

Ajuste de las ecuaciones para predecir velocidades de operación en las carreteras de dos carriles de Colombia

Luis Armando Merino Chamorro

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Civil

Popayán

2022

Ajuste de las ecuaciones para predecir velocidades de operación en las carreteras de dos carriles de Colombia

Luis Armando Merino Chamorro

Informe final de investigación para optar al título de Magister en Ingeniería de Vías Terrestres
Modalidad investigación.

Tutor:

José Fernando Sánchez Ordoñez

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Civil

Popayán

2022

Resumen

La predicción de velocidades es una herramienta de gran valor en la ingeniería de vías terrestres, que contribuye a la seguridad de los transeúntes, del conductor, de mercaderías transportadas, así como también beneficia a la conservación del propio vehículo al prevenir el desgaste adicional e innecesario de sus componentes por mala regulación de su velocidad a lo largo del recorrido, lo que a nivel macro genera una diversidad de efectos sobre la población directa e indirectamente involucrada. El presente trabajo de investigación tiene por finalidad revisar y ajustar las ecuaciones de pronóstico de velocidades de operación desarrolladas en Colombia para evaluar la consistencia de diseño geométrico en carreteras de dos carriles. El trabajo inició con la revisión bibliográfica sobre estudios de consistencia del diseño geométrico realizados en Colombia, complementada con la revisión bibliográfica de modelos y métodos de evaluación de la consistencia del diseño geométrico en otros países. Luego se procedió al análisis de la información existente, donde se compararon los modelos adoptados en Colombia y los establecidos internacionalmente. En lo que respecta a la toma de datos de campo, se midieron velocidades mediante la utilización de equipos electrónicos automáticos tipo radar con receptor en vías de jerarquía primaria del departamento de Nariño, donde se caracterizaron los criterios de selección para las combinaciones de alzado en planta y perfil. Luego se procedió a evaluar los modelos de pronóstico estimados, ajustar las ecuaciones planteadas y evaluar la aplicabilidad de los modelos planteados. Una vez culminada la investigación, se lograron calibrar y validar seis ecuaciones para predecir la velocidad de operación en curvas horizontales y seis para predecirla en las entre-tangencias horizontales, en las cuales el radio de curva circular horizontal y la longitud de la entre-tangencia, respectivamente, resultaron estadísticamente significantes. De tal modo, se resalta que los modelos ajustados poseen un nivel de coeficiente de determinación que garantiza que la velocidad de operación que se ha logrado predecir en carreteras de dos carriles se encuentra dentro de los parámetros seguridad y por lo tanto resulta útil para su aplicación y para el desarrollo de futuras investigaciones.

Palabras clave: Ecuaciones, pronóstico, velocidades de operación, modelos, ecuaciones, seguridad, carreteras, dos carriles.

Abstract

Speed prediction is a tool of great value in roadway engineering, which contributes to the safety of pedestrians, the driver, transported goods, as well as benefits the conservation of the vehicle itself by preventing additional and unnecessary wear of its components due to poor regulation of its speed along its route. This is why the purpose of this research work is to review and adjust the operating speed forecasting equations developed in Colombia to evaluate the consistency of geometric design in two-lane highways, specifically, two-lane highways. This methodology, it's a bibliographic research and the search for information on roadway consistency in Colombian highways was complemented with the bibliographic review of models and methods for the evaluation of geometric design consistency in other countries. Then we proceeded to the analysis of the existing information where we also compared the models adopted in Colombia and those established internationally. Regarding the collection of information, we proceeded to the study of geometric elements in the roads of the department of Nariño, where we characterized the selection criteria for the combinations of elevation in plan and profile through the use of automatic electronic equipment of the radar type with receiver. Then we proceeded to evaluate the estimated forecast models, adjust the equations proposed and evaluate the applicability of the models proposed. Once the research was completed, 6 equations were calibrated and validated to predict the operating speed in horizontal curves and 6 to predict it in horizontal inter-tangencies, of which the radius of the horizontal circular curve and the length of the inter-tangency, respectively, were statistically significant. Thus, it is highlighted that the adjusted models have a level of determination coefficient that guarantees that the operating speed that has been predicted for two-lane roads is within the safety parameters and therefore it is useful for its application and for the development of future research.

Key words: Equations, forecasting, operating speeds, models, equations, safety, highways, two lanes.

Contenido

Resumen.....	3
Abstract.....	4
Introducción	9
1. Descripción del Problema	11
1.1 Justificación	14
1.2 Objetivos.....	15
1.2.1 Objetivo General.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos	16
2. Marco Teórico	17
3. Metodología	27
4. Resultados	29
4.1 Perfiles de velocidad tomadas en campo y los modelos de pronóstico.....	29
4.2 Evaluación y ajuste de las ecuaciones de predicción de velocidad de operación en Colombia ...	31
5. Análisis de Resultados.....	48
5.1 Análisis del ajuste de las ecuaciones de predicción de velocidad de operación en Colombia.	52
6. Recomendaciones	56
7. Conclusiones	57
Referencias.....	59
Anexos	65

Lista de Tablas

Tabla 1. Modelos de predicción de velocidad (V_{85}) para Colombia	24
Tabla 2. Comparación coeficientes de correlación para estimar V_{85}	26
Tabla 3. Resumen descriptivo de la Ruta Ipiales-Pasto tomados para la investigación.....	29
Tabla 4. Ejemplos de datos de campo para la vía Piendamó – Silvia en el Departamento de Cauca	30
Tabla 5. Desviación estándar	34
Tabla 6. Valores de constante K	34
Tabla 7. Valores de constante U	35
Tabla 8. Valores de chi-crítico para los modelos propuestos.....	37
Tabla 9. Validación de las ecuaciones de predicción de velocidad para pendientes entre -9% y -4%	37
Tabla 10. Validación de las ecuaciones de predicción de velocidad para pendientes entre -4% y 0%	39
Tabla 11. Validación de las ecuaciones de predicción de velocidad para pendientes entre 0% y 4%	40
Tabla 12. Validación de las ecuaciones de predicción de velocidad para pendientes entre 4% y 9%	41
Tabla 13. Variables dependientes e independientes para las ecuaciones de pronóstico V_{85}	43
Tabla 14. Comparación entre las ecuaciones propuestas en esta investigación y las usadas en Colombia, para curvas horizontales.....	45
Tabla 15. Comparación entre las ecuaciones propuestas en esta investigación para entretangencias horizontales	46
Tabla 16. Valores de chi-calculado y chi-crítico para los modelos de predicción entre elementos consecutivos.....	47
Tabla 17. Estadísticos de comparación entre los modelos existentes y modelos propuestos para curva horizontal y pendiente entre -9% y -4%	51
Tabla 18. Estadísticos de comparación entre los modelos existentes y modelos propuestos para curva horizontal y pendiente entre -4% y -0%	51
Tabla 19. Estadísticos de comparación entre los modelos existentes y modelos propuestos para curva horizontal y pendiente entre 0% y 4%	52
Tabla 20. Estadísticos de comparación entre los modelos existentes y modelos propuestos para curva horizontal y pendiente entre 4% y 9%	52
Tabla 21. Modelos de predicción de velocidades recomendado en esta investigación.....	54

Lista de Figuras

Figura 1. Áreas principales de la consistencia del diseño geométrico.....	18
Figura 2. Puntos considerados para medir velocidades en curvas horizontales con recta precedente corta.....	32
Figura 3. Puntos considerados para medir velocidades en curvas horizontales con recta precedente larga.....	33
Figura 4. Variación de la velocidad observada y velocidades pronosticadas para el modelo de curva horizontal con pendientes entre -9% y -4%	48
Figura 5. Variación de la velocidad observada y velocidades pronosticadas para el modelo de curva horizontal con pendientes entre -4% y 0%.....	49
Figura 6. Variación de la velocidad observada y velocidades pronosticadas para el modelo de curva horizontal con pendientes entre 0% y 4%	50
Figura 7. Variación de la velocidad observada y velocidades pronosticadas para el modelo de curva horizontal con pendientes entre 4% y 9%	50

Lista de Anexos

Anexo A. Validación IHSDM Tramo Pasto Ipiales km 0 a km 20	66
Anexo B. Validación IHSDM Tramo Pasto Ipiales km 38 a km 53.....	67
Anexo C. Validación IHSDM Tramo Pasto Ipiales km 53 a km 68	68
Anexo D. Validación IHSDM Tramo Pasto Ipiales km 53 a km 68	69
Anexo E. Desarrollo de un método para evaluar la consistencia del diseño geométrico de las carreteras en Colombia basado en el perfil de velocidades de operación	70
Anexo F. Comparación de validación de modelos para estimar velocidad de operación V_{85} para el modelo propuesto en esta investigación y las ecuaciones de Colombia	73
Anexo G. Estimación de percentil 85 y condiciones geométricas para la ruta Ipiales-Pasto entre el K0+00 al Km 20+000.	103
Anexo H. Estimación de percentil 85 para la ruta Ipiales-Pasto entre el K38+000 al Km 53+000.....	104
Anexo I. Estimación de percentil 85 para la ruta Ipiales-Pasto entre el K52+000 al Km 69+000.....	106
Anexo J. Estimación de percentil 85 para la ruta Ipiales-Pasto entre el K68+000 al Km 83+000	108

Introducción

En los países sudamericanos, las vías predominantes para la movilidad son las carreteras de dos carriles, caso que aplica para la infraestructura vial colombiana (INVIAS, 2021). En cuanto al inventario vial se encontró que la malla vial de los países latinoamericanos es muy diversa, Brasil, por ejemplo, dispone de la mayor red vial rural, 1.720.700 km, comparada con los otros países latinoamericanos, así como una proporción equilibrada entre los kilómetros de vías en afirmado y en tierra, esto sucede también en Perú, en donde de los 112.492 km de la malla vial rural, 1.884 km son pavimentados. Por su parte, Colombia, segundo país con mayor cantidad de vías cuenta con 142.284 km de vías rurales de las cuales aproximadamente 100.000 km son en afirmado. Por otro lado, Ecuador, dispone de la menor red vial nacional, con 43.200 km de carreteras, de las cuales 33,260 km son vías rurales y la mitad de estas son de tierra, según Murgas y Almenares, (2021).

En este sentido, la infraestructura vial nacional requiere de recursos de inversión en proyectos de mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento para garantizar las condiciones de movilidad y seguridad vial, no obstante, el desarrollo nacional debe tener en cuenta la puesta en marcha de planes de inversión para la construcción de nuevas vías, cuyos proyectos requieren grandes inversiones que deben desarrollarse teniendo en cuenta los lineamientos regulatorios y normativos de acuerdo a las características jerárquicas de las carreteras y a la topografía del terreno, y cuya aplicabilidad difiere según las características de cada zona para garantizar vías que disminuyan los riesgos asociados a siniestralidad vial.

Según el ranking mundial de calificación de carreteras, Colombia tiene un puntaje de 3.4, teniendo en cuenta que 7 puntos son vías extremadamente buenas (Gutiérrez, 2021). Por esto es necesario efectuar cambios con el fin de disminuir los riesgos asociados a la movilización de

personas en las carreteras (Gallo & Castillo, 2018), ya que una de las causas de los siniestros viales es el diseño geométrico de la carretera (Aquino, 2019).

Para ello, se debe evaluar la velocidad como una de las variables preponderantes que definen las características geométricas de la vía y que, a su vez, está relacionada con la siniestralidad vial, por lo tanto, la presente investigación permite ajustar las ecuaciones para predecir velocidades operacionales en el contexto colombiano, como uno de los factores que permitirán determinar la relación entre el comportamiento humano y las características físicas de la vía, en este sentido, los parámetros a tener en cuenta serán: radio de la curva horizontal, radio de la curva anterior, longitud de curvas horizontales y otros que se citan a lo largo del documento.

Los modelos de predicción de velocidades ajustados en la investigación pueden usarse con precisión para diferentes estudios, entre ellos evaluar la consistencia del diseño geométrico, lo que permite mejorar las condiciones de seguridad vial.

1. Descripción del problema

A nivel mundial, según la Organización Mundial de la Salud (2022), cada 25 segundos muere una persona en siniestros viales. Aproximadamente cerca de 50 millones sufren lesiones y 1.3 millones de personas fallecen como resultado de accidentes de tránsito en las carreteras, lo que se constituye en una de las causas más frecuentes por muertes de hombres entre 20 y 35 años de edad (OMS 2021).

En Colombia, en el año 2021 se registraron 7,270 fallecidos en siniestros de tránsito, de los cuales el mayor porcentaje son motociclistas y peatones, con un 48.28% y 38.83% respectivamente. (ANSV, Agencia Nacional de Seguridad Vial., 2021)

Los accidentes de tránsito incrementan los costos anuales en seguridad social asociados a indemnizaciones por incapacidades, invalidez o fallecimiento, lo que implica elevados costos de inversión en tratamientos médicos o pérdida de productividad por invalidez, por lo que se han convertido en un problema de salud pública.

Esto obliga la intervención de los entes territoriales actuando sobre los pilares estructurales de acción establecidos en el Plan Nacional de Seguridad Vial, como son la planeación y ejecución, desarrollo de programas y proyectos dirigidos al fortalecimiento institucional, comportamiento humano, transportes más seguros, atención y rehabilitación de víctimas y estado de la infraestructura vial (ANSV, Agencia Nacional de Seguridad Vial. Observatorio Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2020).

Aunque se han establecido directrices y asignado recursos a nivel nacional y regional sobre la problemática en seguridad vial enmarcados en los pilares previamente citados, los esfuerzos no han sido lo suficientemente efectivos para garantizar que las vías sean más seguras y cumplir las metas de visión cero en accidentalidad.

Este tipo de intervenciones deben tener en cuenta el enfoque sobre el cual se desea obtener resultados para disminuir la problemática, por lo que se hace necesario identificar la evolución conceptual de dicha seguridad, que se enmarca en tres aspectos importantes (ANSV, Agencia Nacional de Seguridad Vial. Observatorio Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2020):

- La seguridad vial nominal, que se basa en el diseño mediante el cumplimiento de las normas establecidas, verificado a través del cumplimiento de los parámetros del manual de diseño geométrico.
- La seguridad vial objetiva, basada en la relación que existe entre el número de accidentes y la predicción de los mismos mediante la combinación de datos históricos, modelos de accidentes y estudios ex-ante y ex-post. (AASHTO, 2011)
- La seguridad vial subjetiva, que relaciona la seguridad con la percepción del usuario sobre ciertas condiciones geométricas, es decir, que el diseño o las inversiones dependerán de dicha valoración subjetiva frente al riesgo.

Lo anterior implica que se debe valorar cada uno de los aspectos mencionados a través de la consistencia y normativa (seguridad nominal), evaluar las estadísticas e índices de accidentalidad (seguridad objetiva) e incluir un análisis de percepción de riesgo basado en la experiencia (seguridad subjetiva) (Contreras, Contreras & Rodríguez, (2018), como se citó en Dextre, 2014).

El estado de la infraestructura en relación con la consistencia del diseño geométrico y las condiciones reales de operación es uno de los condicionantes que afectan la seguridad vial. Se han adelantado investigaciones en Colombia y otros países que evalúan la consistencia con un

alcance para ciertas condiciones operacionales en planta y perfil y la consistencia a través de la influencia de la estabilidad de los vehículos y de carga de trabajo del conductor y otros modelos asociados a las condiciones del trazado

Estos modelos y estudios han permitido establecer la relación de la consistencia con la seguridad vial y el diseño geométrico a través de expresiones matemáticas aplicadas a ciertas condiciones físicas u operacionales en países como Estados Unidos, Canadá, España, entre otros, cuyas características son diferentes al entorno de las carreteras de Colombia. Otras investigaciones han desarrollado estudios experimentales para calibrar las ecuaciones de velocidad de operación en carreteras rurales montañosas de dos carriles, como es el caso de Ecuador (García & Alverca, 2019). Así también en Colombia, Mora (2018) realiza un análisis de la consistencia en el diseño para una vía en Bogotá – Villavicencio y los autores Garrido y Montoya (2020) realizaron un análisis comparativo entre los manuales de Colombia, España y EE.UU.

Es necesario aclarar que estas investigaciones evalúan la consistencia con base en el perfil de velocidades comparando los modelos planteados por los autores internacionales, las condiciones geométricas y de operación de las carreteras nacionales, de tal manera que se han adaptado las expresiones matemáticas que permiten estimar las velocidades de operación considerando los criterios de diseño, seguridad, trazado vertical, alineamiento horizontal, combinaciones en planta y perfil, obteniendo finalmente una ecuación que predice la velocidad y posteriormente analizar qué criterios se pueden adaptar de otras Normativas para mejorar la experiencia del usuario. No obstante, estos modelos plantean la predicción de velocidad de operación (V_{85}) teniendo en cuenta las condiciones geométricas del elemento sobre el cual el vehículo está circulando.

A pesar de las investigaciones encontradas en el contexto colombiano, se plantea ampliar la base de datos de información, es decir, establecer ecuaciones de velocidad para una geometría de dos carriles con mayor complejidad para que la obtención de resultados represente mejor la realidad.

1.1 Justificación

La accidentalidad vial se ha convertido en una de las principales causas de muerte en Colombia, de modo que los entes gubernamentales deben enfocar sus esfuerzos a la atención de la misma.

Para ello se deben identificar las causas de los accidentes de tránsito o los factores contribuyentes que incrementan los niveles de riesgo, y la probabilidad de ocurrencia de un siniestro de este tipo. Es bien conocido que a través de las estadísticas se establece que el factor preponderante es el comportamiento o factor humano relacionado con infracciones al Código Nacional de Tránsito, condición física o limitaciones del conductor, bajo nivel de experticia, uso de sustancias alucinógenas y alcohol o exceso de velocidad. Otras causas también cobran importancia, como el estado del vehículo, o de la infraestructura vial en relación con iluminación, estado de pavimento, condiciones de movilidad segura, estado de la señalización, diseño geométrico, etc.

Estas causas contribuyen a la ocurrencia de accidentes; para garantizar que las vías sean más seguras es necesario establecer la relación entre la accidentalidad y el estado de la infraestructura, específicamente en lo relacionado con el diseño geométrico. Para ello, se debe evaluar la relación de la consistencia vial de los elementos que componen la vía y las condiciones reales de operación vehicular que permitan garantizar las condiciones mínimas para

que las carreteras en Colombia sean más seguras debido a que los conductores se enfrentan a condiciones de incertidumbre, duda o cambios inesperados en el trazado de la carretera durante su desplazamiento.

Para que el diseño de la vía tenga las características homogéneas deseadas para garantizar seguridad, se han propuesto varias metodologías que tienen en cuenta los diversos factores que influyen en la consistencia del trazado a través de ecuaciones de pronóstico de velocidades de operación. Con ello, se tiene en cuenta el comportamiento humano asociado a aceleraciones, desaceleraciones y velocidad en las carreteras de Colombia,

No obstante, es necesario complementar las ecuaciones y modelos de predicción de velocidades estudiados en varias investigaciones, y ampliar el alcance teniendo en cuenta las diferentes combinaciones de los elementos del diseño geométrico para que los diseñadores, administradores y planificadores viales cuenten con las herramientas que evalúen cuantitativa y cualitativamente la eficiencia del diseño geométrico y que se adopten los lineamientos mínimos para que las vías nuevas o existentes en Colombia sean más seguras, cómodas y eficientes, y permitan preservar la vida de quienes circulan por ellas.

Actualmente existen modelos de predicción de velocidades para Colombia, pero en algunos casos su aplicación ha arrojado datos que no son representativos de la realidad, por lo que es necesario ajustar las ecuaciones con el fin de mejorar la confiabilidad de los resultados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Revisar y ajustar las ecuaciones de pronóstico de velocidades de operación desarrolladas en Colombia para evaluar la consistencia de diseño geométrico en carreteras de dos carriles.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Comparar las velocidades de operación tomados en campo con modelos de pronóstico de velocidades existentes.
- ✓ Complementar los modelos de pronóstico existentes mediante la toma de datos adicionales.
- ✓ Ajustar las ecuaciones de predicción de velocidad de operación en Colombia.

2. Marco Teórico

Teniendo en cuenta que el diseño geométrico es una de las etapas más importantes en la planificación vial para garantizar comodidad y seguridad a los usuarios, es necesario efectuar el análisis detallado de los aspectos más relevantes que inciden en la accidentalidad por siniestro de tránsito, debido a que las carreteras construidas hace varios años no consideraban aspectos como la relación directa entre la velocidad de operación y la geometría de la carretera, otros como la demanda visual del conductor o la estabilidad del vehículo, o la correspondencia entre la accidentalidad y la consistencia vial.

Uno de los aspectos más relevantes en la evaluación de la consistencia del trazado es la variación de la velocidad de operación en relación con la geometría de la vía; este factor ha sido ampliamente evaluado por investigadores de varios países, para establecer la relación entre las condiciones de operación vehicular, la accidentalidad y la consistencia vial.

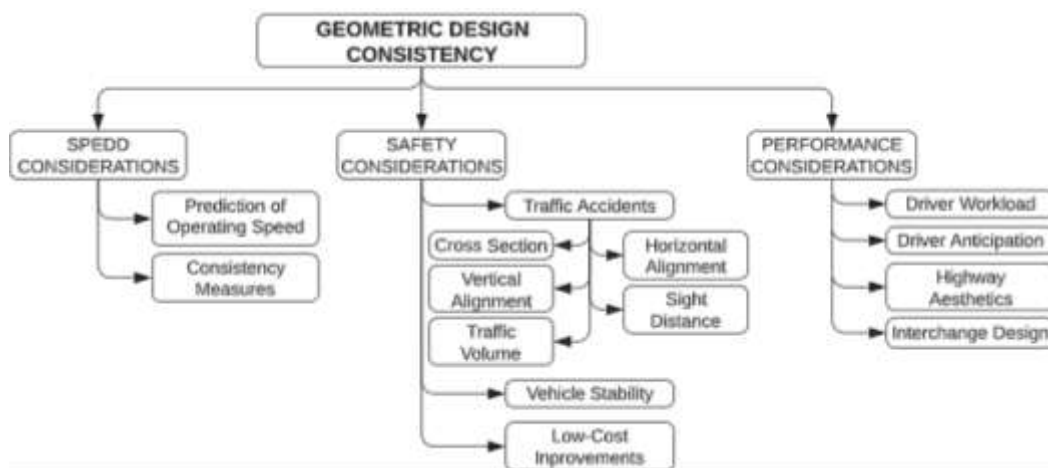
Varios autores han estudiado la consistencia como elemento que interviene en la seguridad vial, agrupados en métodos basados en la velocidad de los vehículos teniendo en cuenta el trazado en planta, tales como Lamm et al. (1995), Kanellaidis et al. (1990), Morral y Talarico (1994), Islam y Seneviratne (1994), Krammes (1995), Voigt (1996), (Mcfadden y Elefteriadou, 2000), Cardoso et al. (2010), Ottesen y Krammes (2000), Gibrell et. al (1999), Polus y Mattar-Habib (2004), (Mossaghi y Hassan, 2005), Castro (2006), cuyas investigaciones han permitido establecer la velocidad de operación que correlaciona los diferentes aspectos de los elementos que componen el diseño geométrico en planta con la consistencia vial.

Fitzpatrick et al. (1999) y Gibrell et al. (2001) desarrollaron un modelo para predecir la velocidad combinando planta y perfil. Fitzpatrick et al. evaluó la consistencia basándose exclusivamente en el perfil de velocidades teniendo en cuenta las condiciones geométricas, mientras que Gibrell et al. estima las velocidades basándose en las características geométricas y en la velocidad de aproximación del alineamiento recto, lo que resume su trabajo en varias ecuaciones donde combina curvas horizontales con curvas verticales cóncavas y convexas teniendo en cuenta radio de curvatura, peralte, inclinación de la rasante, parámetro de la curva, diferencia algebraica de la curva vertical y las velocidades de operación en la recta y a lo largo de la curva (Gibrell et al., 1999).

Gibreel et. al. (1995) evaluó la consistencia vial como un factor para que el diseño geométrico garantice seguridad a través de la predicción de la velocidad de operación teniendo en cuenta tres principales áreas de estudio: consideraciones de velocidad, consideraciones de seguridad y consideraciones de rendimiento, tal como se describe en la Figura 1.

Figura 1

Áreas principales de la consistencia del diseño geométrico



Nota: Elaboración propia, adaptado de Journal of Transportation Engineering (Gibreel et al., 1995)

La consistencia del diseño geométrico se estudia teniendo en cuenta la relación entre la velocidad de operación (V_{85}) y las características del diseño geométrico que la afectan, como radio de curvatura, longitud de curva horizontal, distancia de visibilidad, factor de fricción lateral y condiciones del pavimento.

En este sentido, la predicción de la velocidad tiene varios enfoques: a través del análisis en dos dimensiones, como plantean Lamm et. al., (1995), estimando la variación del grado de curvatura (CCR), según Lamm y Choueiri (1987), o la variación de la velocidad en varios puntos de la curva (PC, PT y el punto medio de la misma curva horizontal), como plantean Islam y Seneviratne (1994).

MacFadden y Elefteriadou (1997) evalúan la relación entre la velocidad de operación en la curva y en la tangente de aproximación.

Los indicadores cuantitativos de consistencia permiten calificarla como buena, aceptable o mala teniendo en cuenta la relación de velocidad de operación entre elementos sucesivos.

Las consideraciones de seguridad evalúan la relación entre la operación segura y el rendimiento eficiente del conductor, de tal manera que se tienen en cuenta: la geometría (alineamiento horizontal y vertical, distancia de visibilidad, volumen de tráfico), estabilidad del vehículo (peralte, coeficientes de fricción lateral) y los proyectos de mejoramiento de bajo costo (señalización horizontal, delineadores y señales verticales).

Finalmente, la consistencia del diseño geométrico contempla las consideraciones de rendimiento, como la carga y anticipación del conductor y estética de la carretera, entre otros. (Gibreel et al., 1995).

Las anteriores investigaciones se desarrollaron en tramos viales de Estados Unidos, Canadá, Israel, España y Grecia, entre otros. Su aplicabilidad se limita a las condiciones del sitio, ya que son representativas para el entorno sobre el cual se estudiaron y evaluaron.

García & Alverca (2019), en su artículo “Calibración de ecuaciones de velocidades de operación en carreteras rurales montañosas de dos carriles: caso de estudio ecuatoriano” presenta seis ecuaciones calibradas de predicción de velocidades operacional al contexto ecuatoriano, con un 95% de confiabilidad. Estas ecuaciones son usadas para reducir la probabilidad que exista un accidente de tránsito en carreteras rurales montañosas de dos carriles, con el fin de mejorar su diseño.

Garrido & Montoya (2020), en su trabajo “Criterios de diseño, seguridad y operación geométrico en el diseño vertical de carreteras. Análisis comparativo entre los manuales del INVIAS (Colombia), Ministerio de Fomento (España) y AASHTO (EE.UU.)”, realizan una comparación de los criterios de diseño, seguridad y operación geométricos, concluyendo lo siguiente: el manual de INVIAS presenta diversas carencias con respecto a sus parámetros de diseño, como por ejemplo que no toma en cuenta las rampas de emergencia. Asimismo, los carriles adicionales no tienen la debida importancia en comparación al manual AASHTO, la reducción de velocidad para calcular la longitud crítica sigue manteniéndose en 25 km/h, mientras en el manual AASHTO 2011 fue modificada a 15 km/h, y no presenta una clasificación de vías inclusiva

Delgado et. al (2021), en la investigación titulada “Modelos de velocidad de operación de carreteras rurales en terreno llano en Costa Rica” desarrolla seis modelos de predicción de velocidades operacionales para la realidad de ese país, al igual que el caso ecuatoriano. Sin embargo, en este estudio el terreno es llano y su aporte sólo puede ser usados en países con

características similares. Asimismo, compararon dichos modelos con los obtenidos por Fitzpatrick et al. (2000) y García et. al. (2012). Los resultados obtenidos demostraron que los modelos internacionales, si bien son de gran ayuda, tienen un mayor margen de error a comparación del propuesto, lo que se debe a la topografía del lugar.

Guaranga (2022), en su tesis “Análisis de la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas en la carretera Penipe-Baños”, analiza la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas. Asimismo, determina la velocidad operacional de los vehículos que transitan y finalmente, lo compara con normas de diseño sudamericanas, como es el caso de Ecuador, Perú y Colombia. Determinó que se requiere un análisis del diseño y características geométricas, lo que mejora la seguridad vial de la carretera, y que existe una relación directa entre la velocidad de operación y la geometría. Por una parte, el análisis de la velocidad operacional fue de 60 km/h y comparando con las otras normativas, se obtuvieron resultados similares. Ello se debe a que el contexto y las condiciones sudamericanas son similares.

A través de un análisis comparativo, se ha determinado que existen diferencias significativas en razón del sitio en el que fueron desarrollados los estudios, de tal manera que estos métodos se han evaluado en carreteras con características físicas y operacionales diferentes a las de Colombia, por lo que es necesario efectuar el ajuste y análisis de los modelos precedentes que permitan establecer la correlación mediante expresiones matemáticas que sean válidas para las vías en nuestro país.

Las investigaciones efectuadas en Colombia sobre la aplicabilidad de dichos métodos se han limitado a condiciones de operación vehicular en ciertas vías, lo que restringe su aplicabilidad en el ámbito nacional, como las efectuadas por Melo (2006) que estima las

ecuaciones de pronóstico de cambio de velocidad para el percentil 85 de la velocidad de punto media, tasa de variación de aceleraciones y desaceleraciones con el radio de la curva horizontal y la pendiente longitudinal. Ardila (2010) cuya investigación evalúa los cambios de velocidad para las combinaciones entre elementos geométricos de curvas verticales y horizontales. No obstante, en las dos investigaciones se citan los modelos que se aplican según la Federal Highway Administration (FHWA) para estimar la velocidad de operación considerando la geometría en planta y perfil (Geometric Design Laboratory, 2001), cuyos casos de aplicación son limitados teniendo en cuenta los modelos actuales, tal como lo contempla la investigación desarrollada para la evaluación de la consistencia del trazado de carreteras interurbanas de dos carriles donde se profundiza el conocimiento sobre los factores que intervienen en la consistencia y otros de carácter operacional y de trazado aplicados a vías de cuatro provincias españolas y una vía colombiana con rangos de aplicación del trazado en perfil (Sánchez, 2011)

En Colombia se han estudiado los siguientes casos:

Arias & Remolina (2018), en su proyecto “Análisis de consistencia del diseño geométrico en una carretera de dos carriles en terreno llano desde el km 12+938 (vía la Fortuna) hasta el km 19+473 (vía la Lizama) en ambos sentidos en el departamento de Santander” presentan la evaluación de la consistencia de un tramo entre Bucaramanga con Barrancabermeja.

Los autores realizan dos análisis de velocidades: uno con base en la normativa colombiana, y el otro con base en el método de Lamm et al. (1990), con el fin de obtener puntos críticos de accidentalidad. En las velocidades obtuvieron una diferencia entre 11 y 16 km/h. Cabe recalcar que la diferencia presentada no está estipulada en el manual de diseño, ya que el límite máximo es de 10 km/h. Además, gracias al análisis de consistencia que realizaron, se observa que los resultados son correctos, lo que es corroborado por las coincidencias de accidentes ocurridos.

Mora (2018), en su aporte doctoral “Selección de modelo de predicción de velocidades de operación para carreteras bidireccionales en Colombia” determina el modelo para la estimación de velocidad operacional que mejor se ajusta a la geometría de la vía Bogotá-Villavicencio. El autor realiza un análisis de consistencia y determina que el modelo desarrollado por Castro et al. (2010) es el que resultó con mayor ajuste en la mayoría de los tramos.

Así mismo, propone un modelo de regresión lineal simple con la finalidad de obtener una expresión matemática en función del radio de la curva horizontal para la estimación de la velocidad de operación, e indica que ingresar un nuevo parámetro a la ecuación brindará resultados óptimos, con menor margen de error, ya que la topografía es muy variable en toda la región, y no se puede determinar un valor constante. Por último, el autor recomienda en investigaciones futuras realizar regresiones múltiples para la obtención de una ecuación con mayores parámetros geométricos, en busca de mejorar la precisión de los datos.

Palacio (2019), en su tesis titulada “Medidas para la disminución de la accidentabilidad en la avenida Las Palmas a través de modelo de predicción de velocidad de operación y la consistencia del trazado” propone medidas preventivas mediante la elaboración de un modelo de predicción y el análisis de consistencia. El autor concluye con la validación del modelo presentado; asimismo, encontró diferencias de velocidad menores a 10 km/h y solo un dato de sobrepaso, insignificante estadísticamente. Los resultados tienen como finalidad brindar una infraestructura más segura para todos los usuarios y que la consistencia mejore respetando los límites de velocidad.

Flores, Gonzáles & Petit (2021), en su artículo titulado “Influencia de parámetros geométricos en la velocidad de los vehículos en carretera dos carriles de montaña. Caso de estudio en Pamplona-Colombia” propone modelos de velocidad media operativa y límite mediante la aplicación de regresión múltiple, analizando los siguientes parámetros: radio de

curva, longitud de recta anterior y posterior, visibilidad en la curva, ángulo de deflexión, pendiente anterior y posterior, y la tasa de cambio de curvatura, obteniendo un rango de velocidad entre los 30 y 75 km/h, siguiendo las recomendaciones de la normativa AASHTO.

A partir de lo mencionado, es necesario evaluar el alcance y validez de las ecuaciones planteadas para la predicción de velocidades en Colombia según lo descrito en la Tabla 1, teniendo en cuenta la sectorización en tramos y puntos de evaluación adicionales a los ya estudiados en investigaciones preliminares, y correlacionando con otros modelos que permitan establecer resultados con una mejor representación de la realidad.

Tabla 1

Modelos de predicción de velocidad (V_{85}) para Colombia

Combinación geométrica	Modelo	No. de datos	R ²	Origen
Curva horizontal -9% ≤ Inclinación de rasante < -4%	$V_{85} = 35.43 + 0.219R$	27	0.72	Colombia
Curva horizontal -4% ≤ Inclinación de rasante < 0%	$V_{85} = 105.98 - 3709.90/R$	25	0.76	Fitzpatrick et al.
Curva horizontal 0% ≤ Inclinación de rasante < 4%	$V_{85} = 94.39 - 3188.66/R$	29	0.79	Lamm et al.
Curva horizontal 4% ≤ Inclinación de rasante < 9%	$V_{85} = 37.18 + 0.1R + 0.04R_{n-1}$	28	0.55	Colombia
Curva horizontal combinada con curva vertical cóncava	$V_{85} = 102.70 - (730.39/R) - (935.62/L_H)$	22	0.84	Colombia
Curva horizontal combinada con curva vertical convexa	$V_{85} = 93.79 - (867.61/R) - (935.62/L_H)$	20	0.66	Colombia
Curva vertical cóncava en recta	$V_{85} = \text{Velocidad deseada}$	-	-	Colombia
Curva vertical convexa con recta, sin limitación en la distancia de visibilidad	$V_{85} = \text{Velocidad deseada}$	-	-	Colombia
Curva convexa con recta, con limitación en la distancia de visibilidad	$V_{85} = 105.08 - (149.69/K)$		0.60	Fitzpatrick et al.

Nota: Sánchez Ordoñez (2011)

Donde:

V_{85} = Velocidad de operación [km/hora].

R = Radio de la curva horizontal [m].

R_{n-1} = Radio de la curva anterior [m].

L_H = longitud de curvas horizontales [m].

R^2 = Coeficiente de determinación.

En resumen, se han adelantado investigaciones relacionadas con la predicción de velocidades de operación y la consistencia vial desde 1970 como elemento que interviene en la seguridad vial; se debe ampliar la validez de las ecuaciones planteadas mediante la revisión y ajuste de los modelos incluyendo combinaciones de elementos que no se han considerado en las investigaciones mencionadas, y validar las ecuaciones de pronóstico en vías de otras regiones, por ejemplo el departamento de Nariño y Cauca, para ampliar el rango de aplicación de la investigación. Es conveniente citar que las investigaciones preliminares de regresión se basan en un número de observaciones limitadas tal como lo indica la Tabla 2, donde se evidencia número de puntos de análisis y coeficientes de correlación relativamente bajos en comparación con los propuestos por otros modelos.

Tabla 2*Comparación coeficientes de correlación para estimar V85*

Ec	Combinación	Ecuación propuesta para Colombia	Número de observaciones en Colombia	R² propuesto para Colombia	R² propuesto por Gibreel et. al.
1	Curva horizontal 0% < Inclinación de rasante < 9%	$V_{85} = 37.18 + 0.1R + 0.04R_{n-1}$	28	0.55	≥ 0.94
2	Curva horizontal combinada con curva convexa	$V_{85} = 93.79 - (867.61/R) - (935.62/L_H)$	20	0.66	≥ 0.98

Nota: Elaboración propia

Donde:

 V_{85} = Velocidad de operación [km/hora].

R = Radio de la curva horizontal [m].

 R_{n-1} = Radio de la curva anterior [m]. L_H = longitud de curvas horizontales [m]. R^2 = Coeficiente de determinación.

3. Metodología

Para desarrollar el proyecto se implementó el siguiente procedimiento:

Búsqueda de información

Para el desarrollo del presente trabajo se efectuó la revisión de investigaciones sobre la consistencia vial en carreteras de Colombia, así como también la revisión bibliográfica de modelos y métodos de evaluación de la consistencia del diseño geométrico en otros países.

Análisis de la información existente

Análisis de la información a través de la evaluación comparativa de los estudios preliminares que se desarrollaron en Colombia y los modelos establecidos internacionalmente.

Recopilar información

Se obtuvo las velocidades en cada uno de los elementos geométricos en varias vías del departamento de Nariño y Cauca, donde se caracterizaron los criterios de selección para las combinaciones de alzado en planta y perfil mediante la utilización de equipos electrónicos automáticos tipo radar con receptor Doppler en los tramos, sectores y puntos que cumplieran con los criterios de velocidad a flujo libre y con las condiciones y/o combinaciones geométricas en planta y perfil consideradas en este estudio.

Evaluar los modelos de pronóstico estimados

En investigaciones preliminares con base en el comportamiento de las velocidades de operación en las carreteras de Nariño y Cauca.

Ajustar las ecuaciones planteadas

En los modelos de velocidades adaptados en Colombia con base en la evaluación estadística de los datos recolectados en el presente estudio y los estimados en estudios preliminares que apliquen en las carreteras de Colombia. Las ecuaciones se ajustan teniendo en cuenta las combinaciones geométricas en planta y perfil de investigaciones preliminares que permitan incrementar el rango de aplicabilidad y ajuste estadístico de las ecuaciones planteadas para la predicción de velocidad en las carreteras de Colombia.

Se verificó la aplicabilidad de las ecuaciones planteadas a través de la evaluación en otros tramos y sectores, que permita mejorar el alcance de los modelos planteados en Colombia.

Evaluar la aplicabilidad de modelos planteados

Evaluar la aplicabilidad de modelos planteados que permitan estimar la predicción de la velocidad de operación con una mejor representación de la realidad tal como lo contempla Gibreel et. al. (1999) para las combinaciones en planta y perfil en función del trazado y su relación con elementos consecutivos.

4. Resultados

4.1 Perfiles de velocidad tomadas en campo y los modelos de pronóstico

La velocidad de operación se determinó para autos, buses y camiones, para los sectores del tramo de ruta Rumichaca – Pasto – Chachagui ruta 25 de la troncal de occidente.

Fitzpatrick et al. (2000) y García et al. (2012) realizaron un estudio en el que indicaron que las velocidades, en condiciones que contengan curvas verticales (convexas o cóncavas), deben ser tomadas y recolectadas en el punto central, precisamente donde se localiza la curva vertical. Además, para curvas horizontales que coinciden con curvas horizontales, la medición debe realizarse en el punto central de la curva horizontal. En la Tabla 3, se presentan los tramos de estudio en la vía Ipiales- Pasto pertenecientes al departamento de Nariño, cuyas variables de diseño geométrico se encuentran detallados en los anexos G, H, I y J.

En este mismo sentido, para cada elemento geométrico de los tramos descritos, se efectuó el levantamiento de información primaria a través de la toma de velocidades para cada tipo de vehículo en cada uno de los elementos de diseño geométrico tal como lo indica la tabla 4.

Tabla 3.

Resumen descriptivo de la Ruta Ipiales-Pasto tomados para la investigación.

Kilometro	Abscisa	
	Inicio	Final
0-20	PR0+440.557	PR19+981.909
38-53	K38+687.98	K52+755.70
53-68	K 52 + 962.471	K 68 + 082.692
68-83	K 67+986	K 82+834

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4

Ejemplos de datos de campo para la vía Piendamó – Silvia en el Departamento de Cauca

PIENDAMÓ- SILVA															
	AUTOS				BUSES				CAMIONES						
	TM	PC	PM	PT	TM	TM	PC	PM	PT	TM	TM	PC	PM	PT	TM
1	84	82	55	57	58	61	66	59	61	62	56	55	62	63	65
2	61	60	69	72	76	58	56	60	67	70	45	41	42	45	47
3	52	51	61	63	64	73	65	54	55	56	55	54	55	53	51
4	63	60	50	52	53	58	55	52	53	54	45	46	46	49	51
5	60	56	54	58	60	65	65	60	61	62					
6	58	58	58	60	63			61	63	64					
7	64	65	67	69	69										
8	71	66	69	70	72										
9	67	65	60	62	65										
10	61	63	59	61	62										
11	62	61	52	53	56										
12	63	63	55	56	59										
13	79	76	61	64	66										
14			78	79	80										
SILVA- PIENDAMÓ															
	AUTOS				BUSES				CAMIONES						
	TM	PC	PM	PT	TM	TM	PC	PM	PT	TM	TM	PC	PM	PT	TM
1	47	46	43	55	55	61	62	60	65	64	51	50	49		
2	51	49	48	41	44	66	64	63	52	51					
3	69	71	69	61	67	52	53	51	50	52					
4	60	61	56	41	61	63	61	58	58	52					
5	52	56	55	64	69	69	67	66	62	69					
6	55	54	52	58	63	63	61	59	62	65					
7	70	68	64	53	56				55	62					
8	59	58	56	52	53										
9	56	58	55	65	70										
10	64	63	60	55	58										
11	58	57	55	54	59										
12	64	65	61	59	61										
13	59	56	55	54	62										
14	77	74	70	58	62										
15	61	60	58	52	56										
16	60	61	55	78	87										
17	75	72	68	60	65										
18	56	55	50	53	60										
19	66	63	60	71	82										
20	56	52	48	51	52										
21	69	66	64	67	76										
22	67	65	63	66	67										
23	63	61	58	53	54										
24	66	65	63	62	66										
25	51	49	47	43	48										

Nota: Elaboración propia

Donde:

PC: Inicio de la Curva circular.

PM: Centro de la Curva Circular.

PT: Fin de la Curva Circular.

TM: Tangente Media.

Posterior a la recolección de datos, se realizó el procesamiento estadístico y los estadígrafos descriptivos de las variables, como la varianza, desviación estándar, media, etc. (ver Anexos A, B, C y D) a través de la validación con HDSM para las velocidades de campo y las pronosticadas según los modelos propuestos en esta investigación, de tal manera, que se observa modelos estadísticos favorables que se describen en el siguiente capítulo.

Se establecieron las técnicas paramétricas de los modelos de determinación de velocidad mediante las ecuaciones de regresión, a través del coeficiente de correlación entre las variables y gráficos de dispersión. Después de ello, se determinaron las variables de asociación para establecer el modelo de regresión cuyo análisis estadístico se presenta en el anexo E.

4.2 Evaluación y ajuste de las ecuaciones de predicción de velocidad de operación en Colombia

Las velocidades de operación se establecen para vehículos ligeros en días en condiciones climáticas favorables, en carreteras secas y se pueden realizar mediante diferentes técnicas, incluido el uso de pistolas láser.

En este estudio, para obtener las V_{85} de campo de cada combinación de los elementos geométricos antes expuestos, se desarrollaron las siguientes etapas:

1) *Condiciones del entorno para la medición de velocidad*

Las condiciones utilizadas para medir las velocidades fueron las siguientes: vehículo tipo automóvil, bus y camión durante horas diurnas en condiciones atmosféricas favorables sin lluvia y neblina, superficie de pavimento en buen estado y con velocidad a flujo libre.

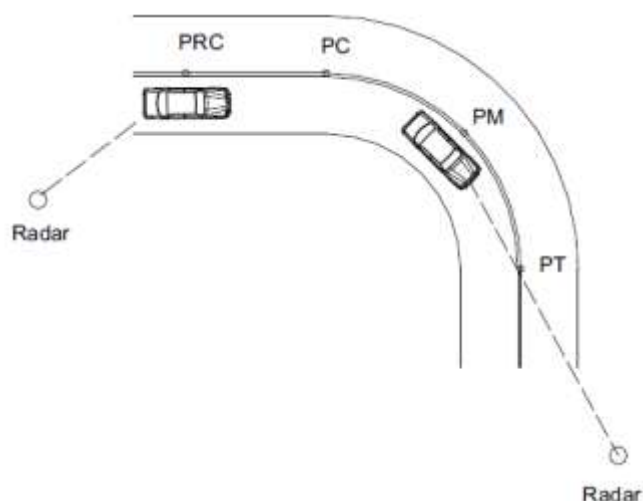
2) *Localización de puntos de medición de velocidad*

Además, se consideraron los siguientes puntos dentro de cada elemento geométrico para medir las velocidades puntuales:

Curvas horizontales: Inicio de la curva circular (PC), centro de la curva circular (PM), fin de la curva circular (PT), en el punto medio para rectas precedentes cortas (PRC) como se puede ver en la Figura 2 y para rectas precedentes largas se considera puntos hasta 200 m antes del PC, en este estudio se toman a 60 m (P3), 130 m (P2) y 200 m (P1), como se muestra en la Figura 3.

Figura 2

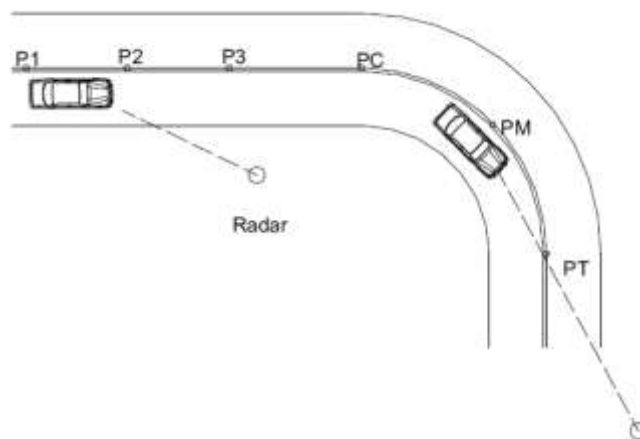
Puntos considerados para medir velocidades en curvas horizontales con recta precedente corta



Nota: Melo (2006)

Figura 3

Puntos considerados para medir velocidades en curvas horizontales con recta precedente larga



Nota: Melo (2006)

3) Ecuación utilizada

La ecuación utilizada para establecer el tamaño de la muestra de medición de velocidad es la siguiente, según Robertson et al. (1994).

$$n = \frac{S^2 K^2 (2 + U^2)}{2E^2}$$

Donde:

S = Desviación estándar estimada (km/h)

K = Constante asociada al nivel de confianza deseado

U = Constante asociada al percentil analizado

E = Error permitido (km/h)

n = Tamaño de la muestra (número mínimo de mediciones de velocidad).

Robertson et al. (1994) recomienda los valores de la desviación estándar estimada indicados en la tabla 5

Tabla 5

Desviación estándar

Área de tráfico	Tipo de vía	Desviación estándar (km/h)
Rural	Un carril	8.5
	Dos carriles	6.8
Intermedia	Un carril	8.5
	Dos carriles	8.5
Urbana	Un carril	7.7
	Dos carriles	7.9
Valor recomendado		8.0

Nota: Robertson et al. (1994)

Para obtener los valores de la constante, el mismo autor recomienda utilizar los datos que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Valores de constante K

Nivel de confianza (%)	Constante K
68.30	1.00
86.60	1.50
90.00	1.64
95.00	1.96
95.50	2.00
98.80	2.50
99.00	2.58
99.70	3.00

Nota: Robertson et al. (1994)

Por último, el autor establece los valores de la desviación estándar estimada en función del percentil de velocidad como se puede ver en la tabla 7.

Tabla 7

Valores de constante U

Percentil de velocidad	Constante U
50	0.00
85	1.04
93	1.48
95	1.64

Nota: Robertson et al. (1994)

Los valores de la desviación estándar estimada pueden ser obtenidos según recomendaciones de Robertson et al. (1994).

4) Validación estadística de los modelos de predicción

Se requiere la utilización en Colombia de los modelos desarrollados en el estudio de IHSDM.

En el proceso de evaluación se utilizaron herramientas estadísticas que permiten observar la precisión y comportamiento de las velocidades pronosticadas por estos modelos en comparación con las velocidades medidas en campo.

El proceso de evaluación comprendió las siguientes etapas:

- a) Calcular el V_{85} en el punto medio de la curva y en la Entretangencia para cada sitio del estudio utilizando los modelos propuestos para esta investigación a través del uso del IHSDM.
- b) Graficar el V_{85} pronosticado en comparación con el V_{85} de campo, esta gráfica permitió observar cualitativamente el comportamiento de cada uno de los modelos, pudiéndose

seleccionar a priori el mejor modelo como aquel que agrupa sus valores en la recta trazada a 45 grados del eje x.

- c) Calcular el error medio cuadrático (MSE), la diferencia absoluta media (DMA), la diferencia absoluta media en % (DMA%) y sesgo (BIAS) para cada uno de los sitios de estudio. Estas estadísticas se usaron para describir la diferencia entre las V_{85} pronosticadas por el modelo y las V_{85} observadas en el campo mediante la medición con radar; dadas por las siguientes ecuaciones:

Cuadrado del error medio:

$$MSE = \sum \frac{(V85 \text{ observado} - V85 \text{ pronosticado})^2}{n}$$

Diferencia absoluta media:

$$MAE = \text{media de } (85 \text{ observado} - V85 \text{ pronosticado})$$

Diferencia absoluta:

$$DMA[\%] = \text{media de } \frac{(V85 \text{ observado} - V85 \text{ pronosticado})}{V85 \text{ pronosticado}} \times 100$$

Sesgo:

$$MAPE = \text{media de } (V85 \text{ observado} - V85 \text{ pronosticado})$$

- d) Realizar la prueba de Chi-cuadrado para evaluar el comportamiento de los modelos de predicción de V_{85} determinando si existe una diferencia significativa entre las V_{85} observadas y las V_{85} pronosticadas por los modelos empleando un nivel de confianza 95%.

La estadística Chi-cuadrado se define así:

$$x^2 = \sum \frac{(V85 \text{ observado} - V85 \text{ pronosticado})^2}{V85 \text{ pronosticado}}$$

En esta prueba se plantea que, si x^2 calculado es menor que x^2 crítico, las diferencias entre V_{85} observadas y las V_{85} pronosticadas presenta valores estadísticos favorables. Para el caso de estudio de esta investigación se tienen los siguientes resultados aplicando la prueba chi-cuadrado, así:

Tabla 8

Valores de chi-crítico para los modelos propuestos

Modelo	Variables	Chi -crítico
1	Curva horizontal con pendientes entre -9% y -4%	95.09
2	Curva horizontal con pendientes entre -4% y 0%	19.67
3	Curva horizontal con pendientes entre 0% y 4%	38.89
4	Curva horizontal con pendientes entre 4% y 9%	87.11

Nota: Elaboración propia (2022).

Tabla 9

Validación de las ecuaciones de predicción de velocidad para pendientes entre -9% y -4%

V_{85}	V_{85} predic.	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
51.92	54.187191	4.18399802	2.267191	5.14015503	0.09485923
50.8	57.510742	11.6686757	6.710742	45.0340582	0.78305472
52.85	55.126621	4.12980328	2.276621	5.18300318	0.09401997
51.5	53.7581	4.20048328	2.2581	5.09901561	0.09485111
52.39	54.664523	4.16087597	2.274523	5.17345488	0.09464008
53.73	56.022888	4.09277008	2.292888	5.25733538	0.09384263
51.15	53.40264	4.21821843	2.25264	5.07438697	0.09502128
44.18	47.502004	6.99339758	3.322004	11.0357106	0.23232095
51.11	57.873819	11.6871828	6.763819	45.7492475	0.79049989
33.435738	38.72722	13.6634698	5.291482	27.9997818	0.72300004
34.427274	39.735203	13.3582531	5.307929	28.1741103	0.70904659
37.573494	39.735203	5.44028679	2.161709	4.6729858	0.11760317
30	41.0631	26.9417068	11.0631	122.392182	2.98058796

V₈₅	V₈₅ predic.	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
28.211106	40.900604	31.0252093	12.689498	161.023359	3.93694331
38.879652	41.517581	6.35376372	2.637929	6.95866941	0.16760778
35.285334	42.538259	17.050357	7.252925	52.6049211	1.2366496
47.202834	42.007608	12.3673455	5.195226	26.9903732	0.64251155
40.85319	44.023574	7.20155978	3.170384	10.0513347	0.2283171
38.51736	47.30904	18.5835096	8.79168	77.2936372	1.6338027
42.95067	49.629686	13.4577035	6.679016	44.6092547	0.89884217
51.807756	49.87343	3.87846996	1.934326	3.74161707	0.07502225
52	52.851677	1.61144745	0.851677	0.72535371	0.01372433
56.193396	52.851677	6.32282491	3.341719	11.1670859	0.21129104
52.646748	53.915518	2.3532557	1.26877	1.60977731	0.0298574
44.323566	55.164706	19.6523118	10.84114	117.530316	2.13053463
45.57252	57.698628	21.0162848	12.126108	147.042495	2.5484574
46.516386	58.42986	20.3893591	11.913474	141.930863	2.429081
55.34487	60.250323	8.14178706	4.905453	24.0634691	0.39939154
63.534576	66.539426	4.51589408	3.00485	9.02912352	0.13569584
70.78995	77.500289	8.65846965	6.710339	45.0286495	0.58101267
85	92.097	7.70600562	7.097	50.367409	0.54689522
60.71	67.803848	10.4559881	7.08956229	50.2618934	0.74128379
71.77	84.452071	15.0119201	12.6778775	160.728577	1.90319284
52.03	53.283307	2.34981098	1.252057	1.56764673	0.02942097
55.26	61.684858	10.4104967	6.42170011	41.2382322	0.66853088
55.00	56.208235	2.14956936	1.208235	1.45983182	0.02597185
54.71	56.680489	3.4837502	1.97460665	3.89907141	0.06879036
68	58.1942408	15.9908594	9.3057592	86.5971543	1.48807087
71	75.6216829	6.77277033	5.1216829	26.2316357	0.34687982
65	54.9019195	17.4822312	9.5980805	92.1231493	1.67795862
87	93.6579772	7.64267755	7.1579772	51.2366376	0.54706112
76	63.8485938	18.248493	11.6514062	135.755266	2.12620605
56	49.9330965	11.1487248	5.5669035	30.9904146	0.62063875
69	77.1212163	11.1787867	8.6212163	74.3253705	0.96374738
73	67.9731993	6.65968462	4.5268007	20.4919246	0.30147065
70	63.3385087	9.72787555	6.1614913	37.963975	0.59938221
86	90.8874204	5.92757543	5.3874204	29.0242986	0.31934341
65	51.9510937	24.1552302	12.5489063	157.475049	3.03121721
62	61.9240318	0.68476129	0.4240318	0.17980297	0.00290361

V₈₅	V₈₅ predic.	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
80	68.5670714	15.9448674	10.9329286	119.528928	1.74324097
80	81.1861553	2.07690005	1.6861553	2.8431197	0.03501976
80	78.482882	1.29597432	1.017118	1.03452903	0.01318159
87	77.3949205	11.7644407	9.1050795	82.9024727	1.07116168
74	71.4480747	2.87191126	2.0519253	4.21039744	0.05892947
78	69.4260151	11.6296246	8.0739849	65.1892322	0.93897413
82	70.0046532	16.4208324	11.4953468	132.142998	1.88763164
75	69.7403433	6.82482545	4.7596567	22.6543319	0.32483826
74	62.0687548	18.4170687	11.4312452	130.673367	2.10530028
69	62.9609594	8.79757973	5.5390406	30.6809708	0.48730151
71	58.0274285	21.4942689	12.4725715	155.56504	2.68088805
80	73.0278405	8.86259193	6.4721595	41.8888486	0.57360109
61	53.5859558	12.9027169	6.9140442	47.8040072	0.89209955
91	82.453878	9.75833059	8.046122	64.7400792	0.78516718
68	54.6782336	23.449489	12.8217664	164.397694	3.00663871
73	72.3011787	0.2749904	0.1988213	0.03952991	0.00054674
74	68.5320332	7.24911632	4.9679668	24.6806941	0.36013369
67	77.32002	13.9938143	10.82002	117.072833	1.5141335
77	82.4490539	7.21543016	5.9490539	35.3912423	0.42924983
81	78.8573845	2.08302052	1.6426155	2.69818568	0.03421602
66	53.971376	21.3606264	11.528624	132.909171	2.4625863
66	58.858951	11.2829891	6.641049	44.1035318	0.74930883
73	60.1083929	20.6154357	12.3916071	153.551927	2.5545838
57	49.3440485	14.5021572	7.1559515	51.2076419	1.03776734
56	51.4090172	7.95771447	4.0909828	16.7361403	0.32554873

Nota: Elaboración propia (2022).

Tabla 10

Validación de las ecuaciones de predicción de velocidad para pendientes entre -4% y 0%

V₈₅	V₈₅ predic.	MAPE	MAE	MSE	chi-cuadrado
51.1	58.21	23.7339313	15.9022736	252.882305	3.77423469
40	49.52	23.3454295	12.1821462	148.404685	2.84397435
74.01	65.63	7.09851452	5.65515839	31.9808164	0.40143224
76.75	67.30	6.96926875	5.74962025	33.0581331	0.40070649

V₈₅	V₈₅ predic.	MAPE	MAE	MSE	chi-cuadrado
76.15	78.53	25.0921353	25.5095058	650.734886	6.4008797
61.25	58.04	8.19519973	5.4676442	29.895133	0.44808436
53.35	44.79	20.9639197	9.24657381	85.4991273	1.93844431
77.66	77.26	21.9575499	21.8488909	477.374035	4.79748112
62.40	67.12	24.0862888	19.7985897	391.984156	4.76874551
61.00	62.63	18.1649298	13.5401695	183.33619	2.45956229
59.00	63.66	22.6744674	17.3008	299.317681	3.92286425

Nota: Elaboración propia (2022).

Tabla 11

Validación de las ecuaciones de predicción de velocidad para pendientes entre 0% y 4%

V₈₅	V₈₅ predic.	MAPE	MAE	MSE	chi-cuadrado
51.81	53.76	5.20697311	2.845919	8.09925497	0.14818624
50.22	61.48	19.7014699	12.3216181	151.822272	2.42753987
51.875	47.85	6.71934118	3.26619167	10.668008	0.21946656
59.3604651	63.06	7.48470944	4.80240435	23.0630875	0.35944601
60	61.44	4.00522212	2.5034	6.26701156	0.10026673
76.056921	67.66	10.4444954	7.19253735	51.7325936	0.75122423
72.2187571	68.79	3.14118854	2.1994388	4.83753103	0.06908852
69.9565715	71.32	3.65374055	2.65296404	7.0382182	0.09693242
73.2702301	71.11	1.21364036	0.87857435	0.7718929	0.01066273
75.8935774	73.91	0.84704168	0.63745076	0.40634347	0.00539947
79.9870169	75.02	4.70148291	3.5917122	12.9003965	0.16886374
81.956169	78.97	1.89008568	1.52030672	2.31133251	0.0287351
78.9585269	81.67	5.08868012	4.23336949	17.9214172	0.21542263
80.91865	79.71	0.33118672	0.26888233	0.07229771	0.0008905
81.2067585	81.92	2.68646263	2.24181473	5.0257333	0.06022552
78.381489	83.20	7.52641486	6.37946071	40.697519	0.48014468
82.7121461	85.51	5.05852232	4.40693833	19.4211055	0.22292596
86.9763167	87.00	1.8827521	1.66897101	2.78546424	0.03142259
90.8834297	88.03	1.32286627	1.1865695	1.40794719	0.01569673
86.9344548	84.46	1.02971669	0.88605474	0.785093	0.00912385
86.0052842	83.71	0.84762967	0.72287897	0.52255401	0.00612734
81.6606731	84.43	5.063853	4.35574497	18.9725142	0.22056852
80.941633	84.63	6.12222906	5.27860017	27.8636197	0.32316799
82.9075018	80.65	0.92275616	0.75803923	0.57462347	0.00699485

V₈₅	V₈₅ predic.	MAPE	MAE	MSE	chi-cuadrado
84.0878439	85.46	3.42502311	2.98216803	8.89332616	0.10213994
78.9585269	79.46	2.43951774	1.97437244	3.89814651	0.04816517

Nota: Elaboración propia (2022).

Tabla 12

Validación de las ecuaciones de predicción de velocidad para pendientes entre 4% y 9%

V₈₅	V₈₅ predic	MAPE	MAE	MSE	chi-cuadrado
40.63	49.17	2.05154167	0.851	0.724201	0.01745862
42.15	50.41	0.4312707	0.181	0.032761	0.0007806
50.46	72.65	0.43802533	0.222	0.049284	0.00097242
52.39	59.25	15.3101202	6.956	48.385936	1.06497196
49.95	61.11	8.20822772	3.789	14.356521	0.31100975
40.5	46.76	0.09866798	0.04	0.0016	3.9467E-05
47.2297297	53.99	8.89953823	3.85972973	14.8975136	0.34349812
70.8333333	102.70	13.4077288	8.37433333	70.1294588	1.1228079
55.5232558	54.16	27.8247941	12.0862558	146.07758	3.36297579
71.5	79.22	34.2571729	18.244	332.843536	6.24987862
35.005437	43.26	10.6274586	4.16256297	17.3269305	0.44237465
34.2128559	45.60	14.6428424	5.8691441	34.4468525	0.85940952
33.0297275	45.88	17.8201445	7.16227246	51.2981469	1.2763273
40.4845849	44.31	2.28804384	0.90558487	0.82008396	0.02072018
47.8858377	46.13	18.8440615	7.59283769	57.6511841	1.430799
43.0001685	47.14	5.6826791	2.31216847	5.34612304	0.13139311
43.9841943	48.69	6.5121548	2.68919432	7.23176611	0.1751245
42.0046559	52.04	1.411407	0.60134406	0.36161468	0.00848741
44.0416277	51.92	3.47640557	1.47962774	2.18929825	0.05143786
53.6866127	54.57	23.1344327	10.0866127	101.739755	2.33348062
59.7668969	57.63	33.4171862	14.9698969	224.097814	5.00251833
61.830671	68.03	26.5103551	12.956671	167.875323	3.43485949
62.9448792	71.39	25.4156872	12.7558792	162.712455	3.24199436
71.5	62.81	52.6890354	24.6728	608.74706	12.9998603
71.5	64.58	50.4658127	23.9809	575.083565	12.1021561
77.5	80.33	44.3442209	23.8089	566.863719	10.5578712
68.5	59.50	50.4486004	22.9695	527.59793	11.5877913
73.5	70.55	47.4124601	23.6399	558.844872	11.2082581
72.5	68.49	47.7957035	23.4458	549.705538	11.2060851

V₈₅	V₈₅ predic	MAPE	MAE	MSE	chi-cuadrado
69.5	54.51	59.5006139	25.9265	672.183402	15.4264267
73.5	71.43	46.4029687	23.2961	542.708275	10.810082
76.5	72.64	50.9509912	25.8213	666.739534	13.1562083
71.5	67.98	46.3565409	22.6467	512.873021	10.4982268
70.5	56.53	58.8972307	26.1317	682.865745	15.3908476
64.5	66.56	33.5508798	16.2038	262.563134	5.43651746
70.5	73.24	38.4725981	19.5874	383.666239	7.53578169
75.5	83.20	37.7284833	20.682	427.745124	7.80300493
70.5	68.27	43.9798061	21.5348	463.747611	9.47096328
75.5	76.13	45.0603586	23.4527	550.029137	10.5678707
72.5	74.10	41.4609304	21.2491	451.524251	8.81007457
75.5	74.68	46.6623154	24.0212	577.018049	11.2088481
74.5	74.41	45.0130122	23.1253	534.7795	10.4093941
66.5	64.62	39.8960352	18.9647	359.659846	7.56616338
66.5	66.70	37.5296775	18.1468	329.30635	6.81043551
73.5	63.23	56.4099345	26.5081	702.679366	14.9532018
71.5	60.61	55.5538151	25.5352	652.046439	14.1857778
64.5	53.68	49.132948	21.25	451.5625	10.4407514
61.5	67.60	26.2714405	12.7954	163.722261	3.3615359
72.5	62.64	55.0420752	25.7385	662.470382	14.1670045
69.5	77.72	31.9549265	16.8305	283.26573	5.3781739
72.5	58.18	61.0674439	27.4878	755.579149	16.7860969
66.5	59.28	46.3391018	21.0576	443.422518	9.7579027
77.5	76.99	47.9479147	25.1167	630.848619	12.0429339
70.5	73.20	38.5101417	19.6012	384.207041	7.54844989
76.5	82.03	40.7284768	22.14	490.1796	9.01728477
69.5	58.57	53.8836241	24.336	592.240896	13.1131188
60.5	63.48	28.4801121	13.411	179.854921	3.81946784
69.5	64.73	46.0664003	21.9189	480.438177	10.0972482
61.5	53.91	41.8963349	18.1585	329.731122	7.60774598
54.5	55.99	23.4293893	10.3452	107.023163	2.42381718
61.4	55.99	39.0555996	17.245	297.390025	6.73513815
63	56.30	42.2924901	18.725	350.625625	7.91926877
61	62.26	30.8732032	14.39	207.0721	4.44265394
69.4	75.33	34.1529421	17.668	312.158224	6.03414181
72	63.08	53.4036433	25.065	628.254225	13.3856232
72.4	72.04	43.5198034	21.954	481.978116	9.55433763
70	72.82	37.9364704	19.252	370.639504	7.30352928

Nota: Elaboración propia (2022).

5) *Planteamiento de modelos para Colombia con base en modelos internacionales*

Según Melo (2006), se determinó que los modelos de Lamm y Voigt son los únicos modelos que se puede utilizar para predecir V_{85} en Colombia para las condiciones de curvatura horizontal y pendiente consideradas.

Así mismo, para obtener las ecuaciones de pronóstico se tuvieron que analizar las características geométricas de la vía en relación con la velocidad de operación V_{85} , así:

- a) Los efectos de la curva horizontal y vertical son independientes, de tal manera que se suman y no existe interacción entre el diseño en planta y el perfil.
- b) Los efectos de la curva horizontal y vertical son dependientes.
- c) La curva horizontal o la curva vertical influye en la velocidad de operación, en este caso, una de las curvas es despreciable.

Los datos de velocidades y geometría de la vía se someten a un análisis de regresión que consiste en determinar los términos independientes y variables regresoras para obtener las ecuaciones de pronóstico.

Tabla 13

Variables dependientes e independientes para las ecuaciones de pronóstico V_{85}

No.	Condición geométrica	Variables
1	Curva horizontal	$R, R_{n-1}, 1/\Delta, G$
2	Curva convexa o cóncava	K, L_v
3	Curva horizontal combinada con curva vertical	R, L_c, K_v, L_v

Nota: Elaboración propia (2022).

Donde:

V_{85} = Velocidad de operación [km/hora].

R = Radio de la curva horizontal [m].

R_{n-1} = Radio de la curva anterior [m].

Δ = Deflexión de la curva [$^{\circ}$].

K = Variación curvatura vertical [m].

L_c = Longitud curva horizontal [m].

L_v = longitud de curvas verticales [m].

La tabla anterior describe las variables utilizadas para desarrollar los modelos. Para este análisis se utiliza una prueba de hipótesis mediante la cual se somete a una prueba de significancia para que las variables regresoras sean diferentes de cero para estimar cuál de ellas influye en la variable de respuesta, en primera instancia, se establece los datos estadísticos de evaluación: coeficiente de determinación(r^2), el error medio cuadrático (MSE) y el coeficiente de determinación ajustado (ra^2) mediante la aplicación de diez combinaciones geométricas que se caracterizan por ser lineales (ver Anexo E).

Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió a sectorizar los datos según tramos homogéneos basados en las características físicas de la vía y de las condiciones geométricas del trazado, de tal manera que obtiene las ecuaciones y sus coeficientes de correlación para para los tramos estudiados que se describen en la tablas 14 y 15.

Tabla 14

Comparación entre las ecuaciones propuestas en esta investigación y las usadas en Colombia, para curvas horizontales

Combinación geométrica	Ecuación propuesta		Ecuación usada en Colombia	
	Modelo	R²	Modelo	R²
-9 a -4 %	$V_{85} = 33.70 + 0.2539 R$	0.77	$V_{85} = 35.43 + 0.219 R$	0.72
-4 a 0 %	$V_{85} = 81.08 - 2174.8 / R$	0.71	$V_{85} = 105.98 - 3709.90/R$	0.76
0 a 4 %	$V_{85} = 92.62 - 3118.20 / R$	0.89	$V_{85} = 94.39 - 3188.66/R$	0.79
4 a 9 %	$V_{85} = 38.19 + 0.2552 R$	0.69	$V_{85} = 37.18 + 0.1R + 0.04/R_{n-1}$	0.61

Nota: Elaboración propia (2022).

Donde:

V_{85} = Velocidad de operación [km/hora].

R = Radio de la curva horizontal [m].

R_{n-1} = Radio de la curva anterior [m].

L_H = longitud de curvas horizontales [m].

R^2 = Coeficiente de determinación.

Los resultados se muestran en la tabla 15, donde se puede observar que la variable estadísticamente más significativa fue la longitud de la entretangencia, excepto en la ecuación en las pendientes longitudinales entre -9 y -4%, en donde se ha colocado un modelo constante. Este modelo se usa cuando no existe relación estadística entre las variables analizadas, por lo que se

elige el promedio de los valores de la variable dependiente como el valor que aparece en el modelo.

Dado que no existe relación estadística, tampoco se puede calcular el valor de R^2 .

Tabla 15.

Comparación entre las ecuaciones propuestas en esta investigación para entretangencias horizontales

Ecuación propuesta		
Combinación geométrica	Modelo	R^2
-9 a -4 %	$V_{85} = 50.71245027 - 0.00601 L_H$	0.70
-4 a 0 %	$V_{85} = 50.23915048 - 0.001072488 L_H$	0.98
0 a 4 %	$V_{85} = 21.44 + 0,02 L_H$	0.87
4 a 9 %	$V_{85} = 53.69605977 + 0.013732086 L_H$	0.98

Nota: Elaboración propia (2022).

Donde:

V_{85} = Velocidad de operación [km/hora].

R = Radio de la curva horizontal [m].

R_{n-1} = Radio de la curva anterior [m].

L_H = longitud de curva horizontal [m].

R^2 = Coeficiente de determinación.

Por otro lado, según el modelo propuesto por Ebolli et al (2015) se establece la relación de predicción de velocidades para elementos consecutivos teniendo en cuenta el cálculo de la V_{85} para curvas horizontales y entretangencias descritas en las siguientes ecuaciones:

$$V_{85\ c,i} = 0.858 V_{85\ i-1} + 0.037 R - 1.288$$

Donde:

$V_{85\ c,i}$ = Velocidad de operación de la curva i (Km/h)

$V_{85\ i-1}$ = Velocidad de operación del elemento anterior (Km/h)

R = Radio de la curva i (m)

$$V_{85\ t} = 0.762 V_{85\ i-1} + 13.994 \text{Log}_{10} (L) - 10.721$$

Donde:

$V_{85\ t}$ = Velocidad de operación de la entretangencia (Km/h)

$V_{85\ i-1}$ = Velocidad de operación del elemento anterior (Km/h)

L = Longitud de la entretangencia (m)

Por lo anteriormente expuesto, se procedió a evaluar estadísticamente el modelo propuesto a través de la aplicación de χ^2 crítico, las diferencias entre V_{85} observadas y las V_{85} pronosticadas presenta valores estadísticos favorables tal como lo indica la tabla No. 16.

Tabla 16

Valores de chi-calculado y chi-crítico para los modelos de predicción entre elementos consecutivos

Ecuación propuesta			
Combinación geométrica	Modelo	Chi - calculado	Chi - crítico
Curva horizontal	$V_{85\ c,i} = 0.858 V_{85\ i-1} + 0.037 R - 1.288$	205.59	256.68
Entretangencia	$V_{85\ t} = 0.762 V_{85\ i-1} + 13.994 \text{Log}_{10} (L) - 10.721$	231.88	254.20

Nota: Elaboración propia (2022).

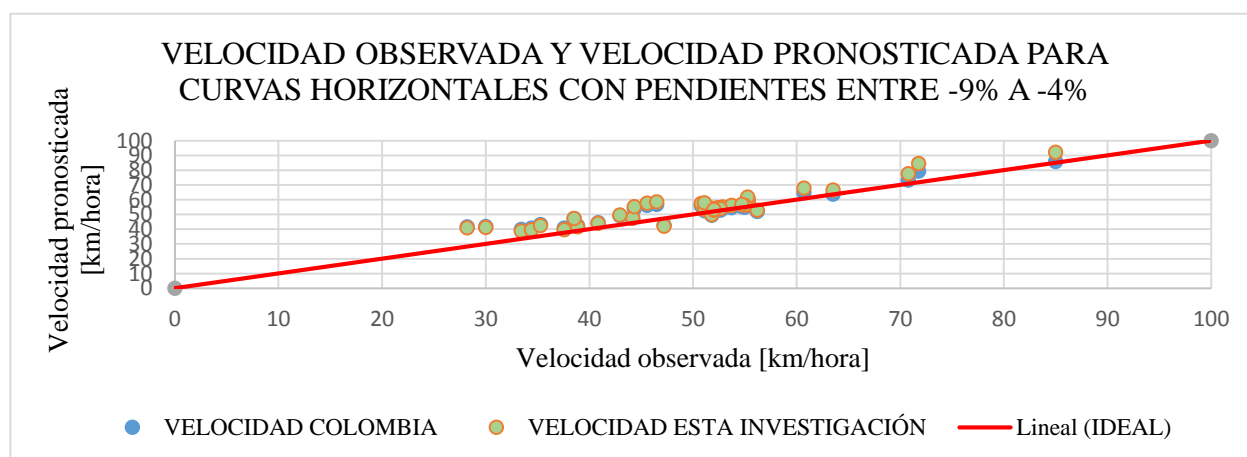
5. Análisis de Resultados

Al comparar las velocidades tomadas en campo con los modelos propuestos en la presente investigación, se encontró un mejor ajuste que con los modelos adoptados en Colombia. Sin embargo, con respecto a otros modelos se observan diferencias significativas; es importante destacar que el modelo generado por García et al. (2012) tiene un mejor ajuste al propuesto por Fitzpatrick et al. (2000), aunque ninguno aplica bien al caso estudiado en Colombia.

Para los casos estudiados usados en Colombia, se tiene que la comparación de las velocidades observadas con las velocidades pronosticadas, se ajustan mejor al modelo desarrollado en la presente investigación teniendo en cuenta la siguiente gráfica, donde las tendencias de las velocidades pronosticadas en el modelo propuesto se ajustan a recta ideal tal como se observa en la figura 4.

Figura 4.

Variación de la velocidad observada y velocidades pronosticadas para el modelo de curva horizontal con pendientes entre -9% y -4%

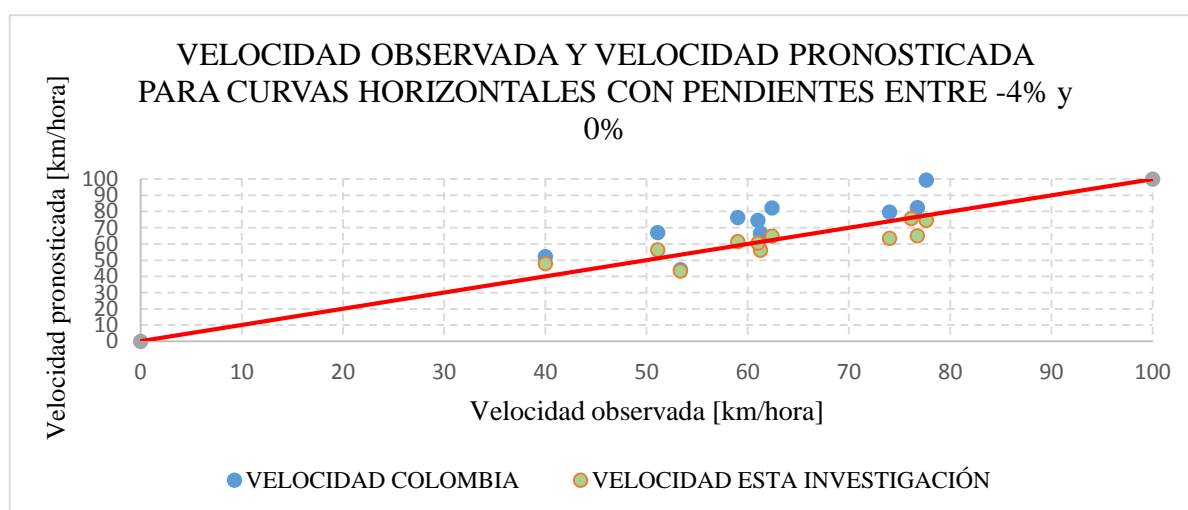


Nota: Elaboración propia (2022).

El mismo caso de análisis corresponde el segundo modelo para curvas horizontales con pendientes entre -4% y 0%, 0 y 4% y 4% y 9%, las velocidades pronosticadas en el modelo propuesto se ajustan a recta ideal tal como se observa en la figura 5, 6 y 7.

Figura 5

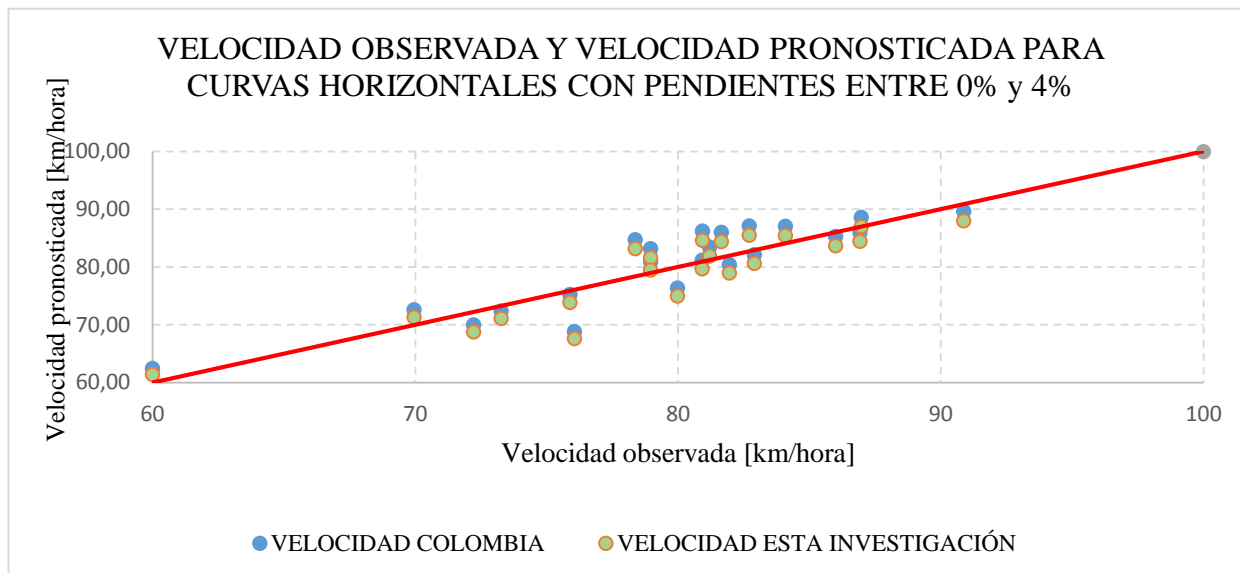
Variación de la velocidad observada y velocidades pronosticadas para el modelo de curva horizontal con pendientes entre -4% y 0%



Nota: Elaboración propia (2022).

Figura 6

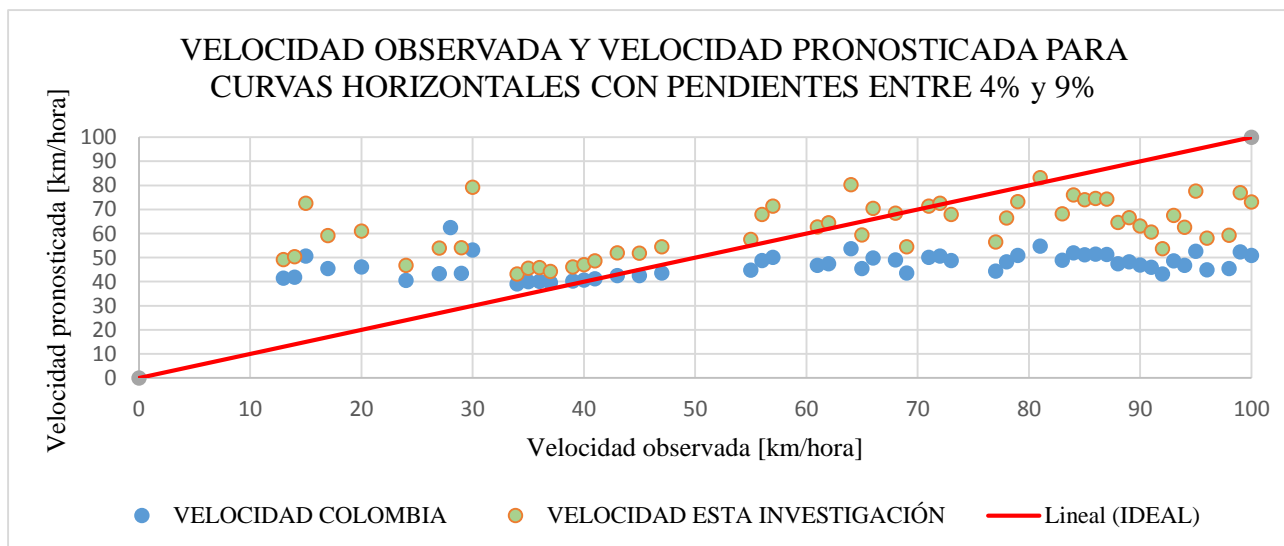
Variación de la velocidad observada y velocidades pronosticadas para el modelo de curva horizontal con pendientes entre 0% y 4%



Nota: Elaboración propia (2022).

Figura 7

Variación de la velocidad observada y velocidades pronosticadas para el modelo de curva horizontal con pendientes entre 4% y 9%



Nota: Elaboración propia (2022).

Para el caso de análisis se observa que el chi-cuadrado calculado es menor que χ^2 crítico, las diferencias entre V_{85} observadas para el modelo propuesto en esta investigación y las V_{85} pronosticadas presenta valores estadísticos favorables que los propuestos para las ecuaciones de Colombia, tal como se observa en el anexo F.

Tabla 17

Estadísticos de comparación entre los modelos existentes y modelos propuestos para curva horizontal y pendiente entre -9% y -4%

Modelo	Modelo esta investigación	Modelo propuesto para Colombia
Combinación	33.70 + 0.2539 R	$V_{85}= 35.43+0.219 R$
CHI-CUADRADO	66.29	77.93
CHI-CRITICO	95.09	95.09

Nota: Elaboración propia (2022).

Tabla 18

Estadísticos de comparación entre los modelos existentes y modelos propuestos para curva horizontal y pendiente entre -4% y -0%

Modelo	Modelo esta investigación	Modelo propuesto para Colombia
Combinación	81.06 – 2174.80 / R	105.98-3709.90/R
CHI-CUADRADO	7.71	32.15
CHI-CRITICO	19.67	19.67

Nota: Elaboración propia (2022).

Tabla 19

Estadísticos de comparación entre los modelos existentes y modelos propuestos para curva horizontal y pendiente entre 0% y 4%

Modelo	Modelo esta investigación	Modelo propuesto para Colombia
Combinación	92.62 – 3188.20 / R	94.39-3188.66/R
CHI-CUADRADO	5.57	6.13
CHI-CRITICO	5.57	38.89

Nota: Elaboración propia (2022).

Tabla 20

Estadísticos de comparación entre los modelos existentes y modelos propuestos para curva horizontal y pendiente entre 4% y 9%

Modelo	Modelo esta investigación	Modelo propuesto para Colombia
Combinación	38.19 + 0.2555 R	37.18+0.1 R+0.4/R _n .
CHI-CUADRADO	72.14	461.52
CHI-CRITICO	87.11	87.11

Nota: Elaboración propia (2022).

5.1 Análisis del ajuste de las ecuaciones de predicción de velocidad de operación en Colombia.

En el caso de la tabla 8 utilizando las ecuaciones, por ejemplo, para una curva de radio 200 m, las velocidades de operación en el centro de la curva serían: 89.29 km/h (4 a 9%), 76.68 km/h (0 a 4%), 70.19 km/h (-4 a 0%), 84.48 km/h (-9 a -4%). El valor más alto de velocidad está entre 4 y 9%, luego descende con el aumento de la pendiente, lo cual está tiene sentido, dado

que las altas pendientes llevan a una reducción mayor de la velocidad. Por otra parte, los valores más bajos se encuentran entre las pendientes -4 a +4% y luego aumenta con el descenso de la pendiente, lo cual también tiene sentido dado que las pendientes descendentes favorecen el movimiento del vehículo, sin embargo, en pendientes negativas más bajas (-9 a -4%) existe una reducción de esa velocidad, lo cual está relacionado con la percepción del riesgo del conductor, por lo que al notar que el vehículo sigue ganando velocidad, éste tiende a reducirla.

Si se usa las ecuaciones para entre-tangencias cortas de la tabla 9, por ejemplo, para una longitud de 30 m, las velocidades de operación serían: 70,4 km/h (4 a 9%), 74,9 km/h (0 a 4%), 75,2 km/h (-4 a 0%), 68,2 km/h (-9 a -4%). Nuevamente se observa que las mayores velocidades en las entretangencias se encuentran en las pendientes entre -4% a 4%, luego, en pendientes ascendentes, se ve una disminución de la velocidad al igual que en pendientes descendentes, lo cual es coherente con lo observado en las ecuaciones de las curvas horizontales. Esta misma tendencia también se puede observar cuando se utilizan estas ecuaciones en longitudes más largas, por ejemplo, en una entre-tangencia de 250 m: 69,7 km/h (4 a 9%), 83,7 km/h (0 a 4%), 86,2 km/h (-4 a 0%), 83,6 km/h (-9 a -4%).

En resumen, las ecuaciones mostradas en las tablas 14 y 15 muestran un alto grado de coherencia con respecto a situaciones reales que se dan en la circulación de curvas y entretangencias horizontales.

Es preciso resaltar que las variables chi-cuadrado y coeficientes de correlación para el modelo propuesto de elementos consecutivos muestra una gran favorabilidad estadística lo que indica aplicabilidad en el ámbito colombiano.

En este sentido, en la siguiente tabla se resumen las combinaciones geométricas del trazado en planta y perfil y modelos para la predicción de velocidades recomendados en la presente investigación:

Tabla 21

Modelos de predicción de velocidades recomendado en esta investigación

Combinación geométrica	Ecuación propuesta	
	Modelo	R ²
-9 a -4 %	$V_{85} = 33.70 + 0.2539 R$	0.77
-4 a 0 %	$V_{85} = 81.08 - 2174.8 / R$	0.71
0 a 4 %	$V_{85} = 92.62 - 3118.20 / R$	0.89
4 a 9 %	$V_{85} = 38.19 + 0.2552 R$	0.69
Curva horizontal combinada con curva cóncava	$V_{85} = 102.70 - (730.39/R) - (1498.90/L_H)$	0.84
Curva horizontal combinada con curva convexa	$V_{85} = 93.79 - (867.61/R) - (935.62/L_H)$	0.66
Curva horizontal para elementos consecutivos	$V_{85\ c,i} = 0.858 V_{85\ i-1} + 0.037 R - 1.288$	0.94
Entretangencia para elementos consecutivos	$V_{85\ t} = 0.762 V_{85\ i-1} + 13.994 \log_{10}(L) - 10.721$	0.91

Nota: Elaboración propia (2022).

Donde:

V_{85} = Velocidad de operación [km/hora].

R = Radio de la curva horizontal [m].

R_{n-1} = Radio de la curva anterior [m].

L_H = longitud de curva horizontal [m].

$V_{85 c,ij}$ = Velocidad de operación de la curva i (Km/h)

$V_{85 i-1}$ = Velocidad de operación del elemento anterior (Km/h)

R = Radio de la curva i (m)

$V_{85 t}$ = Velocidad de operación de la entretangencia (Km/h)

L = Longitud de la entretangencia (m)

R^2 = Coeficiente de determinación

6. Recomendaciones

Para el caso específico de Colombia, es necesaria la búsqueda y generación de parámetros específicos para cada tipo de terreno, es decir, no es recomendable seguir manuales o estándares de velocidades establecidos internacionalmente, debido a las diferencias morfológicas que particularizan a Colombia.

Es necesario generar modelos matemáticos que pronostiquen coherentemente las velocidades de operación, ya sea para carreteras bidireccionales o unidireccionales, para aportar en la consistencia vial y en la seguridad al conductor.

Se debe incrementar el número de datos en campo V_{85} para las ecuaciones propuestas en tramos viales fuera del sector occidental de Colombia, tema que ha sido abordado en esta investigación y en la revisión bibliográfica aplicada a Colombia.

Proponer ajuste al Manual de diseño geométrico vigente donde se contemple la evaluación de consistencia a través de métodos aritméticos propuestos en la revisión documental y análisis de datos aplicados en esta investigación y otros estudios realizados en Colombia.

7. Conclusiones

Se lograron calibrar y validar cuatro ecuaciones para predecir la velocidad de operación en curvas horizontales, y dos para predecirla en las entretangencias horizontales y curvas horizontales como elementos consecutivos, que se resumen en la tabla 20. En estas ecuaciones, el radio de curva circular horizontal y la longitud de la entretangencia, respectivamente, fueron estadísticamente favorables, lo cual es coherente con la literatura previa. Tanto en las curvas como en las rectas, la pendiente longitudinal de la carretera fue estadísticamente significativa para la predicción de velocidades operación.

Estas ecuaciones permitirán la elaboración de perfiles de velocidad en carreteras rurales de dos carriles en topografías montañosas que se puede utilizar en los análisis de consistencia del diseño, lo cual es una herramienta para hacer modificaciones al diseño antes de que la carretera se construya, y con ello reducir la probabilidad de riesgos y consecuencias que constituyan la disminución de accidentes, occisos y lesionados por siniestros de tránsito; también permitirá ahorros por demanda prehospitolaria y hospitalaria, por ausentismo al trabajo, por pérdida de productividad, entre otras variables.

Este estudio tiene algunas limitaciones. En primer lugar, los datos sólo fueron recolectados en una carretera montañosa, cuando existen diversos entornos (paisaje, vegetación, etc.) que también pueden afectar a la velocidad de operación. Además, es posible que la presencia del equipo de recolección influyera sobre el comportamiento del conductor. A pesar de estas limitaciones, el presente estudio ayuda a entender los efectos que el radio de curva circular, la entretangencia y especialmente la pendiente longitudinal sobre la velocidad de operación de

vehículos livianos. También, las ecuaciones fueron validadas y podrán ser utilizadas en futuros proyectos de carreteras montañosas.

A pesar de que la calibración de ecuaciones de velocidad en carreteras es un tema estudiado a profundidad internacionalmente, la realidad colombiana tradicionalmente adopta parámetros de diseño de otros países que no son ajustados a la realidad comportamental de los usuarios de las vías. Esta investigación da el inicio a futuras calibraciones en otras carreteras con diversas topografías, con el fin de mejorar los diseños geométricos y garantizar la consistencia vial de las carreteras de Colombia.

Referencias

- AASHTO. (2011). *American Association of State Highway and Transportation Officials. Highwa Safety Manual*. ANSV, Agencia Nacional.:
- https://ansv.gov.co/sites/default/files/2020-09/22.08.02%20-%20Metodolog%C3%ADa%20Para%20El%20Dise%C3%B1o%20De%20Zonas%20Laterales_compressed%20%281%29_0.pdf
- ANSV, Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2021). *Observatorio Agencia Nacional de Seguridad Vial*. <https://ansv.gov.co/observatorio/estad%C3%ADsticas>
- ANSV, Agencia Nacional de Seguridad Vial. Observatorio Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2020). <https://ansv.gov.co/observatorio/>.
- Aquino Duran, J. (2019). *Evaluación de la seguridad vial mediante el análisis de la consistencia del y trazado en caminos vecinales de la Provincia de Pachitea-2019*. “[Tesis de titulación, Universidad Nacional Hermilio Valdizan]
- <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6573>
- Ardila Arrieta, N. (2010). *Desarrollo de un método para evaluar consistencia del diseño geométrico de caracteres en Colombia, basado en el perfil de velocidades Fase II*. “[Tesis de maestría Universidad del Cauca]
- <http://www.unicauca.edu.co/ai/investigacion/grupo-investigacion/publicaciones/tesis-sm>
- Arias Meza, J. I. (2018). *Análisis de consistencia del diseño geométrico en una carretera de dos carriles en terreno llano desde Km 12+ 938 vía la Fortuna hasta el Km 19+ 473 vía la Lizama en ambos sentidos en el departamento de Santander*. [Tesis de titulación, Universidad Pontificia Bolivariana].Colombia

https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5622/digital_37579.pdf?sequence=1

Castro, M. (2006). *Desarrollo de un sistema para el análisis de la consistencia del trazado de carreteras*. [Tesis de titulación, Universidad Politécnica de Madrid]

Contreras, C; Contreras, N. y Rodríguez, E. (2018). *Programa operacional de cumplimiento de seguridad vial para los colaboradores de la empresa Zucarino por el primer semestre de 2018*. [Trabajo de investigación, Corporación Universitaria Minuto de Dios]:
<https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/8227/1/Entrega%20Final.pdf>

Delgado Martínez, D. E. (2021). Modelos de velocidad de operación de carreteras rurales en terreno llano en Costa Rica. *Enfoque UTE*, 12(2), 52-68.

Fitzpatrick, K. E. (1999). *Speed prediction for two-lane rural highways*.

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12674/ChalaGomezJulianDavid2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Flórez, E. P., González, E. G. M., y Petit, A. Q. (2021). *Influencia de parámetros geométricos en la velocidad de los vehículos en carretera dos carriles de Caso de estudio en Pamplona-Colombia*. *Estudios de Transporte*, 22(1), 1-21.:

<https://docplayer.es/163702414-Influencia-de-parametros-geometricos-en-la-velocidad-de-los-vehiculos-en-carretera-dos-carriles-de-montana-caso-de-estudio-en-pamplona-colombia.html>

Gallo, A. y Castillo, G. (2018). *Análisis de las condiciones de seguridad vial ligadas a temas de infraestructura en las vías rápidas de Bogotá*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia.] Repositorio institucional UCC.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16847/1/AN%C3%81LISIS%20CONDICIONES%20SEG%20VIAL%20INFRAESTRUCTURA.pdf>

García-Ramírez, Y., y Alverca, F. (2019). Calibración de ecuaciones de velocidades de operación en carreteras rurales montañosas de dos carriles: Caso de estudio ecuatoriano. *Revista Politécnica*, 43(2), 37-44.

https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/1012

Garrido Murillo, V. J., y Montoya Correa, D. S. (2020). *Criterios de diseño, seguridad y operación geométrico en el diseño vertical de carreteras. Análisis comparativo entre los manuales del INVIAS (Colombia), Ministerio de Fomento (España) y AASHTO (EE.AASHTO (EE. UU.))*. [Tesis de titulación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24672>

Geometric Design Laboratory. (2001). *IHDMS Roadway Model*. Washington: Federal Highway Administration FHWA: <https://www.fhwa.dot.gov/pressroom/lighting.cfm>

Gibreel, G. M.-D. (1999). State of the art of highway geometric design consistency. *Journal of transportation*.

Gibreel, GM, Easa, SM, Hassan, Y. y El-Dimeery, IA . (1999). Estado del arte de la consistencia del diseño geométrico de carreteras. *Revista de ingeniería de transporte-asce*, 125 , 305.

Guaranga Allauca, O. M. (2022). *Análisis de la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas en la carretera Penipe–Baños*. [Tesis de Bachiller, Universidad Nacional de Chimborazo] <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7219>

Gutiérrez, J. (24 de septiembre de 2021). *¿Qué países tienen las mejores y las peores carreteras del mundo?* Tercera., Editor <https://www.latercera.com/mtonline/noticia/que-paises->

tienen-las-mejores-y-las-peores-carreteras--del-
 mundo/46TFWQ2WJZAV7PBVMU3DSXWWR4/

- INVIAS. (2021). *Manual de Capacidad y Niveles de dos carriles*. Tercera versión. (En boletín):
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/11026-manual-de-capacidad-y-niveles-de-servicio-para-carreteras-de-dos-etarriles-2020/f>
- Islam, P. (1994). Evaluation of design consistency of two-lane highways. *Journal of Transportation engineering*,.
- Kanellaidis, G. G. (1990). Driver's speed behavior on rural road curves. *Journal of Traffic Engineering and Control*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042811010020>
- Krammes, R. (1995). *Horizontal alignment design consistency for rural two-lanes highways*. LAMM et al. safety module for highway geometric design. Washington: Transportation Research Board, 1995.
- Lamm, R. P. (1995). *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. Edición. McGraw-Hill, New York: :/Users/SONY/Downloads/85-Texto%20artículo%20(manuscrito%20con%20figuras%20y%20tablas%20incluidas%20en%20el%20texto)-329-1-10-20151223%20(2).pdf
- Mcfadden y Elefteriadou, J. (2000). *Evaluating horizontal alignment design consistency of two-lane rural highways*. Washington: Transportation Research Board,.
https://www.researchgate.net/publication/245559464_Evaluating_Horizontal_Alignment_Design_Consi
- Melo Benavidez, J. A. (2006). *Desarrollo de un método para evaluar la consistencia del diseño geométrico de carreteras en Colombia basado en el perfil de velocidad de operación fase*

I. Popayán: Universidad del Cauca, Editor

positorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/506/DESARROLLO%20DE%20UN%20MÉTODO%20PARA%20EVALUAR%20LA%20CONSISTENCIA%20DEL%20DISEÑO%20GEOMÉTRICO%20DE%20CARRETERAS%20EN%20COLOMBIA%20BASADO%20EN%20EL%20PERFIL%20DE%20VELOCIDADES%20DE%20OPERACIÓN

Mora Ascencio, R. E. (2018). *Selección de modelo de predicción de velocidades de operación para carreteras bidireccionales en Colombia.*

<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/759>

Morrall, J.F. y Talarico, R. J. (1994). *Side friction demanded and margins of safety on horizontal curves.* Washington: Transportation Research Board.f:

<https://core.ac.uk/download/pdf/302922277.pdf>

Mossaghi y Hassan, Y. (2005). Modelling operating speed and speed differential on two-lane rural roads. *Journal of Transportation engineering.*

Murgas Meza, J. A y Almenares Gómez, S. A. (2021). *Análisis comparativo de la malla vial rural de Colombia y la de los países suramericanos fronterizos.* [Tesis de titulación, Universidad la Salle]

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1924&context=ing_civil

Organización Mundial de la Salud OMS . (2022). *Traumatismos causados por el tránsito.*

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

Ottesen, Jeffery & Krammes, R. . (2000). *Speed profile model for a design consistency evaluation procedure in the United States.* Washington: Transportation Research Board.

- Palacio, J. A. (2019). *Medidas para la disminución de la accidentalidad en la avenida Las Palmas a través de modelo de predicción de velocidad de operación y la consistencia del trazado*. [Tesis de titulación, Universiada EIA, Antioquia]
https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/2352/PalacioJairo_2019_MedidasDisminucionAccidentalidad.pdf?sequence=1
- Polus, A. y Mattar-Habib, C. (2004). New consistency model for rural highways and its relationship to safety. *Journal of Transportation Engineering*, 130(3), 286 – 293.
- Robertson, D. H. (1994). Estudios de velocidad puntual. *En Manual de Estudios de Ingeniería del Transporte* <https://www.redalyc.org/journal/5722/572266265004/html/>
- Sánchez Ordoñez, J. F. (2011). *Metodología para la evaluación de la consistencia del trazado de carreteras interurbanas de dos carriles*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://1library.co/document/yr8w60vz-metodologia-evaluacion-consistencia-trazado-carreteras-interurbanas-dos-carriles.html>
- Voigt, A. (1996). Evaluation of alternative horizontal curve design approaches on rural two-lane highways. Texas: Transportation Institute. <https://tti.tamu.edu/tti-publication/evaluation-of-alternative-horizontal-curve-design-approaches-on-rural-two-lane-highways/>

ANEXOS

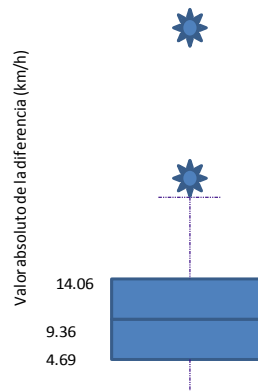
Anexo A. Validación IHSDM Tramo Pasto Ipiales km 0 a km 20

VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE PRONOSTICO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE IHSDM

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
INSTITUTO DE POSGRADO EN INGENIERIA CIVIL
MAESTRIA DE INGENIERIA EN VIAS TERRESTRES

VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE PRONOSTICO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE IHSDM

	V85	V85 predic	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
1						
2	61.6667	54.33383	13.495904	7.33284076	53.7705536	0.989633118
3	60.7143	57.63771	5.3377878	3.07657851	9.46533535	0.164221233
4	71.125	57.47678	23.745624	13.64822	186.273909	3.240854988
5	68.7097	58.13551	18.188835	10.5741712	111.813097	1.923318541
6	76.1667	46.5671	63.563251	29.5995643	876.134205	18.81444538
7	71.7742	56.42204	27.209499	15.3521541	235.688637	4.177244203
8	52.0313	58.69801	11.357727	6.6667598	44.4456862	0.757192388
9	62.3611	49.50514	25.968972	12.8559749	165.276091	3.338564513
10	68.5714	54.6333	25.512148	13.9381284	194.271422	3.55591593
11	68.5714	58.31108	17.595882	10.2603486	105.274753	1.805398782
12	73.125	54.08396	35.206446	19.04104	362.561204	6.703673405
13	55.2632	58.08452	4.8573411	2.82136331	7.9600909	0.137043239
14	55	58.48443	5.9578747	3.484429	12.1412455	0.207597914
15	50.407	57.67609	12.603332	7.26910826	52.8399348	0.916149819
16	77.3077	58.10584	33.046333	19.2018501	368.711048	6.345507329
17	54.71	58.44994	6.4055873	3.74406225	14.0180021	0.239829177



20.628284 11.1791621 175.040326 **53.31658996**

χ^2 Crítico = **26.2962276**

Diagrama de caja del valor absoluto de la diferencia de las velocidades de campo y las pronosticadas por ecuaciones de IHSDM

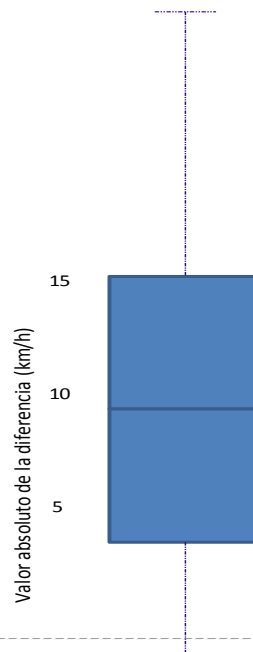


Anexo B. Validación IHSDM Tramo Pasto Ipiales km 38 a km 53

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 INSTITUTO DE POSGRADO EN INGENIERIA CIVIL
 MAESTRIA DE INGENIERIA EN VIAS TERRESTRES

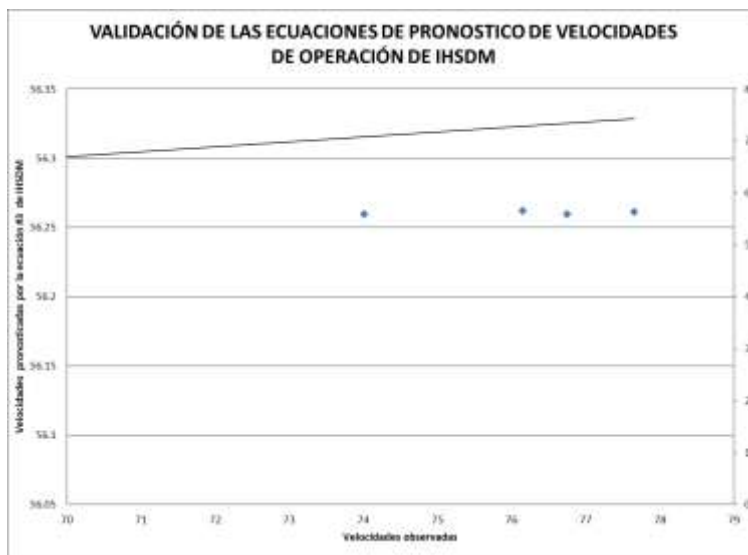
VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE PRONOSTICO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE IHSDM

	V85	V85 predic	MAPE	MAE	MSE	chi-cuadrado
1	50.25	55.893961	10.0976217	5.64396069	31.8542923	0.569905798
2	50.98	55.908674	8.81558008	4.92867392	24.29182664	0.434491197
3	51.15	55.865965	8.44157009	4.71596455	22.24032166	0.398101453
4	51.1	55.848639	8.50269357	4.7486386	22.54956859	0.403762189
5	50.54	55.915396	9.61344598	5.37539643	28.89488677	0.516760832
6	50.23	55.903458	10.148671	5.67345802	32.18812591	0.575780588
7	50.78	58.662651	13.4372569	7.88265116	62.13618923	1.059212088
8	50.78	55.940627	9.22518665	5.16062728	26.63207395	0.476077499
9	40	55.993263	28.5628345	15.9932631	255.7844638	4.568129268
10	40	55.823637	28.3457646	15.8236366	250.3874753	4.485330776
11	40	55.942897	28.4985184	15.9428967	254.175956	4.543489359
12	74.01	55.892321	32.4182412	18.1193073	328.3092976	5.873960754
13	76.75	55.90854	37.2777744	20.8414596	434.3664372	7.769232283
14	76.15	56.577396	34.6011852	19.5764497	383.2373836	6.773683623
15	61.25	55.847981	9.67272098	5.40201934	29.18181299	0.522522259
16	60.71	55.902601	8.6072649	4.81168493	23.15231189	0.414154468
17	53.35	55.815055	4.40991441	2.46139614	6.058470966	0.108545463
18	77.66	56.304234	37.9225766	21.3520162	455.9085948	8.09723468
19	60.33	56.0857	7.57346956	4.24763341	18.04238959	0.321693223
		168.086145	94.3505668	1344.695939		47.9120678



χ^2 Crítico = 30.1435272

Diagrama de caja del valor absoluto de la diferencia de las velocidades de campo y las pronosticadas por ecuaciones de IHSDM



Anexo C. Validación IHSDM Tramo Pasto Ipiales km 53 a km 68

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 INSTITUTO DE POSGRADO EN INGENIERIA CIVIL
 MAESTRIA DE INGENIERIA EN VIAS TERRESTRES

VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE PRONOSTICO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE IHSDM

V85	V85 predic	mape	mae	mse	chi-cuadrado
51.81	52.232806	0.80946398	0.42280575	0.1788	0.00342246
50.22	54.72814	8.23733451	4.50813996	20.323	0.37135057
51.875	50.901626	1.91226514	0.97337405	0.9475	0.01861349
59.36047	55.402521	7.14397901	3.95794445	15.665	0.28275472

4.52576066 2.46556605 9.2787 **0.67614124**

χ^2 Crítico = **0.48567**

Valor absoluto de la
diferencia (km/h)

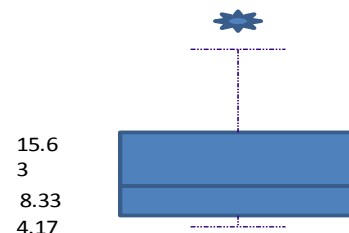


Diagrama de caja del valor absoluto de la diferencia de las velocidades de campo y las pronosticadas por ecuaciones de IHSDM



Anexo D. Validación IHSDM Tramo Pasto Ipiales km 53 a km 68

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 INSTITUTO DE POSGRADO EN INGENIERIA CIVIL
 MAESTRIA DE INGENIERIA EN VIAS TERRESTRES

VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE PRONOSTICO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE IHSDM

V85	85 pred	K	mae	mse	chi-cuadrado
40	44.681	15	4.68	21.9162	0.4904982
40	46.258	61.9	6.26	39.1622	0.8466042
40	48.177	69.65	8.18	66.8632	1.3878663
40	46.367	105.49	6.37	40.5437	0.87440064
40	44.426	125.5	4.43	19.5924	0.44100838
40.50	41.779	107.47	1.28	1.63705	0.03918303
40.63	42.023	144	1.39	1.94175	0.04620622
42.15	42.15	160.76	0	4.8E-17	1.146E-18
45	43.353	12.214	1.65	2.71137	0.06254114
47.23	42.513	143	4.72	22.245	0.52324851
49.95	43.237	59.96	6.71	45.065	1.04227942
50	42.717	10	7.28	53.0448	1.24177823
50	42.748	11.207	7.25	52.5925	1.23029454
50	49.56	62.57	0.44	0.19355	0.00390531
50	59.52	64.2	9.52	90.6255	1.52261222
50	44.348	114.63	5.65	31.9449	0.72032196
50.46	44.409	163.73	6.05	36.612	0.82442344
50.57	45.196	572.97	5.37	28.8753	0.63888428
50.78	51.461	892	0.68	0.46332	0.0090033
51.11	45.305	252.79	5.81	33.7032	0.74392585
52.39	43.048	275	9.34	87.2646	2.02712504
55	43.438	33.6	11.6	133.688	3.07769952
55.52	42.531	207.11	13	168.808	3.96909208
55.67	44.162	77.13	11.5	132.349	2.99686986
63.50	42.573	70.5	20.9	437.943	10.2869009
69.72	43.881	731.44	25.8	667.794	15.218455
70.83	47.463	156.63	23.4	546.177	11.5074515
71.50	45.077	217	26.4	698.194	15.4890509
73.85	45.154	94.49	28.7	823.26	18.2324187
75.00	64.037	134.32	11	120.184	1.87679241
76.67	44.642	109.07	32	1025.58	22.9733004
85.53	55.765	296.37	29.8	885.74	15.8834636
87.38	48.039	572.97	39.3	1547.34	32.2101644
		11.4	238.304		168.43777

χ^2 Crítico = 25

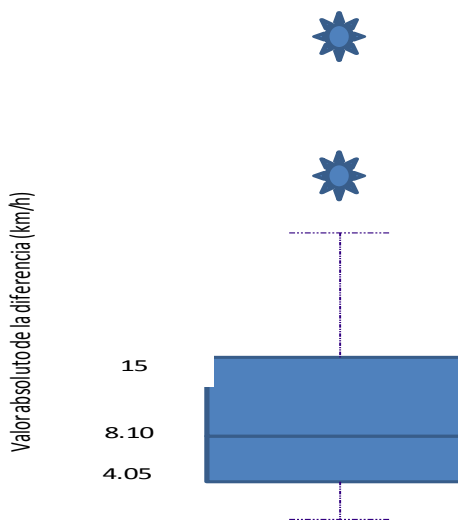
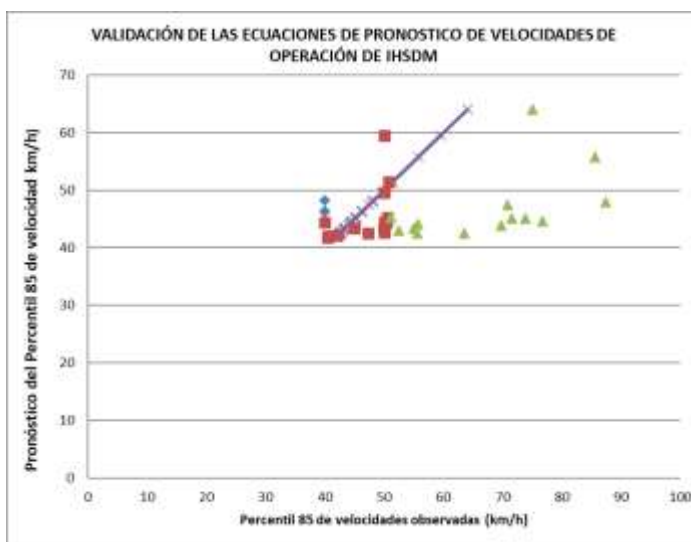


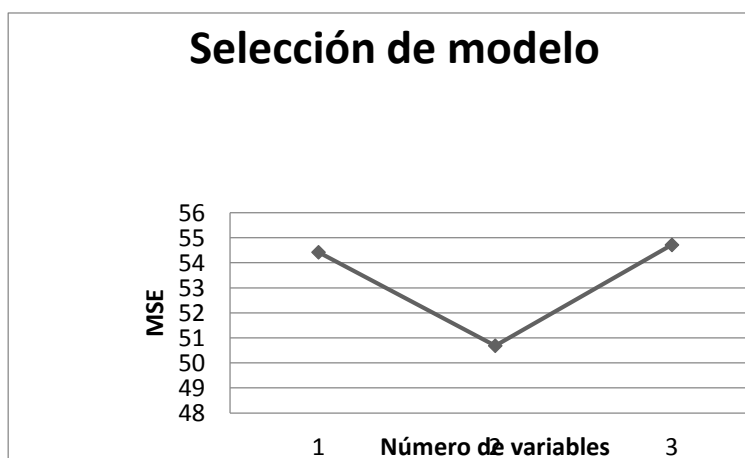
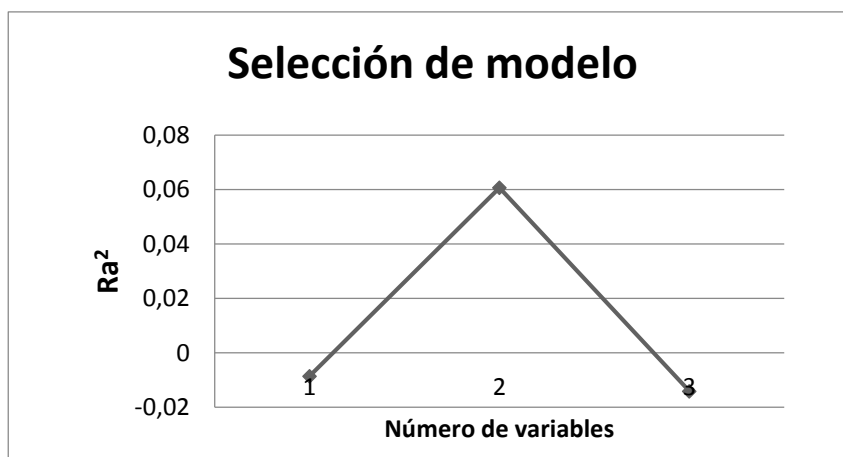
Diagrama de caja del valor absoluto de la diferencia de las velocidades de campo y las pronosticadas por ecuaciones de IHSDM



Anexo E. Desarrollo de un método para evaluar la consistencia del diseño geométrico de las carreteras en Colombia basado en el perfil de velocidades de operación

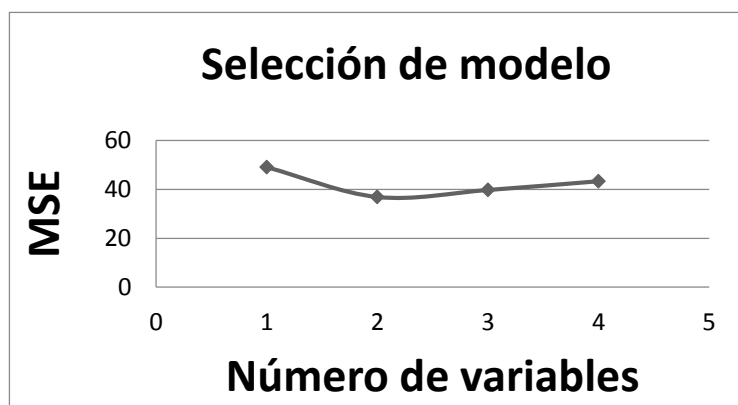
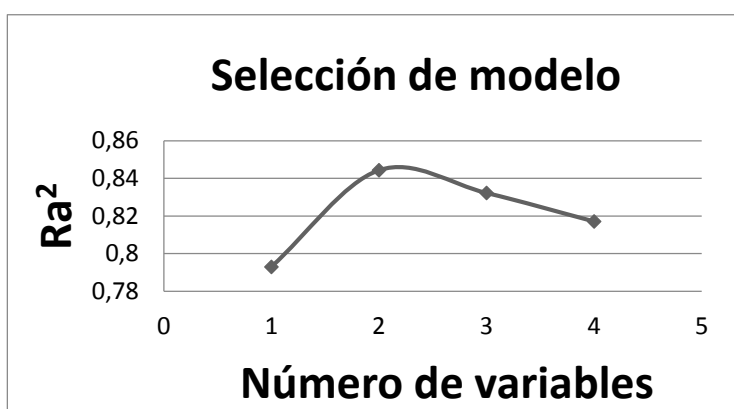
▪ **Modelo para curva vertical convexa en recta**

Combinación	SSE	r^2	ra^2	CCP	MSE
K	654.7425	0.066518	-0.011272	1.966599513	54.5618731
LV	652.9967	0.069007	-0.008575	1.934691471	54.4163879
1/K	679.304	0.0315	-0.049208	2.415506298	56.6086697
K,Lv	557.4884	0.205176	0.060662	2.189105862	50.6807636
K, 1/K	652.5791	0.069603	-0.09956	3.927060221	59.3253743
Lv, 1/K	558.7885	0.203322	0.058472	2.212867488	50.7989543
K,Lv,1/K	547.1416	0.219927	-0.014094	4	54.7141631



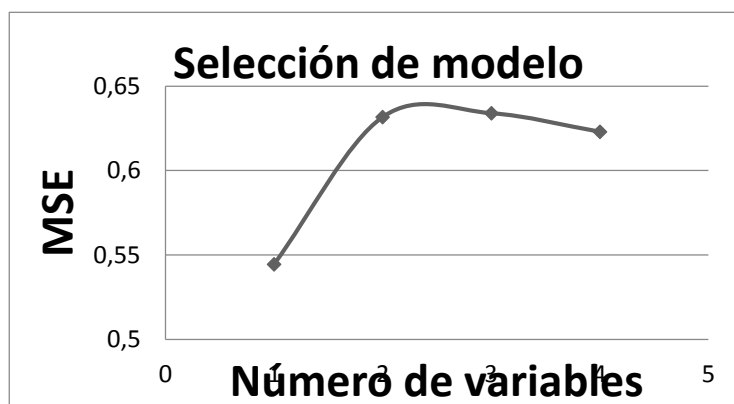
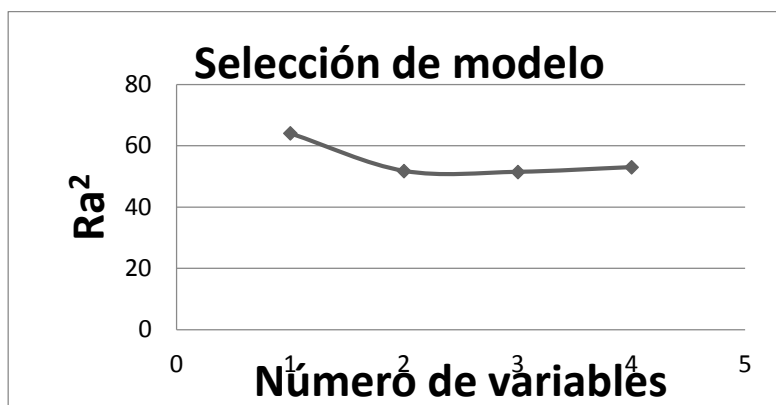
▪ *Modelo para curva horizontal con curva vertical cóncava*

Combinación	SSE	r^2	ra^2	CCP	MSE
1/R	886.973	0.73265	0.712083	9.462496	68.22867
1/LH	2054.16	0.38083	0.333206	36.38966	158.0127
1/(R*LH)	637.932	0.80771	0.792923	3.717129	49.07173
(R*LH)	1338.15	0.59666	0.565629	19.87113	102.9345
1/R-1/LH	524.97	0.84176	0.815391	3.111083	43.74751
1/R-1/(R*LH)	637.868	0.80773	0.77569	5.71564	53.15566
1/R-(R*LH)	602.23	0.81848	0.788222	4.89347	50.18583
1/LH-1/(R*LH)	597.321	0.81996	0.789948	4.780228	49.77678
1/LH-(R*LH)	1180.37	0.64421	0.584916	18.23113	98.36397
1/(R*LH)-(R*LH)	442.761	0.86654	0.8443	1.214517	36.89676
1/R- 1/LH-1/(R*LH)	522.999	0.84236	0.799364	5.065614	47.54539
1/R-1/LH-(R*LH)	443.544	0.86631	0.829845	3.232589	40.32222
1/R-1/(R*LH)-(R*LH)	441.543	0.86691	0.830613	3.18642	40.14029
1/LH-1/(R*LH)-(R*LH)	437.315	0.86818	0.832235	3.088882	39.75593
1/R_1/LH-1/(R*LH)-(R*LH)	433.463	0.86935	0.817084	5	43.34626



▪ *Modelo para curva horizontal con curva vertical convexa*

Combinación	SSE	r^2	ra^2	CCP	MSE
1/R	3013.434576	0.308899	0.285862	28.82814	100.4478
1/LH	1921.812619	0.559251	0.54456	8.242044	64.06042
1/(R*LH)	2031.577661	0.534078	0.518547	10.31202	67.71926
(R*LH)	2853.250221	0.345635	0.323823	25.80734	95.10834
1/R-1/LH	1502.312432	0.65546	0.631698	2.331	51.80388
1/R-1/(R*LH)	2023.211066	0.535997	0.503996	12.15424	69.7659
1/R-(R*LH)	2709.171466	0.378678	0.335829	25.09026	93.41971
1/LH-1/(R*LH)	1694.920421	0.611287	0.584479	5.963251	58.44553
1/LH-(R*LH)	1560.522984	0.64211	0.617427	3.428749	53.81114
1/(R*LH)-(R*LH)	1880.524273	0.56872	0.538977	9.463417	64.84566
1/R- 1/LH-1/(R*LH)	1441.651173	0.669372	0.633947	3.187034	51.48754
1/R-1/LH-(R*LH)	1457.093001	0.66583	0.630026	3.47824	52.03904
1/R-1/(R*LH)-(R*LH)	1756.120552	0.597251	0.554099	9.117379	62.71859
1/LH-1/(R*LH)-(R*LH)	1509.716258	0.653762	0.616665	4.470623	53.91844
1/R_1/LH-1/(R*LH)-(R*LH)	1431.733302	0.671646	0.623001	5	53.02716



Anexo F. Comparación de validación de modelos para estimar velocidad de operación V_{85} para el modelo propuesto en esta investigación y las ecuaciones de Colombia

▪ **Modelo para combinación geométrica de curva horizontal y pendiente entre -9% y -4%**

RADIO	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
80.69	51.92	53.10111	54.187191	4.18399802	2.267191	5.14015503	0.09485923	2.22426612	1.18111	1.39502083	0.02627103
93.78	50.8	55.96782	57.510742	11.6686757	6.710742	45.0340582	0.78305472	9.233556	5.16782	26.7063636	0.47717355
84.39	52.85	53.91141	55.126621	4.12980328	2.276621	5.18300318	0.09401997	1.96880401	1.06141	1.12659119	0.02089708
79	51.5	52.731	53.7581	4.20048328	2.2581	5.09901561	0.09485111	2.33449015	1.231	1.515361	0.02873757
82.57	52.39	53.51283	54.664523	4.16087597	2.274523	5.17345488	0.09464008	2.09824448	1.12283	1.26074721	0.02355972
87.92	53.73	54.68448	56.022888	4.09277008	2.292888	5.25733538	0.09384263	1.74543124	0.95448	0.91103207	0.01665979
77.6	51.15	52.4244	53.40264	4.21821843	2.25264	5.07438697	0.09502128	2.43092911	1.2744	1.62409536	0.03097976
54.36	44.18	47.33484	47.502004	6.99339758	3.322004	11.0357106	0.23232095	6.66494278	3.15484	9.95301543	0.21026828
95.21	51.11	56.28099	57.873819	11.6871828	6.763819	45.7492475	0.79049989	9.18780924	5.17099	26.7391376	0.4751007
19.8	33.435738	39.7662	38.72722	13.6634698	5.291482	27.9997818	0.72300004	15.9192027	6.330462	40.0747491	1.00775908
23.77	34.427274	40.63563	39.735203	13.3582531	5.307929	28.1741103	0.70904659	15.2781094	6.208356	38.5436842	0.94851942
23.77	37.573494	40.63563	39.735203	5.44028679	2.161709	4.6729858	0.11760317	7.53559376	3.062136	9.37667688	0.23075013
29.00	30	41.781	41.0631	26.9417068	11.0631	122.392182	2.98058796	28.1970274	11.781	138.791961	3.32189179
28.36	28.211106	41.64084	40.900604	31.0252093	12.689498	161.023359	3.93694331	32.2513523	13.429734	180.357755	4.33127082
30.79	38.879652	42.17301	41.517581	6.35376372	2.637929	6.95866941	0.16760778	7.80916041	3.293358	10.8462069	0.25718361
34.81	35.285334	43.05339	42.538259	17.050357	7.252925	52.6049211	1.2366496	18.042844	7.768056	60.342694	1.40157823
32.72	47.202834	42.59568	42.007608	12.3673455	5.195226	26.9903732	0.64251155	10.8160123	4.607154	21.225868	0.49831034

RADIO	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
40.66	40.85319	44.33454	44.023574	7.20155978	3.170384	10.0513347	0.2283171	7.85245544	3.48135	12.1197978	0.27337146
53.6	38.51736	47.1684	47.30904	18.5835096	8.79168	77.2936372	1.6338027	18.3407536	8.65104	74.8404931	1.58666593
62.74	42.95067	49.17006	49.629686	13.4577035	6.679016	44.6092547	0.89884217	12.6487338	6.21939	38.680812	0.78667409
63.7	51.807756	49.3803	49.87343	3.87846996	1.934326	3.74161707	0.07502225	4.91583891	2.427456	5.89254263	0.11932983
75.43	52	51.94917	52.851677	1.61144745	0.851677	0.72535371	0.01372433	0.09784564	0.05083	0.00258369	4.9735E-05
75.43	56.193396	51.94917	52.851677	6.32282491	3.341719	11.1670859	0.21129104	8.16995921	4.244226	18.0134543	0.34675153
79.62	52.646748	52.86678	53.915518	2.3532557	1.26877	1.60977731	0.0298574	0.41620087	0.220032	0.04841408	0.00091578
84.54	44.323566	53.94426	55.164706	19.6523118	10.84114	117.530316	2.13053463	17.8345092	9.620694	92.557753	1.71580355
94.52	45.57252	56.12988	57.698628	21.0162848	12.126108	147.042495	2.5484574	18.8088056	10.55736	111.45785	1.98571332
97.4	46.516386	56.7606	58.42986	20.3893591	11.913474	141.930863	2.429081	18.0481073	10.244214	104.94392	1.84888674
104.57	55.34487	58.33083	60.250323	8.14178706	4.905453	24.0634691	0.39939154	5.11900825	2.98596	8.91595712	0.15285154
129.34	63.534576	63.75546	66.539426	4.51589408	3.00485	9.02912352	0.13569584	0.34645503	0.220884	0.04878974	0.00076526
172.51	70.78995	73.20969	77.500289	8.65846965	6.710339	45.0286495	0.58101267	3.3052182	2.41974	5.85514167	0.07997769
230	85	85.8	92.097	7.70600562	7.097	50.367409	0.54689522	0.93240093	0.8	0.64	0.00745921
134.32	60.7142857	64.84608	67.803848	10.4559881	7.08956229	50.2618934	0.74128379	6.37169477	4.13179429	17.071724	0.26326532
199.89	71.7741935	79.20591	84.452071	15.0119201	12.6778775	160.728577	1.90319284	9.38278021	7.43171645	55.2304094	0.69730162
77.13	52.03125	52.32147	53.283307	2.34981098	1.252057	1.56764673	0.02942097	0.55468625	0.29022	0.08422765	0.00160981
110.22	55.2631579	59.56818	61.684858	10.4104967	6.42170011	41.2382322	0.66853088	7.22704992	4.30502211	18.5332153	0.3111261
88.65	55	54.84435	56.208235	2.14956936	1.208235	1.45983182	0.02597185	0.28380316	0.15565	0.02422692	0.00044174
90.51	54.7058824	55.25169	56.680489	3.4837502	1.97460665	3.89907141	0.06879036	0.98785693	0.54580765	0.29790599	0.0053918
96.47	67.5	56.557368	58.1942408	15.9908594	9.3057592	86.5971543	1.48807087	19.3478452	10.942632	119.741195	2.1171635
165.11	70.5	71.589309	75.6216829	6.77277033	5.1216829	26.2316357	0.34687982	1.52160848	1.089309	1.1865941	0.01657502
83.51	64.5	53.717595	54.9019195	17.4822312	9.5980805	92.1231493	1.67795862	20.0723897	10.782405	116.260258	2.16428635

RADIO	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
236.15	86.5	87.146412	93.6579772	7.64267755	7.1579772	51.2366376	0.54706112	0.741754	0.646412	0.41784847	0.00479479
118.74	75.5	61.434498	63.8485938	18.248493	11.6514062	135.755266	2.12620605	22.8951199	14.065502	197.838347	3.22031355
63.94	55.5	49.431765	49.9330965	11.1487248	5.5669035	30.9904146	0.62063875	12.2759829	6.068235	36.823476	0.74493549
171.02	68.5	72.882723	77.1212163	11.1787867	8.6212163	74.3253705	0.96374738	6.01339086	4.382723	19.2082609	0.26355026
134.99	72.5	64.992153	67.9731993	6.65968462	4.5268007	20.4919246	0.30147065	11.5519284	7.507847	56.3677666	0.86730111
116.73	69.5	60.994527	63.3385087	9.72787555	6.1614913	37.963975	0.59938221	13.9446495	8.505473	72.343071	1.1860584
225.24	85.5	84.756684	90.8874204	5.92757543	5.3874204	29.0242986	0.31934341	0.87699986	0.743316	0.55251868	0.00651888
71.88	64.5	51.172377	51.9510937	24.1552302	12.5489063	157.475049	3.03121721	26.044565	13.327623	177.625535	3.47112144
111.16	61.5	59.774478	61.9240318	0.68476129	0.4240318	0.17980297	0.00290361	2.88672032	1.725522	2.97742617	0.04981099
137.33	79.5	65.504394	68.5670714	15.9448674	10.9329286	119.528928	1.74324097	21.3659041	13.995606	195.876987	2.99028776
187.03	79.5	76.388913	81.1861553	2.07690005	1.6861553	2.8431197	0.03501976	4.07269442	3.111087	9.67886232	0.12670507
176.38	79.5	74.05722	78.482882	1.29597432	1.017118	1.03452903	0.01318159	7.34942521	5.44278	29.6238541	0.40001305
172.10	86.5	73.118805	77.3949205	11.7644407	9.1050795	82.9024727	1.07116168	18.3006205	13.381195	179.05638	2.44884171
148.67	73.5	67.989387	71.4480747	2.87191126	2.0519253	4.21039744	0.05892947	8.10510764	5.510613	30.3668556	0.44664112
140.71	77.5	66.245271	69.4260151	11.6296246	8.0739849	65.1892322	0.93897413	16.9894829	11.254729	126.668925	1.91212026
142.99	81.5	66.744372	70.0046532	16.4208324	11.4953468	132.142998	1.88763164	22.1076737	14.755628	217.728558	3.2621261
141.95	74.5	66.516393	69.7403433	6.82482545	4.7596567	22.6543319	0.32483826	12.0024653	7.983607	63.7379807	0.95822966
111.73	73.5	59.899308	62.0687548	18.4170687	11.4312452	130.673367	2.10530028	22.7059251	13.600692	184.978823	3.08816294
115.25	68.5	60.668874	62.9609594	8.79757973	5.5390406	30.6809708	0.48730151	12.9079798	7.831126	61.3265344	1.01084016
95.82	70.5	56.413485	58.0274285	21.4942689	12.4725715	155.56504	2.68088805	24.9701202	14.086515	198.429905	3.51741972
154.90	79.5	69.352005	73.0278405	8.86259193	6.4721595	41.8888486	0.57360109	14.6325907	10.147995	102.981803	1.48491457
78.32	60.5	52.582518	53.5859558	12.9027169	6.9140442	47.8040072	0.89209955	15.0572515	7.917482	62.6865212	1.19215518
192.02	90.5	77.48238	82.453878	9.75833059	8.046122	64.7400792	0.78516718	16.8007488	13.01762	169.45843	2.18705763

RADIO	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
82.62	67.5	53.524656	54.6782336	23.449489	12.8217664	164.397694	3.00663871	26.1101052	13.975344	195.31024	3.64897702
152.03	72.5	68.725227	72.3011787	0.2749904	0.1988213	0.03952991	0.00054674	5.49255807	3.774773	14.2489112	0.2073316
137.19	73.5	65.474172	68.5320332	7.24911632	4.9679668	24.6806941	0.36013369	12.2580061	8.025828	64.4139151	0.98380649
171.80	66.5	73.0542	77.32002	13.9938143	10.82002	117.072833	1.5141335	8.97169499	6.5542	42.9575376	0.58802283
192.00	76.5	77.478219	82.4490539	7.21543016	5.9490539	35.3912423	0.42924983	1.2625729	0.978219	0.95691241	0.01235073
177.86	80.5	74.380245	78.8573845	2.08302052	1.6426155	2.69818568	0.03421602	8.22766179	6.119755	37.4514013	0.50351274
79.84	65.5	52.91496	53.971376	21.3606264	11.528624	132.909171	2.4625863	23.7835198	12.58504	158.383232	2.99316548
99.09	65.5	57.13071	58.858951	11.2829891	6.641049	44.1035318	0.74930883	14.6493716	8.36929	70.0450151	1.22604839
104.01	72.5	58.208409	60.1083929	20.6154357	12.3916071	153.551927	2.5545838	24.5524508	14.291591	204.249573	3.50893585
61.62	56.5	48.923685	49.3440485	14.5021572	7.1559515	51.2076419	1.03776734	15.485986	7.576315	57.400549	1.17326708
69.75	55.5	50.704812	51.4090172	7.95771447	4.0909828	16.7361403	0.32554873	9.45706692	4.795188	22.993828	0.45348414

- *Modelo para combinación geométrica de curva horizontal y pendiente entre -4% y 0%*

RADIO	V85	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
95.18	51.1	67.00	58.21	23.7339313	15.9022736	252.882305	3.77423469	12.2153943	7.1106619	50.5615127	0.86859539
68.96	40	52.18	49.52	23.3454295	12.1821462	148.404685	2.84397435	19.2292484	9.52287703	90.6851869	1.83117768
140.99	74.0116279	79.67	65.63	7.09851452	5.65515839	31.9808164	0.40143224	12.7627971	8.37683537	70.1713708	1.0691185
158.00	76.75	82.50	67.30	6.96926875	5.74962025	33.0581331	0.40070649	14.0493272	9.45455696	89.3886473	1.32830164
859.44	76.1538462	101.66	78.53	25.0921353	25.5095058	650.734886	6.4008797	3.02519235	2.37566888	5.64380262	0.07186855
94.49	61.25	66.72	58.04	8.19519973	5.4676442	29.895133	0.44808436	5.52374544	3.20619219	10.2796684	0.1771019
59.96	53.3536585	44.11	44.79	20.9639197	9.24657381	85.4991273	1.93844431	19.1218303	8.56450577	73.3507591	1.63769026
572.97	77.65625	99.51	77.26	21.9575499	21.8488909	477.374035	4.79748112	0.50723427	0.3919112	0.15359439	0.00198791
156.00	62.4	82.20	67.12	24.0862888	19.7985897	391.984156	4.76874551	7.03076053	4.71897436	22.268719	0.33177979
118.00	61	74.54	62.63	18.1649298	13.5401695	183.33619	2.45956229	2.60179587	1.62949153	2.65524263	0.04239604
125.00	59	76.30	63.66	22.6744674	17.3008	299.317681	3.92286425	7.32246755	4.6616	21.7305146	0.34134415

▪ *Modelo para combinación geométrica de curva horizontal y pendiente entre 0% y 4%*

RADIO	V85	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
80.25	51.81	54.66	53.76	5.20697311	2.845919	8.09925497	0.14818624	3.63426819	1.95392523	3.81782382	0.07101088
100.12	50.22	62.54	61.48	19.7014699	12.3216181	151.822272	2.42753987	18.3087518	11.2553736	126.683434	2.06071841
69.65	51.875	48.61	47.85	6.71934118	3.26619167	10.668008	0.21946656	8.41071111	4.0245621	16.1971001	0.33849429
105.49	59.3604651	64.16	63.06	7.48470944	4.80240435	23.0630875	0.35944601	5.86788457	3.70033496	13.6924788	0.21713138
100	60	62.50	61.44	4.00522212	2.5034	6.26701156	0.10026673	2.34057098	1.438	2.067844	0.03365741
124.92	76.056921	68.86	67.66	10.4444954	7.19253735	51.7325936	0.75122423	12.413083	8.39849637	70.5347413	1.04251232
130.84	72.2187571	70.02	68.79	3.14118854	2.1994388	4.83753103	0.06908852	4.98768175	3.43091847	11.7712015	0.17112329
146.4	69.9565715	72.61	71.32	3.65374055	2.65296404	7.0382182	0.09693242	1.91283303	1.36424819	1.86117314	0.02609579
144.95	73.2702301	72.39	71.11	1.21364036	0.87857435	0.7718929	0.01066273	3.041125	2.1624757	4.67630115	0.06576359
166.65	75.8935774	75.26	73.91	0.84704168	0.63745076	0.40634347	0.00539947	2.68526213	1.98464848	3.93882959	0.05329301
177.2	79.9870169	76.40	75.02	4.70148291	3.5917122	12.9003965	0.16886374	6.61675318	4.9640824	24.6421141	0.32846108
228.51	81.956169	80.44	78.97	1.89008568	1.52030672	2.31133251	0.0287351	3.77586738	2.98196135	8.89209348	0.11259491
284.75	78.9585269	83.19	81.67	5.08868012	4.23336949	17.9214172	0.21542263	3.31925612	2.71081462	7.34851589	0.08997888
241.52	80.91865	81.19	79.71	0.33118672	0.26888233	0.07229771	0.0008905	1.51724138	1.209382	1.46260482	0.01834924
291.43	81.2067585	83.45	81.92	2.68646263	2.24181473	5.0257333	0.06022552	0.87107549	0.71358806	0.50920792	0.00621589
331.15	78.381489	84.76	83.20	7.52641486	6.37946071	40.697519	0.48014468	5.79569541	4.82223438	23.2539444	0.27948202
438.55	82.7121461	87.12	85.51	5.05852232	4.40693833	19.4211055	0.22292596	3.27167856	2.79760416	7.82658906	0.09152862
555.06	86.9763167	88.65	87.00	1.8827521	1.66897101	2.78546424	0.03142259	0.02978343	0.02591224	0.00067144	7.7176E-06
679.43	90.8834297	89.70	88.03	1.32286627	1.1865695	1.40794719	0.01569673	3.24076636	2.85286493	8.1388383	0.09245469
382.26	86.9344548	86.05	84.46	1.02971669	0.88605474	0.785093	0.00912385	2.9264151	2.47172993	6.10944886	0.07233308

RADIO	V85	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi- cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi- cuadrado
350.11	86.0052842	85.28	83.71	0.84762967	0.72287897	0.52255401	0.00612734	2.7374601	2.29162794	5.25155861	0.0627324
380.8	81.6606731	86.02	84.43	5.063853	4.35574497	18.9725142	0.22056852	3.28168768	2.77077648	7.67720229	0.09092823
390.3	80.941633	86.22	84.63	6.12222906	5.27860017	27.8636197	0.32316799	4.35908637	3.68912797	13.6096652	0.16081227
260.5	82.9075018	82.15	80.65	0.92275616	0.75803923	0.57462347	0.00699485	2.79920768	2.25755938	5.09657435	0.06319378
435.61	84.0878439	87.07	85.46	3.42502311	2.98216803	8.89332616	0.10213994	1.60764087	1.37391822	1.88765127	0.02208767
236.95	78.9585269	80.93	79.46	2.43951774	1.97437244	3.89814651	0.04816517	0.63142851	0.50173475	0.25173776	0.0031681

▪ *Modelo para combinación geométrica de curva horizontal y pendiente entre 4% y 9%*

RADIO	V85	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
43.01	40.63	41.48	49.17	2.05154167	0.851	0.724201	0.01745862	17.3618468	8.536152	72.865891	1.48203363
47.89	42.15	41.97	50.41	0.4312707	0.181	0.032761	0.0007806	16.3881722	8.261528	68.2528449	1.35391343
135.02	50.46	50.68	72.65	0.43802533	0.222	0.049284	0.00097242	30.5409339	22.187104	492.267584	6.77614876
82.54	52.39	45.43	59.25	15.3101202	6.956	48.385936	1.06497196	11.5843384	6.864208	47.1173515	0.79517309
89.81	49.95	46.16	61.11	8.20822772	3.789	14.356521	0.31100975	18.2614975	11.159512	124.534708	2.037894
33.60	40.5	40.54	46.76	0.09866798	0.04	0.0016	3.9467E-05	13.3962526	6.26472	39.2467167	0.83923771
61.90	47.2297297	43.37	53.99	8.89953823	3.85972973	14.8975136	0.34349812	12.5162822	6.75715027	45.6590798	0.845744
252.79	70.8333333	62.46	102.70	13.4077288	8.37433333	70.1294588	1.1228079	31.0302352	31.8686747	1015.61243	9.88892471
62.57	55.5232558	43.44	54.16	27.8247941	12.0862558	146.07758	3.36297579	2.52113306	1.36539181	1.86429481	0.03442334

RADIO	V85	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
160.76	71.5	53.26	79.22	34.2571729	18.244	332.843536	6.24987862	9.74040178	7.715952	59.5359153	0.75156473
19.88	35.005437	39.17	43.26	10.6274586	4.16256297	17.3269305	0.44237465	19.0875973	8.25793897	68.193556	1.57624213
29.02	34.2128559	40.08	45.60	14.6428424	5.8691441	34.4468525	0.85940952	24.9650673	11.3830481	129.573784	2.84178562
30.12	33.0297275	40.19	45.88	17.8201445	7.16227246	51.2981469	1.2763273	28.0031427	12.8468965	165.042749	3.59753474
23.99	40.4845849	39.58	44.31	2.28804384	0.90558487	0.82008396	0.02072018	8.63793489	3.82766313	14.651005	0.33063105
31.13	47.8858377	40.29	46.13	18.8440615	7.59283769	57.6511841	1.430799	3.79643519	1.75146169	3.06761804	0.06649311
35.08	43.0001685	40.69	47.14	5.6826791	2.31216847	5.34612304	0.13139311	8.78666789	4.14224753	17.1582146	0.36396553
41.15	43.9841943	41.30	48.69	6.5121548	2.68919432	7.23176611	0.1751245	9.66757567	4.70728568	22.1585384	0.4550804
54.26	42.0046559	42.61	52.04	1.411407	0.60134406	0.36161468	0.00848741	19.2794872	10.0324961	100.650977	1.9342138
53.82	44.0416277	42.56	51.92	3.47640557	1.47962774	2.18929825	0.05143786	15.1820066	7.88323626	62.1454139	1.19683345
64.20	53.6866127	43.60	54.57	23.1344327	10.0866127	101.739755	2.33348062	1.62573743	0.88722735	0.78717236	0.01442399
76.17	59.7668969	44.80	57.63	33.4171862	14.9698969	224.097814	5.00251833	3.71050746	2.13831291	4.5723821	0.07934226
116.94	61.830671	48.87	68.03	26.5103551	12.956671	167.875323	3.43485949	9.1167654	6.20241702	38.4699769	0.56545981
130.09	62.9448792	50.19	71.39	25.4156872	12.7558792	162.712455	3.24199436	11.8282824	8.44408876	71.302635	0.99879067
96,472	71.5	46.83	62.81	52.6890354	24.6728	608.74706	12.9998603	13.8360029	8.6903456	75.5221066	1.20239647
103,391	71.5	47.52	64.58	50.4658127	23.9809	575.083565	12.1021561	10.7233073	6.9246168	47.9503178	0.74254794
165,111	77.5	53.69	80.33	44.3442209	23.8089	566.863719	10.5578712	3.51855649	2.8263272	7.98812544	0.09944592
83,505	68.5	45.53	59.50	50.4486004	22.9695	527.59793	11.5877913	15.1251294	8.999524	80.9914322	1.36118965
126,801	73.5	49.86	70.55	47.4124601	23.6399	558.844872	11.2082581	4.18199985	2.9503848	8.70477047	0.12338509
118,742	72.5	49.05	68.49	47.7957035	23.4458	549.705538	11.2060851	5.85029716	4.0070416	16.0563824	0.23442384
63,935	69.5	43.57	54.51	59.5006139	25.9265	672.183402	15.4264267	27.5084022	14.993788	224.813679	4.1245515
130,239	73.5	50.20	71.43	46.4029687	23.2961	542.708275	10.810082	2.90227422	2.0730072	4.29735885	0.06016435
134,987	76.5	50.68	72.64	50.9509912	25.8213	666.739534	13.1562083	5.31578695	3.8613176	14.9097736	0.20525942
116,733	71.5	48.85	67.98	46.3565409	22.6467	512.873021	10.4982268	5.17758878	3.5197384	12.3885584	0.18223758

RADIO	V85	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
71,883	70.5	44.37	56.53	58.8972307	26.1317	682.865745	15.3908476	24.7025235	13.9654584	195.034028	3.44982064
111,162	64.5	48.30	66.56	33.5508798	16.2038	262.563134	5.43651746	3.09282975	2.0585424	4.23759681	0.06366721
137,326	70.5	50.91	73.24	38.4725981	19.5874	383.666239	7.53578169	3.73533552	2.7355952	7.4834811	0.10218366
176.38	75.5	54.82	83.20	37.7284833	20.682	427.745124	7.80300493	9.25718097	7.702176	59.3235151	0.71300437
117,852	70.5	48.97	68.27	43.9798061	21.5348	463.747611	9.47096328	3.27274947	2.2341696	4.9915138	0.07311877
148,673	75.5	52.05	76.13	45.0603586	23.4527	550.029137	10.5678707	0.82928991	0.6313496	0.39860232	0.00523572
140,709	72.5	51.25	74.10	41.4609304	21.2491	451.524251	8.81007457	2.15784041	1.5989368	2.55659889	0.0345025
142,988	75.5	51.48	74.68	46.6623154	24.0212	577.018049	11.2088481	1.09729044	0.8194624	0.67151863	0.00899188
141,947	74.5	51.37	74.41	45.0130122	23.1253	534.7795	10.4093941	0.11439326	0.0851256	0.00724637	9.7378E-05
103,553	66.5	47.54	64.62	39.8960352	18.9647	359.659846	7.56616338	2.91453085	1.8832744	3.54672247	0.05488861
111,732	66.5	48.35	66.70	37.5296775	18.1468	329.30635	6.81043551	0.3058383	0.2040064	0.04161861	0.00062393
98,119	73.5	46.99	63.23	56.4099345	26.5081	702.679366	14.9532018	16.2423474	10.2700312	105.473541	1.66809415
87,848	71.5	45.96	60.61	55.5538151	25.5352	652.046439	14.1857778	17.9696491	10.8911904	118.618028	1.9571087
60.7	64.5	43.25	53.68	49.132948	21.25	451.5625	10.4407514	20.1550503	10.81936	117.058551	2.18064745
115,246	61.5	48.70	67.60	26.2714405	12.7954	163.722261	3.3615359	9.02471728	6.1007792	37.2195068	0.55057807
95,815	72.5	46.76	62.64	55.0420752	25.7385	662.470382	14.1670045	15.7370676	9.858012	97.1804006	1.55136201
154,895	69.5	52.67	77.72	31.9549265	16.8305	283.26573	5.3781739	10.5755123	8.219204	67.5553144	0.86922293
78,322	72.5	45.01	58.18	61.0674439	27.4878	755.579149	16.7860969	24.6180363	14.3222256	205.126146	3.52585069
82,624	66.5	45.44	59.28	46.3391018	21.0576	443.422518	9.7579027	12.1877294	7.2243552	52.1913081	0.88048486
152,033	77.5	52.38	76.99	47.9479147	25.1167	630.848619	12.0429339	0.66396444	0.5111784	0.26130336	0.00339404
137,188	70.5	50.90	73.20	38.5101417	19.6012	384.207041	7.54844989	3.68902141	2.7003776	7.29203918	0.09961751
171.8	76.5	54.36	82.03	40.7284768	22.14	490.1796	9.01728477	6.74525583	5.53336	30.6180729	0.37323929
79.84	69.5	45.16	58.57	53.8836241	24.336	592.240896	13.1131188	18.6712211	10.934832	119.570551	2.04166666
99.09	60.5	47.09	63.48	28.4801121	13.411	179.854921	3.81946784	4.69104081	2.977768	8.86710226	0.13968831

RADIO	V85	V85 PRONOSTICADA COLOMBIA	V85 PRONOSTICADA ESTA INVESTIGACION	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN				MODELO PROPUESTO PARA COLOMBIA			
				MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado	MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
104,011	69.5	47.58	64.73	46.0664003	21.9189	480.438177	10.0972482	7.36308852	4.7663928	22.7185003	0.35095372
61,615	61.5	43.34	53.91	41.8963349	18.1585	329.731122	7.60774598	14.0702437	7.585852	57.5451506	1.06734786
69,748	54.5	44.15	55.99	23.4293893	10.3452	107.023163	2.42381718	2.66064986	1.4896896	2.2191751	0.03963542
69.75	61.4	44.16	55.99	39.0555996	17.245	297.390025	6.73513815	9.662048	5.4098	29.265936	0.52269747
70.95	63	44.28	56.30	42.2924901	18.725	350.625625	7.91926877	11.9076091	6.70356	44.9377167	0.79823372
94.30	61	46.61	62.26	30.8732032	14.39	207.0721	4.44265394	2.01646894	1.25536	1.57592873	0.02531394
145.52	69.4	51.73	75.33	34.1529421	17.668	312.158224	6.03414181	7.86799858	5.926704	35.1258203	0.46631299
97.55	72	46.94	63.08	53.4036433	25.065	628.254225	13.3856232	14.1321612	8.91524	79.4815043	1.25991609
132.66	72.4	50.45	72.04	43.5198034	21.954	481.978116	9.55433763	0.49298193	0.355168	0.12614431	0.00175091
135.68	70	50.75	72.82	37.9364704	19.252	370.639504	7.30352928	3.86666933	2.815536	7.92724297	0.10886747

- *Modelo para elementos consecutivos para el cálculo de curva horizontal seguida de entretangencia horizontal*

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
1	43.00	41.73	3.055574	1.27494	1.625472	0.038957
2	53.00	55.44	4.402603	2.44084	5.9577	0.10746
3	55.80	55.19	1.109413	0.61226	0.374862	0.006792
4	71.80	72.11	0.43527	0.31389	0.098527	0.001366
5	54.80	55.92	1.998252	1.11737	1.248516	0.022328
6	46.80	41.89	11.7291	4.91297	24.13727	0.576247
7	64.80	61.96	4.576176	2.8356	8.040627	0.129762
8	57.00	57.28	0.494125	0.28305	0.080117	0.001399
9	55.00	64.05	14.13263	9.05227	81.94359	1.279324
10	67.00	62.91	6.506125	4.09282	16.75118	0.266284
11	63.60	61.60	3.25443	2.00458	4.018341	0.065238
12	63.00	63.58	0.905878	0.57592	0.331684	0.005217
13	64.00	56.28	13.71196	7.71744	59.55888	1.058212
14	64.00	56.37	13.54262	7.6335	58.27032	1.033776
15	63.80	55.60	14.74302	8.19749	67.19884	1.208558
16	67.00	78.63	14.78868	11.62805	135.2115	1.719635
17	62.00	55.40	11.91532	6.60097	43.5728	0.786526
18	63.80	55.82	14.29372	7.97891	63.663	1.140483

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
19	63.80	61.30	4.07209	2.49634	6.231713	0.101653
20	65.60	62.74	4.552946	2.85667	8.160563	0.130063
21	68.00	59.70	13.90165	8.29937	68.87954	1.153749
22	67.80	68.44	0.936211	0.64075	0.410561	0.005999
23	67.00	61.85	8.332219	5.15321	26.55557	0.429377
24	61.80	58.22	6.150913	3.581	12.82356	0.220264
25	59.00	52.21	12.9948	6.78521	46.03907	0.881725
26	60.00	52.48	14.31862	7.51511	56.47688	1.07606
27	59.80	51.78	15.48845	8.01993	64.31928	1.242163
28	58.00	56.11	3.371055	1.89145	3.577583	0.063762
29	58.00	55.08	5.303387	2.92105	8.532533	0.154915
30	61.60	54.10	13.85802	7.49753	56.21296	1.039009
31	59.80	55.89	6.990793	3.90734	15.26731	0.273154
32	60.00	56.53	6.144511	3.47329	12.06374	0.213417
33	63.00	56.63	11.2572	6.37445	40.63361	0.717584
34	59.80	54.17	10.38825	5.62757	31.66954	0.584606
35	60.00	58.22	3.060661	1.78186	3.175025	0.054537
36	59.00	55.50	6.30918	3.5015	12.2605	0.220916
37	61.00	52.26	16.73077	8.743	76.44005	1.462771
38	63.80	56.29	13.3441	7.51123	56.41858	1.002306
39	62.00	66.53	6.806647	4.52835	20.50595	0.308229
40	63.00	61.09	3.120525	1.90644	3.634513	0.059491
41	58.00	54.02	7.376427	3.98442	15.8756	0.293908

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
42	59.00	54.13	8.99396	4.86856	23.70288	0.437876
43	56.80	51.18	10.99039	5.6244	31.63388	0.618144
44	53.00	53.06	0.115564	0.06132	0.00376	7.09E-05
45	56.00	48.88	14.56865	7.12101	50.70878	1.037435
46	57.00	48.89	16.59415	8.11247	65.81217	1.346195
47	57.80	53.64	7.74934	4.15698	17.28048	0.322139
48	58.00	51.40	12.82973	6.59511	43.49548	0.846135
49	55.80	54.87	1.690894	0.92783	0.860869	0.015689
50	63.80	57.65	10.67483	6.15365	37.86741	0.656892
51	67.00	59.55	12.51416	7.45194	55.53141	0.932548
52	64.00	58.31	9.759601	5.69075	32.38464	0.555394
53	55.00	49.68	10.71676	5.32369	28.34168	0.570527
54	56.30	49.86	12.90838	6.43656	41.4293	0.830855
55	57.30	53.50	7.092955	3.79508	14.40263	0.269183
56	67.00	66.77	0.346119	0.2311	0.053407	0.0008
57	69.00	65.02	6.126776	3.98342	15.86763	0.244055
58	54.00	47.33	14.09288	6.67014	44.49077	0.940015
59	58.30	56.65	2.919489	1.65378	2.734988	0.048282
60	56.00	50.71	10.44086	5.29413	28.02781	0.552753
61	52.00	55.78	6.780734	3.78246	14.307	0.256479
62	78.00	79.64	2.065342	1.64494	2.705828	0.033974
63	80.50	75.58	6.515747	4.92432	24.24893	0.320856
64	94.00	93.70	0.317773	0.29776	0.088661	0.000946

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
65	70.00	85.28	17.9213	15.284	233.6007	2.739091
66	68.00	67.77	0.345498	0.23413	0.054817	0.000809
67	69.00	63.54	8.595217	5.46129	29.82569	0.46941
68	70.00	73.49	4.752976	3.49311	12.20182	0.166027
69	76.30	76.68	0.500017	0.38343	0.147019	0.001917
70	66.30	71.20	6.877183	4.8963	23.97375	0.336728
71	72.00	65.96	9.165141	6.04488	36.54057	0.554022
72	71.30	67.02	6.393472	4.28461	18.35788	0.273935
73	74.00	69.06	7.150749	4.93842	24.38799	0.353134
74	72.00	81.15	11.27841	9.15274	83.77265	1.032284
75	66.00	67.89	2.789185	1.89368	3.586024	0.052818
76	72.00	65.05	10.68959	6.95323	48.34741	0.743271
77	70.30	65.17	7.868079	5.1278	26.29433	0.403459
78	75.00	65.94	13.74456	9.06278	82.13398	1.245639
79	62.00	60.80	1.977978	1.20256	1.446151	0.023786
80	60.00	66.42	9.659003	6.41503	41.15261	0.619628
81	66.00	57.09	15.61111	8.91206	79.42481	1.391271
82	46.30	57.42	19.36311	11.11789	123.6075	2.152769
83	51.30	55.35	7.311011	4.04638	16.37319	0.295831
84	60.00	54.95	9.189775	5.0498	25.50048	0.464065
85	56.30	52.33	7.585998	3.96977	15.75907	0.301147
86	48.30	54.95	12.10524	6.65208	44.25017	0.80525
87	72.30	61.83	16.93321	10.46983	109.6173	1.772878

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
88	81.00	72.70	11.41175	8.29672	68.83556	0.946801
89	78.30	81.03	3.368801	2.72973	7.451426	0.091959
90	64.30	69.24	7.12822	4.93524	24.35659	0.351795
91	78.30	73.34	6.768379	4.96368	24.63812	0.335961
92	72.30	73.27	1.320504	0.9675	0.936056	0.012776
93	69.30	73.27	5.420381	3.9716	15.77361	0.215276
94	57.30	67.31	14.8766	10.01404	100.281	1.489749
95	59.00	52.57	12.23601	6.4322	41.3732	0.787044
96	60.00	56.16	6.839928	3.84122	14.75497	0.262737
97	61.00	72.51	15.87455	11.51076	132.4976	1.827282
98	64.30	69.36	7.292371	5.05783	25.58164	0.368836
99	70.30	64.17	9.560024	6.13426	37.62915	0.586437
100	57.00	62.28	8.47599	5.27874	27.8651	0.447425
101	81.00	77.21	4.91187	3.79234	14.38184	0.186275
102	81.00	76.79	5.477499	4.20637	17.69355	0.230404
103	61.00	71.00	14.08964	10.00424	100.0848	1.409561
104	65.80	58.59	12.31193	7.21317	52.02982	0.888081
105	66.30	63.53	4.354396	2.7665	7.653522	0.120464
106	75.00	69.13	8.498405	5.87456	34.51046	0.499244
107	69.30	66.24	4.613974	3.05646	9.341948	0.141024
108	66.30	61.08	8.548852	5.22151	27.26417	0.446379
109	72.00	63.42	13.52443	8.57753	73.57402	1.160062
110	67.30	69.64	3.361831	2.34122	5.481311	0.078708

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
111	59.30	58.43	1.486026	0.86831	0.753962	0.012903
112	68.00	62.25	9.241493	5.75259	33.09229	0.531625
113	66.00	60.74	8.667644	5.26435	27.71338	0.456295
114	64.00	57.77	10.77887	6.22725	38.77864	0.671227
115	66.30	58.65	13.04296	7.64973	58.51837	0.997751
116	70.00	62.60	11.81576	7.39702	54.7159	0.874014
117	73.30	69.76	5.081154	3.54439	12.5627	0.180096
118	71.00	63.02	12.65879	7.97784	63.64593	1.009898
119	73.00	71.20	2.521841	1.79566	3.224395	0.045284
120	64.00	64.89	1.367402	0.88727	0.787248	0.012133
121	71.50	64.06	11.61853	7.442536	55.39134	0.864713
122	71.50	69.03	3.574453	2.467533	6.088719	0.088201
123	75.50	75.31	0.253121	0.190624	0.036338	0.000483
124	77.50	73.89	4.885489	3.609893	13.03133	0.176361
125	68.50	72.59	5.630075	4.086685	16.70099	0.230083
126	73.50	72.47	1.417587	1.027363	1.055475	0.014564
127	73.50	68.80	6.836868	4.703524	22.12314	0.321574
128	72.50	67.88	6.799121	4.615546	21.30326	0.313817
129	69.50	65.00	6.925388	4.501405	20.26265	0.31174
130	68.50	63.81	7.345522	4.687371	21.97145	0.344312
131	73.50	61.45	19.61753	12.05416	145.3027	2.364728
132	76.50	65.05	17.59548	11.44648	131.0219	2.014064
133	71.50	104.11	31.32146	32.60821	1063.295	10.21337

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
134	64.50	69.45	7.124099	4.947509	24.47785	0.352465
135	75.50	71.82	5.116995	3.675268	13.50759	0.188063
136	64.50	106.09	39.20398	41.59247	1729.934	16.30591
137	70.50	36.12	95.1791	34.37933	1181.938	32.72194
138	64.50	59.90	7.681371	4.60106	21.16975	0.353425
139	70.50	107.44	34.38053	36.93762	1364.388	12.69935
140	70.50	66.98	5.256873	3.521001	12.39745	0.185095
141	75.50	76.88	1.796359	1.38106	1.907327	0.024809
142	73.50	72.43	1.473765	1.067485	1.139524	0.015732
143	70.50	71.28	1.099166	0.783524	0.61391	0.008612
144	75.50	70.71	6.777318	4.792099	22.96421	0.324776
145	72.50	66.98	8.239274	5.518767	30.45679	0.454706
146	75.50	69.64	8.415395	5.860444	34.3448	0.49318
147	74.50	62.74	18.74963	11.76296	138.3673	2.205511
148	66.50	61.32	8.453748	5.183539	26.86908	0.438203
149	66.50	54.76	21.44991	11.74492	137.9431	2.519274
150	73.50	65.41	12.37604	8.094597	65.5225	1.00179
151	71.50	68.46	4.444552	3.042624	9.257561	0.135231
152	64.50	64.02	0.748349	0.4791	0.229537	0.003585
153	61.50	68.61	10.36697	7.113102	50.59622	0.737413
154	72.50	67.04	8.150594	5.463845	29.8536	0.445336
155	69.50	69.22	0.40144	0.277885	0.07722	0.001116
156	72.50	67.25	7.811639	5.253086	27.59491	0.410352

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
157	68.50	68.02	0.702003	0.47752	0.228025	0.003352
158	66.50	80.28	17.16089	13.77609	189.7806	2.364099
159	77.50	58.82	31.75741	18.67978	348.9341	5.932214
160	70.50	67.71	4.122119	2.791044	7.789927	0.11505
161	76.50	68.99	10.88628	7.5104	56.40611	0.817603
162	93.50	72.09	29.70744	21.4147	458.5894	6.36176
163	77.50	79.75	2.827108	2.254753	5.083911	0.063744
164	79.50	72.64	9.445502	6.861108	47.0748	0.648066
165	68.50	58.58	16.92805	9.916963	98.34616	1.678748
166	62.50	73.50	14.97019	11.00364	121.08	1.647265
167	69.50	68.16	1.964347	1.33892	1.792707	0.026301
168	60.50	63.73	5.0613	3.22533	10.40275	0.163244
169	69.50	68.20	1.910033	1.302593	1.696749	0.02488
170	70.50	73.47	4.042824	2.970274	8.822528	0.120083
171	61.50	77.78	20.93363	16.28276	265.1281	3.408572
172	54.50	59.21	7.951124	4.707676	22.16221	0.374313
173	61.40	48.05	27.77359	13.34625	178.1224	3.706732
174	63.00	60.54	4.06489	2.46085	6.055783	0.100031
175	61.00	57.11	6.805619	3.8869	15.10799	0.264528
176	64.00	67.59	5.308971	3.58824	12.87547	0.190499
177	72.00	69.07	4.236414	2.92625	8.562939	0.123968
178	77.00	73.61	4.601033	3.38696	11.4715	0.155835
179	78.40	78.84	0.557827	0.43979	0.193415	0.002453

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
180	83.00	102.83	19.28666	19.83306	393.3503	3.825134
181	80.00	78.58	1.804212	1.41779	2.010128	0.02558
182	82.00	77.20	6.215993	4.79882	23.02867	0.298294
183	72.40	71.40	1.397124	0.99758	0.995166	0.013937
184	70.00	68.08	2.816949	1.91784	3.67811	0.054025
185	72.00	74.84	3.798001	2.84252	8.07992	0.107959
186	71.00	70.19	1.160611	0.81458	0.663541	0.009454
187	57.00	70.91	19.61988	13.91306	193.5732	2.729726
188	73.40	68.91	6.515977	4.49015	20.16145	0.292577
189	79.80	71.09	12.25664	8.71289	75.91445	1.067907
190	64.40	75.98	15.2434	11.58228	134.1492	1.765533
191	68.80	72.55	5.172156	3.75253	14.08148	0.194087
192	80.40	84.89	5.288885	4.48972	20.15759	0.237456
193	78.40	76.56	2.399385	1.83704	3.374716	0.044078
194	81.00	75.30	7.576336	5.70463	32.5428	0.432202
195	64.00	70.95	9.79413	6.94882	48.2861	0.680576
196	69.40	61.35	13.12951	8.05438	64.87304	1.057501
197	80.00	72.83	9.851828	7.17463	51.47532	0.706832
198	80.00	73.55	8.763556	6.44595	41.55027	0.564894
199	65.40	74.01	11.63168	8.60842	74.10489	1.001304
200	64.40	63.77	0.984616	0.62791	0.394271	0.006183
201	73.40	72.98	0.579965	0.42324	0.179132	0.002455
202	71.40	76.58	6.759274	5.17598	26.79077	0.349859

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
203	78.40	77.44	1.242833	0.96242	0.926252	0.011961
204	67.80	74.38	8.845141	6.57892	43.28219	0.581915
205	76.40	72.38	5.558498	4.02307	16.18509	0.223622
206	80.00	81.22	1.499182	1.2176	1.48255	0.018254
207	82.40	78.41	5.088007	3.98953	15.91635	0.202988
208	78.40	76.37	2.659389	2.03095	4.124758	0.054011
209	79.00	95.60	17.36672	16.60313	275.6639	2.883419
210	61.00	64.93	6.053786	3.93077	15.45095	0.23796
211	70.00	74.18	5.633428	4.17881	17.46245	0.23541
212	64.00	64.09	0.13862	0.08884	0.007893	0.000123
213	69.40	70.88	2.089998	1.48142	2.194605	0.030962
214	79.00	74.79	5.627725	4.20903	17.71593	0.236873
215	85.40	90.60	5.738443	5.19897	27.02929	0.29834
216	73.80	78.54	6.040704	4.74465	22.5117	0.28661
217	68.00	66.71	1.926715	1.2854	1.652253	0.024766
218	63.40	64.44	1.611355	1.03833	1.078129	0.016731
219	66.40	59.71	11.19512	6.68515	44.69123	0.748411
220	60.00	65.67	8.632313	5.66873	32.1345	0.489342
221	56.00	53.60	4.474649	2.39848	5.752706	0.107324

- *Modelo para elementos consecutivos para el cálculo de entretangencia horizontal seguida de curva horizontal*

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
1	61.80	57.53	7.424466	4.271206	18.2432	0.317114
2	60.00	66.29	9.487321	6.289056	39.55222	0.596663
3	68.00	70.95	4.151145	2.945031	8.673207	0.122252
4	62.80	77.66	19.13418	14.85951	220.8051	2.843246
5	46.00	68.21	32.56252	22.21133	493.3431	7.232568
6	56.80	59.71	4.88022	2.914184	8.492467	0.142219
7	60.00	102.27	41.3324	42.2711	1786.846	17.47166
8	68.00	81.77	16.84263	13.77267	189.6864	2.31968
9	66.00	75.79	12.91227	9.785645	95.75884	1.263549
10	62.80	69.43	9.551335	6.63165	43.97878	0.633411
11	62.00	66.64	6.959015	4.6373	21.50455	0.32271
12	60.00	73.56	18.43509	13.56105	183.902	2.499991
13	70.00	74.06	5.483355	4.061029	16.49196	0.222681
14	61.80	69.93	11.62479	8.129112	66.08247	0.944992
15	63.00	59.78	5.392961	3.223712	10.39232	0.173854
16	66.00	63.74	3.54294	2.258329	5.100051	0.080011
17	66.00	65.80	0.301237	0.198219	0.039291	0.000597
18	60.00	66.07	9.193935	6.074882	36.90419	0.558521
19	73.80	79.13	6.735646	5.32991	28.40794	0.359004

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
20	67.00	66.76	0.357353	0.238574	0.056918	0.000853
21	65.00	71.14	8.626844	6.136866	37.66113	0.529418
22	60.00	61.16	1.902	1.163326	1.353328	0.022126
23	60.00	62.87	4.569743	2.873141	8.254939	0.131295
24	59.00	55.57	6.167367	3.427368	11.74685	0.211378
25	64.00	58.70	9.028506	5.299755	28.0874	0.478489
26	62.80	57.88	8.50028	4.919965	24.20605	0.418211
27	62.00	59.12	4.872992	2.88087	8.299414	0.140385
28	62.60	63.33	1.154555	0.731194	0.534644	0.008442
29	62.00	60.63	2.264803	1.37308	1.88535	0.031098
30	62.80	61.80	1.612289	0.996452	0.992916	0.016066
31	61.00	69.29	11.96245	8.288613	68.7011	0.991521
32	61.60	62.39	1.258496	0.785114	0.616405	0.009881
33	63.80	65.03	1.894456	1.232003	1.51783	0.02334
34	59.00	58.19	1.3973	0.813046	0.661044	0.011361
35	63.00	65.47	3.766478	2.465753	6.079938	0.092872
36	73.60	71.84	2.448928	1.759327	3.09523	0.043085
37	64.00	66.65	3.97777	2.651233	7.029034	0.10546
38	60.00	70.79	15.2385	10.78685	116.3562	1.643754
39	60.80	64.33	5.487785	3.530309	12.46308	0.193736
40	57.80	58.37	0.970035	0.566172	0.320551	0.005492
41	61.00	61.21	0.347696	0.212835	0.045299	0.00074
42	56.00	51.67	8.387114	4.333342	18.77785	0.363442

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
43	55.00	57.20	3.851662	2.203277	4.85443	0.084863
44	59.00	55.69	5.949627	3.313159	10.97703	0.197121
45	59.00	54.19	8.882543	4.813169	23.16659	0.427532
46	63.60	60.90	4.435725	2.701299	7.297015	0.119822
47		51.26	100	51.26112	2627.703	51.26112
48	63.80	57.37	11.21697	6.434654	41.40477	0.721773
49	66.80	67.38	0.85974	0.579287	0.335573	0.00498
50	66.00	69.16	4.573915	3.163479	10.0076	0.144695
51	66.80	63.92	4.511208	2.88341	8.314054	0.130077
52	56.30	52.76	6.705867	3.53814	12.51844	0.237263
53	58.30	59.28	1.661131	0.984798	0.969827	0.016359
54	67.00	67.02	0.023682	0.015871	0.000252	3.76E-06
55	67.00	65.56	2.199355	1.441856	2.07895	0.031712
56	54.00	65.40	17.42733	11.39694	129.8902	1.986182
57	58.30	55.72	4.623651	2.576462	6.638155	0.119127
58	58.30	56.90	2.466842	1.403546	1.969941	0.034623
59	64.30	59.90	7.352193	4.403692	19.39251	0.323768
60	78.00	58.17	34.08441	19.82769	393.1373	6.758151
61	78.00	84.74	7.954844	6.741016	45.44129	0.536237
62	94.00	79.21	18.67704	14.79344	218.846	2.762978
63	94.00	93.55	0.479541	0.448618	0.201258	0.002151
64	73.00	79.25	7.884512	6.248345	39.04182	0.492652
65	70.00	67.85	3.169627	2.150574	4.624968	0.068165

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
66	81.30	69.54	16.90419	11.75587	138.2005	1.987234
67	79.00	73.46	7.546476	5.543386	30.72913	0.41833
68	80.00	79.00	1.263959	0.998546	0.997094	0.012621
69	72.00	64.44	11.72597	7.556613	57.10239	0.886086
70	77.00	71.42	7.81289	5.579968	31.13605	0.435957
71	74.00	70.00	5.717169	4.001909	16.01527	0.228796
72	82.50	75.90	8.699611	6.602764	43.5965	0.574415
73	76.30	77.77	1.886381	1.466981	2.152035	0.027673
74	72.00	65.00	10.77477	7.003248	49.04548	0.754584
75	72.00	70.21	2.555572	1.794161	3.219013	0.045851
76	70.50	71.04	0.762564	0.541739	0.293481	0.004131
77	68.00	75.39	9.79786	7.386238	54.55652	0.723693
78	72.00	62.19	15.77032	9.807897	96.19484	1.546737
79	64.00	63.48	0.818262	0.519437	0.269815	0.00425
80	63.30	67.69	6.483075	4.388282	19.25702	0.284496
81	60.00	51.23	17.11617	8.768816	76.89214	1.500885
82	60.00	66.79	10.16162	6.7866	46.05794	0.689628
83	59.00	56.69	4.078323	2.311923	5.344987	0.094288
84	66.00	54.14	21.91589	11.86432	140.762	2.600171
85	77.30	76.54	0.988219	0.756418	0.572168	0.007475
86	78.30	74.68	4.842718	3.616701	13.08053	0.175147
87	78.30	78.83	0.673719	0.5311	0.282067	0.003578
88	78.30	60.85	28.6722	17.4477	304.4221	5.002639

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
89	78.30	72.11	8.582627	6.189017	38.30393	0.53118
90	77.30	77.22	0.099884	0.077133	0.005949	7.7E-05
91	75.00	69.37	8.119934	5.632588	31.72605	0.457362
92	59.00	57.82	2.033695	1.175964	1.382892	0.023916
93	63.30	60.44	4.727673	2.857522	8.165434	0.135094
94	81.30	70.54	15.24953	10.75741	115.7219	1.640455
95	78.00	66.99	16.44278	11.01431	121.3151	1.811059
96	70.30	66.20	6.191283	4.098709	16.79942	0.253763
97	70.30	67.32	4.431014	2.982833	8.897292	0.13217
98	81.00	66.05	22.63021	14.94776	223.4355	3.382709
99	81.00	78.32	3.422436	2.680437	7.184742	0.091736
100	81.00	85.34	5.089827	4.343855	18.86907	0.221095
101	65.80	60.40	8.941269	5.400483	29.16522	0.482872
102	71.00	65.04	9.169038	5.963245	35.56029	0.546772
103	75.30	69.52	8.3165	5.781505	33.4258	0.480819
104	74.30	74.38	0.112231	0.083481	0.006969	9.37E-05
105	69.30	66.43	4.316418	2.867504	8.222582	0.123773
106	72.00	64.80	11.1155	7.202562	51.8769	0.800601
107	79.00	75.54	4.577396	3.457863	11.95681	0.15828
108	67.00	70.43	4.874836	3.433518	11.78905	0.167378
109	70.00	63.04	11.04348	6.961628	48.46427	0.768806
110	68.00	66.11	2.853151	1.886323	3.558214	0.05382
111	66.00	64.26	2.702854	1.736936	3.016948	0.046947

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
112	66.30	64.07	3.479757	2.229498	4.97066	0.077581
113	70.00	64.04	9.311653	5.962912	35.55632	0.555246
114	77.00	75.21	2.38072	1.790527	3.205986	0.042627
115	71.00	73.72	3.695594	2.72456	7.42323	0.100689
116	71.00	68.45	3.720897	2.547063	6.48753	0.094774
117	73.00	74.53	2.058855	1.534558	2.35487	0.031594
118	72.00	70.45	2.20024	1.550068	2.402709	0.034105
119	77.50	71.87	7.827432	5.625897	31.65071	0.440363
120	78.50	66.19	18.59004	12.30557	151.427	2.287609
121	80.50	75.21	7.031631	5.288589	27.96917	0.371874
122	82.50	74.83	10.24575	7.667182	58.78568	0.78556
123	80.50	70.99	13.39018	9.506195	90.36774	1.272896
124	71.50	72.95	1.993561	1.45439	2.115251	0.028994
125	75.50	74.54	1.290873	0.962188	0.925806	0.012421
126	74.50	74.85	0.462548	0.346199	0.119854	0.001601
127	68.50	65.95	3.863709	2.548186	6.493252	0.098454
128	67.50	67.93	0.637586	0.433132	0.187604	0.002762
129	71.50	69.95	2.21221	1.547496	2.394744	0.034234
130	72.50	75.60	4.097286	3.097443	9.594156	0.126911
131	63.50	75.22	15.57907	11.71832	137.319	1.825605
132	75.50	70.80	6.631003	4.695077	22.04375	0.311331
133	76.50	78.79	2.903889	2.287914	5.23455	0.066438
134	60.50	73.69	17.8999	13.19053	173.99	2.361091

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
135	40.50	63.39	36.1147	22.89486	524.1748	8.268411
136	66.50	73.40	9.403034	6.902017	47.63783	0.648999
137	67.50	62.43	8.121614	5.070299	25.70794	0.41179
138	71.50	68.85	3.852192	2.652151	7.033906	0.102166
139	83.50	67.30	24.06409	16.19607	262.3128	3.897437
140	78.50	71.47	9.833078	7.027907	49.39147	0.69106
141	79.50	72.10	10.26094	7.398312	54.73502	0.759136
142	77.50	72.12	7.466074	5.384218	28.9898	0.40199
143	73.50	78.23	6.049769	4.73291	22.40044	0.28633
144	76.50	78.59	2.654779	2.086292	4.352616	0.055386
145	68.50	74.53	8.091554	6.030691	36.36924	0.487977
146	68.50	72.24	5.18246	3.744017	14.01767	0.194032
147	60.50	66.50	9.027723	6.003777	36.04533	0.542004
148	73.50	63.45	15.84255	10.05181	101.0389	1.592463
149	77.50	72.12	7.466013	5.384177	28.98936	0.401983
150	73.50	74.65	1.540497	1.149981	1.322456	0.017715
151	76.50	61.32	24.75705	15.18082	230.4573	3.758324
152	75.50	66.13	14.16205	9.365941	87.72084	1.326409
153	75.50	72.82	3.674098	2.675638	7.15904	0.098306
154	76.50	75.64	1.136391	0.859571	0.738862	0.009768
155	72.50	77.51	6.459042	5.006155	25.06159	0.32335
156	91.50	73.09	25.18789	18.40987	338.9232	4.637058
157	63.50	70.26	9.622614	6.760939	45.7103	0.650579

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
158	74.50	77.07	3.332939	2.568651	6.597967	0.085612
159	74.50	63.09	18.09012	11.41259	130.2472	2.064551
160	77.50	80.12	3.269406	2.619429	6.86141	0.08564
161	85.50	88.65	3.550649	3.147564	9.907159	0.111759
162	82.50	79.02	4.399331	3.476505	12.08609	0.152943
163	61.50	83.85	26.65177	22.34661	499.3709	5.955768
164	79.50	69.43	14.50907	10.07319	101.4691	1.461526
165	77.50	69.21	11.9711	8.28571	68.65299	0.99189
166	71.50	71.73	0.320447	0.229856	0.052834	0.000737
167	76.50	63.17	21.10174	13.32997	177.6882	2.812856
168	65.50	74.35	11.89998	8.847316	78.27499	1.052829
169	89.50	71.15	25.78529	18.34701	336.6127	4.730829
170	67.50	62.72	7.619122	4.778805	22.83697	0.364103
171	69.00	64.25	7.399979	4.754177	22.6022	0.351808
172	64.00	62.69	2.0891	1.309664	1.715219	0.02736
173	74.00	64.68	14.41811	9.324922	86.95417	1.344477
174	77.80	64.68	20.28098	13.11812	172.0851	2.660484
175	78.40	73.74	6.313453	4.655805	21.67652	0.293942
176	79.00	75.95	4.009835	3.045644	9.275948	0.122125
177	90.40	88.01	2.718099	2.39214	5.722336	0.065021
178	81.00	83.30	2.763261	2.301848	5.298504	0.063606
179	82.40	79.80	3.264245	2.604713	6.784532	0.085024
180	79.00	85.21	7.285856	6.208143	38.54104	0.452316

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
181	75.00	70.91	5.768789	4.090613	16.73311	0.235979
182	79.40	74.48	6.601223	4.916802	24.17494	0.324569
183	76.40	74.74	2.225699	1.663412	2.766938	0.037023
184	81.40	76.13	6.9183	5.267103	27.74237	0.364394
185	75.00	61.11	22.72053	13.88553	192.808	3.154867
186	76.40	70.84	7.841083	5.555014	30.85818	0.435573
187	86.40	79.86	8.189191	6.539896	42.77024	0.535565
188	81.40	67.46	20.66499	13.9405	194.3375	2.880803
189	84.40	78.73	7.196968	5.66643	32.10843	0.407811
190	81.40	86.95	6.385963	5.552772	30.83327	0.354598
191	80.40	82.38	2.40191	1.978661	3.9151	0.047526
192	80.80	81.02	0.275296	0.223053	0.049753	0.000614
193	68.40	62.20	9.972934	6.202878	38.47569	0.618609
194	76.40	69.81	9.445183	6.593364	43.47245	0.622755
195	78.80	79.08	0.359525	0.284328	0.080842	0.001022
196	83.40	80.11	4.107398	3.290419	10.82686	0.135151
197	73.00	65.42	11.59027	7.582109	57.48838	0.878787
198	74.40	63.23	17.67099	11.17286	124.8328	1.974355
199	84.00	77.46	8.445535	6.541763	42.79466	0.552487
200	83.40	78.40	6.373645	4.997121	24.97122	0.318499
201	84.00	87.87	4.406935	3.872483	14.99612	0.170658
202	76.40	70.66	8.116226	5.735306	32.89374	0.46549
203	85.00	77.49	9.697821	7.514414	56.46641	0.728734

ID	V85 OBSERVADA	V85 PRONOSTICADA EBOLLI	MODELO ESTA INVESTIGACIÓN			
			MAPE	MAE	MSE	Chi-cuadrado
204	83.00	76.21	8.90323	6.785548	46.04366	0.604133
205	82.40	87.91	6.26673	5.509021	30.34932	0.345236
206	82.40	83.92	1.814986	1.523194	2.320121	0.027646
207	73.40	84.83	13.47258	11.4286	130.6129	1.539728
208	78.60	67.09	17.16333	11.51416	132.576	1.976214
209	82.00	80.60	1.736478	1.399608	1.958903	0.024304
210	72.00	70.12	2.676251	1.876676	3.521913	0.050225
211	75.40	65.42	15.25834	9.981741	99.63516	1.523048
212	76.00	67.06	13.33234	8.940587	79.9341	1.191989
213	79.40	84.26	5.77297	4.864569	23.66403	0.28083
214	82.40	87.51	5.835597	5.106529	26.07663	0.297996
215	71.40	82.09	13.02563	10.69315	114.3434	1.392849
216	72.40	68.01	6.457827	4.391848	19.28833	0.283618
217	67.00	67.94	1.382197	0.939051	0.881818	0.01298
218	74.80	67.41	10.96979	7.394264	54.67514	0.811135
219	61.00	59.38	2.733734	1.623204	2.63479	0.044374

**Anexo G. Estimación de percentil 85 y condiciones geométricas para la ruta Ipiales-Pasto
entre el K0+00 al Km 20+000.**

No.	ELEMENTO	S	R(m)	e(%)	ABCISAS	ABCISAS	LONGITUD (Lc)	Velocidad específica (km/h)	PENDIENTE (%)
					INICIAL	FINAL			
3	C	I	165,38	6,2	PR0+440.557	PR0+527.194	86.617	50,57	7,079
5	C	D	100,12	7,6	PR0+870.47	PR0+957.218	86.748	50,22	3,294
7	C	I	135,02	6,8	PR1+094.606	PR1+184.785	90.179	50,46	5,27
9	C	D	406,97	3,6	PR1+555.188	PR1+615.349	60.161	50,78	7,371
11	C	D	89,81	7,8	PR2+025.431	PR2+113.265	87.834	49,95	7,371
13	C	I	100,19	7,6	PR2+279.553	PR2+392.36	112.807	50,23	-6,338
15	C	I	169,55	6,2	PR2+843.878	PR2+897.42	53.542	51,11	6,008
17	C	D	82,54	8	PR2+951.682	PR2+969.91	18.228	52,39	6,008
19	C	D	165,19	6,2	PR3+358.428	PR3+551.755	193.327	50,54	-2,131
21	C	D	3046,28	2,5	PR6+911.593	PR7+077.294	165,706	50,78	-0,078
23	C	I	191,65	5,8	PR7+151.862	PR7+298.323	146.461	50,78	-0,078
25	C	D	142,71	6,6	PR8+688.341	PR8+736.231	47,89	50,25	-3,303
27	C	I	158,14	6,4	PR9+364.13	PR9+484.414	120.284	50,98	-3,303
29	C	I	266,46	4,8	PR10+900.636	PR10+973.685	73.049	50,32	-7,24
31	C	I	292,16	4,6	PR11+496.748	PR11+613.505	116.757	50,98	-6,743
33	C	D	99,68	7,6	PR11+811.737	PR11+933.481	121.744	50,13	-6,743
35	C	I	120,5	7,2	PR12+043.899	PR12+162.898	118.999	50,93	-6,743
37	C	D	146,23	6,6	PR12+507.887	PR12+598.434	90.547	50,76	-6,743
39	C	D	536,65	3	PR12+982.516	PR13+049.779	67.263	52,16	-6,743
41	C	D	98,99	7,6	PR13+180.07	PR13+246.546	66.476	50,00	-6,743
43	C	I	82,57	8	PR13+292.43	PR13+363.93	71.5	52,39	-6,743
45	C	D	161,18	6,2	PR13+434.239	PR13+486.371	52.132	50,02	-6,743
47	C	I	200,09	5,6	PR13+585.05	PR13+649.648	64.598	50,23	-6,743
49	C	D	256,99	5	PR13+732.01	PR13+801.431	69.422	51,07	-6,743
51	C	D	191,75	5,8	PR14+323.76	PR14+405.521	81.761	50,79	-6,743
53	C	I	152,67	6,4	PR14+475.504	PR14+591.303	115.799	50,23	-1,565
55	C	D	101	7,6	PR14+750.238	PR14+832.646	82.408	50,39	-7,104
57	C	I	54,67	8	PR14+891.757	PR14+940.905	49.148	44,27	-7,104
59	C	D	61,97	8	PR15+052.159	PR15+149.197	97.038	46,55	-7,104
61	C	I	66,11	8	PR15+178.721	PR15+263.165	84.444	47,85	-7,104
63	C	D	67,15	8	PR15+313.813	15+404.297	90.484	48,17	-7,104
65	C	I	67,15	8	PR15+459.755	PR15+547.768	88.013	48,17	-7,104
67	C	D	59,31	8	PR15+616.192	PR15+696.106	79.914	45,72	-7,104
69	C	I	93,78	7,8	PR15+782.697	PR15+875.881	93.184	50,80	-7,104
71	C	D	124,83	7	PR15+945.422	PR15+998.482	53,06	50,30	-7,104
73	C	I	108,95	7,4	PR16+080.788	PR16+195.377	114.589	50,35	-7,104
75	C	D	84,39	8	PR16+388.998	PR16+456.292	67.294	52,85	-7,104
77	C	I	179,82	6	PR16+549.163	PR16+608.379	59.216	50,97	-7,104
79	C	D	55,3	8	PR16+748.381	PR16+811.567	63.186	44,47	-7,104
81	C	I	79	8	PR16+863.024	PR17+000.78	137.756	51,50	-7,104
83	C	D	95,21	7,8	PR17+133.421	PR17+193.279	59.472	51,11	-4,407
85	C	I	126,15	7	PR17+459.817	PR17+625.21	165.393	50,51	-6,958
87	C	D	201,88	5,6	PR17+767.423	PR18+031.408	263.985	50,43	-4,67
89	C	D	103,34	7,6	PR18+279.159	PR18+357.263	78.104	50,85	-6,63
91	C	D	87,92	8	PR18+517.549	PR18+571.358	53.809	53,73	-6,63
93	C	I	77,6	8	PR18+624.355	PR18+682.405	58,05	51,15	-6,63
95	C	I	54,36	8	PR18+793.954	PR18+867.186	73.232	44,18	-5,771
97	C	D	57,27	8	PR18+904.53	PR18+966.11	61,58	45,08	-7,421
99	C	I	80,69	8	PR19+029.864	PR19+070.364	40,5	51,92	-7,421
101	C	D	116,46	7,2	PR19+114.186	PR19+164.975	50.789	50,25	-7,421
103	C	I	55,97	8	PR19+195.945	PR19+246.776	50.831	44,68	-7,421
105	C	D	43,01	8	PR19+337.909	PR19+404.254	66.345	40,63	5,258
107	C	I	47,89	8	PR19+428.845	PR19+478.173	49.328	42,15	5,258
109	C	D	113,35	7,4	PR19+543.65	PR19+586.822	43.172	51,15	-2,301
111	C	D	95,18	7,8	PR19+714.746	PR19+787.541	72.795	51,10	-2,301
113	C	I	80,25	8	PR19+902.41	PR19+981.909	79.499	51,81	0,792

**Anexo H. Estimación de percentil 85 para la ruta Ipiiales-Pasto entre el K38+000 al Km
53+000**

ELEM	COTA		TIPO	RADIO	LONG	PERALTE MAXIMO			VEL. DISEÑO	VEL. ESPECIF.
	INICIO	FIN				L1	L2	PER.		
2	K38+687.98	K38+771.31	Curva	72.98	83.33	3.61	1.86	11.3	40	50
4	K38+807.96	K38+911.86	Curva	55.63	103.9	1.4	2.16	9.1	40	45
6	K38+946.67	K38+987.7	Curva	76.92	41.04	2.44	1.65	9.8	40	50
8	K39+074.18	K39+166.91	Curva	128.96	92.72	0.7	1.12	5.5	40	40
10	K39+439.13	K39+485.2	Curva	285.7	46.08	1.2	0.92	3.6	40	40
12	K39+548.67	K39+633.68	Curva	238.34	85.01	1.53	1.26	3.7	40	40
14	K39+681.78	K39+725.83	Curva	61.78	44.05	1.22	2.1	10.5	40	45
16	K39+790.05	K39+843.8	Curva	213.86	53.75	1.07	1.33	3.5	40	40
18	K39+889.23	K39+966.21	Curva	53.31	76.98	5	4.08	11.7	40	45
20	K40+065.51	K40+165.51	Curva	51.38	100	0.04	0.85	10.5	40	45
22	K40+288.98	K40+347.66	Curva	378.62	58.68	1.12	0.94	2.4	40	40
24	K40+722.97	K40+811.3	Curva	268.64	88.33	0.6	0.84	3.6	40	40
26	K40+921.65	K40+953.16	Curva	387.52	31.51	0.42	0.46	0.5	40	40
28	K41+168.31	K41+451.69	Curva	160	283.38	0.94	0.52	5.6	40	45
30	K41+866.17	K41+945.89	Curva	173.51	79.72	1.19	1.32	1.7	40	40
32	K42+027.52	K42+097.46	Curva	128.83	69.94	3.37	3.92	6.9	40	50
34	K42+192.63	K42+252.6	Curva	135.83	59.97	0.75	1.16	5.5	40	40
36	K42+412.41	K42+489.29	Curva	275.39	76.88	2.28	2.55	3.6	40	40
38	K42+669.94	K42+739.52	Curva	103.9	69.58	0.47	1.16	8.1	40	60
40	K42+797.19	K42+842.81	Curva	147.76	45.62	1.63	1.21	5.3	40	40
42	K42+931.77	K42+961.64	Curva	60.47	29.87	0.98	1.64	8.2	40	45
44	K43+038.50	K43+089.05	Curva	185.34	50.55	0.91	1.23	3.8	40	40
46	K43+233.67	K43+321.1	Curva	315.02	87.43	0.85	1.23	5	40	55
48	K43+573.87	K43+642.46	Curva	100.44	68.58	0.44	1.19	9.7	40	60
50	K43+708.06	K43+851.44	Curva	123.21	143.39	2.09	2.65	7.1	40	50
52	K43+924.29	K43+992.12	Curva	126.6	67.83	1.65	1.2	6.2	40	45
54	K44+095.57	K44+254.45	Curva	182.06	158.88	0.7	1.07	4.7	40	40
56	K44+371.74	K44+452.33	Curva	101.12	80.59	0.73	1.32	7.3	40	50
58	K44+520.61	K44+684.86	Curva	160.19	164.25	1.28	0.95	3.9	40	40
60	K44+793.32	K44+854.71	Curva	93.62	61.39	0.78	1.26	6.1	40	40
62	K44+956.86	K45+056.13	Curva	118.77	99.27	0.3	0.76	6.2	40	45
64	K45+124.11	K45+201.54	Curva	77.47	77.43	N.E.	N.E	N.E	40	N.E.
66	K45+277.52	K45+339.21	Curva	94.61	61.69	N.E.	N.E	N.E	40	N.E.
68	K45+438.67	K45+532.79	Curva	67.64	94.12	2.22	1.63	6.9	40	40

ELEM	COTA		TIPO	RADIO	LONG	PERALTE MAXIMO			VEL. DISEÑO	VEL. ESPECIF.
	INICIO	FIN				L1	L2	PER.		
70	K45+760.72	K45+818.12	Curva	69.74	57.4	0.34	1.12	9.3	40	50
72	K45+861.14	K45+921.43	Curva	128.6	60.29	0.42	0.81	4.8	40	40
74	K46+108.29	K46+199.72	Curva	57.79	91.44	1.35	0.72	5.7	40	40
76	K46+256.14	K46+318.64	Curva	151.84	62.5	1.42	0.82	5.6	40	45
78	K46+419.70	K46+513.35	Curva	175.41	93.66	1.79	1.28	6.1	40	50
80	K46+712.41	K46+770.15	Curva	207.24	57.74	0.64	1.11	5.6	40	50
82	K46+819.39	K46+873.66	Curva	409.09	54.27	1.34	1.46	1.8	40	40
84	K47+010.35	K47+063.74	Curva	90.32	53.39	1.85	1.22	8.7	40	55
86	K47+104.79	K47+169.08	Curva	201.16	64.29	1.08	1.41	4.4	40	40
88	K47+214.32	K47+272.81	Curva	199.3	58.49	1.54	1.84	4.1	40	40
90	K47+495.41	K47+572.99	Curva	222.6	77.58	2.02	1.67	4.3	40	40
92	K47+662.02	K47+718.19	Curva	114.92	56.16	0.43	0.91	6	40	40
94	K47+778.18	K47+896.19	Curva	87.4	118.01	1.58	2.19	7.6	40	50
96	K47+970.77	K48+036.86	Curva	84.74	66.09	0.58	1.25	7.9	40	50
98	K48+383.53	K48+448.7	Curva	109.28	65.16	2.1	1.59	6.7	40	40
100	K48+619.02	K48+679.39	Curva	100.59	60.37	0.98	1.4	5.4	40	40
102	K48+778.37	K48+812.55	Curva	138.82	34.18	0.63	1.01	5	40	40
104	K48+868.61	K49+016.96	Curva	87.82	148.35	2.35	1.73	7.7	40	50
106	K49+258.16	K49+300.93	Curva	243.18	42.77	1.14	0.86	2.8	40	40
108	K49+390.50	K49+447.53	Curva	231.99	57.03	0.08	0.42	3.5	40	40
110	K49+732.05	K49+808.63	Curva	75.52	76.58	1.38	1.56	1.9	40	40
112	K49+866.26	K49+978.36	Curva	92.39	112.1	0.54	1.22	7.5	40	50
114	K50+046.07	K50+098.57	Curva	105.5	52.5	1.88	1.23	6.4	40	45
116	K50+231.52	K50+280.27	Curva	156.92	48.75	0.33	0.96	6.6	40	50
118	K50+379.73	K50+430.95	Curva	102.22	51.22	0.65	1.11	4.8	40	40
120	K50+485.88	K50+542.72	Curva	78.57	56.85	2.25	1.42	8.6	40	50
122	K50+603.86	K50+645.26	Curva	79.31	41.4	0.49	1.3	8.7	40	50
124	K50+820.55	K50+858.66	Curva	85.06	38.11	1.95	1.28	7.2	40	45
126	K50+995.00	K51+184.41	Curva	60.37	189.4	1.19	1.83	6.7	40	40
128	K51+294.51	K51+366.11	Curva	93.93	71.6	0.43	1.18	10.1	40	55
130	K51+427.46	K51+486.92	Curva	99.45	59.46	1.8	1.29	6.9	40	45
132	K51+545.06	K51+608.10	Curva	65.75	63.04	0.54	1.12	6.6	40	40
134	K51+680.48	K51+736.09	Curva	82.51	55.61	2.04	1.42	8.3	40	50
136	K51+790.03	K51+856.71	Curva	103.54	66.67	0.47	1.17	9.3	40	60
138	K52+069.96	K52+115.31	Curva	134.53	45.35	1.7	1.26	5.6	40	40
140	K52+225.74	K52+275.67	Curva	91.68	49.93	1.55	1.23	4.2	40	40
142	K52+337.55	K52+401.89	Curva	312.82	64.34	0.53	1.04	6.5	40	60
144	K52+532.90	K52+755.70	Curva	95.71	222.8	0.73	0.87	1.5	40	40

**Anexo I. Estimación de percentil 85 para la ruta Ipiales-Pasto entre el K52+000 al Km
69+000**

No. E.L.M.	E.L.M.	S	R	Δx	EXT	Te	ABSCISA	ABSCISA	LONGITUD ELEMENTO (Lc)	PENDIENTE (%)
							TC / PC	CT / PT		
1	C	I	96.472	48° 20' 05.00"	9.268	43.29	K 52 + 962.471	K 53 + 043.855	81.384	5.853
3	C	D	103.391	37° 25' 16.00"	5.769	35.017	K 53 + 145.918	K 53 + 213.445	67.527	5.853
5	C	I	249.848	10° 27' 18.00"	1.044	22.859	K 53 + 253.532	K 53 + 299.123	45.591	5.853
7	C	D	165.111	19° 02' 23.00"	2.306	27.689	K 53 + 406.162	K 53 + 461.029	54.867	5.853
9	C	I	83.505	56° 45' 05.00"	11.403	45.105	K 53 + 539.297	K 53 + 622.009	82.712	5.853
11	C	D	126.801	63° 44' 14.00"	22.506	78.83	K 53 + 750.632	K 53 + 891.689	141.057	5.853
13	C	I	236.148	18° 51' 22.00"	3.234	39.213	K 53 + 986.566	K 54 + 064.283	77.717	5.853
15	C	D	118.742	36° 10' 56.00"	6.175	38.79	K 54 + 187.398	K 54 + 262.383	74.985	5.853
17	C	I	63.935	74° 00' 48.00"	16.127	48.19	K 54 + 409.208	K 54 + 491.798	82.59	5.853
19	C	D	171.017	13° 40' 34.00"	1.225	20.508	K 54 + 541.294	K 54 + 582.115	40.821	5.853
21	C	I	130.239	20° 44' 05.00"	2.162	23.827	K 54 + 659.848	K 54 + 706.980	47.132	5.853
23	C	D	134.987	20° 36' 49.00"	2.214	24.548	K 54 + 764.876	K 54 + 813.441	48.565	5.853
25	C	D	116.733	38° 57' 52.00"	7.089	41.297	K 54 + 914.059	K 54 + 993.444	79.385	5.853
27	C	D	439.257	10° 46' 28.00"	1.949	41.423	K 55 + 170.391	K 55 + 252.993	82.602	5.853
29	C	D	225.236	21° 41' 14.00"	4.095	43.144	K 55 + 458.880	K 55 + 544.135	85.255	5.853
31	C	D	1128.202	3° 35' 04.00"	0.552	35.302	K 55 + 736.939	K 55 + 807.520	70.581	5.853
33	C	I	71.883	80° 03' 36.00"	21.995	60.381	K 56 + 469.526	K 56 + 569.969	100.443	5.853
35	C	D	111.162	76° 40' 40.00"	30.562	87.913	K 56 + 753.598	K 56 + 902.364	148.766	5.853
37	C	I	137.326	21° 39' 10.00"	2.489	26.262	K 57 + 011.943	K 57 + 063.840	51.897	5.853
39	C	D	187.027	21° 32' 31.00"	3.354	35.579	K 57 + 273.271	K 57 + 343.589	70.318	5.853
41	C	I	176.38	17° 43' 04.00"	2.13	27.491	K 57 + 807.819	K 57 + 862.362	54.543	5.853
43	C	D	172.095	19° 15' 41.00"	2.46	29.203	K 57 + 952.206	K 58 + 010.060	57.854	5.853
45	C	D	117.852	40° 05' 17.00"	7.599	42.997	K 58 + 331.105	K 58 + 413.562	82.457	5.853
47	C	I	148.673	46° 23' 46.00"	13.078	63.715	K 58 + 668.031	K 58 + 788.421	120.39	5.853
49	C	D	140.709	71° 39' 24.00"	32.84	101.588	K 58 + 933.157	K 59 + 109.134	175.977	5.853
51	C	I	142.988	108° 51' 53.00"	102.838	199.962	K 59 + 324.044	K 59 + 595.728	271.684	5.853
53	C	I	141.947	38° 37' 38.00"	8.465	49.747	K 59 + 662.814	K 59 + 758.511	95.697	5.853
55	C	D	103.553	41° 12' 04.00"	7.074	38.924	K 59 + 856.604	K 59 + 931.068	74.464	5.853
57	C	I	111.732	40° 29' 13.00"	7.356	41.206	K 60 + 036.094	K 60 + 115.047	78.953	5.853
59	C	D	98.119	27° 53' 11.00"	2.979	24.361	K 60 + 174.066	K 60 + 221.821	47.755	5.853
61	C	I	87.848	53° 54' 18.00"	10.705	44.669	K 60 + 269.520	K 60 + 352.169	82.649	5.853
63	C	D	60.7	152° 06' 43.00"	191.195	244.472	K 60 + 534.629	K 60 + 695.779	161.15	5.853
65	C	D	115.246	21° 29' 32.00"	2.057	21.872	K 60 + 847.291	K 60 + 890.521	43.23	5.853
67	C	I	95.815	83° 09' 25.00"	32.272	85.004	K 60 + 973.202	K 61 + 112.264	139.062	5.853
69	C	D	154.895	38° 56' 27.00"	9.395	54.761	K 61 + 339.953	K 61 + 445.227	105.274	5.853
71	C	I	78.322	178° 17' 58.00"	5199.582	5277.323	K 61 + 600.805	K 61 + 844.536	243.731	5.853
73	C	D	192.04	67° 51' 33.00"	39.41	129.189	K 62 + 092.970	K 62 + 320.416	227.446	5.853
75	C	I	82.624	125° 55' 57.00"	99.161	161.923	K 62 + 663.536	K 62 + 845.138	181.602	5.853
77	C	D	152.033	55° 12' 45.00"	19.532	79.502	K 62 + 934.585	K 63 + 081.090	146.505	5.853
79	C	I	137.188	47° 13' 26.00"	12.535	59.97	K 63 + 167.501	K 63 + 280.573	113.072	5.853

No. ELM.	ELM.	S	R	Δx	EXT	Te	ABSCISA	ABSCISA	LONGITUD ELEMENTO (Lc)	PENDIENTE (%)
							TC / PC	CT / PT		
81							K 63 + 359.277	K 63 + 386.531	27.254	5.853
81							K 63 + 386.531	K 63 + 786.531	400	CURV. CONVX.
81	C	D	171.8	165° 22' 30.00"	1177.969	1338.791	K 63 + 786.531	K 63 + 835.290	48.759	-0.141
81							K 63 + 835.290	K 63 + 942.860	107.57	CURV. CONCV.
83	C	D	1859.521	173° 27' 31.00"	30733.126	32539.558	K 64 + 713.255	K 64 + 925.000	211.745	5.887
85	C	D	297.669	19° 40' 33.00"	4.443	51.619	K 65 + 220.779	K 65 + 323.001	102.222	5.887
87	C	I	84.916	105° 14' 23.00"	54.955	111.145	K 65 + 442.223	K 65 + 598.195	155.972	5.887
89	C	D	192.001	80° 05' 50.00"	58.817	161.386	K 65 + 663.296	K 65 + 931.706	268.41	5.887
91	C	I	177.855	32° 01' 06.00"	7.176	51.03	K 66 + 210.600	K 66 + 309.990	99.39	5.887
93	C	D	79.84	146° 08' 24.00"	194.333	262.291	K 66 + 427.248	K 66 + 630.890	203.642	5.887
95	C	I	99.09	74° 03' 19.00"	25.029	74.745	K 66 + 702.198	K 66 + 830.273	128.075	5.887
97	C	I	104.011	53° 19' 15.00"	12.374	52.222	K 67 + 047.215	K 67 + 144.010	96.795	5.887
99	C	I	501.602	22° 30' 16.00"	9.831	99.795	K 67 + 442.513	K 67 + 639.531	197.018	5.887
101	C	D	61.615	95° 32' 55.00"	30.067	67.891	K 67 + 803.447	K 67 + 906.199	102.752	5.887
103	C	I	69.748	79° 49' 57.00"	21.19	58.352	K 67 + 985.509	K 68 + 082.692	97.183	5.887

**Anexo J. Estimación de percentil 85 para la ruta Ipiales-Pasto entre el K68+000 al Km
83+000**

ACOTADO		TIPO DE ELEMENTO	RADIO (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (%)	PERALTE (%)	V. DISEÑO (Km/h)	V. ESPECIF. (Km/h)
INICIO	FIN							
K 67+986	K 68+083	CURVA	69.75	97.18	5.9	8.5	40	50
K 68+186	K 68+324	CURVA	70.95	137.82	5.9	8.6	40	50
K 68+389	K 68+522	CURVA	94.3	132.6	5.9	7.2	40	45
K 68+638	K 68+707	CURVA	145.52	69.1	5.9	5.6	40	40
K 68+787	K 68+868	CURVA	97.55	80.58	5.9	8.1	40	55
K 68+998	K 69+133	CURVA	206.32	134.74	5.9	3	40	40
K 69+233	K 69+405	CURVA	333.67	171.29	5.9	2.3	40	50
K 70+016	K 70+171	CURVA	717.78	155.74	5.9	2.2	40	50
K 70+330	K 70+442	CURVA	280.33	112.49	5.9	1.2	40	40
K 70+571	K 70+707	CURVA	210.54	135.95	5.9	3	40	40
K 70+953	K 71+036	CURVA	132.66	82.84	5.9	7	40	50
K 71+113	K 71+206	CURVA	135.68	93.02	5.9	5.9	40	40
K 71+396	K 71+516	CURVA	216.36	120.28	-7	4.3	40	40
K 71+670	K 71+737	CURVA	160.06	67.43	-7	6.2	40	50
K 71+956	K 72+064	CURVA	63.78	108.22	-7	9.9	40	45
K 72+171	K 72+265	CURVA	158.05	93.71	-7	4.9	40	40
K 72+333	K 72+435	CURVA	184.43	102.21	-7	7.6	40	65
K 72+569	K 72+681	CURVA	84.84	111.52	-7	9.6	40	50
K 72+801	K 72+882	CURVA	108.09	81.2	-7	8.4	40	60
K 73+325	K 73+452	CURVA	371.96	127.48	-5.4	3.6	40	50
K 73+852	K 73+936	CURVA	216.48	83.57	-5.4	4.1	40	40
K 74+178	K 74+265	CURVA	315.41	87.18	-5.4	3.4	40	40
K 74+404	K 74+511	CURVA	78.66	106.99	-4.6	7.8	40	45
K 74+565	K 74+675	CURVA	106.66	110.82	-4.6	8.6	40	60
K 74+770	K 74+904	CURVA	231.41	133.6	-4.6	4	40	40
K 75+019	K 75+119	CURVA	195.45	100.54	-6.4	5.3	40	45
K 75+256	K 75+345	CURVA	101.06	89.86	-6.4	7	40	45
K 75+421	K 75+505	CURVA	65.57	83.53	-6.4	9.6	40	50
K 75+565	K 75+651	CURVA	281.88	86.25	-6.4	3	40	40
K 75+852	K 75+972	CURVA	156.54	119.69	-4.7	5.9	40	50
K 76+275	K 76+421	CURVA	193.74	146.43	-7.1	4.7	40	40
K 77+019	K 77+096	CURVA	97.16	77.31	-4.1	8.9	40	55
K 77+229	K 77+321	CURVA	219.29	91.78	-6.5	4.9	40	45
K 77+460	K 77+673	CURVA	258.8	213.07	-6.5	4.5	40	45
K 77+745	K 77+836	CURVA	229.31	90.74	-6.5	4.5	40	45
K 78+200	K 78+288	CURVA	188.05	88.75	-5.3	3	40	40
K 78+600	K 78+660	CURVA	707.89	59.9	-5.3	0.7	40	40
K 78+996	K 79+118	CURVA	87.61	121.66	-8.3	6.7	40	40
K 79+467	K 79+644	CURVA	138.13	176.93	-6.1	5	40	40
K 79+736	K 79+838	CURVA	97.32	101.81	-5	8.1	40	55
K 79+929	K 80+021	CURVA	202.06	92.4	-5	5.6	40	50

ACOTADO		TIPO DE ELEMENTO	RADIO (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (%)	PERALTE (%)	V. DISEÑO (Km/h)	V. ESPECIF. (Km/h)
INICIO	FIN							
K 80+081	K 80+285	CURVA	293.81	203.9	-5.6	3.8	40	45
K 80+591	K 80+680	CURVA	642.21	88.75	-5.9	0.9	40	40
K 80+914	K 81+048	CURVA	246.85	133.76	-3.9	4.3	40	40
K 81+459	K 81+529	CURVA	182.2	70.5	-6.4	5.4	40	45
K 81+613	K 81+695	CURVA	97.49	81.75	-6.4	8.7	40	55
K 81+842	K 81+900	CURVA	95.05	58.18	-6.4	8.6	40	55
K 81+993	K 82+057	CURVA	75.09	64.09	-6.4	6.1	40	40
K 82+112	K 82+198	CURVA	68.96	85.33	-2.2	7.7	40	40
K 82+399	K 82+456	CURVA	88.21	57.2	-4.6	7.2	40	45
K 82+586	K 82+660	CURVA	277.94	73.56	-4.6	3.7	40	40
K 82+760	K 82+834	CURVA	194.03	74.26	-2	4.1	40	40