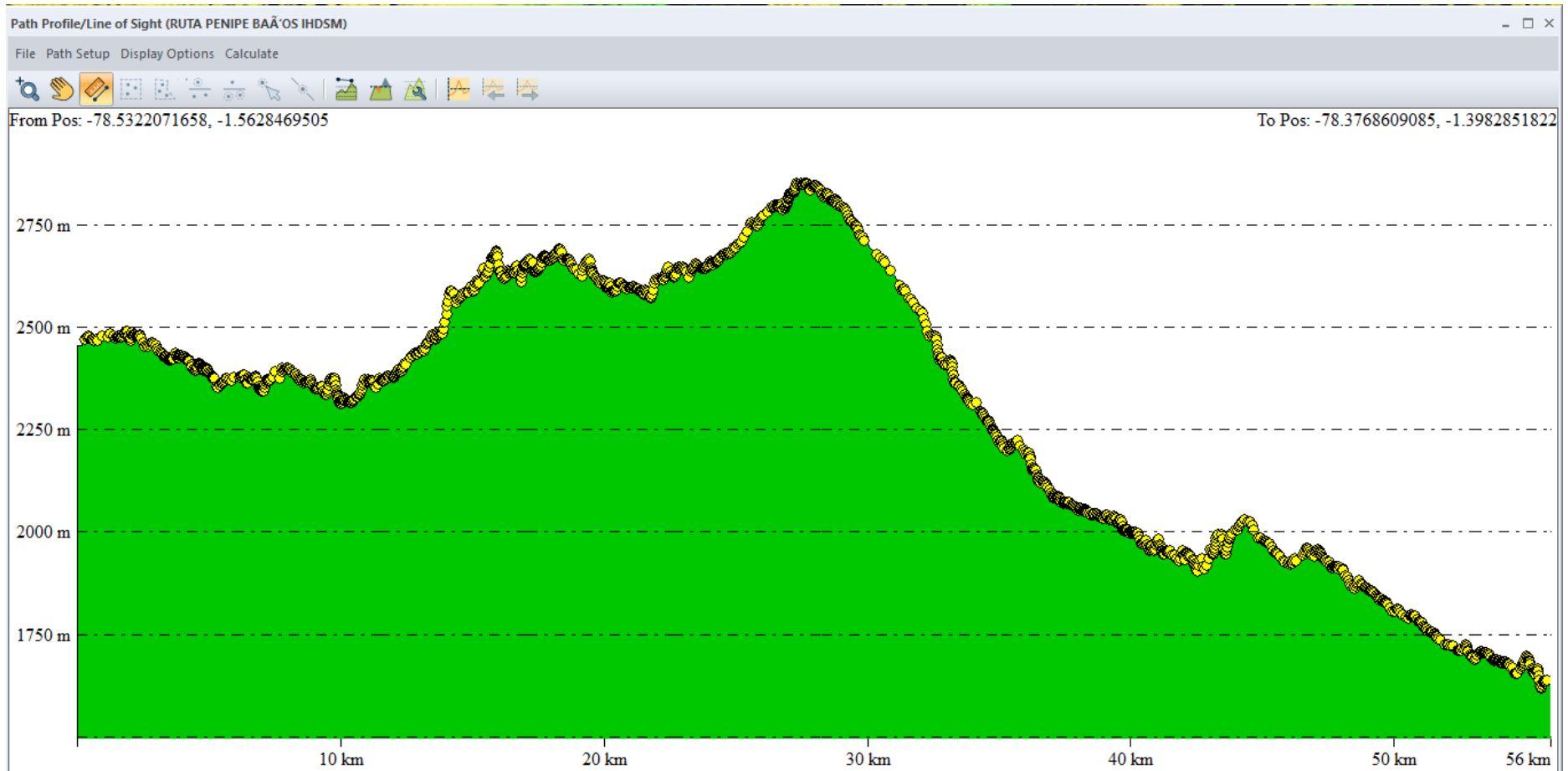
Anexo 6. Trazado de eje vial Penipe Baños en Google Earth



Anexo 7. Importación de archivo .kml a Global Mapper para la extracción de datos de elevación.



Anexo 8. Trazado de perfil vertical en Global Mapper



Anexo 9. Análisis de datos en el software IHDSM en sentido Baños - Penipe

IHSDM-HSM Predictive Method (IHSDM 2020 Release, v16.0.0)

File Edit User Project Highway Intersection Ramp Terminal Roundabout Interchange Evaluation Economic Analyses EA Project Economic Analysis Help

Jairo Guaranga
 Economic Analyses
 Bookmarks
 PENIPE - BAÑOS
 BAÑOS - PENIPE (v2)
 [v2] Evaluation 2 (Design Consistency)

Viewer: BAÑOS - PENIPE (v2)
 File View Help
 Plan Profile Cross Section

0°

*Stylized view of data for reference

Highway Operations
 New Evaluation...
 Edit Highway...
 Copy Network...
 Show Highway XML
 Export Network...
 View Highway
 View Graph
 Properties...
 Attach File...
 Show Node Directory
 Sgrt

Edit: BAÑOS - PENIPE (v2)
 File Edit Help

Select a module view:
 Design Consistency Data

- Design Consistency Data
- Horizontal Alignment
- Vertical Alignment
- Design Speed
- Posted Speed
- Desired Speed
- Roadside Hazard Rating

Horizontal Alignment

This table contains data that define the [horizontal alignment](#) of the highway centerline. Horizontal alignment element types are Tangent, Curve (simple curve), Spiral (between a Tangent and a Curve, or part of a Spiral-Spiral pair), and Deflection (horizontal deflection angle without horizontal curve).

Type	Start Loc. (Sta. m)	End Loc. (Sta. m)	Curve Radius (m)	Direction of Curve	Radius Position	Deflec Angle	Add...
Tangent	0.000	71.407					Edit...
Curve	71.407	3+56.819	211.05	Right			Delete...
Tangent	3+56.819	5+02.432					Validate...
Curve	5+02.432	6+03.296	227.75	Left			Help...
Tangent	6+03.296	7+96.317					
Curve	7+96.317	10+47.387	308.58	Left			
Tangent	10+47.387	12+46.127					
Curve	12+46.127	13+90.213	212.51	Right			
Tangent	13+90.213	15+64.187					
Curve	15+64.187	17+21.995	205.28	Left			
Tangent	17+21.995	19+68.218					
Curve	19+68.218	21+60.972	546.82	Right			
Tangent	21+60.972	22+20.957					
Curve	22+20.957	23+54.862	325.66	Left			
Tangent	23+54.862	26+20.534					
Curve	26+20.534	27+91.805	482.97	Right			
Tangent	27+91.805	29+63.893					
Curve	29+63.893	31+78.023	842.91	Right			
Tangent	31+78.023	35+54.994					
Curve	35+54.994	37+29.448	397.76	Right			
Tangent	37+29.448	39+54.976					

Adjusting 480 speeds for acceleration/deceleration
 Testing 830 adjusted speeds for grade limiting.
 A total of 1 speeds added or modified due to grade limiting.
 Performing design speed assumption evaluation
 Performing speed differential of adjacent design element evaluation
 Generating evaluation graph
 Evaluation completed: [v2] Evaluation 2 (Design Consistency)
 Starting editor for BAÑOS - PENIPE (v2) ...
 Starting highway viewer for BAÑOS - PENIPE (v2)
 Starting editor for BAÑOS - PENIPE (v2) ...

Windows taskbar: Escribe aquí para buscar | 17°C Lluvia ligera | 17:03 1/8/2021

Anexo 10. Análisis de datos en el software IHSDM en sentido Penipe - Baños

IHSDM-HSM Predictive Method (IHSDM 2020 Release, v16.0.0)

File Edit User Project Highway Intersection Ramp Terminal Roundabout Interchange Evaluation Economic Analyses EA Project Economic Analysis Help

Jairo Guaranga
Economic Analyses
Bookmarks
PENIPE - BAÑOS
BAÑOS - PENIPE (v4)
[v2] Evaluation 2 (Design Consistency)
[v4] Evaluation 4 (Design Consistency)

Viewer: BAÑOS - PENIPE (v4)
File View Help
Plan Profile Cross Section

0°

*Stylized view of data for reference

Highway Operations
New Evaluation...
Edit Highway...
Copy Network...
Show Highway XML
Export Network...
View Highway
View Graph
Properties...
Attach File...
Show Node Directory
Sgrr

Edit: BAÑOS - PENIPE (v4)
File Edit Help

Select a module view:
Design Consistency Data

- Design Consistency Data
 - Horizontal Alignment
 - Vertical Alignment
 - Section 1
 - Design Speed
 - Posted Speed
 - Desired Speed
 - Roadside Hazard Rating

Horizontal Alignment

This table contains data that define the [horizontal alignment](#) of the highway centerline. Horizontal alignment element types are Tangent, Curve (simple curve), Spiral (between a Tangent and a Curve, or part of a Spiral-Spiral pair), and Deflection (horizontal deflection angle without horizontal curve).

Type	Start Loc. (Sta. m)	End Loc. (Sta. m)	Curve Radius (m)	Direction of Curve	Radius Position	Defle Angl	Add...	Edit...	Delete...	Validate...	Help...
Curve	0.000	2+51.996	209.38	Right							
Tangent	2+51.996	4+19.197									
Curve	4+19.197	5+15.691	668.71	Right							
Tangent	5+15.691	7+18.130									
Curve	7+18.130	7+54.750	106.73	Left							
Tangent	7+54.750	7+78.975									
Curve	7+78.975	8+38.375	122.73	Right							
Tangent	8+38.375	9+51.009									
Curve	9+51.009	10+70.131	507.58	Right							
Tangent	10+70.131	11+64.219									
Curve	11+64.219	13+19.745	184.28	Left							
Tangent	13+19.745	14+30.472									
Curve	14+30.472	15+15.681	201.53	Right							
Tangent	15+15.681	15+80.117									
Curve	15+80.117	17+18.942	114.61	Left							
Tangent	17+18.942	18+93.293									
Curve	18+93.293	19+94.484	218.24	Left							
Tangent	19+94.484	21+51.167									
Curve	21+51.167	22+89.189	622.34	Left							
Tangent	22+89.189	23+29.414									
Curve	23+29.414	24+44.849	484.86	Right							

Performing design speed assumption evaluation
Performing speed differential of adjacent design element evaluation
Generating evaluation graph
Evaluation completed: [v4] Evaluation 4 (Design Consistency)
Starting PDF document generation...
Generated document: evaluation.1.report.pdf
Program error: No program is set for the PDF viewer type. Modify the User Preferences.
Starting editor for BAÑOS - PENIPE (v4) ...
Starting highway viewer for BAÑOS - PENIPE (v4)

Anexo 11. Mediciones de las características geométricas tomadas en campo.



Anexo 12. Vehículo particular utilizado para la medición de la velocidad de operación

