

**DEFINICION DEL MODELO DE CONSISTENCIA DE VELOCIDAD PARA UNA CARRETERA
RURAL EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER A PARTIR DE UN TRAMO
EXPERIMENTAL**

Ricardo Pico Vargas, ricardo.pico@upb.edu.co
Norma Cristina Solarte Vanegas, norma.solarte@upb.edu.co
Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga
Teléfono: 57 – 7 -6796220 extensión: 20165 - 20468
Dirección Postal 681007

RESUMEN

El presente trabajo busca definir entre dos modelos de consistencia, el del Manual de diseño colombiano y el del IHSDM cual se adapta mejor a un tramo experimental y representativo del departamento de Santander Colombia, el análisis emplea perfiles de velocidad de operación obtenidas de equipos con GPS cuyos datos más precisos son determinantes para confirmar la validez de los modelos trabajados. Estos modelos evalúan la relación del diseño con las expectativas de velocidad de los conductores calculando la diferencia entre la velocidad de operación y la velocidad de diseño y la reducción esperada en la velocidad de operación de los elementos del diseño en planta. Los resultados indican que el modelo ISHDM tuvo un mejor comportamiento en el tramo de vía analizada y permitieron concluir para condiciones locales que elementos pueden llegar a presentar problemas de siniestralidad.

Palabras Clave: Diseño Geométrico, perfiles de velocidad, Consistencia, Seguridad, Carreteras.

1. INTRODUCCIÓN

El departamento de Santander no es ajeno a las altas estadísticas de siniestralidad que se presentan en el país y en el mundo, cada día mueren en el planeta cerca de 3.000 personas y cerca de 100.000 quedan heridas, además es la principal causa de muerte entre los jóvenes de 15 a 24 años.

Investigaciones anteriores han demostrado que los siniestros se concentran en diferentes puntos de la carretera, indicando que los errores no solo son de los conductores sino que las características geométricas de ellas también pueden producir siniestros, aproximadamente el 30% de ellos es debido a fallas en la infraestructura vial que se le brinda a los usuarios y su principal característica es la baja consistencia del diseño Geométrico, parámetro fundamental en la seguridad vial.

La mayoría de los criterios que se utilizan para evaluar la consistencia son los que se basan en la velocidad de operación, es decir sobre velocidades obtenidas de vehículos ligeros en condiciones de flujo libre, este parámetro se puede conseguir a partir de mediciones cuando la vía está construida, sin embargo en la fase de diseño se debe estimar. Para ello se utilizan modelos de estimación de velocidad de operación que relacionan este parámetro con características geométricas de la vía.

Esta investigación busca obtener el mejor modelo para la estimación de velocidad que se adapte a las características del tramo de carretera experimental (Bucaramanga-Rionegro), vía de una calzada de dos carriles con doble sentido de circulación (en ellas se produce más del 70% de las muertes en siniestros de tránsito), para ello se hará una comparación con los perfiles de velocidad de operación obtenidos mediante la utilización de GPS en forma continua, estos datos se tendrán en todas las curvas horizontales y en las entretangencias, y con ello obtener el mejor modelo de consistencia a utilizar, para poder llegar a dar soluciones de trazado en los puntos críticos estudiados del tramo.

2. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se sustentó en la estimación simultánea de dos modelos de consistencia, con base en datos de perfiles de velocidad de operación tomados en un tramo de carretera entre la ciudad de Bucaramanga y el municipio de Rionegro.

2.1. Contexto de elección

El tramo de vía seleccionado para realizar el análisis de velocidad de operación está comprendido entre el sitio llamado “Puente Tierra” y el “Peaje Rio Negro 5300”. Esta vía hace parte de la ruta nacional 45 A, una de las rutas más importantes de Colombia, se encuentra en la vía que comunica el municipio de Bucaramanga con el municipio de Rionegro en el departamento de Santander.

Es una vía muy transitada por vehículos de carga y de pasajeros, ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga, el tramo tiene una longitud aproximada de 5 kilómetros, calzada bidireccional, un carril por sentido de 3.50 metros de ancho, no cuenta con bermas; es una vía de curvas con longitudes pequeñas, ángulos de deflexión grandes, pocas entretangencias y con pendientes pronunciadas. Su topografía transversal es montañosa.

La velocidad de diseño del tramo es de 60 km/h, presenta 50 curvas espiralizadas, se encuentra pavimentada con asfalto flexible y señalizada en todo su trayecto. Presenta un tránsito promedio diario aproximado de 4200 veh/día de los cuales el 65% son camiones y el 50% de ellos son vehículos mayores a 5 ejes. (> C-5). A nivel de accidentalidad durante el 2015 el tramo presentó 87 accidentes con 76 personas heridas y 2 personas fallecidas.

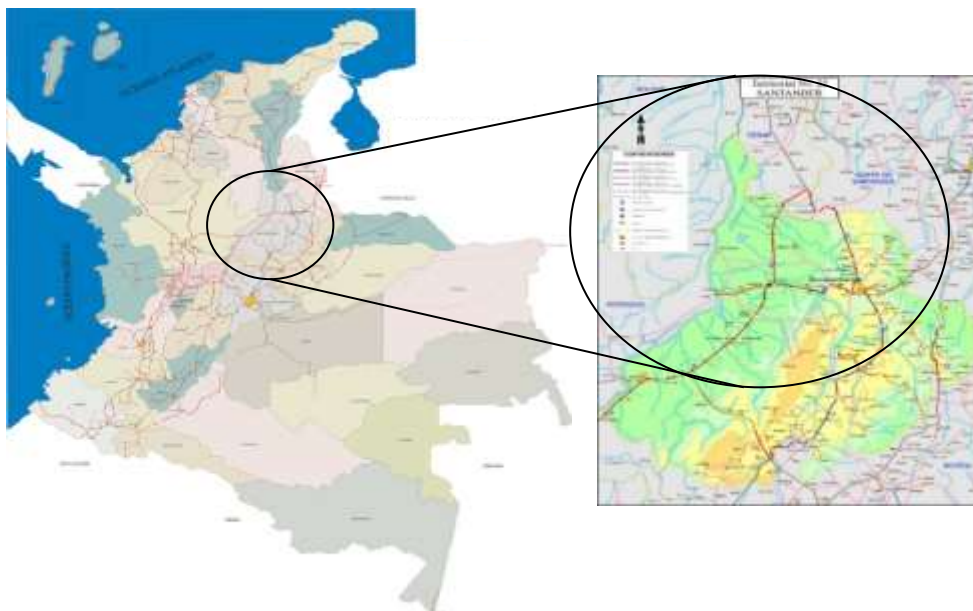


Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto

2.2. Toma de datos

Se tomó dos bases de datos relacionadas con las características geométricas del tramo y los datos de velocidad de operación de los vehículos, fue necesario aislar los datos de los sitios de la vía donde no se cumplen los siguientes criterios: tramo sin cruces ni puentes, buen estado del pavimento, y sin reductores de velocidad, esto debido a que los conductores tienden a disminuir su velocidad en esos casos.

Respecto a la base de datos de las características geométricas la Tabla 1 muestra los parámetros utilizados para los modelos de análisis de consistencia respecto al diseño geométrico en planta,

La Tabla 2 muestra los parámetros respecto al diseño geométrico en perfil.

Tabla 1. Parámetros de diseño geométrico horizontal del tramo

PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDADES
Radio	R	m
Longitud de curva horizontal	L_c	m
Longitud de espiral	L_e	m
Longitud de entretangencia	L_T	m

Tabla 2. Parámetros de diseño geométrico vertical del tramo

PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDADES
Longitud de curva vertical	L_v	m
Pendiente longitudinal	%	

Estos datos son de gran importancia porque existe una relación entre el diseño geométrico y la velocidad de operación.

Respecto a la base de datos de velocidad de operación se tomaron mediciones de velocidades de 35 vehículos livianos a flujo libre, en condiciones de clima favorables e iluminación adecuada. La Figura 2 muestra las características diversas de los conductores en cuanto a edad y sexo.

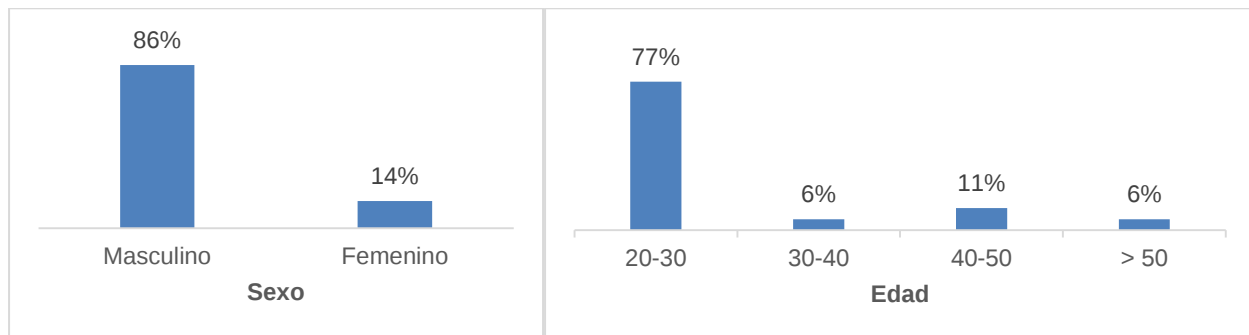


Figura 2. Características de los conductores

Los conductores reportaron un promedio de edad de 26.8 años, en un rango de variación entre 20 y 54 años de edad, en cuanto al sexo la muestra quedó conformada por 86% de hombres y 14% de mujeres.

El equipo utilizado para la toma de datos de velocidad fue el video VBOX Lite de 10 Hz, el cual posee un sistema multicámaras integrado para obtener imágenes digitales georreferenciadas integradas con los datos recolectados, captura información de 8 satélites, permite obtener cada 0.1 seg información de distancia con una precisión de 0.05% y velocidades con una precisión de 0.2 km/h.



Figura 3. Software, Racelogic VBox Tools

2.3. Procesamiento de los datos

Con el equipo especializado Video VBox Lite, se obtuvo los perfiles de velocidad de operación de los 35 vehículos que circularon por el tramo en los dos sentidos, un ejemplo se presenta en la figura 4, y se procesó los resultados de posición y velocidad cada 5 metros en cada perfil de velocidad. Posteriormente se seleccionó el dato de velocidad de operación de todos los vehículos en las abscisas del punto medio de las 50 curvas del tramo.

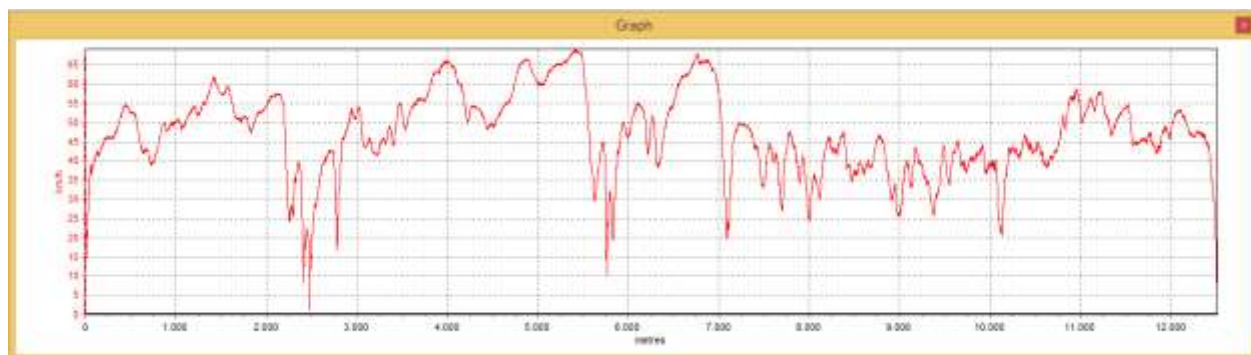


Figura 4. Perfil de velocidad de operación obtenida del VBOX Lite

Para el cálculo de la velocidad de operación en cada curva se utilizó el software Wólffram Mathematica, la figura 5 muestra la curva de distribución de frecuencia acumulada relativa de una curva.

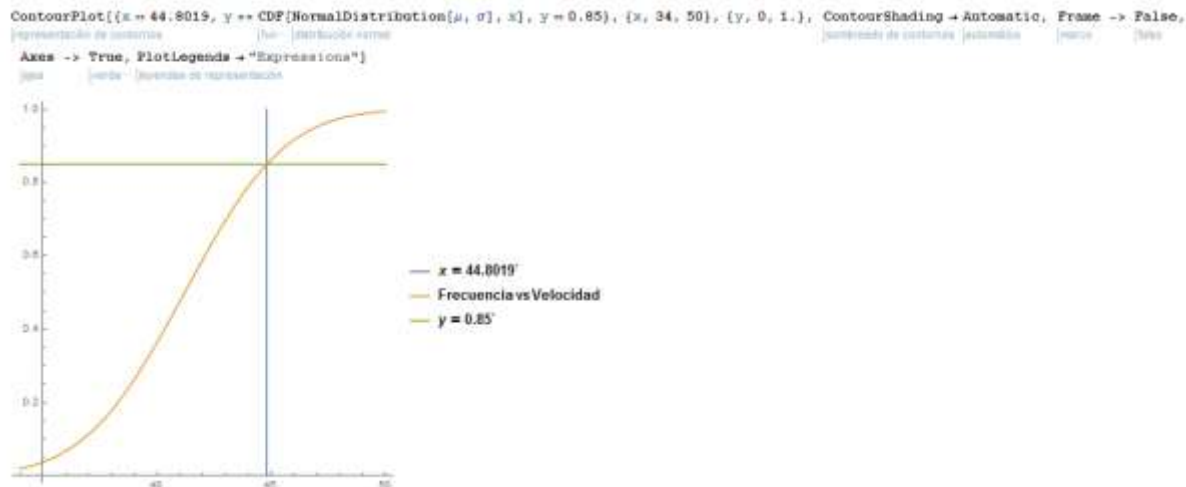


Figura 5. Distribución frecuencia acumulada relativa

3. MODELOS DE CONSISTENCIA LOCAL ESTUDIADOS

Los modelos de consistencia estudiados en este proyecto fueron el del Manual de diseño colombiano y el del IHSDM.

3.1. Modelo Colombiano

Para garantizar la consistencia en la velocidad, el diseñador debe identificar a lo largo del corredor, tramos homogéneos a los que por las condiciones topográficas se les pueda asignar una misma velocidad, esta velocidad se denomina Velocidad de Diseño (V_{TR}), y es base para definir las características geométricas de los elementos en el tramo.

En los criterios generales para establecer la consistencia en la velocidad la longitud mínima con una velocidad dada no debe ser menor a tres (3) kilómetros para velocidades entre veinte (20) km/h y cincuenta (50) km/h y de cuatro (4) kilómetros para velocidades entre sesenta (60) km/h y ciento diez (110) km/h.

Para asignar la Velocidad de diseño (V_{TR}) se debe tener en cuenta la categoría de la carretera y el tipo de terreno transversal.

En Colombia la velocidad máxima más probable con que los conductores abordan un elemento geométrico se denomina Velocidad Específica y es con ella que se debe diseñar ese elemento.

El valor de esa velocidad en un elemento geométrico depende del valor de la Velocidad de Diseño del tramo (V_{TR}) en que se encuentra el elemento en estudio y de la geometría del

trazado inmediatamente anterior al elemento teniendo en cuenta el sentido en que el vehículo realice el recorrido. La condición más favorable a deseada es que la mayoría de los elementos geométricos del tramo se les pueda asignar como Velocidad Específica el valor de la velocidad de diseño del tramo.

La norma colombiana obliga a que las Velocidades Específicas de los elementos que integran un tramo homogéneo sean como mínimo iguales a la velocidad de diseño del tramo (V_{TR}) y no superen esta velocidad en más de veinte (20) km/h.

La secuencia en el diseño geométrico en planta es partiendo de la Velocidad de Diseño (V_{TR}), asignar las Velocidades Específicas a las curvas horizontales (V_{CH}), para posteriormente a partir de ellas (V_{CH}), asignar la Velocidad Específica a las entretangencias horizontales (V_{ETH}).

Para el diseño geométrico en perfil partiendo de las Velocidades Específicas de las curvas horizontales (V_{CH}) y de las entretangencias horizontales (V_{ETH}), asignar la Velocidad Específica a las curvas verticales (V_{CV}), y partiendo de las Velocidades Específicas de las entretangencias horizontales (V_{ETH}), asignar las Velocidades Específicas de las tangentes verticales (V_{TV}).

Para asignar la Velocidad Específica a una curva horizontal (V_{CH}), se debe tener en cuenta: La Velocidad de Diseño del tramo donde se encuentra la curva, el sentido en que el vehículo recorre la vía, la Velocidad Específica de la curva horizontal anterior, la entretangencia anterior y la deflexión en la curva analizada.

Teniendo en cuenta estos criterios, la norma presenta la siguiente tabla para facilitar la asignación de las Velocidad Especificas a cada curva horizontal.

Tabla 3. Velocidad Específica de una curva horizontal (V_{CH})

Velocidad específica de la curva horizontal anterior V_{CH} (km/h)	Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) $\leq$ 50 km/h					Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) $>$ 50 km/h				
	Longitud del segmento recto anterior (m)					Longitud del segmento recto anterior (m)				
	$L \leq 70$	$70 < L \leq 250$		$250 < L \leq 400$	$L > 400$	$L \leq 150$	$150 < L \leq 400$		$400 < L \leq 600$	$L > 600$
		$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$				$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$		
V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
CASO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

La Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}) debe ser igual a la mayor de las dos Velocidades Específicas de las curvas horizontales que enmarcan la entretangencia.

3.2. Modelo IHSDM

El modelo es un programa de computador creado por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos que permite evaluar varios aspectos de seguridad entre ellos la Consistencia en el diseño vial, su aplicación está enfocada a carreteras rurales de dos carriles.

El módulo de consistencia fundamenta su evaluación en la estimación de la velocidad de operación, para ello genera un perfil de velocidades y analiza su variación a lo largo de la carretera comparándola con la velocidad de diseño. El modelo utiliza las ecuaciones de predicción de la velocidad de operación que consideran los elementos geométricos en planta y perfil y las ecuaciones del modelo TWOPAS que predicen la velocidad teniendo en cuenta el perfil de la carretera y el rendimiento del vehículo.

Adicionalmente compara las velocidades de operación cuando inicia cada curva con la velocidad del elemento anterior e informa si la diferencia supera un determinado valor, la evaluación se hace para cada uno de los dos sentidos de avance.

El procedimiento para determinar el perfil de velocidades está definido por las siguientes etapas: selección de la velocidad deseada (V_{des}), cálculo de la velocidad de operación (V_{85}), cálculo de la velocidad limitada por pendiente, deducción del perfil V_{85} con base en la predicción de velocidades, ajuste del perfil V_{85} con las aceleraciones pronosticadas.

3.3. Indicadores y Umbrales de Consistencia

Existen dos criterios de consistencia relacionados con la Velocidad de Operación que incluyen la diferencia entre la Velocidad de Operación y la Velocidad de Diseño (Criterio I) y la diferencia de Operación entre elementos geométricos consecutivos (Criterio II), siendo este último el más utilizado.

Los umbrales para calificar la seguridad del diseño geométrico:

Calificación bueno: Significa que no necesita cambios en su alineamiento y está acorde a las expectativas del conductor.

Calificación regular: Significa que hay sitios en el tramo que puede necesitar cambios dependiendo del grado de inconsistencia que el diseñador esté dispuesto a aceptar.

Calificación malo: Hay que rediseñar ya que existe una alta probabilidad de siniestro.

Tabla 4. Indicadores y umbrales de consistencia

DISEÑO	CRITERIO I	CRITERIO II
Bueno	$ V_{85} - V_d < 10 \text{ km/h}$	$ V_{85n} - V_{85 \text{ } n+1} < 10$
Regular	$10 \text{ km/h} < V_{85} - V_d < 20 \text{ km/h}$	$10 < V_{85n} - V_{85 \text{ } n+1} < 20$
Malo	$ V_{85} - V_d > 20 \text{ km/h}$	$ V_{85n} - V_{85 \text{ } n+1} > 20$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Modelo Colombiano

La Tabla 5 presenta los valores de las Velocidades Específicas de las curvas horizontales del tramo según el Manual de Diseño Geométrico de Colombia 2008, el valor de la Velocidad de Operación obtenido de la muestra en las mismas curvas horizontales sentido Bucaramanga–Rionegro y su diferencia.

Tabla 5. Parámetros estimados de velocidad Sentido Bucaramanga-Rionegro

No. Curva	Velocidad Especifica (km/h)	Velocidad de Operación Observada (km/h)	Diferencia (km/h)
1	60	63.44	3.44
2	60	44.80	15.20
3	60	55.50	4.50
4	60	37.49	22.51
5	60	60.44	0.44
6	60	42.88	17.12
7	60	35.86	24.14
8	60	41.90	18.10
9	60	55.66	4.34
10	60	62.86	2.86
11	60	61.16	1.16
12	60	56.56	3.44
13	60	48.11	11.89
14	60	45.15	14.85
15	60	49.14	10.86
16	60	43.31	16.69
17	60	39.83	20.17
18	60	50.11	9.89
19	60	45.88	14.12
20	60	60.56	0.56

No. Curva	Velocidad Especifica (km/h)	Velocidad de Operación Observada (km/h)	Diferencia (km/h)
21	60	57.96	2.04
22	60	44.04	15.96
23	60	40.81	19.19
24	60	44.31	15.69
25	60	46.30	13.70
26	60	49.98	10.02
27	60	56.61	3.39
28	60	47.67	12.33
29	60	55.32	4.68
30	60	60.71	0.71
31	60	61.02	1.02
32	60	52.21	7.79
33	60	34.87	25.13
34	60	49.69	10.31
35	60	55.71	4.29
36	60	55.51	4.49
37	60	53.04	6.96
38	60	60.65	0.65
39	60	56.81	3.19
40	60	60.62	0.62
41	60	59.52	0.48
42	60	64.56	4.56
43	60	56.49	3.51
44	60	53.48	6.52
45	60	53.22	6.78
46	60	56.37	3.63
47	60	54.05	5.95
48	60	57.28	2.72
49	60	57.74	2.26
50	60	54.92	5.08

La Tabla 6 presenta los valores de las Velocidades Específicas de las curvas horizontales del tramo según el Manual de Diseño Geométrico de Colombia 2008, el valor de la Velocidad de Operación obtenido de la muestra en las mismas curvas horizontales sentido Rionegro-Bucaramanga y su diferencia.

Tabla 6. Parámetros estimados de velocidad Sentido Rionegro-Bucaramanga

No. Curva	Velocidad Especifica (km/h)	Velocidad de Operación Observada (km/h)	Diferencia (km/h)
1	60	53.25	6.75
2	60	46.36	13.64
3	60	48.08	11.92
4	60	38.75	21.25
5	60	45.99	14.02
6	60	40.70	19.30
7	60	39.86	20.14
8	60	43.71	16.29
9	60	52.15	7.85
10	60	54.35	5.65
11	60	53.10	6.90
12	60	48.19	11.81
13	60	45.81	14.19
14	60	45.61	14.39
15	60	52.19	7.81
16	60	43.05	16.95
17	60	46.96	13.04
18	60	51.12	8.88
19	60	50.81	9.19
20	60	56.37	3.63
21	60	47.82	12.18
22	60	43.18	16.82
23	60	49.05	10.95
24	60	50.27	9.73
25	60	53.11	6.89
26	60	55.50	4.50
27	60	53.11	6.89
28	60	55.15	4.85
29	60	60.15	0.15
30	60	61.96	1.96
31	60	58.31	1.69
32	60	48.86	11.14
33	60	48.14	11.86
34	60	58.65	1.35
35	60	58.52	1.48
36	60	56.44	3.56
37	60	61.83	1.83
38	60	65.55	5.55

No. Curva	Velocidad Especifica (km/h)	Velocidad de Operación Observada (km/h)	Diferencia (km/h)
39	60	62.13	2.13
40	60	63.46	3.46
41	60	66.01	6.01
42	60	69.63	9.63
43	60	56.34	3.66
44	60	58.65	1.35
45	60	58.35	1.65
46	60	62.15	2.15
47	60	61.83	1.83
48	60	62.57	2.57
49	60	59.68	0.32
50	60	48.73	11.27

Los datos mostrados anteriormente en las Tablas están representados en las figuras 6 y 7 con el objetivo de visualizar mejor las diferencias entre las velocidades que se emplearon en el diseño y las velocidades reales de los vehículos en el tramo.

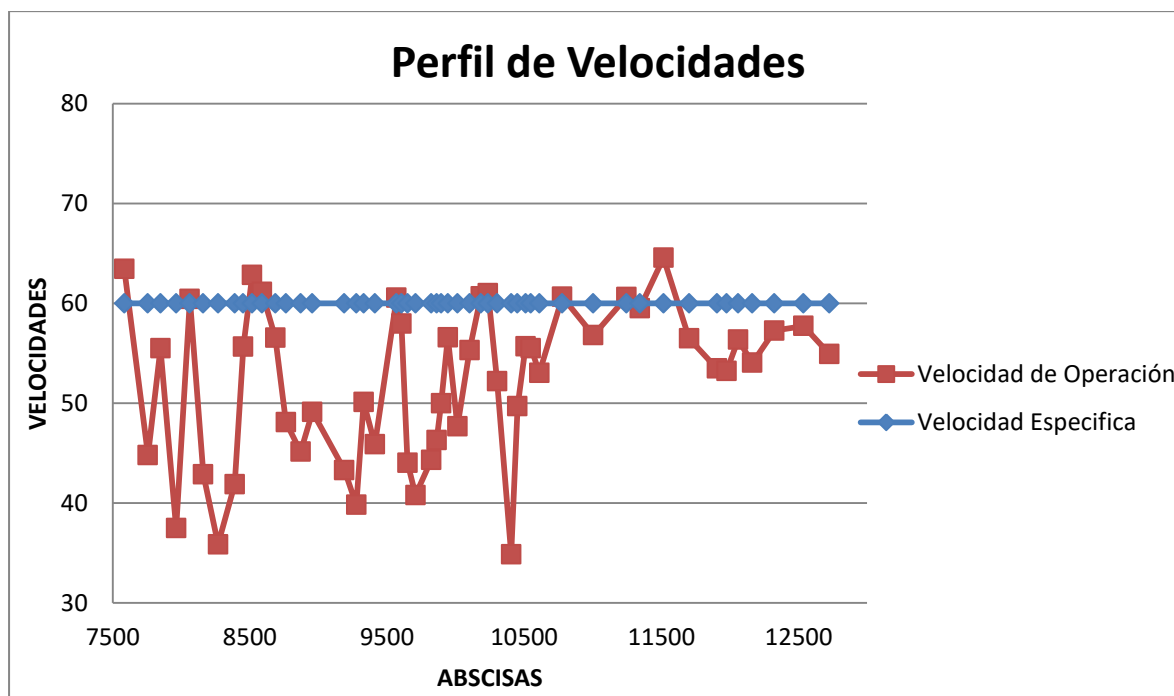


Figura 6. Perfil de velocidades sentido Bucaramanga - Rionegro

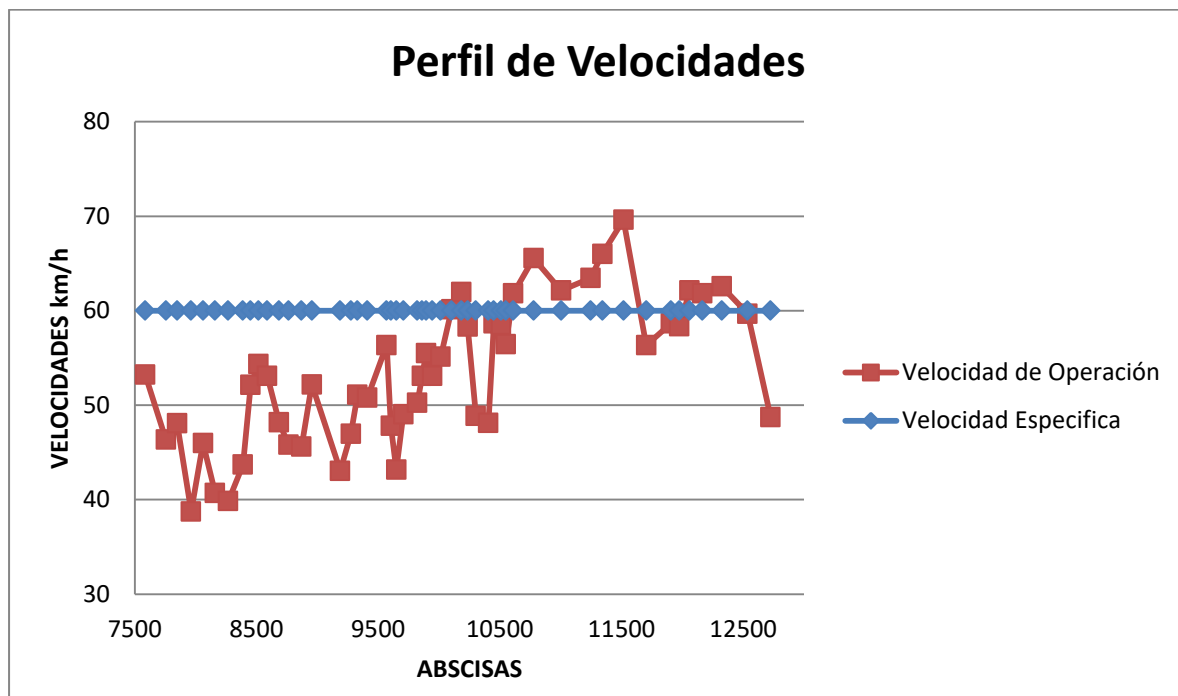


Figura 7. Perfil de velocidades sentido Rionegro - Bucaramanga

Analizando los perfiles de velocidad de la figura 6 y de la figura 7 se puede deducir que existen diferencias de velocidad significativas entre la Velocidades Especificas y la Velocidades de Operación, como se esperaba las velocidades no coinciden en ninguno de los dos sentidos.

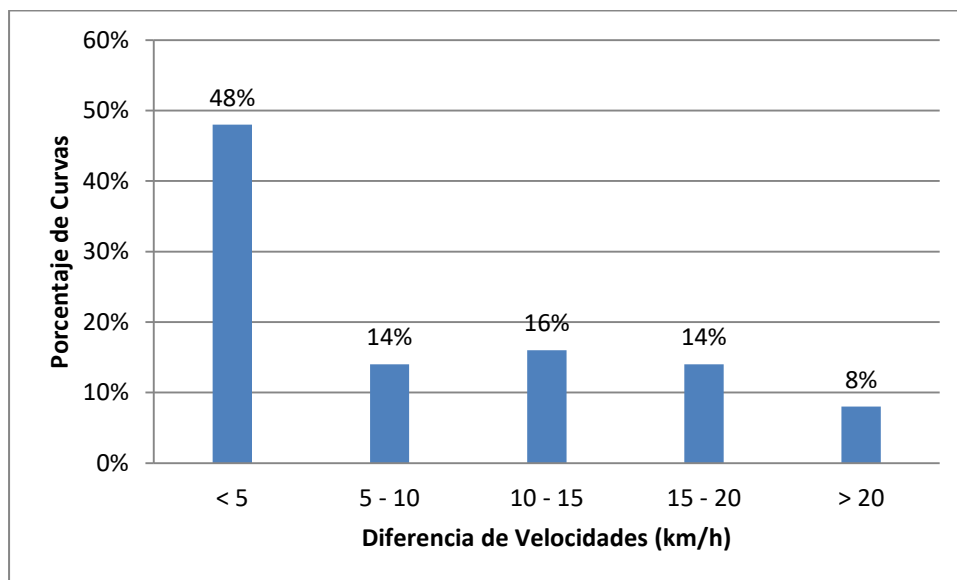


Figura 8. Distribución de diferencia de velocidades sentido Bucaramanga - Rionegro

Se observa que el 62% de las curvas presenta diferencias entre la velocidad estimada y la velocidad medida de menos de 10 km/h, y un 8% de las curvas presenta diferencias de más de 20 km/h en el sentido Bucaramanga – Rionegro.

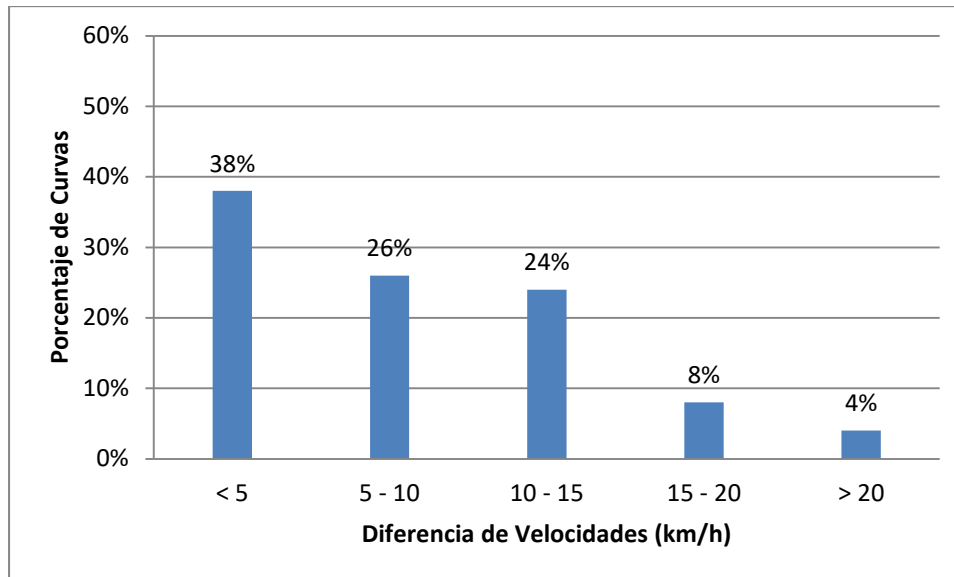


Figura 9. Distribución de diferencia de velocidades sentido Rionegro - Bucaramanga

Se observa que el 64% de las curvas presenta diferencias entre la velocidad estimada y la velocidad medida de menos de 10 km/h, y un 4% de las curvas presenta diferencias de más de 20 km/h en el sentido Rionegro - Bucaramanga.

4.2. Modelo IHSDM

La Tabla 7 presenta los valores de las Velocidades de Operación Estimadas por el software ISHDM, el valor de la Velocidad de Operación obtenido de la muestra en las mismas curvas horizontales sentido Bucaramanga–Rionegro y su diferencia.

Tabla 7. Parámetros estimados de velocidad Sentido Bucaramanga-Rionegro

No. Curva	Velocidad de Operación Estimada (km/h)	Velocidad de Operación Observada (km/h)	Diferencia (km/h)
1	69.00	63.44	5.56
2	54.00	44.80	9.20
3	65.00	55.50	9.50
4	43.00	37.49	5.51
5	66.00	60.44	5.56

No. Curva	Velocidad de Operación Estimada (km/h)	Velocidad de Operación Observada (km/h)	Diferencia (km/h)
6	47.00	42.88	4.12
7	43.00	35.86	7.14
8	47.00	41.90	5.10
9	58.00	55.66	2.34
10	65.00	61.16	3.84
11	65.00	56.56	8.44
12	58.00	48.11	9.89
13	51.00	45.15	5.85
14	59.00	49.14	9.86
15	53.00	43.31	9.69
16	46.00	39.83	6.17
17	53.00	45.88	7.12
18	69.00	60.56	8.44
19	69.00	57.96	11.04
20	56.00	40.81	15.19
21	48.00	44.31	3.69
22	66.00	56.61	9.39
23	55.00	47.67	7.33
24	62.00	55.32	6.68
25	71.00	61.02	9.98
26	58.00	52.21	5.79
27	40.00	34.87	5.13
28	61.00	53.04	7.96
29	74.00	60.65	13.35
30	64.00	56.81	7.19
31	64.00	60.62	3.38
32	73.00	59.52	13.48
33	66.00	64.56	1.44
34	64.00	56.49	7.51
35	73.00	53.48	19.52
36	59.00	53.22	5.78
37	62.00	54.05	7.95
38	62.00	57.28	4.72
39	63.00	57.74	5.26
40	64.00	54.92	9.08

La Tabla 8 presenta los valores de las Velocidades de Operación Estimadas por el software ISHDM, el valor de la Velocidad de Operación obtenido de la muestra en las mismas curvas horizontales sentido Bucaramanga–Rionegro y su diferencia.

Tabla 8. Parámetros estimados de velocidad Sentido Bucaramanga-Rionegro

No. Curva	Velocidad de Operación Estimada (km/h)	Velocidad de Operación Observada (km/h)	Diferencia (km/h)
1	69.00	53.25	15.75
2	54.00	46.36	7.64
3	65.00	48.08	16.92
4	43.00	38.75	4.25
5	66.00	45.99	20.01
6	47.00	40.70	6.30
7	43.00	39.86	3.14
8	47.00	43.71	3.29
9	61.00	52.15	8.85
10	65.00	53.10	11.90
11	65.00	48.19	16.81
12	58.00	45.81	12.19
13	51.00	45.61	5.39
14	59.00	52.19	6.81
15	53.00	43.05	9.95
16	46.00	46.96	0.96
17	53.00	50.81	2.19
18	69.00	56.37	12.63
19	56.00	49.05	6.95
20	48.00	50.27	2.27
21	64.00	53.11	10.89
22	55.00	55.15	0.15
23	62.00	60.15	1.85
24	58.00	48.86	9.14
25	40.00	48.14	8.14
26	61.00	61.83	0.83
27	74.00	65.55	8.45
28	64.00	62.13	1.87
29	64.00	63.46	0.54
30	73.00	66.01	6.99
31	66.00	69.63	3.63
32	64.00	56.34	7.66
33	59.00	58.35	0.65

No. Curva	Velocidad de Operación Estimada (km/h)	Velocidad de Operación Observada (km/h)	Diferencia (km/h)
34	71.00	62.15	8.85
35	62.00	61.83	0.17
36	62.00	62.57	0.57
37	63.00	59.68	3.32
38	64.00	48.73	15.27

Los datos mostrados anteriormente en las Tablas están representados en las figuras 8 y 9 con el objetivo de visualizar mejor las diferencias entre las velocidades que se estimaron en el IHSDM y las velocidades reales de los vehículos en el tramo.

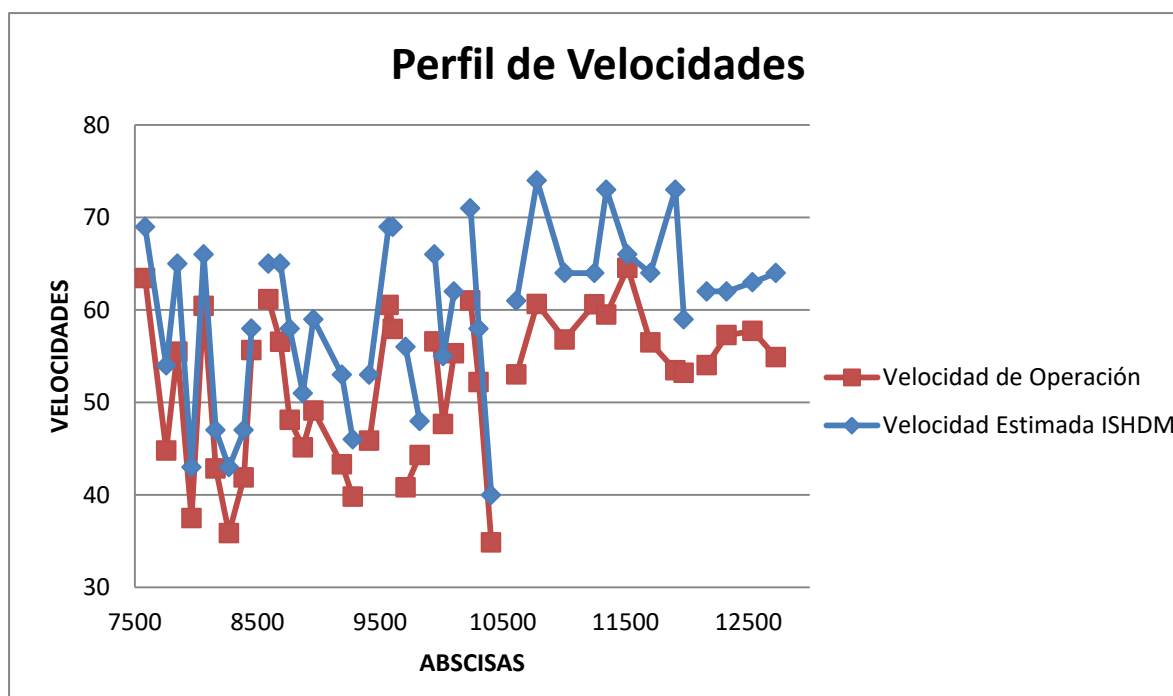


Figura 8. Perfil de velocidades sentido Rionegro - Bucaramanga

Como se esperaba, hay una mejor relación entre las velocidades estimadas por el IHSDM y las observadas en campo que la relación entre las velocidades específicas y las de operación.

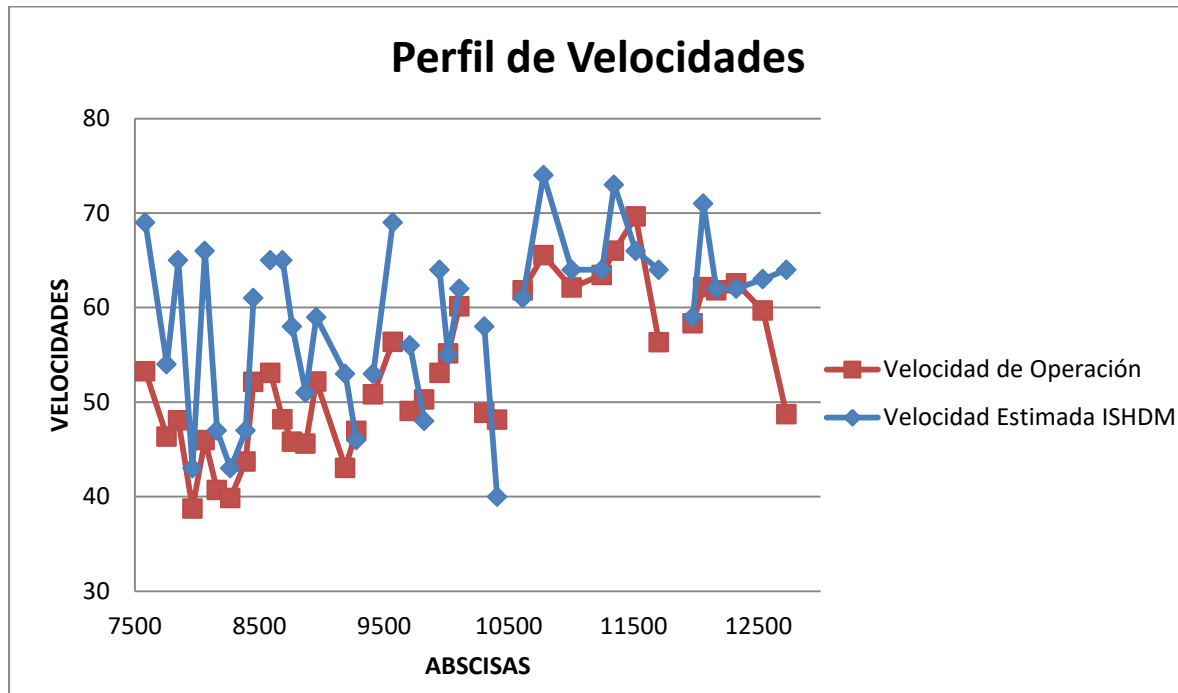


Figura 9. Perfil de velocidades sentido Rionegro - Bucaramanga

Como se esperaba, hay una mejor relación entre las velocidades estimadas por el IHSDM y las observadas en campo que la relación entre las velocidades específicas y las de operación.

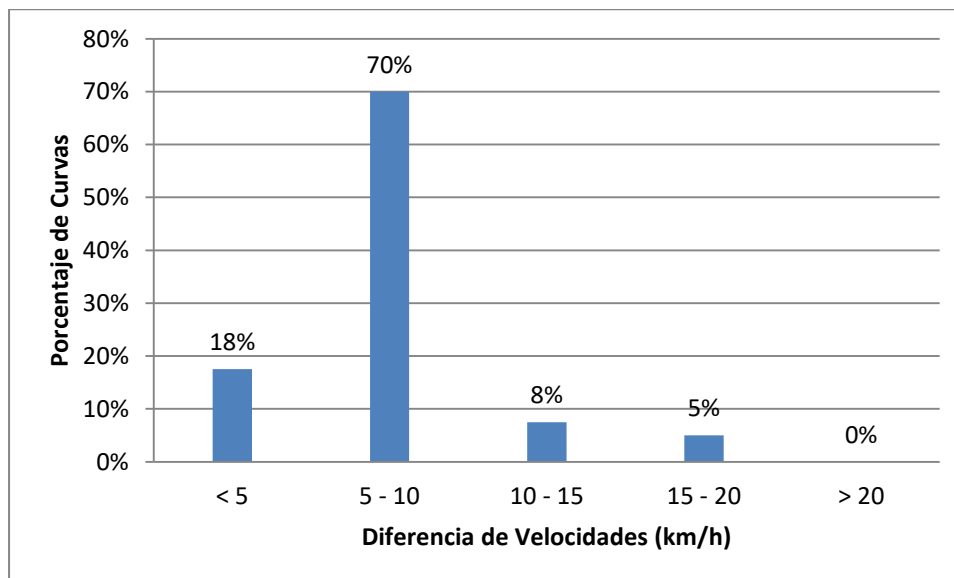


Figura 10. Distribución de diferencia de velocidades sentido Bucaramanga - Rionegro

Se observa que el 88% de las curvas presenta diferencias entre la velocidad estimada y la velocidad medida de menos de 10 km/h, y ninguna de las curvas presenta diferencias de más de 20 km/h en el sentido Bucaramanga – Rionegro.

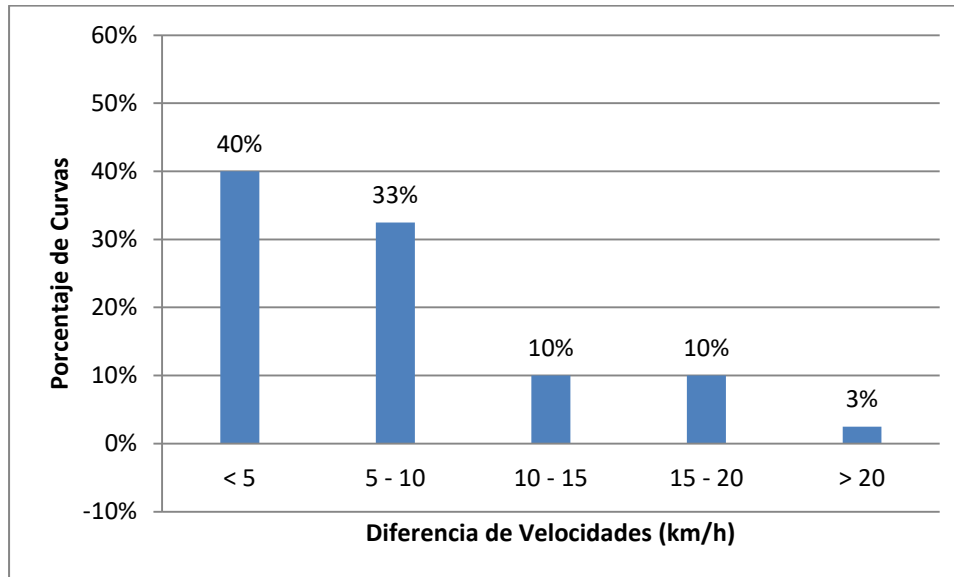


Figura 11. Distribución de diferencia de velocidades sentido Rionegro - Bucaramanga

Se observa que el 77% de las curvas presenta diferencias entre la velocidad estimada y la velocidad medida de menos de 10 km/h, y el 3% de las curvas presenta diferencias de más de 20 km/h en el sentido Rionegro - Bucaramanga.

Tabla 9. Diferencias de Velocidad en los modelos de consistencia

	< 5 km/h	5 – 10 km/h	10 – 15 km/h	15 – 20 km/h	> 20 km/h
Modelo Colombiano	43%	20%	20%	11%	6%
Modelo IHSDM	29%	53%	9%	8%	1%

Se observa que en el modelo IHSDM más del 80% de las curvas presentan una diferencia de velocidades entre la estimada y la observada mientras que el modelo colombiano el 63% presenta esas diferencias. Y solamente el 1% de las curvas presenta diferencias de más de 20 km/h entre las velocidades en el modelo IHSDM, en el colombiano se incrementa al 6% de las curvas estudiadas.

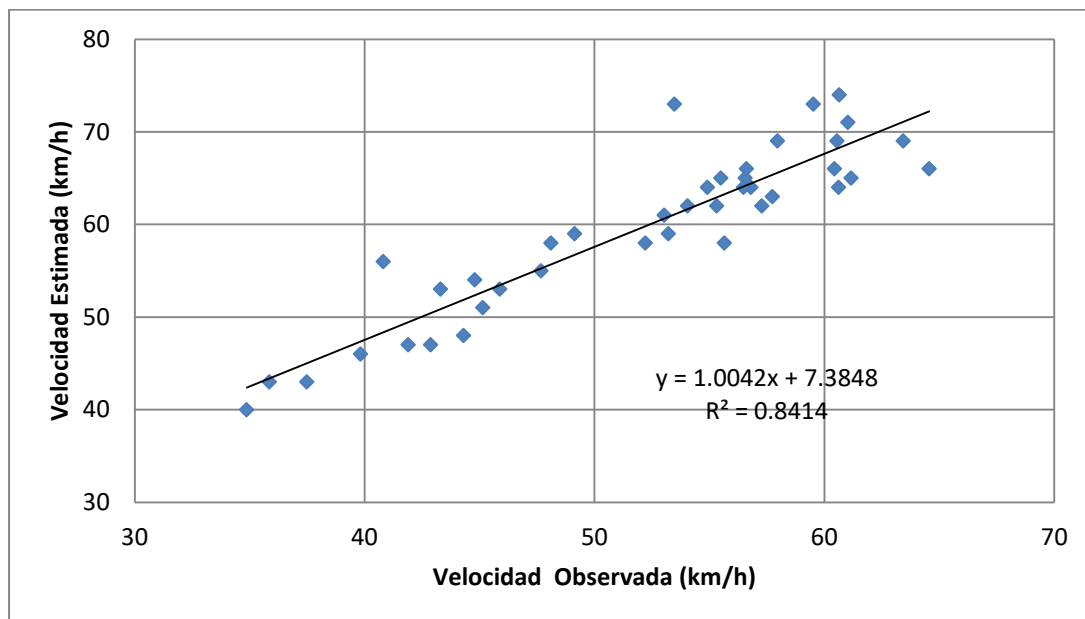


Figura 11. Relación entre la V_{85} observada y la V_{85} estimada por IHSDM en el sentido Bucaramanga - Rionegro

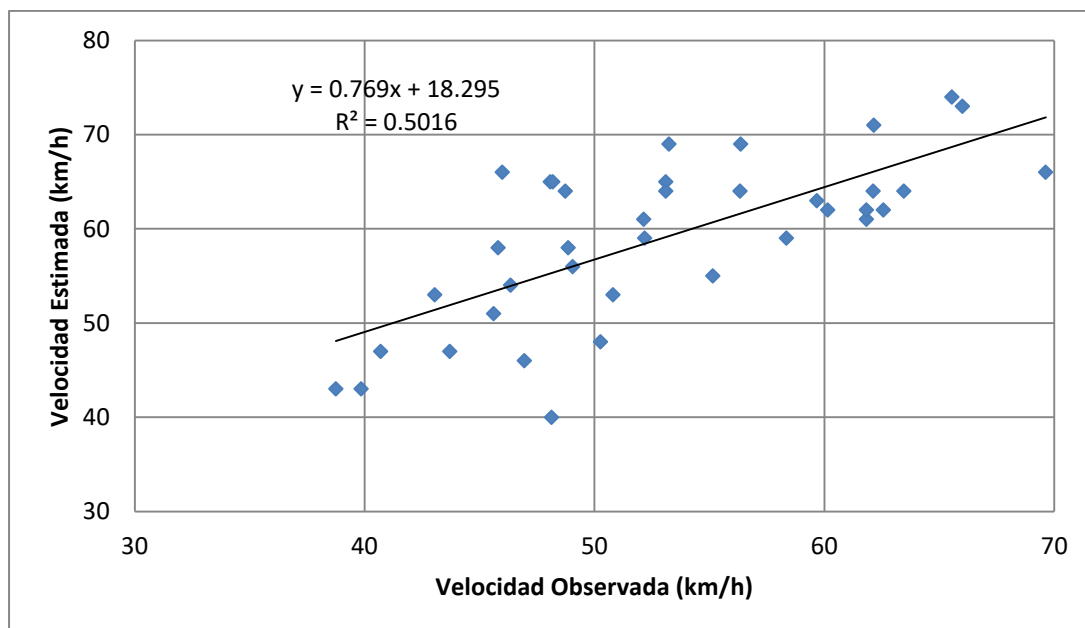


Figura 12. Relación entre la V_{85} observada y la V_{85} estimada por IHSDM en el sentido Rionegro – Bucaramanga

Los resultados obtenidos del proceso de evaluación permiten concluir que el modelo IHSDM presenta un mejor comportamiento en la predicción de la Velocidad de Operación para utilizarse

en las carreteras de Santander, ya que agruparon sus valores alrededor de la recta, y a la vez tiene una mejor correlación en el sentido Bucaramanga – Rionegro.

4.3. Modelo de Consistencia IHSDM

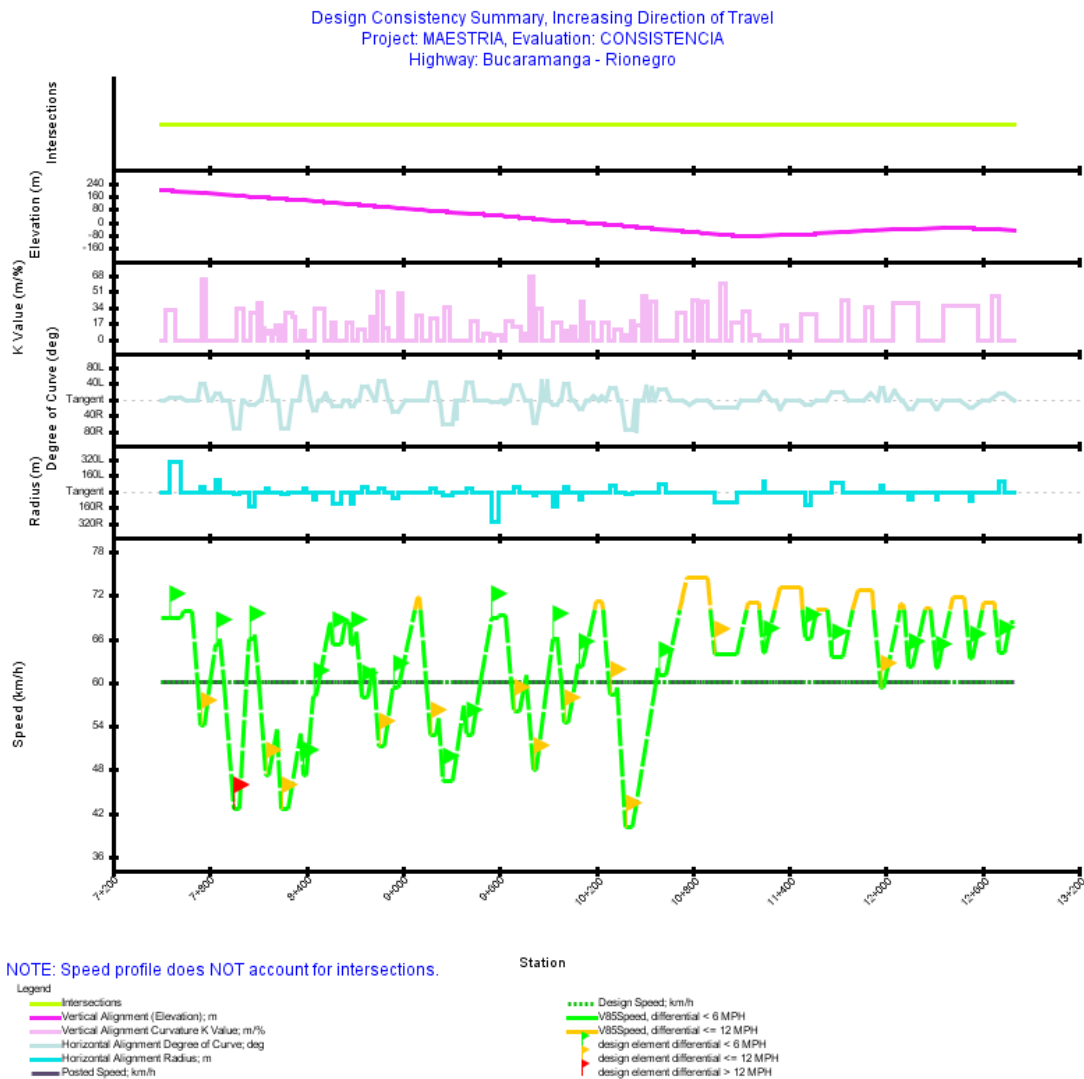


Figura 13. Modelo de Consistencia sentido Rionegro – Bucaramanga

Según el Criterio I, el 75% de las curvas horizontales se encuentra con una consistencia Buena y el 25% con consistencia regular.

Según el Criterio II, el 63% de las curvas horizontales se encuentra con una consistencia Buena, el 34% con consistencia regular y sólo el 3% con consistencia mala.

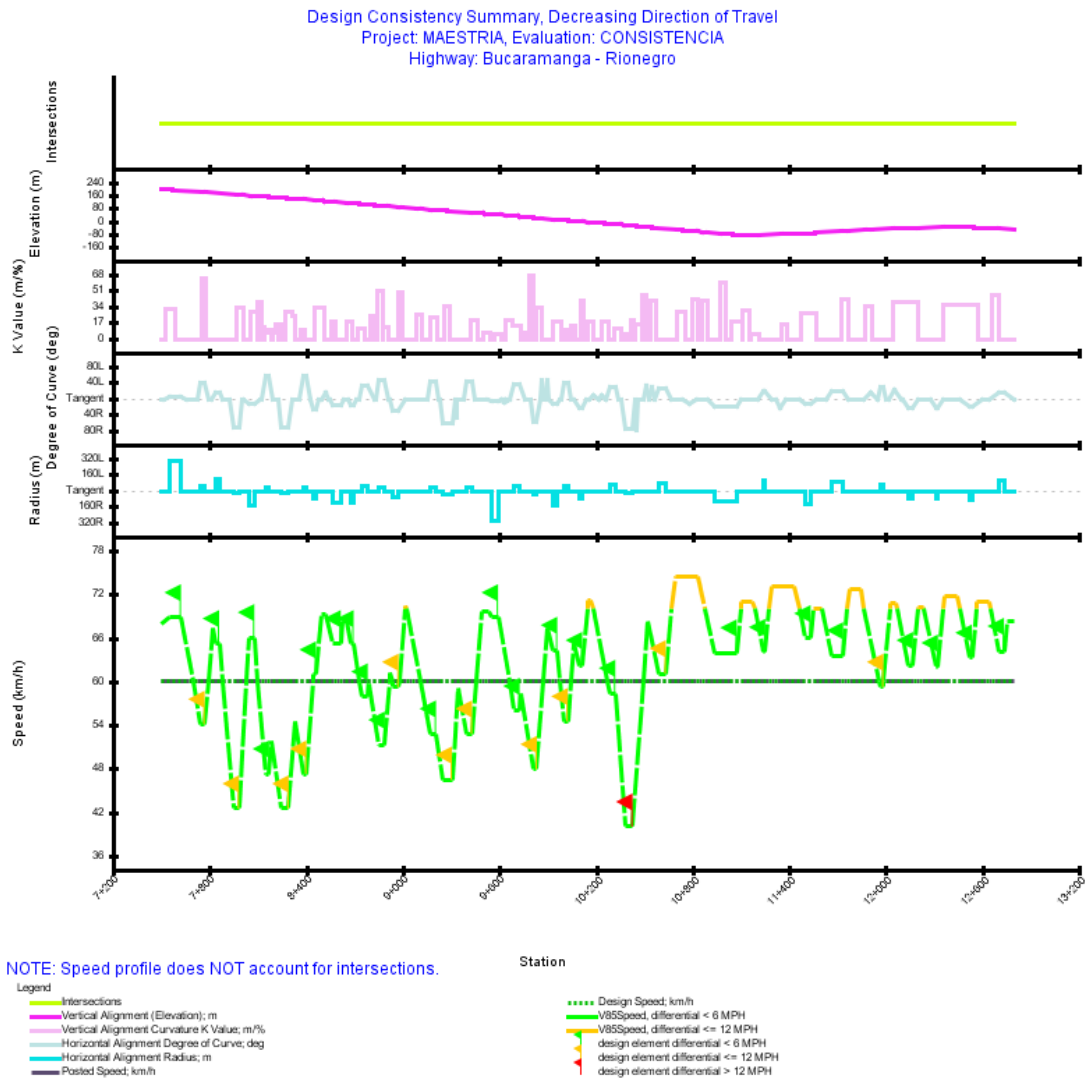


Figura 14. Modelo de Consistencia sentido Bucaramanga - Rionegro

Según el Criterio I, el 75% de las curvas horizontales se encuentra con una consistencia Buena y el 25% con consistencia regular.

Según el Criterio II, el 66% de las curvas horizontales se encuentra con una consistencia Buena, el 31% con consistencia regular y sólo el 3% con consistencia mala.

Utilizando los criterios de Consistencia y analizando el tramo de carretera por el modelo IHSDM

6. CONCLUSIONES

- Se puede concluir que para predecir velocidades de operación en las carreteras santandereanas es mejor modelo el IHSDM que el de la norma Colombiana de Diseño Geométrico.
- La carretera en estudio presenta en general curvas horizontales con consistencia buena en más del 60% de ellas y menos del 5% con consistencia mala.
- Conociendo los puntos donde se tiene una mala consistencia es necesario evaluar, rediseñar y construir nuevamente para evitar posibles accidentes.
- Se recomienda hacer una comparación entre los sitios con consistencia mala y los accidentes presentados en la vía para corroborar que la infraestructura ha influido en ellos.
- Se recomienda analizar el tramo de carretera con otros modelos de consistencia dados en otros países.