

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

**ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DEL MODELO DE CONSISTENCIA DE  
VELOCIDAD EN CURVAS CERRADAS DE UNA CARRETERA RURAL**

Autor:

JAVIER ALEJANDRO ARÉVALO LUISATAXI

Tutor:

ING. VÍCTOR VELÁSQUEZ MGS.

**Riobamba – Ecuador**

**Año 2020**

## REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “**ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DEL MODELO DE CONSISTENCIA DE VELOCIDAD EN CURVAS CERRADAS DE UNA CARRETERA RURAL**”, presentado por: Javier Alejandro Arévalo Luisataxi.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Vladimir Pazmiño

Miembro Tribunal



---

Ing. Ángel Paredes

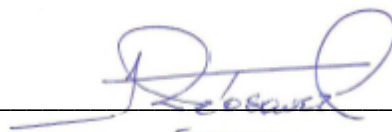
Miembro Tribunal



---

Ing. Víctor Velásquez

Director del Proyecto



---

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Víctor Velásquez, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “**ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DEL MODELO DE CONSISTENCIA DE VELOCIDAD EN CURVAS CERRADAS DE UNA CARRETERA RURAL**”, CERTIFICO; que el informe final de trabajo investigativo ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al Señor Javier Alejandro Arévalo Luisataxi para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

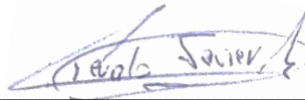
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Victor Velasquez', is written above a horizontal line.

Ing. Víctor Velásquez Mgs.

Tutor del Proyecto

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación corresponde exclusivamente a: Javier Alejandro Arévalo Luisataxi y al Ing. Víctor Velásquez Benavides y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Arévalo Javier', is written over a horizontal line.

Javier Alejandro Arévalo Luisataxi

C.I.: 060258839-4

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi gratitud a los docentes de la carrera de Ingeniería Civil que contribuyeron en mi formación profesional, con gran afecto a la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, quien me abrió sus puertas y me permitió ser alguien en la vida, a mi tutor de tesis Ing. Víctor Velásquez, quien con su instrucción, conocimiento y guía fueron de gran importancia para culminar el presente estudio.

Un reconocimiento a todos los miembros del tribunal y al cuerpo administrativo de esta honorable Universidad que me asesoraron para la culminación de mi estudio, así mismo a mis compañeros de clase, quienes compartí día a día experiencias y momentos gratos en la vida.

**Alejandro Arévalo**

## **DEDICATORIA**

Con humildad y mucho respeto dedico este trabajo de investigación a Dios por guiarme y darme la sabiduría necesaria para cumplir mi meta. A mis Padres, que con su esfuerzo y sacrificio me dieron la oportunidad de ser alguien en la vida, a mis hermanos por sus consejos y su fe incondicional que me han llevado a prepararme para afrontar mi futuro como profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
REVISIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
INDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo general.....	6
2.2 Objetivos Específicos.....	6
3. ESTADO DEL ARTE.....	7
3.1 Tipos de terreno.....	7
3.2 Estudio de tránsito.....	8
3.3 Clase de carretera.....	8
3.4 Cálculo de la velocidad de diseño.....	10

3.5. Tipos de velocidades .....	12
3.6 IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model) .....	14
3.7 Consistencia de diseño .....	15
4. <i>METODOLOGÍA</i> .....	16
5. <i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i> .....	21
6. <i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i> .....	34
6.1 Conclusiones.....	34
6.2 Recomendaciones .....	35
7. <i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	36



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Acumulado enero - diciembre 2018 vs enero - diciembre 2019 _____	2
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de las Carreteras por su Orografía según la norma de diseño geométrico. _____	7
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de Carreteras en Función del Tráfico Proyectado _____	8
<b>Tabla 4.</b> Relación Función, Clase MOP y Tráfico _____	9
<b>Tabla 5.</b> Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos (VTR) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno _____	11
<b>Tabla 6.</b> Velocidades de marcha teóricas en función de la velocidad de diseño (km) _____	12
<b>Tabla 7.</b> Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de velocidades de operación _____	14
<b>Tabla 8.</b> Intervalos y calificación de la consistencia del trazado _____	15
<b>Tabla 9.</b> Condiciones del tramo de la vía e487 _____	17
<b>Tabla 10.</b> Coordenadas del Inicio y Fin de Curvatura CV006 _____	18
<b>Tabla 11.</b> Velocidad Estimada de cada curva cerrada, obtenida por el software IHSDM. _____	19
<b>Tabla 12.</b> Diferencia entre la velocidad de diseño vs la velocidad observada del tramo Colta – Bucay (Ida) _____	21
<b>Tabla 13.</b> Porcentaje de la evaluación consistencia de la velocidad tramo Colta – Bucay (Ida) _____	22
<b>Tabla 14.</b> Diferencia entre la velocidad de diseño vs la velocidad observada del tramo Bucay – Colta (Vuelta) _____	24
<b>Tabla 15.</b> Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Bucay – Colta (Vuelta) _____	25
<b>Tabla 16.</b> Diferencia entre la velocidad estimada vs la velocidad observada del tramo Colta – Bucay (ida) _____	26
<b>Tabla 17.</b> Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Bucay – Colta (Ida) _____	28
<b>Tabla 18.</b> Diferencia entre la velocidad estimada vs la velocidad observada del tramo Bucay – Colta (Vuelta) _____	29
<b>Tabla 19.</b> Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Bucay – Colta (Vuelta) _____	31
<b>Tabla 20.</b> Precio de gasolina a 1 km _____	33
<b>Tabla 21.</b> Relación gasto de gasolina a base de la velocidad y el tiempo _____	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curva cerrada ubicada en el tramo de la vía E487 asignada con el código CV006	18
<b>Figura 2.</b> Tabla para el cálculo de la velocidad de diseño	20
<b>Figura 3.</b> Porcentaje de las diferencias de velocidades (diseño vs observada)	22
<b>Figura 4.</b> Porcentaje de las diferencias de velocidades (diseño vs observada)	25
<b>Figura 5.</b> Velocidad diseño vs Velocidad estimada vs Velocidad observada	27
<b>Figura 6.</b> Porcentaje de las diferencias de velocidades (estimada vs observada)	28
<b>Figura 7.</b> Velocidad diseño vs Velocidad estimada vs velocidad observada	30
<b>Figura 8.</b> Velocidad estimada vs velocidad observada	31
<b>Figura 9.</b> Línea de tendencia de la velocidad estimada vs velocidad observada del tramo Bucay – Colta (Ida)	32
<b>Figura 10.</b> Línea de tendencia de la velocidad estimada vs velocidad observada del tramo Bucay – Colta (Vuelta)	32

## RESUMEN

Las muertes por accidentes de tránsito han superado los 1.35 millones en todo el mundo, según la Agencia Nacional de Tránsito en Ecuador existen 2180 personas fallecidas, percatándose que no se está poniendo énfasis para reducir la accidentabilidad de tránsito en nuestro país.

Apenas un 4% de los siniestros ocurren por factores como mal estado de la vía, la mayoría de accidentes de tránsito ocurren en las curvas cerradas horizontales, para obtener una velocidad estable se debería relacionar con las características geométricas de la carretera.

Para tener una carretera consistente se utiliza modelos de perfiles de velocidades que se basan en velocidades estimadas para la etapa de diseño o también operativa.

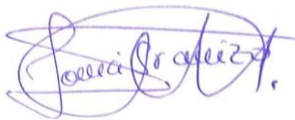
Esta investigación analizó la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas, de una carretera rural, escogiendo como caso de estudio el tramo Colta – Bucay de la vía E487, que consta de dos carriles en sentido contrario, la misma que fue construida bajo la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador (2003); para esto se calculó la velocidad de diseño, la velocidad estimada con ayuda del software IHSDM y la velocidad operativa realizada en campo, comparándolas y llegando a concluir que, la velocidad operativa es importante para poder obtener un modelo de diseño de consistencia vial, y que entre las normas de diseño geométrica de carreteras de Ecuador, Colombia y Perú, la norma de Perú, presenta mayores condiciones favorables, debido a que utiliza la velocidad operativa para poder estimar los elementos geométricos de una carretera vial.

**Palabras clave:** *perfiles de velocidades, modelo de consistencia, modelo IHSDM, velocidad operativa, velocidad estimada.*

## ABSTRACT

Deaths due to traffic accidents have exceeded 1.35 million worldwide, according to the National Traffic Agency in Ecuador, there are 2.180 deceased people, realizing that there is no emphasis on reducing traffic accidents in our country. Only 4% of accidents occur due to factors such as poor road conditions, most traffic accidents occur on sharp horizontal curves, to obtain a stable speed it should be related to the geometric characteristics of the road. To have a consistent road, speed profile models are used that are based on calculated speeds for the design or operational stage. This research analyzed the importance of the speed consistency model in tight curves of a rural highway, choosing, as a case study, the Colta - Bucay section of the E487 road, which consists of two lanes in the opposite direction, the same that was built under the Ecuadorian Highway Geometric Design Standard (2003), for which the limits speed with the help of the IHSDM software and the operational speed carried out in the field were calculated. As a result of this research, it was concluded that the operational speed is important to obtain a road consistency design model and that among the Geometric design standards for highways in Ecuador, Colombia and Peru, the Peruvian standard presents more favorable conditions, since it uses operating speed to set the geometric elements of a highway.

Keywords: speed profiles, consistency model, IHSDM model, operating speed, calculated speed.



Reviewed by: Granizo, Sonia

Language Center Teacher.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las muertes por accidentes de tráfico superan los 1,35 millones anuales en el mundo, cada 24 segundos se registra una muerte en las carreteras, el riesgo de muerte por este tipo de accidentes sigue siendo tres veces mayor en los países de bajos ingresos que en los de ingresos altos, por lo que los accidentes de tránsito cuestan a la mayoría de los países el 3% de su Producto Interno Bruto (PIB). Además, el trazado vial puede afectar considerablemente a la seguridad; y junto a esto el aumento de la velocidad promedio guarda relación directa con la probabilidad de que ocurra un accidente de tránsito. (Organización Mundial de Salud, 2018)

Según la Agencia Nacional de Tránsito, en Ecuador en el año 2019 murieron 2.180 personas en accidentes de tránsito, señala que, del total de fallecidos, 1.818 (83%) manejaban autos propios y 309 (14%) en transportes públicos.

También, nos revela que desde el año 2018 al 2019 existe un mayor porcentaje de accidentes de tránsito como son: lesionados, sube un 0.71%, en siniestros, baja un 0.04%, y en fallecidos, sube un 1.35%, percatándose que no se está poniendo una adecuada atención para poder reducir la alta accidentabilidad de tránsito que existe en nuestro país Ecuador como nos indica en la tabla 1.

Los accidentes de tránsito en los actuales momentos, se da por la falta de atención del peatón y del conductor; las causas que con mayor frecuencia que se reportan son: por el exceso de velocidad, el diseño de la vía, estado de la carretera, entre otros. Lucio (2018), manifiesta que, “Apenas un 4% de los siniestros ocurren por factores como mal estado de la vía o del vehículo.”

**Tabla 1. Acumulado enero - diciembre 2018 vs enero - diciembre 2019**

PROVINCIAS	Siniestros			Lesionados			Fallecidos		
	2018	2019	% INCREMENTO O DISMINUCIÓN	2018	2019	% INCREMENTO O DISMINUCIÓN	2018	2019	% INCREMENTO O DISMINUCIÓN
AZUAY	1,528	1,249	(18.26)	1,357	1,097	(19.16)	102	82	(19.61)
BOLIVAR	127	134	5.51	176	132	(25.00)	35	32	(8.57)
CAÑAR	102	80	(21.57)	119	64	(46.22)	54	29	(46.30)
CARCHI	68	87	27.94	44	129	193.18	22	27	22.73
CHIMBORAZO	702	585	(16.67)	337	300	(10.98)	72	108	50.00
COTOPAXI	113	121	7.08	45	76	68.89	101	97	(3.96)
EL ORO	434	519	19.59	371	409	10.24	75	77	2.67
ESMERALDAS	146	191	30.82	125	190	52.00	64	70	9.38
GALAPAGOS	6	6	0.00	7	5	(28.57)	3	1	(66.67)
GUAYAS	8,619	9,346	8.43	7,819	8,839	13.05	511	517	1.17
IMBABURA	358	387	8.10	295	304	3.05	45	66	46.67
LOJA	527	624	18.41	321	427	33.02	34	52	52.94
LOS RÍOS	837	968	15.65	927	926	(0.11)	197	178	(9.64)
MANABÍ	1,173	1,720	46.63	935	1,219	30.37	141	148	4.96
MORONA SANTIAGO	158	134	(15.19)	181	155	(14.36)	27	39	44.44
NAPO	82	64	(21.95)	75	98	30.67	20	26	30.00
ORELLANA	118	71	(39.83)	126	68	(46.03)	35	30	(14.29)
PASTAZA	55	37	(32.73)	62	32	(48.39)	18	17	(5.56)
PICHINCHA	7,599	4,977	(34.50)	4,521	3,128	(30.81)	357	357	0.00
SANTA ELENA	571	601	5.25	644	707	9.78	36	45	25.00
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	639	1,186	85.60	534	872	63.30	92	78	(15.22)
SUCUMBÍOS	73	73	0.00	52	49	(5.77)	26	18	(30.77)
TUNGURAHUA	1,407	1,369	(2.70)	689	712	3.34	73	74	1.37
ZAMORA CHINCHIPE	88	66	(25.00)	96	61	(36.46)	11	12	9.09
<b>TOTAL SINIESTROS</b>	<b>25,53</b>	<b>24,60</b>	<b>(0.04)</b>	<b>19,86</b>	<b>20</b>	<b>0.71</b>	<b>2,15</b>	<b>2,18</b>	<b>1.35</b>

**Elaboración:** Agencia Nacional de Tránsito - Dirección de Estudios y Proyectos. Quito; 13 de enero del 2020

**Fuente:** Entes de control

La interacción entre la infraestructura y los factores humanos se ha estudiado ampliamente en los últimos años. Esta interacción puede explicarse parcialmente mediante el uso del concepto de consistencia del diseño geométrico, que se puede definir como la forma en que el comportamiento de la carretera cumple con las expectativas de los conductores. (Llopis-Castelló et al., 2018).

Para Eboli et al. (2017), fue necesario analizar la matriz de correlación para las características geométricas, la velocidad de diseño y la velocidad de operación para comprender cómo la velocidad de operación depende de las características geométricas para las curvas, y para determinar las variables finales que se considerarán en el modelo.

Otro aspecto que influye en la accidentalidad en las carreteras, es el diseño geométrico, en otros países el método más empleado para obtener una consistencia segura se utiliza modelos de perfil de velocidades de operación. (Depestre et al., 2012).

Los perfiles de velocidad son modelos que dependen de la velocidad con la geometría de la carretera, permitiendo determinar la velocidad a lo largo de su trazado, estos modelos asumen que la velocidad de operación es constante en las curvas horizontales, no consideran el efecto de la tangente de entrada en la velocidad ni de la variabilidad de velocidad al interior de la curva. (Tomás Echaveguren, 2008)

La función principal de los modelos, es la de comprender y explicar la realidad a fin de poder hacer predicciones (Aguilera, 2000), en cambio, la consistencia, es un concepto utilizado, entre otros, para evaluar la seguridad en la fase de diseño como en la de operación (Posada, 2014), por lo tanto modelo de consistencia, se lo podría definir, como un índice que nos ayuda, a evaluar la seguridad y comportamiento que se pueda presentar en el recorrido de las carreteras, mediante la predicción de la velocidad.

Indistintamente, ir a velocidades mayores a los recomendados, con relación al diseño de la vía es extremadamente peligroso. El siniestro, con una velocidad excesiva se registran en curvas: circular demasiado rápido por una curva triplica la probabilidad de tener un accidente, según un estudio del Instituto Universitario de Investigación del Automóvil de Madrid (INSIA, 2017).

Dhahir & Hassan (2019), manifiesta, que los conductores tienden a desacelerar al acercarse en función de su percepción de la curvatura que se le avecina, es posible que se necesite reducir aún más la velocidad en la detección de la curva hasta alcanzar una velocidad mínima y cómoda.

Según Cvitanić & Maljković (2019), demuestra que los radios de curva tienen algunas deficiencias, especialmente cuando se usan junto con el diseño o la velocidad del proyecto, en lugar de la velocidad de operación.

Cuando el radio es superior a 400 m., la probabilidad de falla es muy pequeña y las variaciones en la textura y la resistencia al deslizamiento no tiene un efecto significativo. Se ha demostrado que son las curvas horizontales de radio inferior a los 400 m. donde se registran accidentes con mayor frecuencia, logrando en su investigación, analizar el efecto de la limitación de velocidad en las curvas sobre la velocidad de operación; para incluirlo como una acción para reducir fallas probables (Echaveguren et al., 2005)

Los autores Dhahir & Hassan, (2019); en otra investigación, nos indica, que la velocidad  $\Delta 85V$  o también conocido como percentil 85, es el parámetro que se estima con mayor precisión utilizando la geometría de la carretera y el rendimiento de seguridad esperado.

Tomando todos estos argumentos, se determina, que en los estudios viales se basan en la velocidad para el diseño de una vía, que está relacionada siempre con la topografía del terreno. Motivo por el cual en el diseño geométrico vial se asigna a la velocidad un valor alto para vías en



terreno llano, un valor medio para vías en terreno ondulado y un valor bajo para vías en terreno montañoso. (MTOPI, 2003)

La velocidad de operación, se lo obtiene mediante las velocidades de los vehículos en tiempo real, de una ruta que está construida, criterio que se utilizan para evaluar la consistencia, sin embargo, la etapa de diseño se le debe de estimar, por lo que se lo realiza mediante modelos de estimación de velocidad de operación que relacionan este parámetro con características geométricas de la vía. Además, nos dice que para predecir velocidades de operación en las carreteras es mejor el modelo IHSDM que el de la norma Colombiana de Diseño Geométrico, el autor recomienda, analizar el tramo de carretera con otros modelos de consistencia dados en otros países. (Pico & Norma, 2018).

Por lo que la presente investigación, analizó, la importancia del modelo de consistencia de velocidad, para curvas cerradas, que se encuentran bajo la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras del Ecuador (2003); se tomó como objeto de estudio un tramo de la vía E487 de longitud 104 km, desde la Laguna del cantón Colta (0+740) hasta la ciudad de Bucay (104+740), vía colectora, de una zona rural existente, que consta de una calzada de dos carriles en sentido contrario. Para esto se realizó la comparación de la velocidad de operación con la velocidad de diseño de las normas de diseño geométrico de carreteras de Ecuador, Colombia y Perú. Adicional se le comparó con el modelo IHSDM.

## 2. OBJETIVOS

### *2.1 Objetivo general*

Analizar la importancia del modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas de una carretera rural.

### *2.2 Objetivos Específicos*

- Determinar la velocidad de operación de los vehículos en las curvas cerradas del tramo Colta (0+740) – Bucay de la vía E487 (104+740).
- Obtener las características geométricas de los elementos de las curvas cerradas con ayuda del software civil 3D.
- Calcular la velocidad estimada de cada curva cerrada del tramo Colta – Bucay de la vía E487 con ayuda del software IHSDM.
- Comparar la velocidad de operación con la velocidad de diseño escogida en las diferentes normas de diseño geométrico de carretera (Ecuador, Colombia y Perú); adicional con el software IHSDM.

### 3. ESTADO DEL ARTE

Las normas de diseño geométrico de carreteras de Ecuador, Perú y Colombia, coinciden particularmente en el cálculo de la velocidad de diseño; indican que es necesario conocer la orografía del lugar de estudio, el TPDA (volumen de tránsito que existe y existirá en un futuro (20 años)); y el tipo de carretera que se desea construir.

#### 3.1 Tipos de terreno

Para determinar el tipo de terreno se basa en la topografía predominante en el tramo en estudio, es decir que a lo largo del proyecto pueden presentarse tramos homogéneos en diferentes tipos de terreno.

**Tabla 2.** Clasificación de las Carreteras por su Orografía según la norma de diseño geométrico.

Clasificación de las Carreteras					
País		Pendientes (%)		Movimiento de tierras	Trazado y en la explanación
		Transversal	Longitudinal		
Perú	Terreno plano	$10 \leq$	$3 \leq$	Mínimo	No representa dificultades
	Terreno ondulado	11 - 50	3 - 6	Moderado	Sin mayores dificultades
	Terreno accidentado	51 - 100	6 - 8	Importantes	Dificultades
	Terreno escarpado	$100 >$	Superior a 8	Máximo	Grandes dificultades
Colombia	Terreno plano	$5 \leq$	3	Mínimo	No representa dificultades
	Terreno ondulado	6 - 13	3 - 6	Moderado	Sin mayores dificultades
	Terreno accidentado	13 - 40	6 - 8	Grandes	Dificultades
	Terreno escarpado	$40 >$	Superior a 8	Máximo	Grandes dificultades
Ecuador	Terreno plano	$5 <$	$3 \leq$	Mínimo	No representa dificultades
	Terreno ondulado	6 - 12	3 - 6	Moderado	Sin mayores dificultades
	Terreno montañoso	13 - 40	6 - 8	Grandes	Dificultades
	Terreno escarpado	$40 >$	Mayores a 8	Máximo	Muchas dificultades

Fuente: Arévalo (2020)

### 3.2 Estudio de tránsito

Para el diseño de carreteras en el país de Ecuador, se recomienda la clasificación en función del pronóstico de tráfico para un período de 15 o 20 años que se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** *Clasificación de Carreteras en Función del Tráfico Proyectado*

Clase de Carretera	Tráfico Proyectado TPDA *		
R-I o R-II	Más	de	8.000
I	De 3.000	a	8.000
II	De 1.000	a	3.000
III	De 300	a	1.000
IV	De 100	a	300
V	Menos de		100

El TPDA indicado es el volumen de tráfico promedio diario anual proyectado a 15 o 20 años. Cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7.000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera cuando se efectúa el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes.

**Fuente:** Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador (2003)

### 3.3 Clase de carretera

En el Ecuador, el MOP ha clasificado tradicionalmente las carreteras de acuerdo a un cierto grado de importancia basado más en el volumen del tráfico y el número de calzadas requerido que en su función jerárquica. La Tabla 4, presenta la relación entre la función jerárquica y la clasificación de las carreteras según el MTOP.

**Tabla 4.** Relación Función, Clase MOP y Tráfico

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA (según MOP)	TPDA <sup>(1)</sup>
CORREDOR ARTERIAL	RI - RII <sup>(2)</sup>	>8000
	I	3000 – 8000
COLECTORA	II	1000 – 3000
	III	300 – 1000
VECINAL	IV	100 – 300
	V	< 100

**Fuente:** Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador (2003)

Notas:

<sup>(1)</sup> De acuerdo al nivel de servicio aceptable al final de la vida útil.

<sup>(2)</sup> RI - RII - Autopistas.

### *Corredores arteriales*

También conocidas como vías primarias, son los caminos de alta jerarquía funcional, los que se constituyen por aquellos que conectan en el Continente, a las Capitales de Provincia, a los principales puertos marítimos con los del Oriente, pasos de frontera que sirven para viajes de larga distancia y que deben tener alta movilidad, accesibilidad reducida y/o controlada en su recorrido, giros y maniobras controlados; y, estándares geométricos adecuados para proporcionar una operación de tráfico eficiente y segura.

### *Vías colectoras*

También conocidas como vías secundarias, son los caminos de mediana jerarquía funcional, los que se constituyen por aquellos cuya función es la de recolectar el tráfico de la zona rural o una región, que llegan a través de los caminos locales para conducirlos a la malla estratégica o esencial de corredores arteriales. Son caminos que se utilizan para servir el tráfico de recorridos intermedios o regionales, requiriendo de estándares geométricos adecuados para cumplir esta función.

### *Caminos vecinales*

Estas vías son las carreteras convencionales básicas que incluyen a todos los caminos rurales no incluidos en las denominaciones anteriores, destinados a recibir el tráfico doméstico de poblaciones rurales, zonas de producción agrícola, accesos a sitios turísticos.

#### *3.4 Cálculo de la velocidad de diseño*

La Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (VTR) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno. A un tramo homogéneo se le puede asignar una Velocidad de diseño (VTR) en el rango que se indica en la Tabla 4. En ella se resume el equilibrio entre el mejor nivel de servicio que se puede ofrecer a los usuarios de las carreteras y las posibilidades económicas del país.



### 3.5. Tipos de velocidades

#### 3.5.1 Velocidad de diseño

Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. Esta velocidad se elige en función de las condiciones físicas y topográficas del terreno, de la importancia del camino, los volúmenes del tránsito y uso de la tierra, tratando de que su valor sea el máximo compatible con la seguridad, eficiencia, desplazamiento y movilidad de los vehículos. Con esta velocidad se calculan los elementos geométricos de la vía para su alineamiento horizontal y vertical.

#### 3.5.2 Velocidad de marcha

Denominada también velocidad de cruce, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, la vía y los dispositivos de control. Es una medida de la calidad del servicio que una vía proporciona a los conductores y varía durante el día, principalmente, por la modificación de los volúmenes de tránsito. (DG, 2018)

**Tabla 6.** Velocidades de marcha teóricas en función de la velocidad de diseño (km)

Velocidad de diseño	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0
Velocidad media de marcha	27.0	36.0	45.0	54.0	63.0	72.0	81.0	90.0	99.0	108.0	117.0
Rangos de velocidad media	25.5 @	34.0 @	42.5 @	51.0 @	59.5 @	68.0 @	76.5 @	85.0 @	93.5 @	102.0 @	110.5 @
	28.5	38.0	47.5	57.0	66.5	76.0	85.5	95.0	104.5	114	123

**Fuente:** Manual de Diseño Geométrico de Carretera de Colombia (2008)

#### 3.5.3 Velocidad, Percentil 85

El Comité Técnico del Consejo de Ingeniería de Tráfico de ITE examinó las prácticas de zonificación de velocidad utilizadas por las agencias en los Estados Unidos. El comité recopiló



pautas de zonificación de velocidad de 40 estados y realizó 124 encuestas con miembros de ITE que se desempeñaban como ingenieros de tráfico en agencias estatales y locales. Según los resultados de la encuesta, los factores más importantes considerados para recomendar un límite de velocidad son: velocidad del percentil 85; seguido de la geometría de la carretera, la exposición a choques y el desarrollo de la carretera.

La velocidad del percentil 85 es la velocidad a la que conduce el 85% de los conductores en una carretera determinada que no se vea afectada por un tráfico más lento o por mal tiempo. Esta velocidad indica que la mayoría de los automovilistas en la carretera consideran segura y razonable en condiciones ideales.

Si bien este sistema puede ser apropiado en autopistas y carreteras principales, no es adecuado para entornos urbanos donde los caminos son compartidos por una variedad de usuarios. En otras palabras, la regla del percentil 85 ajusta la ley (límite de velocidad) para adaptarse al comportamiento (velocidad real).

#### 3.5.4 Velocidad estimada

Velocidad que se basa en las características geométricas de la vía, predice la velocidad que puede circular un vehículo, valorando la seguridad y expectativa del conductor en un determinado tramo de la carretera.

#### 3.5.5 Velocidad de operación

Es la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos en un determinado tramo de una carretera, sin sobrepasar la velocidad de diseño de tramo homogéneo.(DG, 2018)

**Tabla 7.** Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de velocidades de operación

	<b>Condiciones de alineamiento</b>	<b>Ecuación</b>
1	Curva horizontal sobre pendiente (-9% < i < -4%)	$V_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R}$
2	Curva horizontal sobre pendiente (-4% < i < 0%)	$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R}$
3	Curva horizontal sobre pendiente (0% < i < 4%)	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$
4	Curva horizontal sobre pendiente (4% < i < 9%)	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$
5	Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag.)	$V_{85} = 105.32 - \frac{3438.19}{R}$
6	Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de velocidad	(Nota 2)
7	Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad (K<=43 m/%)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3576.51}{R}$ , (nota 2)
8	Curva horizontal cóncava sobre recta horizontal	$V_{85}$ se asume como velocidad deseada
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada (K<=43 m/%) sobre recta horizontal	$V_{85}$ se asume como velocidad deseada
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada (K<=43 m/%) sobre recta horizontal	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{K}$

**Fuente:** Manual de carreteras: diseño geométrico DG Perú (2018)

**Notas:**

- 1) Usa la menor velocidad estimada con las ecuaciones 1 o 2 (para pendientes descendentes) y 3 o 4 (para pendientes ascendentes).
- 2) Además, comparar con la velocidad estimada con las ecuaciones 1 o 2 (para pendientes descendentes) y 3 o 4 (para pendientes ascendentes) y usar la menor. Esto asegurará que la velocidad estimada a lo largo de curvas combinadas no será mejor que si sólo la curva horizontal está presente. Es decir, la inclusión de una curva convexa con visibilidad limitada resulte en una mayor velocidad.

**V85** Percentil 85 de velocidad de automóviles (km/h)

**R** Radio de curva (m)

### 3.6 IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model)

El Modelo Interactivo de Diseño de Seguridad en las Carreteras es un conjunto de herramientas de análisis de software que se utilizan para evaluar los efectos operativos y de seguridad de las decisiones de diseño geométrico en las carreteras.

IHSDM es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que proporciona estimaciones del rendimiento operativo y de seguridad esperado de un diseño de carreteras y verifica los diseños de

carreteras existentes o propuestos con los valores de políticas de diseño relevantes. Los resultados del IHSDM apoyan la toma de decisiones en el proceso de diseño de carreteras (IHSDM, 2019).

### 3.7 Consistencia de diseño

La evaluación de la consistencia del trazado se ha estudiado ampliamente, llegando a dos formas de medida estimada, para evaluar la carretera en estudio a base de las velocidades que se presentan, se inicia con la diferencia de la velocidad de operación con la velocidad de diseño y la diferencia de velocidad de operación entre elementos consecutivos, hasta el momento se ha mantenido este tipo de criterios propuestos por Lamm & Choueiri, (1987), y utilizados por varios autores en otras investigaciones (Depestre et al., 2012), (Javier & Torregrosa, 2013).

**Tabla 8.** Intervalos y calificación de la consistencia del trazado

Intervalo		Clasificación de la consistencia
Criterio 1	Criterio 2	
$V_{85}-V_d \leq 10 \text{ km/h}$	$\Delta V_{85} \leq 10 \text{ km/h}$	Buena
$10 \text{ km/h} < V_{85}-V_d \leq 20 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} > \Delta V_{85} \leq 20 \text{ km/h}$	Mala
$20 \text{ km/h} < V_{85}-V_d$	$\Delta V_{85} > 20 \text{ km/h}$	Regular

**Fuente:** Lamm & Choueiri, 1987

**Notas:**

Criterio 1: Comparando con la velocidad de diseño ( $V_d$ )

Criterio 2: Comparando velocidad entre elementos consecutivos

$V_{85}$ : Velocidad de operación en un punto dado de la vía (km/h)

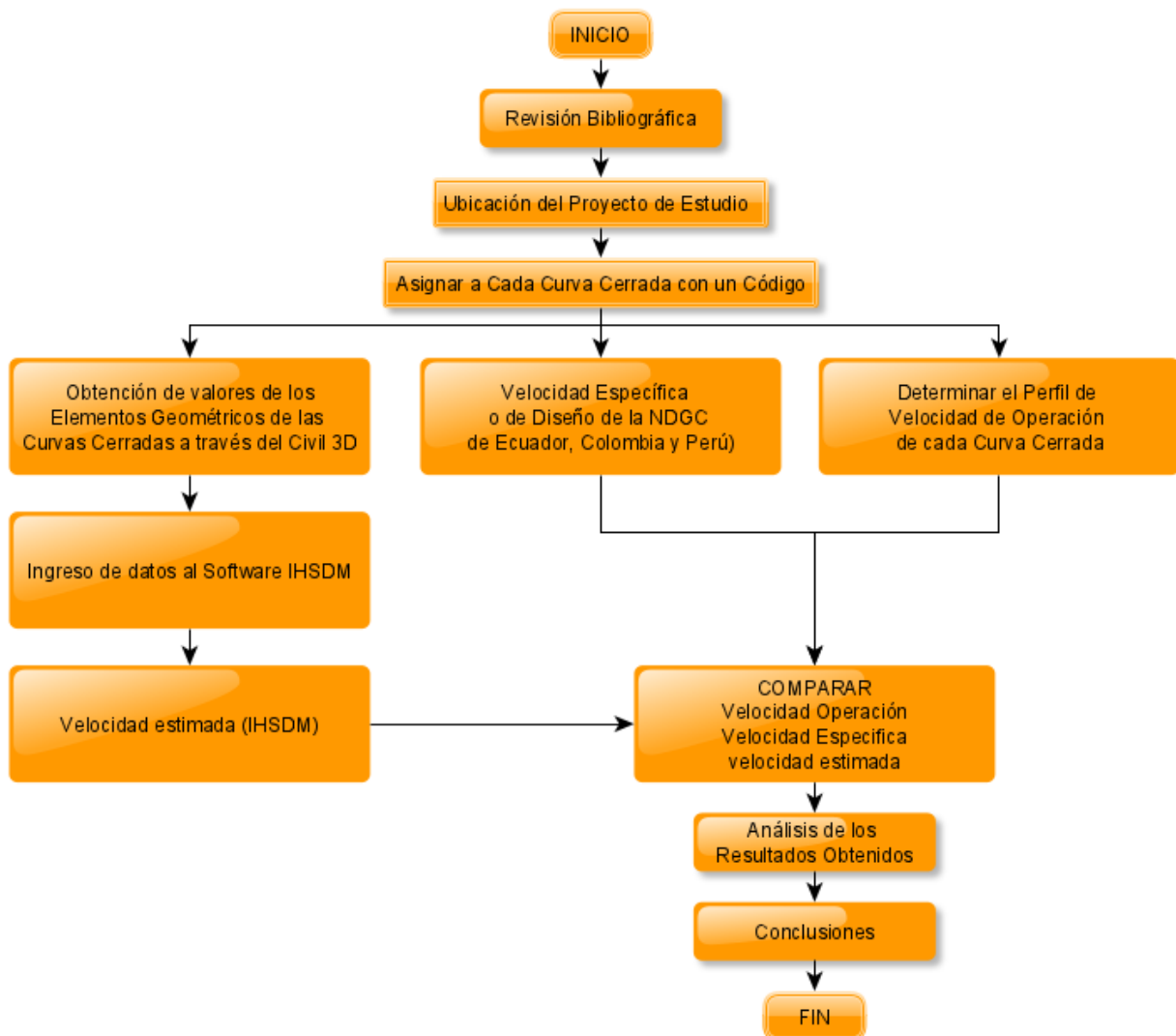
$V_d$ : velocidad de diseño (km/h)

$\Delta V_{85}$ : diferencia de velocidad de operación entre dos elementos consecutivos (km/h)

Además de evaluar la consistencia del trazado, analiza la seguridad que brinda en cada uno de sus tramos, en este caso de las curvas cerradas. Se entiende por consistencia del trazado, la relación entre las características geométricas de una carretera y las que espera encontrar el conductor de un vehículo que circula por ella (Sanchez, 2011)

## 4. METODOLOGÍA

Para llegar a los objetivos planteados se realizó las siguientes tareas: Ubicación del caso de estudio y obtención de valores de los elementos geométricos, recolección de datos, comparación con los modelos existentes en las normas, resultados y conclusiones.



Se realizó una revisión bibliográfica a través de diversos buscadores existentes como Google académico, Scopus, repositorios digitales de universidades, para encontrar información acerca de la consistencia de la velocidad para carreteras rurales basándose en fuentes de información confiable y actualizada.

Se ha tomado como referencia la metodología utilizada por Pico & Norma (2018), que se detalla a continuación:

Ubicación del sitio de estudio

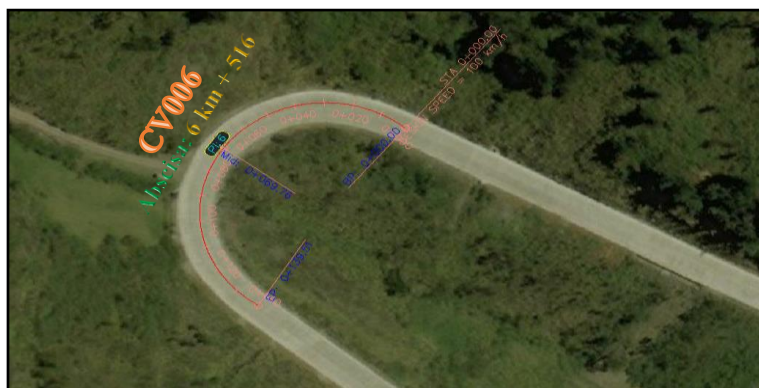
Para este estudio se seleccionó un tramo de la vía E487, que comprende desde el cantón Colta (abscisa 000+740) hasta la ciudad de Bucay (abscisa 104+740), la carretera se encontró en condiciones como se indica en la tabla 8

**Tabla 9.** Condiciones del tramo de la vía e487

<b>Carretera</b>		<b>Laguna de Colta - Bucay</b>	
Longitud		104 km	
Tipo calzada		Pavimento rígido	
Carril		2 carriles de sentido contrario	
Estado		Malo	
Este inicio	748 944	Este fin	9'809 146
Oeste inicio	711 161	Oeste fin	9'757 164
Observaciones		Tramo con gran cantidad de huecos.	

**Fuente:** Ministerio de Transportes de Obras Públicas, 2019

Asignar a cada curva cerrada con un código



**Figura 1.** Curva cerrada ubicada en el tramo de la vía E487 asignada con el código CV006

**Fuente:** Arévalo (2020)

**Foto:** Ortofoto Bing del software civil 3D

Para el tramo de vía E487, se asignó con un código cada curva cerrada que se encuentra en esta carretera, recordándose, para nuestro caso hemos considerado, para que sea curva cerrada debe sobrepasar el ángulo de deflexión los  $120^\circ$ , por otro lado, se denomina también curvas de retorno, a aquellas curvas de una calle o carretera que giran aproximadamente  $180^\circ$  y son muy cerradas, se incluyeron las coordenadas de inicio y fin de las curvas cerradas facilitándonos el estudio de cada una de ellos.

**Tabla 10.** *Coordenadas del Inicio y Fin de Curvatura CV006*

Coordenadas	inicio	fin
Longitud X	746 854	746 967
Latitud Y	9'806 844	9'806 957

**Fuente:** Arévalo (2020)

Obtención de los valores de los elementos geométricos de las curvas cerradas

Se graficó el trazado de la vía existente E487, desde el tramo cantón Colta hasta la ciudad de Bucay, con ayuda del software CIVIL 3D, representando las líneas de entretangencia, radios de curvas circulares, longitudes de curvas horizontales y longitudes de curvas espirales;

realizando el procesamiento de este software nos entrega los valores de los elementos geométricos, los mismos que son necesarios para el ingreso al software IHSDM.

*Ingreso de datos al programa IHSDM*

Obtenidos los valores de los elementos geométricos del diseño horizontal que nos entrega el software CIVIL 3D, se procedió a ingresar al software IHSDM para que sean analizados y nos entregue la velocidad estimada que satisfaga al diseño geométrico existente, para una mayor comprensión se entrega un manual del ingreso y los resultados que generó este software (Anexo 1).

*Velocidad estimada (IHSDM)*

De los resultados que nos entrega el programa IHSDM, se procede a seleccionar los correspondientes a las velocidades de predicción de las curvas cerradas en el medio de la longitud de cada curva cerrada, para su posterior comparación con las otras velocidades en estudio.

**Tabla 11.** *Velocidad Estimada de cada curva cerrada, obtenida por el software IHSDM.*

<b>No.</b>	<b>Abscisa en el punto medio de la curva</b>	<b>Velocidad Estimada</b>
<b>Curva</b>	<b>km</b>	<b>(km/h)</b>
CV001	1 + 635	63
CV002	1 + 922	64
CV003	3 + 373	64
CV004	4 + 346	61
CV005	5 + 304	64
CV006	6 + 516	63
CV007	7 + 575	65
CV008	12 + 140	63
CV009	15 + 388	67
CV010	19 + 977	62

**Fuente:** Arévalo (2020)

Determinar el perfil de velocidad de operación de cada curva cerrada

Para determinar, el perfil de velocidad de operación de cada curva cerrada, se realizaron 10 viajes de ida y de vuelta de la vía Colta – Bucay, con ayuda de personas que conducían vehículos livianos, en condiciones favorables, para obtener la velocidad de operación, se utilizó el software Google Maps, software que permite determinar en el instante requerido la velocidad del vehículo, datos que se van almacenando de forma continua según se va recorriendo la vía.

Determinación de la velocidad de diseño, utilizando normas de diseño geométrico de carreteras de Ecuador

Como se indicó anteriormente la velocidad de diseño se calcula mediante la categoría de terreno, TPDA esperado y el tipo de terreno, como nos indica la Figura 2.

CATEGORIA DE LA VIA		TPDA ESPERADO	VELOCIDAD DE DISEÑO Km/h											
			BÁSICA (RELIEVE LLANO)				PERMISIBLE EN TRAMOS DIFÍCILES (RELIEVE ONDULADO)      (RELIEVE MONTAÑOSO)							
			Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal.		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad.		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal.		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad.		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal.		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad.	
			Recom	Absoluta	Recom	Absoluta	Recom	Absoluta	Recom	Absoluta	Recom	Absoluta	Recom	Absoluta
R - I o R - II (Tipo)		> 8000	120	110	100	96	110	90	96	86	90	80	90	80
I	Todos	3000-8000	110	100	100	90	100	80	90	80	80	80	80	80
II	Todos	1000-8000	100	90	90	86	90	80	86	80	70	60	70	60
III	Todos	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60	40
IV	TIPO 5, 5E, 6 y 7	100-300	80	80	80	60	60	35	60	35	50	25	50	25
V	4 y 4E	< 100	80	60	60	50	50	35	50	35	40	25	40	25

**Figura 2.** Tabla para el cálculo de la velocidad de diseño  
**Fuente:** Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de Ecuador (2003)

El tramo de la vía E487, que se escogió para su estudio, es considerada como carretera secundaria (colectora) y de tipo montañoso, por lo tanto, la velocidad absoluta de diseño es de 60 km/h, utilizado para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros de pendientes a ésta.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 12, nos muestra el número de curvas cerradas existentes en el tramo Colta – Bucay (Ida) con su respectiva abscisa, la velocidad de diseño tomada por las normas de Diseño Geométrico de Carreteras del Ecuador, el valor de la velocidad observada en la mitad de la curva, la diferencia de velocidades entre la velocidad de diseño vs la velocidad observada, el intervalo de las velocidades del trazado y la evaluación de la consistencia de cada curva cerrada.

**Tabla 12.** *Diferencia entre la velocidad de diseño vs la velocidad observada del tramo Colta – Bucay (Ida)*

No.	Abscisa (km)	Velocidad Diseño (km/h)	Velocidad Observada (km/h)	Diferencia Velocidades (km/h)	Intervalo (Km/h)	Evaluación Consistencia
CV001	1 + 635	60	51.60	8.40	5 - 10	Buena
CV002	1 + 922	60	45.20	14.80	10 - 15	Mala
CV003	3 + 373	60	51.80	8.20	5 - 10	Buena
CV004	4 + 346	60	54.90	5.10	5 - 10	Buena
CV005	5 + 304	60	54.30	5.70	5 - 10	Buena
CV006	6 + 516	60	42.70	17.30	15 - 20	Mala
CV007	7 + 575	60	48.20	11.80	10 - 15	Mala
CV008	12 + 140	60	56.10	3.90	< 5	Buena
CV009	15 + 388	60	55.00	5.00	5 - 10	Buena
CV010	19 + 977	60	52.90	7.10	5 - 10	Buena
CV011	27 + 353	60	51.60	8.40	5 - 10	Buena
CV012	29 + 837	60	47.40	12.60	10 - 15	Mala
CV013	38 + 379	60	56.00	4.00	< 5	Buena
CV014	40 + 228	60	55.80	4.20	< 5	Buena
CV015	40 + 830	60	59.20	0.80	< 5	Buena
CV016	42 + 078	60	55.30	4.70	< 5	Buena
CV017	45 + 530	60	46.90	13.10	10 - 15	Mala
CV018	47 + 201	60	48.00	12.00	10 - 15	Mala
CV019	54 + 534	60	49.10	10.90	10 - 15	Mala
CV020	57 + 711	60	48.10	11.90	10 - 15	Mala
CV021	57 + 915	60	44.90	15.10	15 - 20	Mala
CV022	58 + 949	60	53.50	6.50	5 - 10	Buena
CV023	61 + 068	60	53.90	6.10	5 - 10	Buena
CV024	62 + 368	60	49.70	10.30	10 - 15	Mala
CV025	62 + 727	60	51.00	9.00	5 - 10	Buena

<b>CV026</b>	77 + 524	60	49.70	10.30	10 - 15	Mala
<b>CV027</b>	85 + 498	60	44.70	15.30	15 - 20	Mala
<b>CV028</b>	87 + 278	60	50.10	9.90	5 - 10	Buena
<b>CV029</b>	91 + 020	60	44.70	15.30	15 - 20	Mala
<b>CV030</b>	91 + 340	60	44.90	15.10	15 - 20	Mala
<b>CV031</b>	96 + 892	60	44.20	15.80	15 - 20	Mala
<b>CV032</b>	98 + 514	60	47.10	12.90	10 - 15	Mala

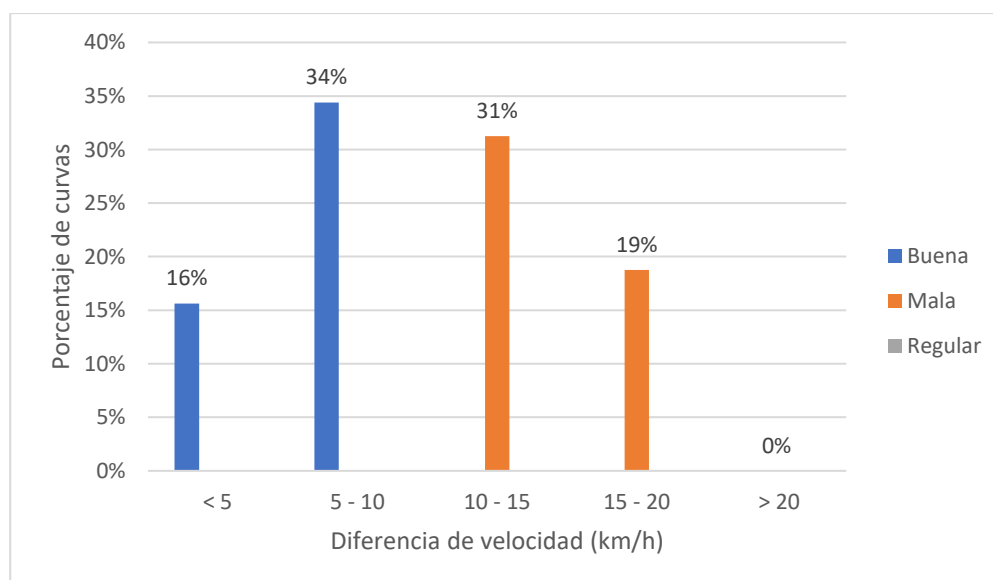
Fuente: Arévalo (2020)

De la tabla 12, obtenemos el porcentaje de las curvas cerradas que se encuentran en estado bueno, malo y regular; como nos indica la tabla 13.

**Tabla 13.** Porcentaje de la evaluación consistencia de la velocidad tramo Colta – Bucay (Ida)

Diferencia de Velocidad (km/h)	Buena	Mala	Regular	Porcentaje curvas
< 5	16%	0%	0%	16%
5 - 10	34%	0%	0%	34%
10 - 15	0%	31%	0%	31%
15 - 20	0%	19%	0%	19%
> 20	0%	0%	0%	0%
	<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Arévalo (2020)



**Figura 3.** Porcentaje de las diferencias de velocidades (diseño vs observada)

Fuente: Arévalo (2020)

*Resultado:* De la tabla 12, la diferencia de velocidades (diseño vs observada), se tiene que el 50% son menores que 10, se evalúa como buena y 50% en un intervalo 10 – 20 se evalúa como mala, por lo que la vía Colta – Bucay, interpretando, por el porcentaje, que el carril derecho de esta vía es un diseño inseguro para el usuario por falta de mantenimiento en las curvas cerradas estudiadas, ya que la mitad de las curvas cerradas están en mal estado.

En cambio, en la tabla 13, se presenta el número de curvas cerradas existentes en el tramo Bucay – Colta (vuelta), con su respectiva abscisa, la velocidad de diseño tomada por la norma de diseño geométrico de carreteras del Ecuador, el valor de la velocidad observada en la mitad de la curva, la diferencia de velocidades entre la velocidad de diseño vs la velocidad observada, el intervalo y la evaluación de consistencia del trazado vial a base de la velocidad.

**Tabla 14.** *Diferencia entre la velocidad de diseño vs la velocidad observada del tramo Bucay – Colta (Vuelta)*

No.	Abscisa (km)	Velocidad Diseño (km/h)	Velocidad Observada (km/h)	Diferencia Velocidades (km/h)	Intervalo (km/h)	Evaluación Consistencia
CV001	1 + 635	60	55.1	4.9	< 5	Buena
CV002	1 + 922	60	56.3	3.7	< 5	Buena
CV003	3 + 373	60	52.5	7.5	5 - 10	Buena
CV004	4 + 346	60	53.5	6.5	5 - 10	Buena
CV005	5 + 304	60	56.3	3.7	< 5	Buena
CV006	6 + 516	60	43.9	16.1	15 - 20	Mala
CV007	7 + 575	60	60.2	0.2	< 5	Buena
CV008	12 + 140	60	48.6	11.4	10 - 15	Mala
CV009	15 + 388	60	53.8	6.2	5 - 10	Buena
CV010	19 + 977	60	45.1	14.9	10 - 15	Mala
CV011	27 + 353	60	47.7	12.3	10 - 15	Mala
CV012	29 + 837	60	44.7	15.3	15 - 20	Mala
CV013	38 + 379	60	48.1	11.9	10 - 15	Mala
CV014	40 + 228	60	44.4	15.6	15 - 20	Mala
CV015	40 + 830	60	51.2	8.8	5 - 10	Buena
CV016	42 + 078	60	44.8	15.2	15 - 20	Mala
CV017	45 + 530	60	50.9	9.1	5 - 10	Buena
CV018	47 + 201	60	53.8	6.2	5 - 10	Buena
CV019	54 + 534	60	42.3	17.7	15 - 20	Mala
CV020	57 + 711	60	43.5	16.5	15 - 20	Mala
CV021	57 + 915	60	43.8	16.2	15 - 20	Mala
CV022	58 + 949	60	46.3	13.7	10 - 15	Mala
CV023	61 + 068	60	47	13	10 - 15	Mala
CV024	62 + 368	60	48.3	11.7	10 - 15	Mala
CV025	62 + 727	60	50	10	10 - 15	Mala
CV026	77 + 524	60	46	14	10 - 15	Mala
CV027	85 + 498	60	47.8	12.2	10 - 15	Mala
CV028	87 + 278	60	43.7	16.3	15 - 20	Mala
CV029	91 + 020	60	46.2	13.8	10 - 15	Mala
CV030	91 + 340	60	48.3	11.7	10 - 15	Mala
CV031	96 + 892	60	48.1	11.9	10 - 15	Mala
CV032	98 + 514	60	48.8	11.2	10 - 15	Mala

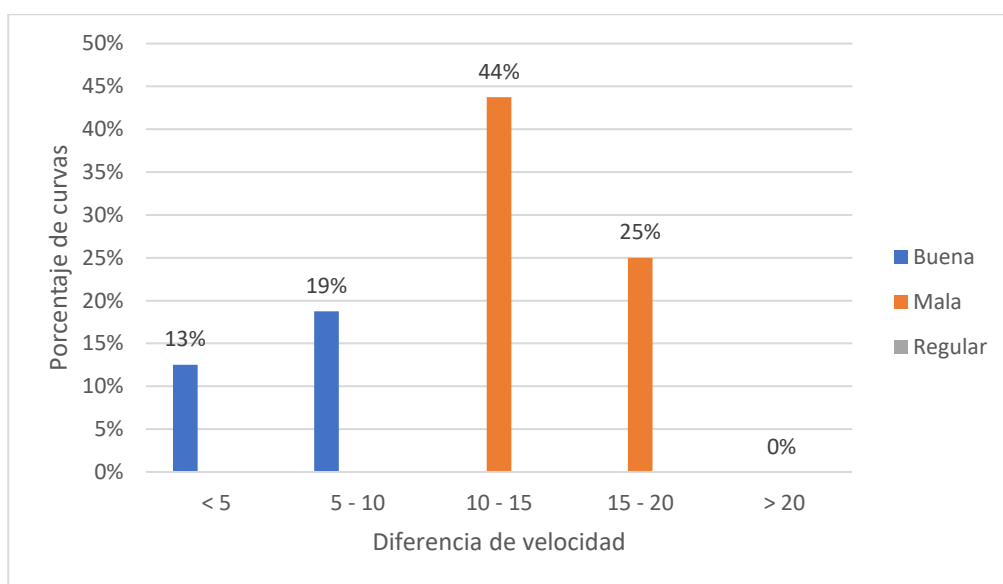
Fuente: Arévalo (2020)

De la tabla 14, obtenemos el porcentaje de las curvas cerradas que se encuentran en estado bueno, malo y regular; como nos indica la tabla 15.

**Tabla 15.** Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Bucay – Colta (Vuelta)

Diferencia de velocidad	Buena	Mala	Regular	Porcentaje curvas
< 5	13%	0%	0%	13%
5 - 10	19%	0%	0%	19%
10 - 15	0%	44%	0%	44%
15 - 20	0%	25%	0%	25%
> 20	0%	0%	0%	0%
	<b>31%</b>	<b>69%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Arévalo (2020)



**Figura 4.** Porcentaje de las diferencias de velocidades (diseño vs observada)

Fuente: Arévalo (2020)

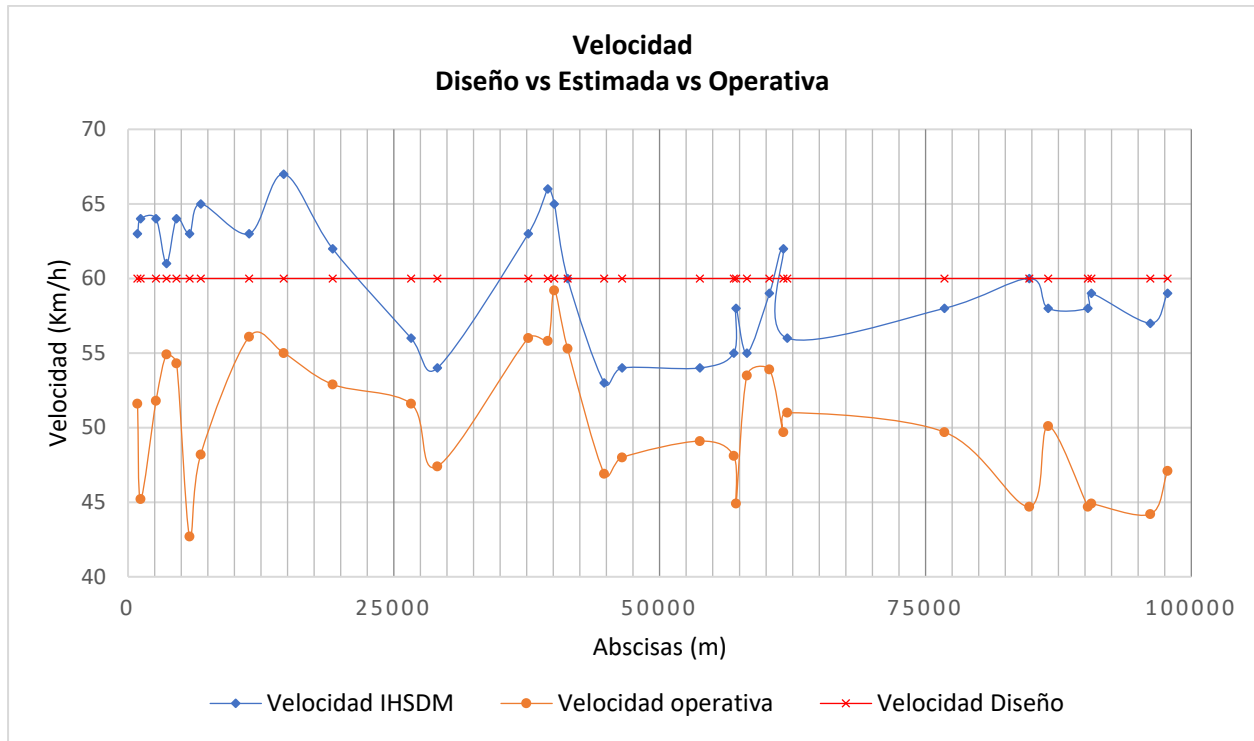
*Resultado:* cómo se puede observar en la tabla 15, la diferencia de velocidades (diseño vs observada), se tiene que un 31% son menores que 10, se evalúa como buena y 69% en un intervalo 10 – 20, se evalúa como mala, por lo que vía Bucay – Colta, se interpreta, por el porcentaje, que se debe dar atención a las características geométricas de las curvas horizontales de la carretera del carril izquierdo ya que existe el 69% (22 curvas cerradas) que están en mal estado.

La tabla 16, expone al número de curvas con su respectiva abscisa, la velocidad estimada calculado con el software IHSDM, la velocidad observada en la vía Colta – Bucay (ida), la diferencia de estas velocidades y la evaluación de consistencia del trazado a base de la velocidad.

**Tabla 16.** *Diferencia entre la velocidad estimada vs la velocidad observada del tramo Colta – Bucay (ida)*

Código	Abscisa (km)	Velocidad Diseño (km/h)	Velocidad Estimada (km/h)	Velocidad Observada (km/h)	Diferencia Velocidades (km/h)	Intervalo (km/h)	Evaluación Consistencia
CV001	1 + 635	60	63	51.60	11.40	10 - 15	Mala
CV002	1 + 922	60	64	45.20	18.80	15 - 20	Mala
CV003	3 + 373	60	64	51.80	12.20	10 - 15	Mala
CV004	4 + 346	60	61	54.90	6.10	5 - 10	Buena
CV005	5 + 304	60	64	54.30	9.70	5 - 10	Buena
CV006	6 + 516	60	63	42.70	20.30	> 20	Regular
CV007	7 + 575	60	65	48.20	16.80	15 - 20	Mala
CV008	12 + 140	60	63	56.10	6.90	5 - 10	Buena
CV009	15 + 388	60	67	55.00	12.00	10 - 15	Mala
CV010	19 + 977	60	62	52.90	9.10	5 - 10	Buena
CV011	27 + 353	60	56	51.60	4.40	< 5	Buena
CV012	29 + 837	60	54	47.40	6.60	5 - 10	Buena
CV013	38 + 379	60	63	56.00	7.00	5 - 10	Buena
CV014	40 + 228	60	66	55.80	10.20	10 - 15	Mala
CV015	40 + 830	60	65	59.20	5.80	5 - 10	Buena
CV016	42 + 078	60	60	55.30	4.70	< 5	Buena
CV017	45 + 530	60	53	46.90	6.10	5 - 10	Buena
CV018	47 + 201	60	54	48.00	6.00	5 - 10	Buena
CV019	54 + 534	60	54	49.10	4.90	< 5	Buena
CV020	57 + 711	60	55	48.10	6.90	5 - 10	Buena
CV021	57 + 915	60	58	44.90	13.10	10 - 15	Mala
CV022	58 + 949	60	55	53.50	1.50	< 5	Buena
CV023	61 + 068	60	59	53.90	5.10	5 - 10	Buena
CV024	62 + 368	60	62	49.70	12.30	10 - 15	Mala
CV025	62 + 727	60	56	51.00	5.00	5 - 10	Buena
CV026	77 + 524	60	58	49.70	8.30	5 - 10	Buena
CV027	85 + 498	60	60	44.70	15.30	15 - 20	Mala
CV028	87 + 278	60	58	50.10	7.90	5 - 10	Buena
CV029	91 + 020	60	58	44.70	13.30	10 - 15	Mala
CV030	91 + 340	60	59	44.90	14.10	10 - 15	Mala
CV031	96 + 892	60	57	44.20	12.80	10 - 15	Mala
CV032	98 + 514	60	59	47.10	11.90	10 - 15	Mala

Fuente: Arévalo (2020)



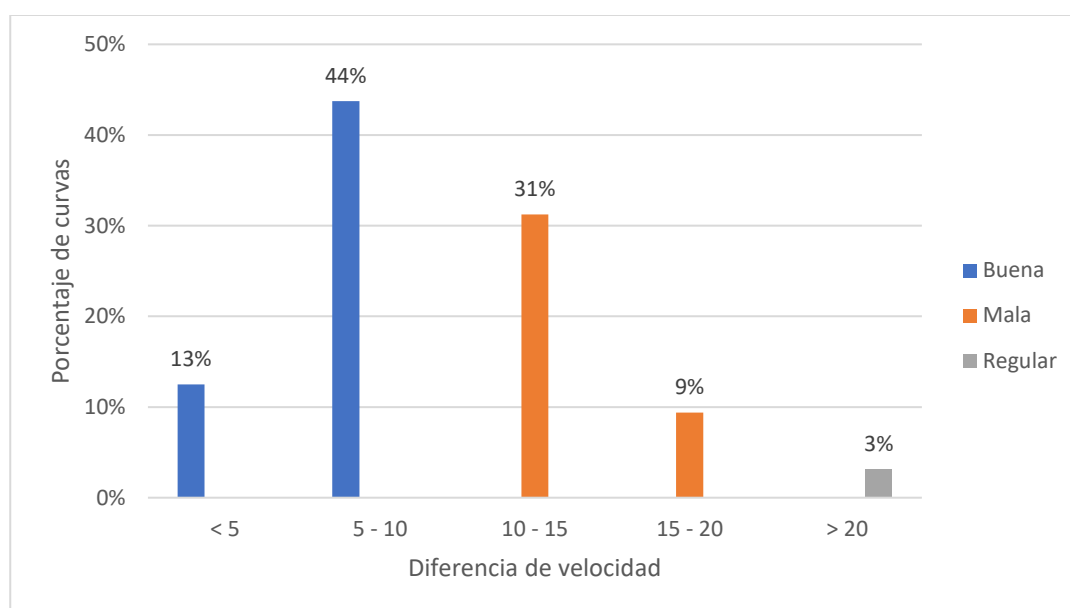
**Figura 5.** Velocidad diseño vs Velocidad estimada vs Velocidad observada  
**Fuente:** Arévalo (2020)

*Resultado:* cómo se puede observar en la Figura 5, la velocidad de diseño con respecto a la velocidad observada, se nota que la velocidad observada no sobrepasa a la velocidad de diseño, percatándose que los datos difieren significativamente entre sí, sin tener mucha concordancia entre estas velocidades; por otro lado, el modelo nos predice que puedo recorrer en un rango de 53 – 67 km/h de velocidad, es decir, que puedo circular a velocidades mayores respecto a la velocidad de diseño, además, observamos que la velocidad observada va a menor velocidad que la estimada, esto es debido al mal estado que se encuentra en los actuales momentos la vía, y por ende a las características geométricas de las curvas de las carreteras.

**Tabla 17.** Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Bucay – Colta (Ida)

Diferencia de velocidad	Buena	Mala	Regular	Porcentaje curvas
< 5	13%	0%	0%	13%
5 - 10	44%	0%	0%	44%
10 - 15	0%	31%	0%	31%
15 - 20	0%	9%	0%	9%
> 20	0%	0%	3%	3%
	<b>56%</b>	<b>41%</b>	<b>3%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Arévalo (2020)



**Figura 6.** Porcentaje de las diferencias de velocidades (estimada vs observada)

Fuente: Arévalo (2020)

*Resultado:* De la tabla 17, la diferencia de velocidades (estimada vs observada), se tiene que el 56% son menores que 10 km/h y se evalúa como buena y 41% en un intervalo 10 – 20 km/h se evalúa como mala, interpretando, este resultado por el porcentaje, que el carril derecho de esta vía que corresponde al 56% (18 curvas cerradas), se encuentran en mal estado por falta de mantenimiento, siendo una carretera insegura para los conductores que circulan con su vehículo por esta vía, además existe un 3% (1 curva cerrada) que es mayor a 20km/h, evaluándose como



regular, indicando, que se debe de intervenir y revisar nuevamente el diseño de esta curva cerrada (CV006), lo más pronto posible.

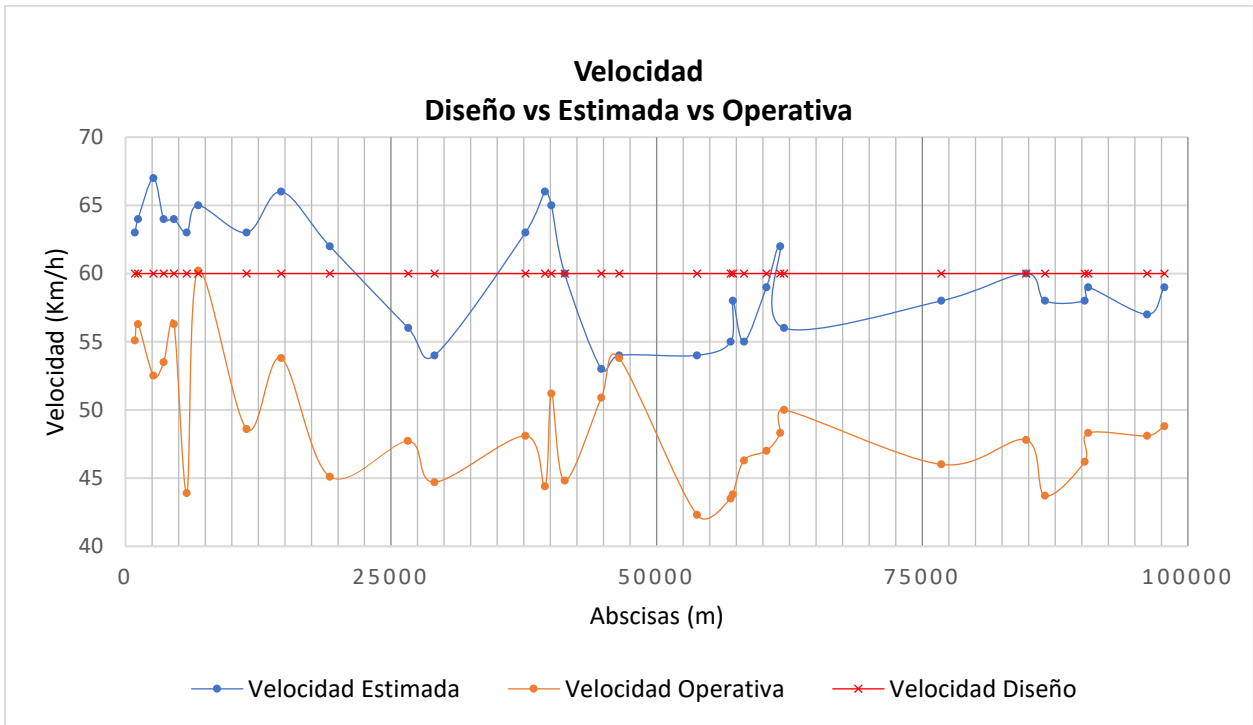
La tabla 18, expone al número de curvas con su respectiva abscisa, la velocidad estimada calculado con el software IHSDSM, la velocidad observada en la vía Colta – Bucay (vuelta), la diferencia de estas velocidades y la evaluación de consistencia del trazado a base de la velocidad.

**Tabla 18.** *Diferencia entre la velocidad estimada vs la velocidad observada del tramo Bucay – Colta (Vuelta)*

Código	Abscisa (km)	Velocidad Diseño (km/h)	Velocidad Estimada (km/h)	Velocidad Observada (km/h)	Diferencia Velocidades (km/h)	Intervalo (km/h)	Evaluación Consistencia
CV001	1 + 635	60	63	55.1	7.90	5 - 10	Buena
CV002	1 + 922	60	64	56.3	7.70	5 - 10	Buena
CV003	3 + 373	60	67	52.5	14.50	10 - 15	Mala
CV004	4 + 346	60	64	53.5	10.50	10 - 15	Mala
CV005	5 + 304	60	64	56.3	7.70	5 - 10	Buena
CV006	6 + 516	60	63	43.9	19.10	15 - 20	Mala
CV007	7 + 575	60	65	60.2	4.80	< 5	Buena
CV008	12 + 140	60	63	48.6	14.40	10 - 15	Mala
CV009	15 + 388	60	66	53.8	12.20	10 - 15	Mala
CV010	19 + 977	60	62	45.1	16.90	15 - 20	Mala
CV011	27 + 353	60	56	47.7	8.30	5 - 10	Buena
CV012	29 + 837	60	54	44.7	9.30	5 - 10	Buena
CV013	38 + 379	60	63	48.1	14.90	10 - 15	Mala
CV014	40 + 228	60	66	44.4	21.60	> 20	Regular
CV015	40 + 830	60	65	51.2	13.80	10 - 15	Mala
CV016	42 + 078	60	60	44.8	15.20	15 - 20	Mala
CV017	45 + 530	60	53	50.9	2.10	< 5	Buena
CV018	47 + 201	60	54	53.8	0.20	< 5	Buena
CV019	54 + 534	60	54	42.3	11.70	10 - 15	Mala
CV020	57 + 711	60	55	43.5	11.50	10 - 15	Mala
CV021	57 + 915	60	58	43.8	14.20	10 - 15	Mala
CV022	58 + 949	60	55	46.3	8.70	5 - 10	Buena
CV023	61 + 068	60	59	47	12.00	10 - 15	Mala
CV024	62 + 368	60	62	48.3	13.70	10 - 15	Mala
CV025	62 + 727	60	56	50	6.00	5 - 10	Buena
CV026	77 + 524	60	58	46	12.00	10 - 15	Mala
CV027	85 + 498	60	60	47.8	12.20	10 - 15	Mala
CV028	87 + 278	60	58	43.7	14.30	10 - 15	Mala

CV029	91 + 020	60	58	46.2	11.80	10 - 15	Mala
CV030	91 + 340	60	59	48.3	10.70	10 - 15	Mala
CV031	96 + 892	60	57	48.1	8.90	5 - 10	Buena
CV032	98 + 514	60	59	48.8	10.20	10 - 15	Mala

Fuente: Arévalo (2020)



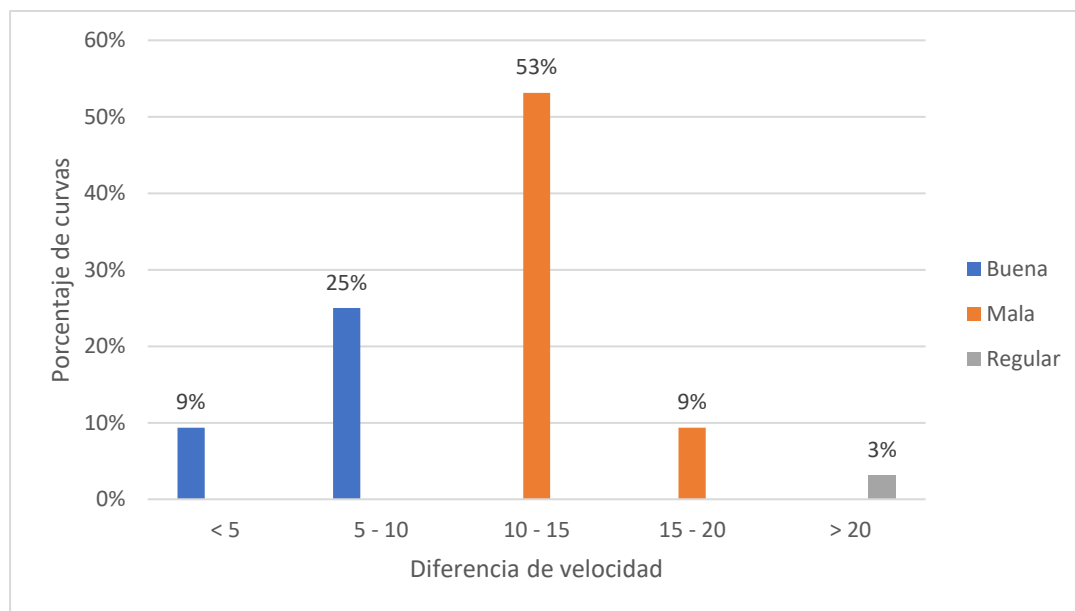
**Figura 7.** Velocidad diseño vs Velocidad estimada vs velocidad observada  
Fuente: Arévalo (2020)

*Resultado:* cómo se puede observar en la Figura 7, la velocidad de diseño con respecto a la velocidad observada, se nota que la velocidad observada no sobrepasa a la velocidad de diseño, percatándose que los datos difieren significativamente entre sí, sin tener mucha concordancia entre estas velocidades; por otro lado, el modelo nos predice que puedo recorrer en un rango de 53 – 67 km/h de velocidad, es decir, que puedo circular a velocidades mayores respecto a la velocidad de diseño, además, observamos que la velocidad observada va a menor velocidad que la estimada, esto es debido al mal estado que se encuentra en los actuales momentos la vía, y por ende a las características geométricas de las curvas de las carreteras.

**Tabla 19.** Porcentaje de la evaluación de consistencia de la velocidad del tramo Bucay – Colta (Vuelta)

Diferencia de velocidad	Buena	Mala	Regular	Porcentaje curvas
< 5	9%	0%	0%	9%
5 - 10	25%	0%	0%	25%
10 - 15	0%	53%	0%	53%
15 - 20	0%	9%	0%	9%
> 20	0%	0%	3%	3%
	34%	63%	3%	100%

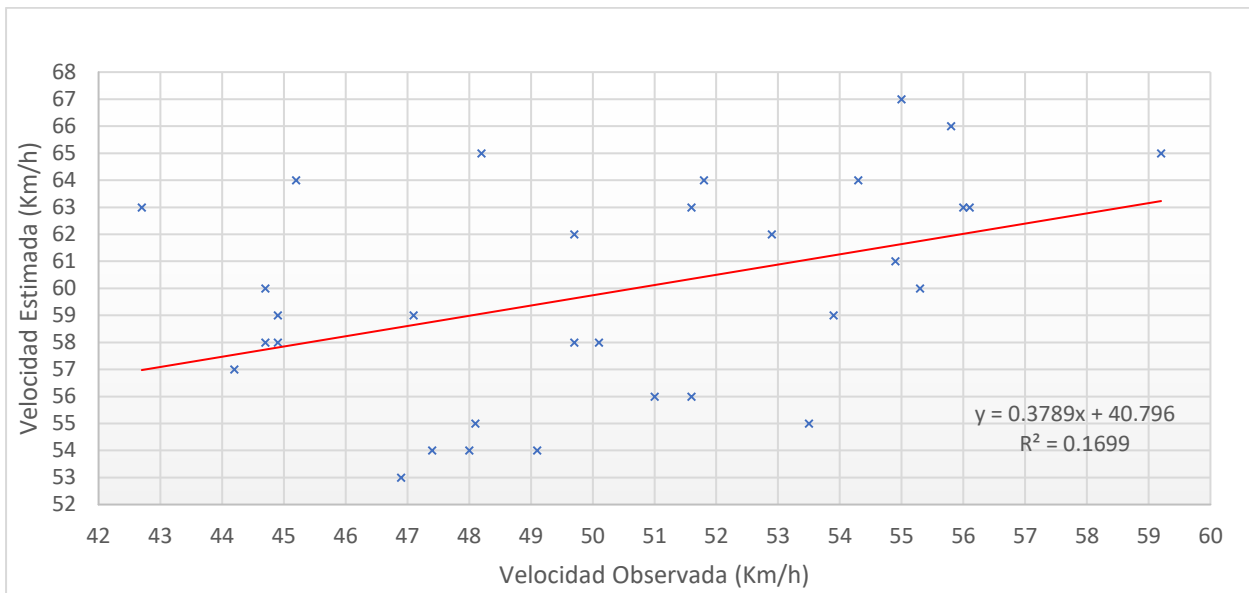
**Fuente:** Arévalo (2020)



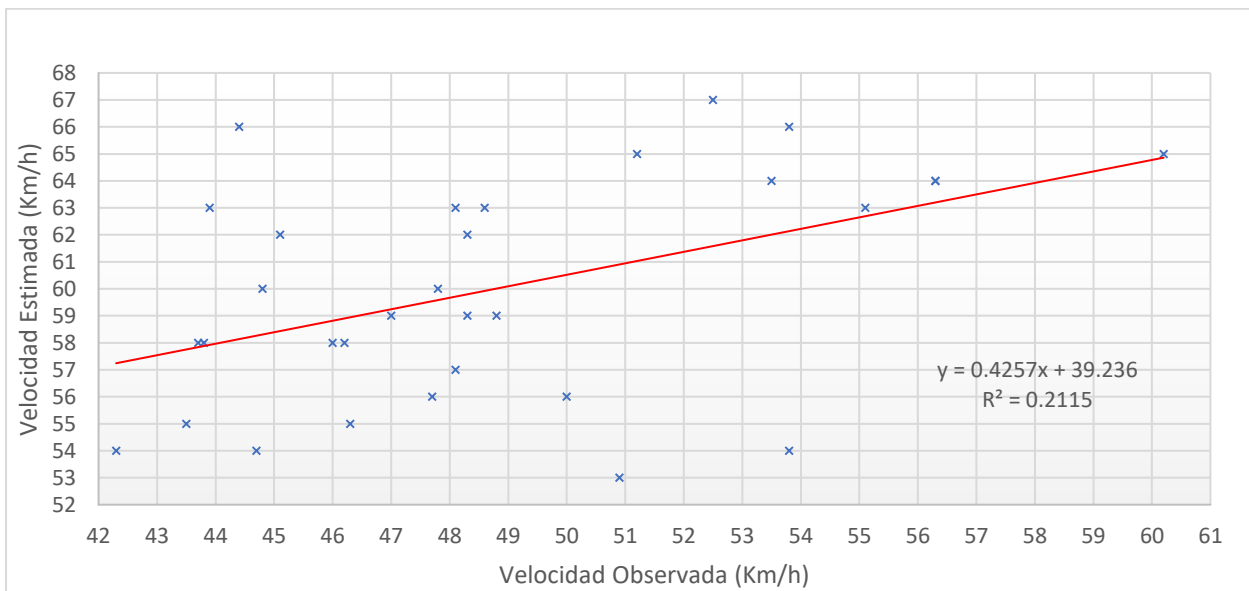
**Figura 8.** Velocidad estimada vs velocidad observada

**Fuente:** Arévalo (2020)

*Resultado:* De la tabla 19, la diferencia de velocidades (estimada vs observada), se tiene que el 34% son menores que 10 km/h y se evalúa como buena y 63% en un intervalo 10 – 20 km/h se evalúa con mala, interpretando, este resultado por el porcentaje, que el carril izquierda de esta vía que corresponde al 63% (20 curvas cerradas), están en mal estado por falta de mantenimiento, siendo una carretera insegura a los conductores que circulan con su vehículo por esta vía, además existe un 3% (1 curva cerrada) que es mayor a 20km/h, evaluándose como regular, indicando, que se encuentra mal diseñada esta curva cerrada (CV014).



**Figura 9.** Línea de tendencia de la velocidad estimada vs velocidad observada *del tramo Bucay – Colta (Ida)*  
**Fuente:** Arévalo (2020)



**Figura 10.** Línea de tendencia de la velocidad estimada vs velocidad observada *del tramo Bucay – Colta (Vuelta)*  
**Fuente:** Arévalo (2020)

*Resultado:* Se observa en la figura 9 y 10, que la línea de tendencia se encuentra en un intervalo de 57 a 65 km/h, en ambos sentidos, percatándose que muy pocos datos se encuentran próximos a esta línea de tendencia, los datos que están más alejados necesitan un ajuste, es decir, subir la

velocidad observada próximo a la velocidad estimada, y esto podrá ser realizado mediante el mantenimiento de las características geométricas de cada curva cerrada que se encuentra en la carretera, y así poder brindar seguridad a los transeúntes.

*Costos de vehículo*

**Tabla 20.** *Precio de gasolina a 1 km*

Recorrido (km)	Galones	Precio/galón	Dólares
1	0.034	1.75	0.0595

Fuente: Arévalo (2020)

Realizando un pequeño análisis respecto al costo de vehículo que podría sufrir un automóvil a base de que la carretera que se encuentra en mal estado, se podría decir:

**Tabla 21.** *Relación gasto de gasolina a base de la velocidad y el tiempo*

Recorrido (km)	Galones	Precio/galón	Dólares	Velocidad	Tiempo(horas)
104	3.54	1.75	6.19	50.27	2.04
104	2.49	1.75	4.37	60.00	1.44

Fuente: Arévalo (2020)

1. Que a mayor velocidad (60 km/h) menor tiempo (1 hora 44 minutos)
2. Que a mayor velocidad (60kmh) menor consumo de gasolina (2.49 galones)

Dicho de otra manera, a mayor velocidad menor tiempo y menor consumo de gasolina y por ende menor costo de recorrido (\$ 4.37, 00).

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

El modelo de consistencia de velocidad en curvas cerradas de una carretera rural fue realizado, determinando que existe una relación directa entre la velocidad estimada con los elementos de diseño geométrico de carreteras, siendo esta velocidad un dato importante para poder obtener un modelo de trazado eficaz, garantizando la seguridad y poder evaluar la consistencia de un camino seguro para los usuarios.

Se realizó un análisis minucioso de la velocidad operativa, en las curvas cerradas del tramo Colta – Bucay de la vía E487, donde se determina que, la velocidad estimada, puede ser utilizado como, la velocidad máxima, que llega un vehículo en las curvas cerradas, ya que esta velocidad, es calculado mediante los elementos de las características de la vía, y cumple con las garantías de seguridad que un conductor necesita.

La norma de diseño geométrico de carreteras de Perú, presenta mayores condiciones favorables, debido a que utiliza la velocidad operativa para poder estimar los elementos geométricos de una carretera, dándonos la opción de poder calcular de una forma fácil, entendible, y así obtener las características geométricas de la vía, con parámetros más reales y seguros para el trazado del diseño.

Para ubicar las curvas cerradas y zonas vulnerables, que existen en la vía, se ha realizado un modelo de perfil de velocidades, que ayuda a evaluar el estado de la carretera, indicándose los puntos más vulnerables que existe, para dar mantenimiento oportuno, y así brindar un mejor servicio y funcionamiento, con lo que se podría evitar accidentes vehiculares y a la vez tener una vía con mayor seguridad para el usuario.

## *6.2 Recomendaciones*

El tramo Colta – Bucay, que es una vía secundaria (colectora), se conecta la costa con la sierra, siendo una vía tan importante, se sugiere un mantenimiento regular, es decir, cada 2 meses como mínimo, para que los usuarios puedan distribuir y comercializar sus productos sin ningún inconveniente, y otorgar seguridad en la carretera.

La Norma de Diseño Geométrica de Carreteras de Ecuador 2003, se debería actualizar, existe la NEVI 12, que es una norma para estudios y diseños viales, siendo una norma que le falta mayor análisis en el parámetro de la velocidad operativa.

Es pertinente realizar el estudio de la velocidad operativa, tomando como referencia varios autores ya existentes, con el propósito de crear fórmulas propias, para incrementar la seguridad de las carreteras de nuestro país Ecuador.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Ariza, M., & Pimentel, D. (2013). *Modelación de intersecciones de la ciudad de Bucaramanga con el software IHSDM*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD.
- Depestre, R. A. G., Martínez, D. E. D., & García, E. E. D. (2012). Modelos de perfil de velocidad para evaluación de consistencia del trazado en carreteras de la provincia de Villa Clara, Cuba. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(2), 71–82. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732012000200005>
- DG. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico 2018*.
- Dhahir, B., & Hassan, Y. (2019a). Modeling Speed and Comfort Threshold on Horizontal Curves of Rural Two-Lane Highways Using Naturalistic Driving Data. *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*, 145(6), 1–12. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000246>
- Dhahir, B., & Hassan, Y. (2019b). Using horizontal curve speed reduction extracted from the naturalistic driving study to predict curve collision frequency. *Accident Analysis and Prevention*, 123(November 2018), 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.020>
- Eboli, L., Guido, G., Mazzulla, G., & Pungillo, G. (2017). Experimental relationships between operating speeds of successive road design elements in two-lane rural highways. *Transport*, 32(2), 138–145. <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1110831>
- Echaveguren, T., Bustos, M., & de Solminihac, H. (2005). Assessment of horizontal curves of an existing road using reliability concepts. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32(6), 1030–1038. <https://doi.org/10.1139/105-056>
- IHSDM. (2019). *Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM): Overview*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. <https://highways.dot.gov/research/safety/interactive-highway-safety-design->



model/interactive-highway-safety-design-model-ihsdm-overview

INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. *Ciencia*, 84, 1–6.

<https://doi.org/10.1038/jid.2012.437.Activation>

Javier, F., & Torregrosa, C. (2013). New Geometric Design Consistency Model Based on.

*Accident Analysis & Prevention*, 61, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.10.001>.The

Lamm, R., & Choueiri, E. M. (1987). Recommendation for Evaluating Horizontal Design

Consistency Based on Investigations in the State of New York. *Transportation Research Record*, 68–78.

Lucio, M. A. (2018). *Aumento de accidentes de tránsito en Ecuador*.

<https://ecuador.seguros123.com/aumento-de-accidentes-de-transito-en-ecuador/>

MTOP. (2003). Normas de Diseño Geométrico de Carreteras. *Mtop*, 2, 1–475.

[https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera\\_2003-ecuador.pdf](https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf)

Organización Mundial de Salud. (2018). *Accidentes de tránsito*. [https://www.who.int/es/news-](https://www.who.int/es/newsroom/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries#:~:text=Datos y cifras,consecuencia de)

[room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries#:~:text=Datos y cifras,consecuencia de](https://www.who.int/es/newsroom/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries#:~:text=Datos y cifras,consecuencia de) accidentes de tránsito.

Pico, R., & Norma, S. (2018). Definición del modelo de consistencia de velocidad para una

carretera rural en el departamento de Santander a partir de un tramo experimental. *Revista Carreteras N° 230*. [https://issuu.com/asociacionargentinadecarreteras/docs/carreteras\\_230](https://issuu.com/asociacionargentinadecarreteras/docs/carreteras_230)

Posada, J. J. (2014). Consistencia en el diseño: predicción de la velocidad de operación en

carreteras. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 39–47. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.803>

Sanchez Ordoñez José Fernando. (2011). *Metodología Para La Evaluación De La Consistencia*

*Del Trazado De Carreteras Interurbanas De Dos Carriles*. 319.

Tomás Echaveguren, Á. D. (2008). Perfiles de Velocidad de Operación en Curvas Horizontales Aisladas. *Ingeniería de Transporte*, 18, 25–32.

Sánchez J. (2008), "*La evaluación de la consistencia del diseño geométrico de carreteras: un aporte a la seguridad vial*", Universidad de Cauca, Colombia.