

Influencia de parámetros  
geométricos en la  
velocidad de los  
vehículos en carretera  
dos carriles de montaña.  
Caso de estudio en  
pamplona-colombia

Autores:

Ing. EDGAR PEREZ FLOREZ

Prof. EMILIO MORENO GONZÁLEZ

Prof. ÁNGELA QUINTERO PETIT

# INTRODUCCIÓN

- Predecir la velocidad de operación ( $V_{85}$ ) y la velocidad media ( $V_m$ ) tanto en curva como en recta.
- A través de modelos matemáticos se evalúan algunas variables geométricas.

# INTRODUCCIÓN

La velocidad es una de las variables fundamentales del tránsito;

La orografía colombiana está constituida por cordilleras;



Da lugar a carreteras 2C de difícil alineamiento

## ANTECEDENTES

Pérez et al. (2011) → los modelos se han desarrollado para velocidad en curva, pues la estimación en recta es mas compleja y menos precisa.

Lamm y Choueiri (1997), Andueza (2000) entre otros → encontraron modelos en curva, siendo **R** la principal variable.

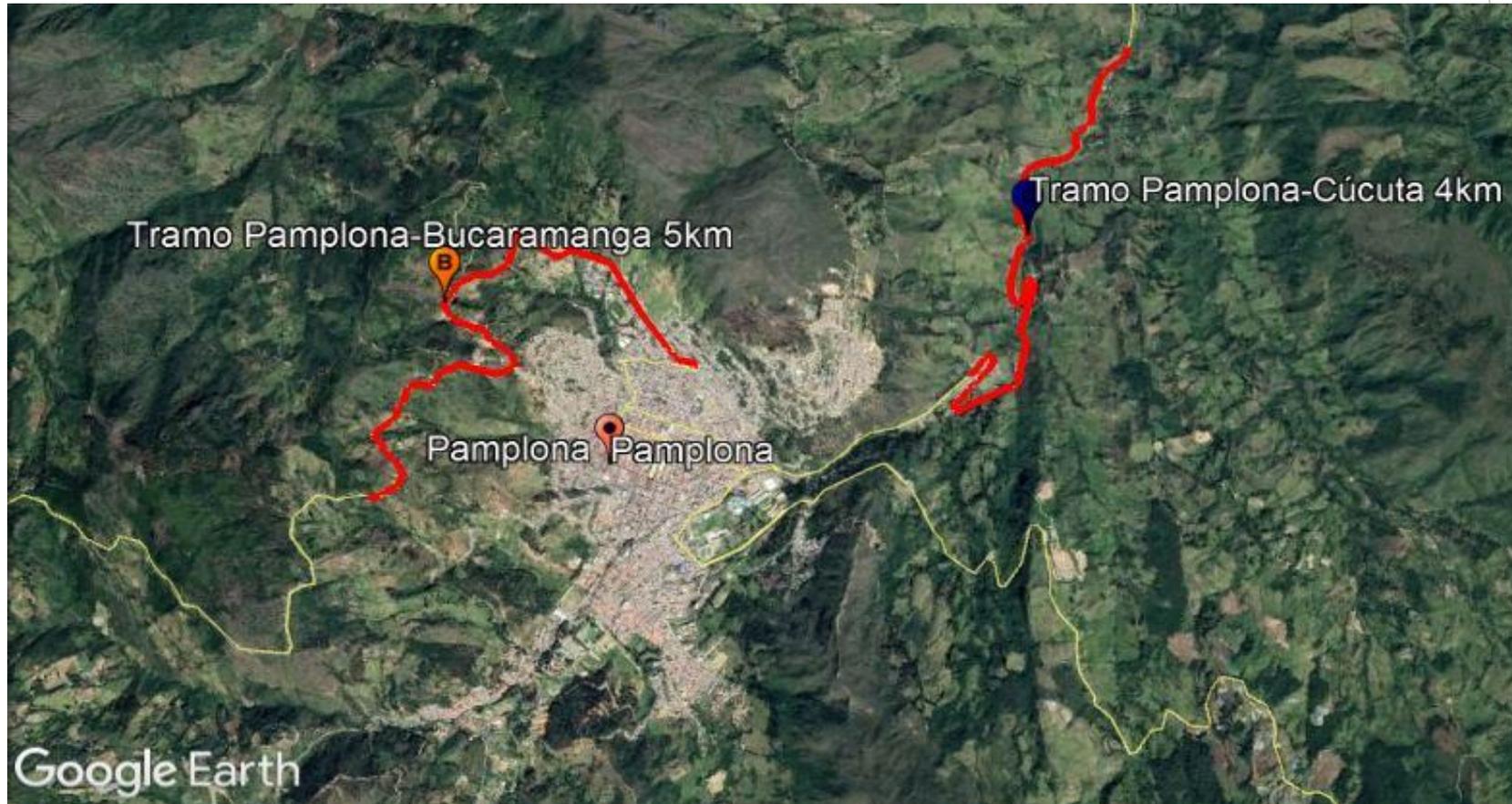
Fitzpatrick et al.(2000) y Polus et al. (2000) → establecen modelos en recta, siendo la **L** la variable más crítica

# METODOLOGÍA

## 1. Caracterización de tramos

Se seleccionó una L de 8 km, partido en 2 tramos de 4 km c/u

→ la vía Pamplona-Cúcuta y Pamplona-Bucaramanga.



## 2. Captación de datos geométricos

Levantamiento topográfico → elementos geométricos de la vía  
→  $R_c$ ,  $e\%$ ,  $L$ ,  $P\%$ ,  $\Delta^\circ$ ,  $D_v$ , entre otras.



## 2. Captación de datos geométricos

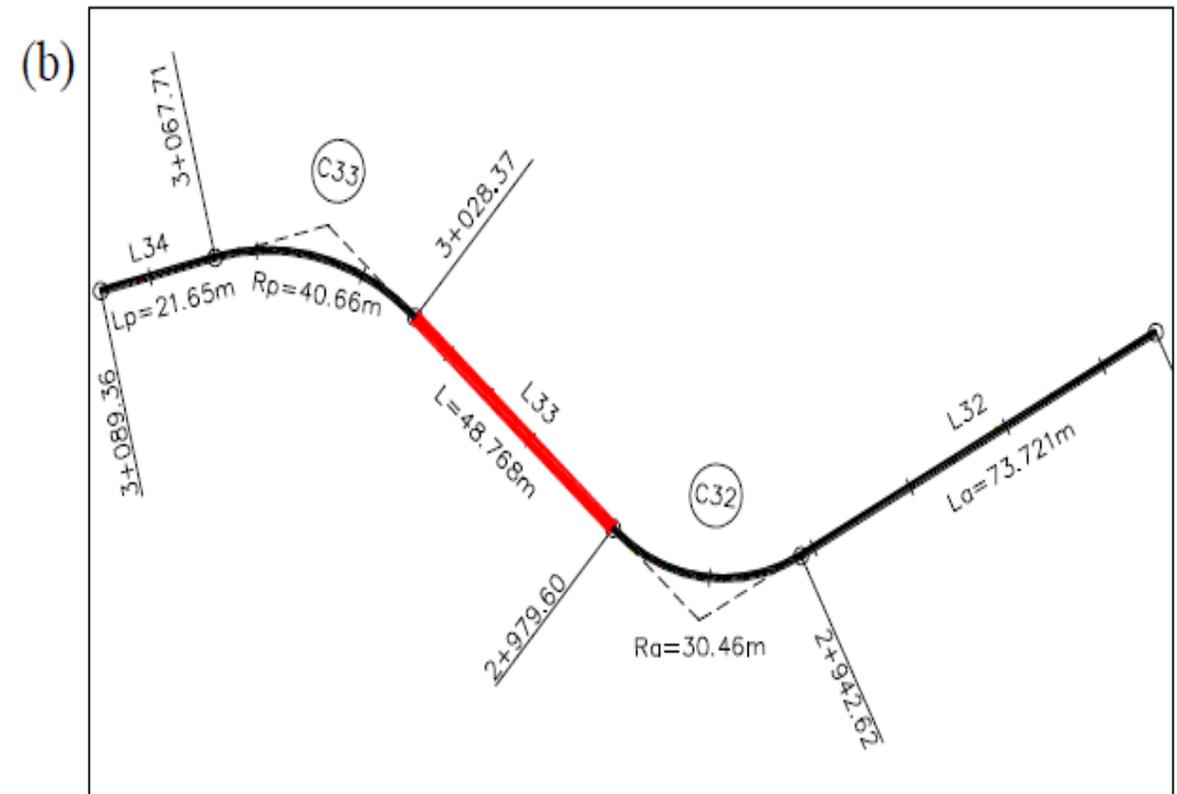
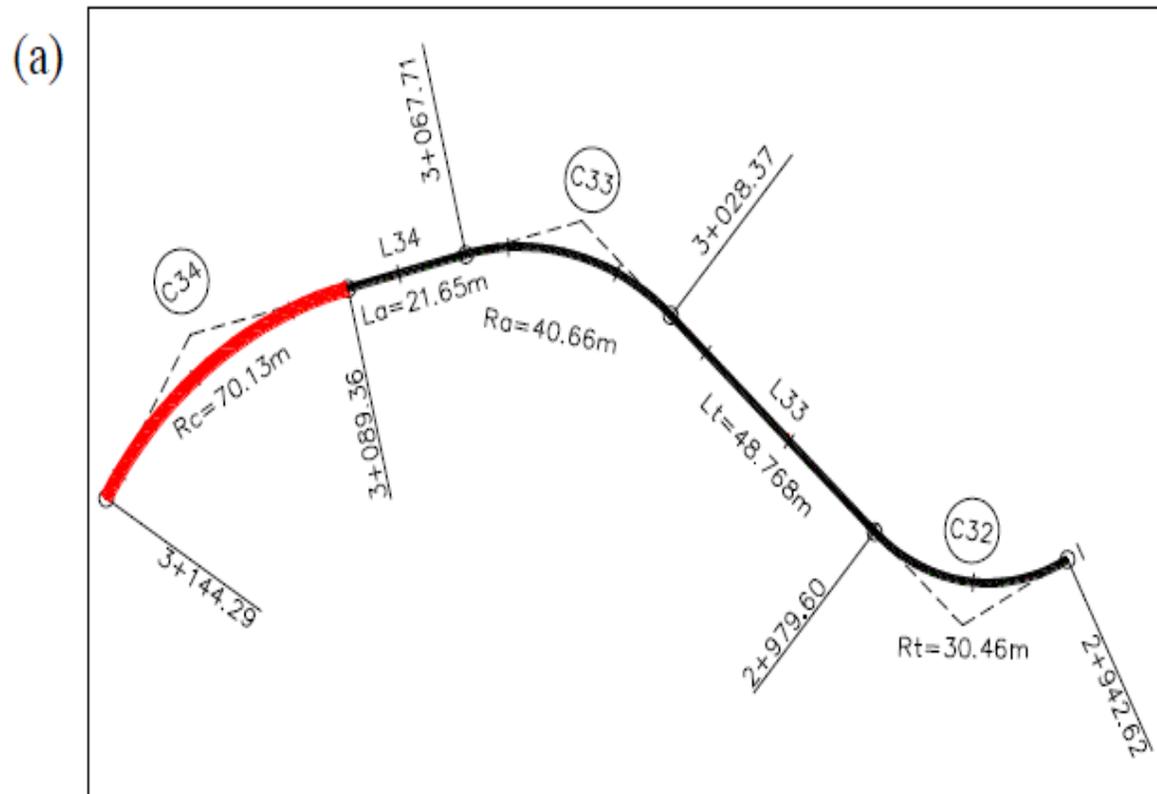
- ▶ Rango de variables geométricas obtenidas

Variable	Rango presentado de la variable
Pendiente longitudinal, $i$ (%)	2.6 – 7.9
Radio de curva, $R_c$ (m)	19 – 475
Ángulo de deflexión, $\Delta$ (°)	2.6 – 121
Ancho de carril, $a$ (m)	3.40 – 3.65
Longitud de recta, $L$ (m)	1* – 287
Distancia de visibilidad medida, $D_v$ (m)	20 – 100
Peralte, $e$ (%)	1.6 – 12.8
Índice de curvisidad, $I_c$ (°/km)	296 – 1422

\* distancia mínima entre rectas asumida por facilidad de cálculo donde no hay sub-tangente.

## 2. Captación de datos geométricos

Detalle de elementos geométricos en curva y recta para una mejor interpretación de variables.



### 3. Captación de datos de velocidad

26 curvas (13 x tramo) y 38 rectas contiguas a las curvas analizadas.

Se mide V con radar en ambos sentidos, tomándose una muestra de 100 datos en c/pto de aforo.



## 4. Captación de velocidad. Calibración

Las velocidades captadas en ambos sentidos tanto en curva como en recta, son calibradas con datos medidos con cronómetro:

$$V_{\text{corr}} = 6,23 + 0,936 V_{\text{radar}}$$

## 5. Procesamiento y organización de los datos.

Los datos de  $V$  en cada elemento permiten la velocidad media ( $V_m$ ) y de operación ( $V_{85}$ ).

Los datos son organizados junto a las variables geometría respectivas → Tabla Resumen.

# Tabla resumen

Pamplona - Cúcuta (curvas horizontales bajando) vehículos mixtos

PROGRE	N	Vm (Km/h)	V85 (Km/h)	Rc ( m)	La (Km)	Ra (m)	Lt (Km)	Rt (m)	$\Delta$ ( ° )	i ant (%)	Dp (m)	Dv (m)	v	Ic °/Km
1+928,905	<b>18,00</b>	35,09	37,81	26,44	0,29	42,26	0,04	104,10	89,65	-6,20	102,35	40,00	<b>0,39</b>	362,93
0+851,623	<b>11,00</b>	38,44	43,12	31,10	0,00	30,92	0,01	67,07	100,37	-2,60	52,81	55,00	<b>1,04</b>	1421,82
2+117,514	<b>20,00</b>	37,57	42,00	40,36	0,09	28,97	0,00	26,44	78,54	-3,40	75,92	20,00	<b>0,26</b>	1138,62
2+534,474	<b>23,00</b>	47,70	54,40	51,89	0,19	140,07	0,08	31,58	39,75	-6,30	111,94	50,00	<b>0,45</b>	373,93
2+669,02	<b>25,00</b>	44,99	50,00	64,00	0,02	70,43	0,00	51,89	53,96	-7,90	82,08	50,00	<b>0,61</b>	1167,26
3+193,685	<b>28,00</b>	44,48	51,33	76,55	0,07	94,72	0,24	48,44	29,27	-5,70	54,84	50,00	<b>0,91</b>	296,39
3+056.144	<b>27,00</b>	48,60	55,77	94,72	0,24	48,44	0,02	64,00	53,91	-5,70	100,34	60,00	<b>0,60</b>	373,39
1+519,809	<b>16,00</b>	49,57	56,35	104,10	0,22	43,98	0,01	64,50	37,73	-6,10	96,72	50,00	<b>0,52</b>	400,21
2+301,665	<b>22,00</b>	50,60	57,71	140,07	0,08	31,58	0,00	40,36	23,40	-6,30	79,69	80,00	<b>1,00</b>	794,81
1+067,996	<b>13,00</b>	47,70	55,32	189,99	0,00	354,20	0,07	31,10	20,31	-5,60	85,58	80,00	<b>0,93</b>	489,97
0+179,547	<b>3,00</b>	46,70	55,27	245,09	0,00	64,75	0,00	149,62	29,17	-6,30	86,08	100,00	<b>1,16</b>	358,78
0+993,581	<b>12,00</b>	51,75	59,35	354,20	0,07	31,10	0,00	30,92	13,18	-5,60	71,88	100,00	<b>1,39</b>	806,81
0+596,764	<b>7,00</b>	49,12	55,78	1018,93	0,00	363,47	0,05	28,27	4,36	-4,70	70,23	100,00	<b>1,42</b>	455,93

## RESULTADOS: Velocidad media ( $V_m$ )

Se obtienen los modelos que describen la **velocidad media** ( $V_m$ ) en curva, usando el software SPSS.

Al inicio se plantean 11 variables → solo 3 resultan significativas:

- ▶ el inverso del radio ( $1/R_c$ ),
- ▶ distancia de parada ( $D_p$ ),
- ▶ y distancia de visibilidad ( $D_v$ ).

# Regresión múltiple- $V_m$ en curvas horizontales

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados			
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	
3	(Constante)	39,974	2,424	16,492	,000	
	1/Rc	-243,270	40,629	-,611	-,988	,000
	Dp	,076	,025	,236	3,044	,004
	Dv	,044	,021	,213	2,118	,040

## Modelo final seleccionado

La salida muestra el resultado de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre la Velocidad máxima y 11 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es

$$V_m = 39,97 - \frac{243,27}{R_c} + 0,076 D_p + 0,044 D_v \quad R^2 = 0,75$$

## RESULTADOS: Velocidad de operación ( $V_{85}$ )

Se obtienen los modelos que describen la **velocidad de operación** ( $V_{85}$ ) en curva, usando el software SPSS

Al inicio se plantean 11 variables → solo cuatro resultan significativas:

- ▶ el inverso del radio ( $1/R_c$ )
- ▶ distancia de parada ( $D_p$ ),
- ▶ distancia de visibilidad ( $D_v$ ),
- ▶ y relación entre  $D_v$  y  $D_p$  ( $v$ ).

## Regresión múltiple- velocidad percentil 85% en curvas horizontales

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
4	(Constante)	56,883		11,023	,000
	1/Rc	-295,638	-,613	-6,346	,000
	Dp	-,075	-,193	-1,103	,276
	Dv	,295	1,179	3,006	,004
	v	-16,605	-,969	-2,534	,015

### Modelo final seleccionado

La salida muestra el resultado de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre la Velocidad máxima y 11 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es

$$V_{85} = 56,88 - \frac{295,64}{Rc} - 0,075 Dp + 0,295 Dv - 16,61 v \quad R^2 = 0,78$$

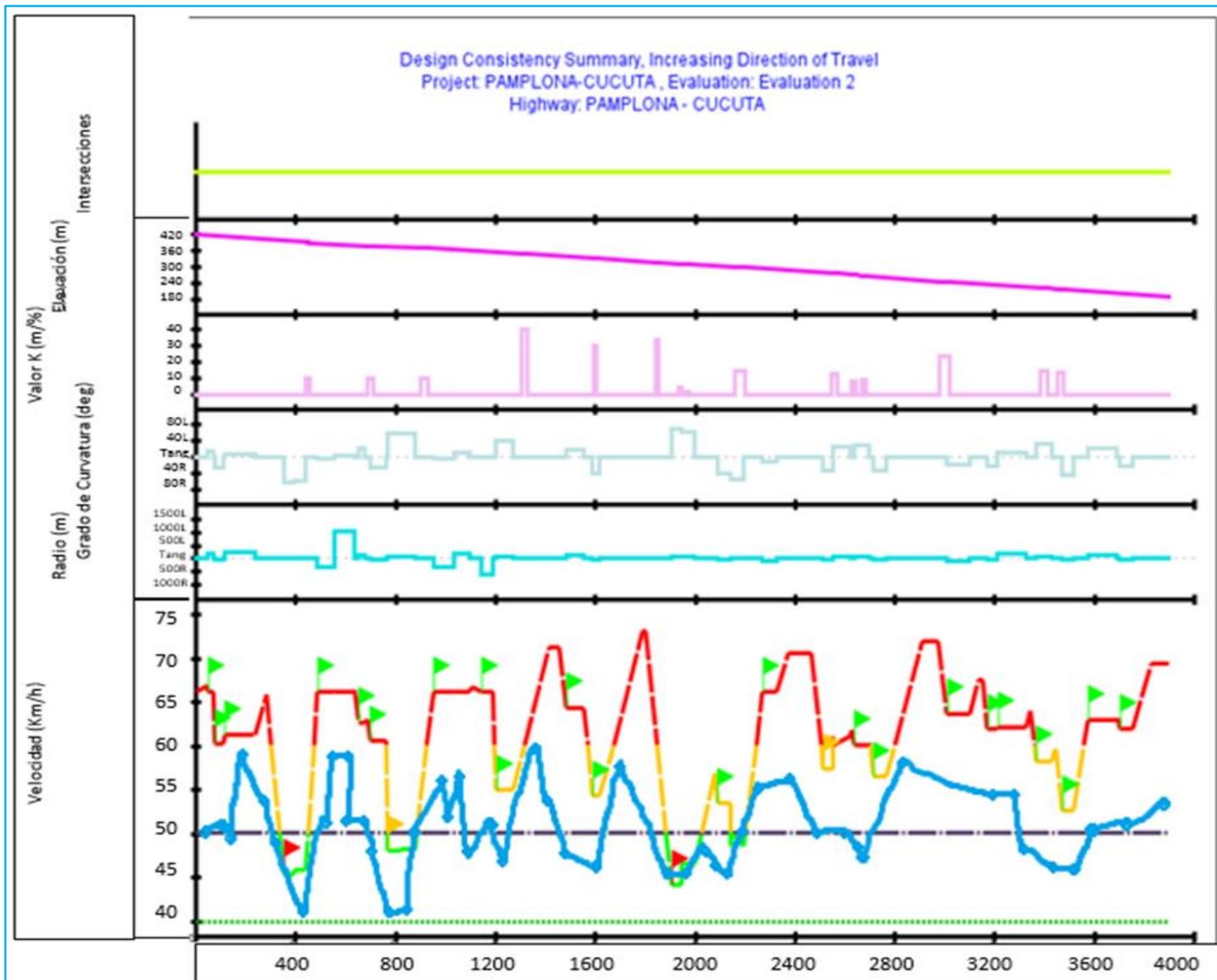
# Resumen de modelos para curva y recta

Tipo de modelo	Correl.	Dominios y rangos
<b>Modelos Curvas</b>		
$V_m = 39,97 - \frac{243,27}{R_c} + 0,076 D_p + 0,044 D_v$	$R^2 = 0,75$	Radios entre 18.92 - 475 m Pendiente entre 2.6 - 7.9 % Angulo de deflex. 2.56 - 121 °
$V_{85} = 56,88 - \frac{295,64}{R_c} - 0,075 D_p + 0,295 D_v - 16,61 v$	$R^2 = 0,78$	Distancia visibilidad 20 - 100 m Índice de curvisidad 296.4 - 1422 °/km Velocidad 30 -75 km/h
<b>Modelos Rectas</b>		
$V_m = 46,2 + 27,7 L + 6,2 L_a - \frac{106,95}{R_a} - 2,15 L_p - \frac{92,6}{R_p} - 0,125P.ant$	$R^2 = 0,54$	Longitud de rectas 1 - 287 m Ancho de calzada 6.8- 7.3 m
$V_{85} = 51,4 + 39,7 L + 10,24 L_a - \frac{126,6}{R_a} - 1,66 L_p - \frac{102,8}{R_p} - 0,112P.ant$	$R^2 = 0,62$	Velocidad 30 - 75 km/h

# ANÁLISIS, DISCUSIÓN Y VALIDEZ DE LOS MODELOS

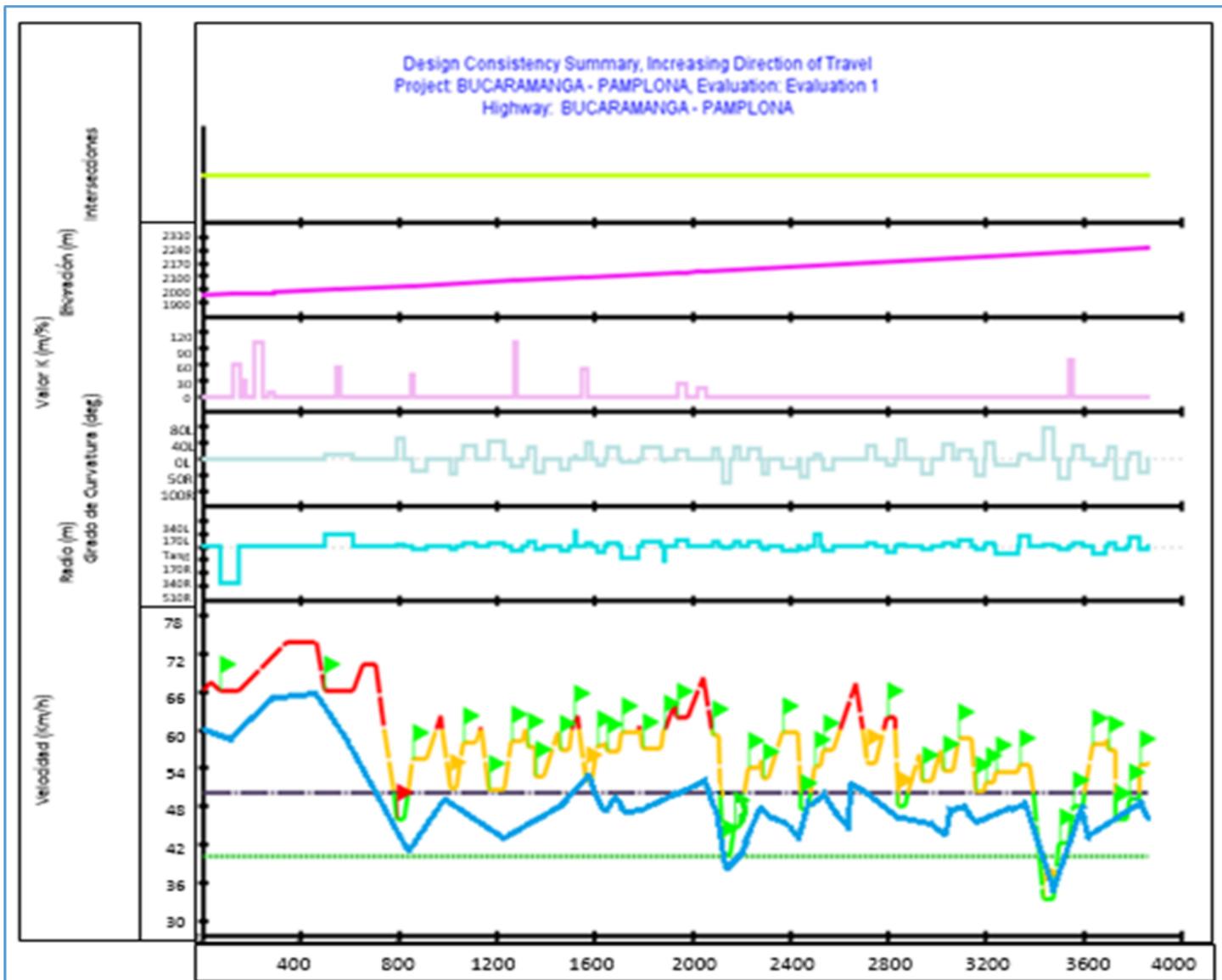
- ▶ Determinado los modelos se realiza un paralelo con la metodología del INVIAS y del IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model).
- ▶ El modelo de  $V_m$  se contrasta con la metodología del INVIAS, la cual corresponde a la determinación de una velocidad media.
- ▶ El modelo de velocidad de operación ( $V_{85}$ ) se compara con el IHSDM, que define la velocidad de operación debida a la geometría de la vía.

# Comparación entre IHSDM y modelo V85



- ▶ La figura muestra los resultados del IHSDM a partir de los elementos geométricos de la vía.
- ▶ La velocidad mostrada es la V85, y los colores rojo, amarillo y verde son el indicativo de la consistencia del diseño.
- ▶ La gráfica en azul es la representada por los modelos de percentil 85.

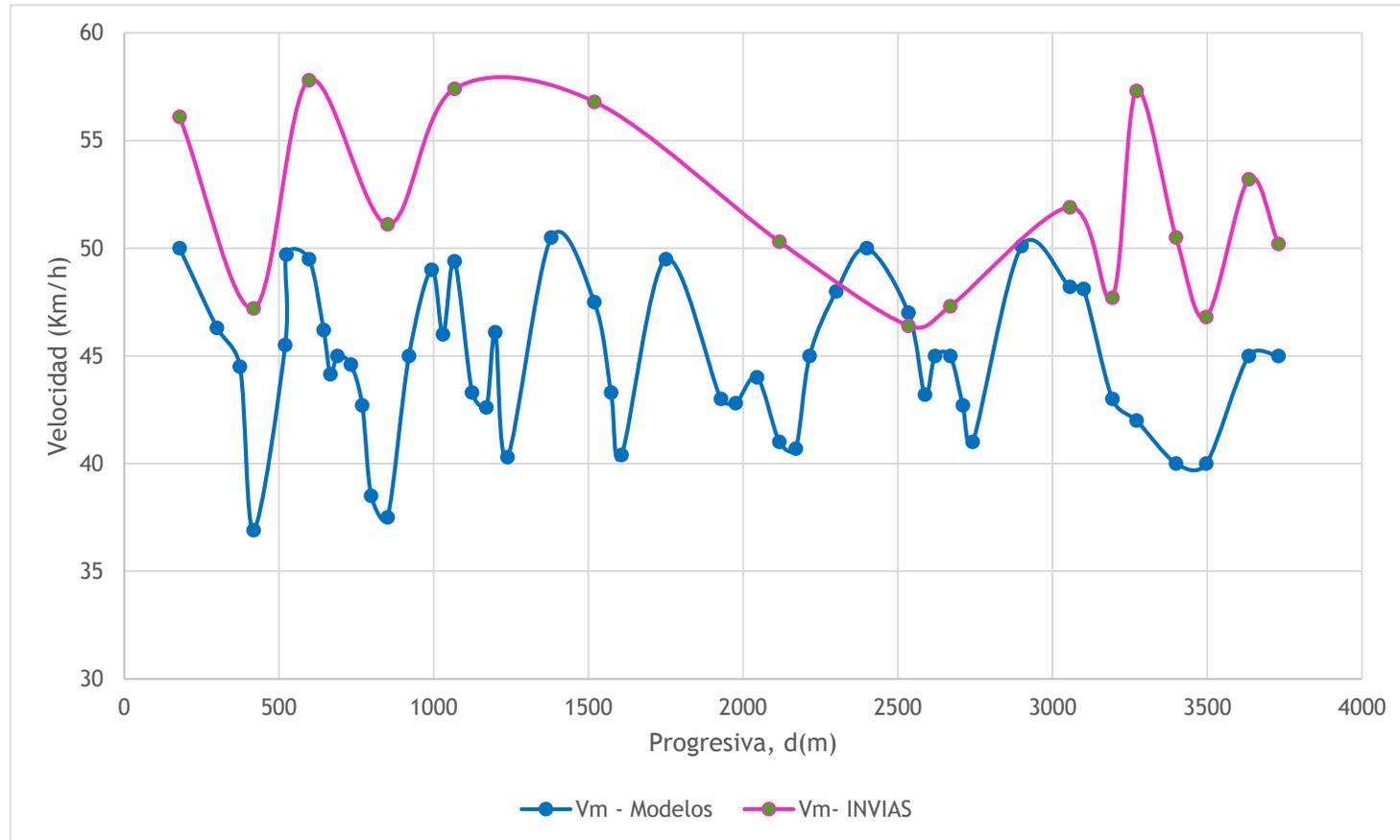
# Comparación entre IHSDM y modelo V85



- ▶ La figura muestra el tramo Pamplona – Bucaramanga, con las mismas características del tramo anterior.
- ▶ De acuerdo a los colores se observa que la consistencia en este tramo es mejor que en el de Pamplona Cúcuta.

# INVIAS vs MODELO PARA $V_m$

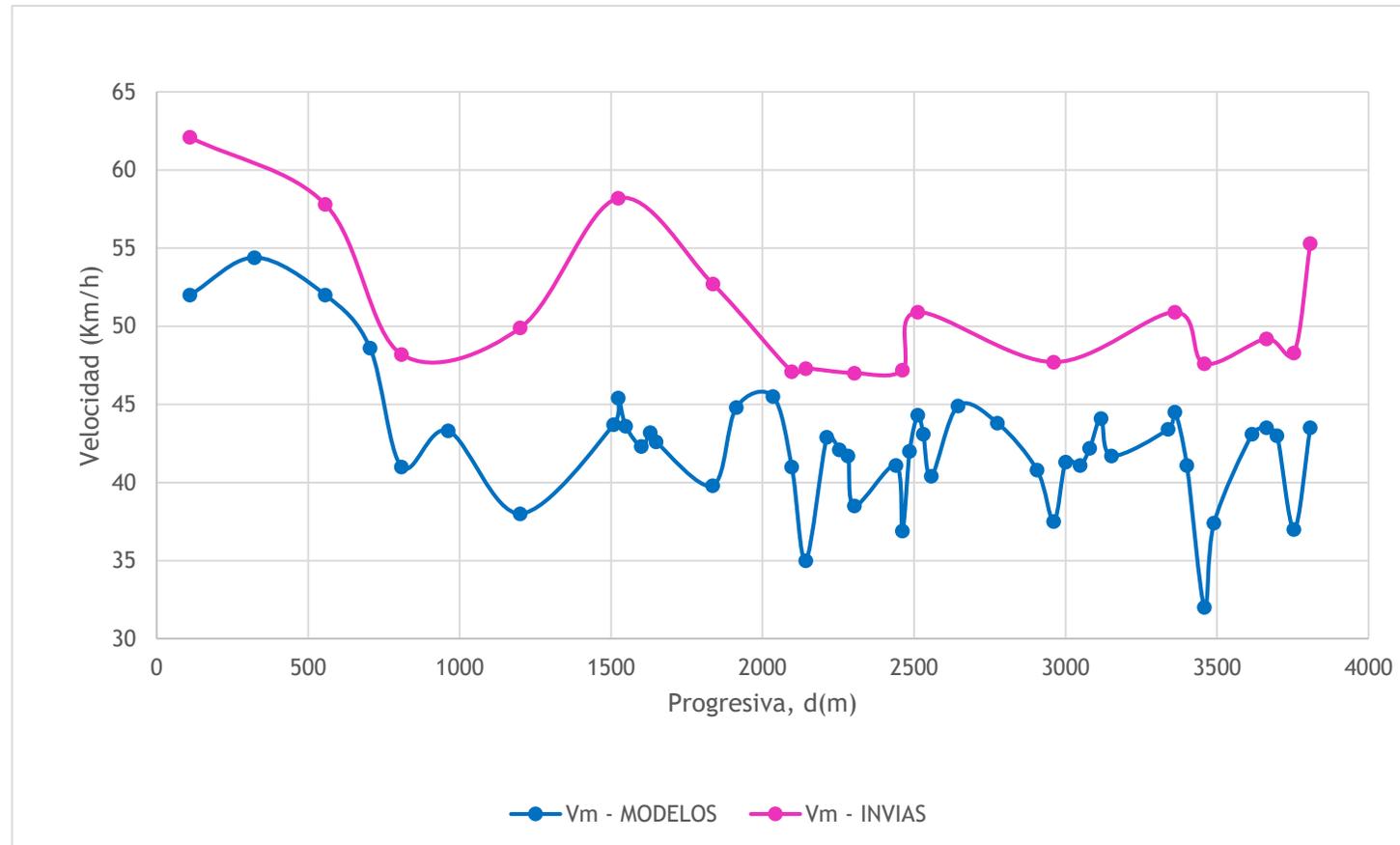
(Pamplona-Cúcuta)



- ▶ El análisis se realiza en sentido ascendente, pues el INVIAS lo toma de esa manera.
- ▶ La velocidad media en color rosa descrita por el INVIAS, presenta levemente valores superiores a la de los modelos hallados para velocidad media.

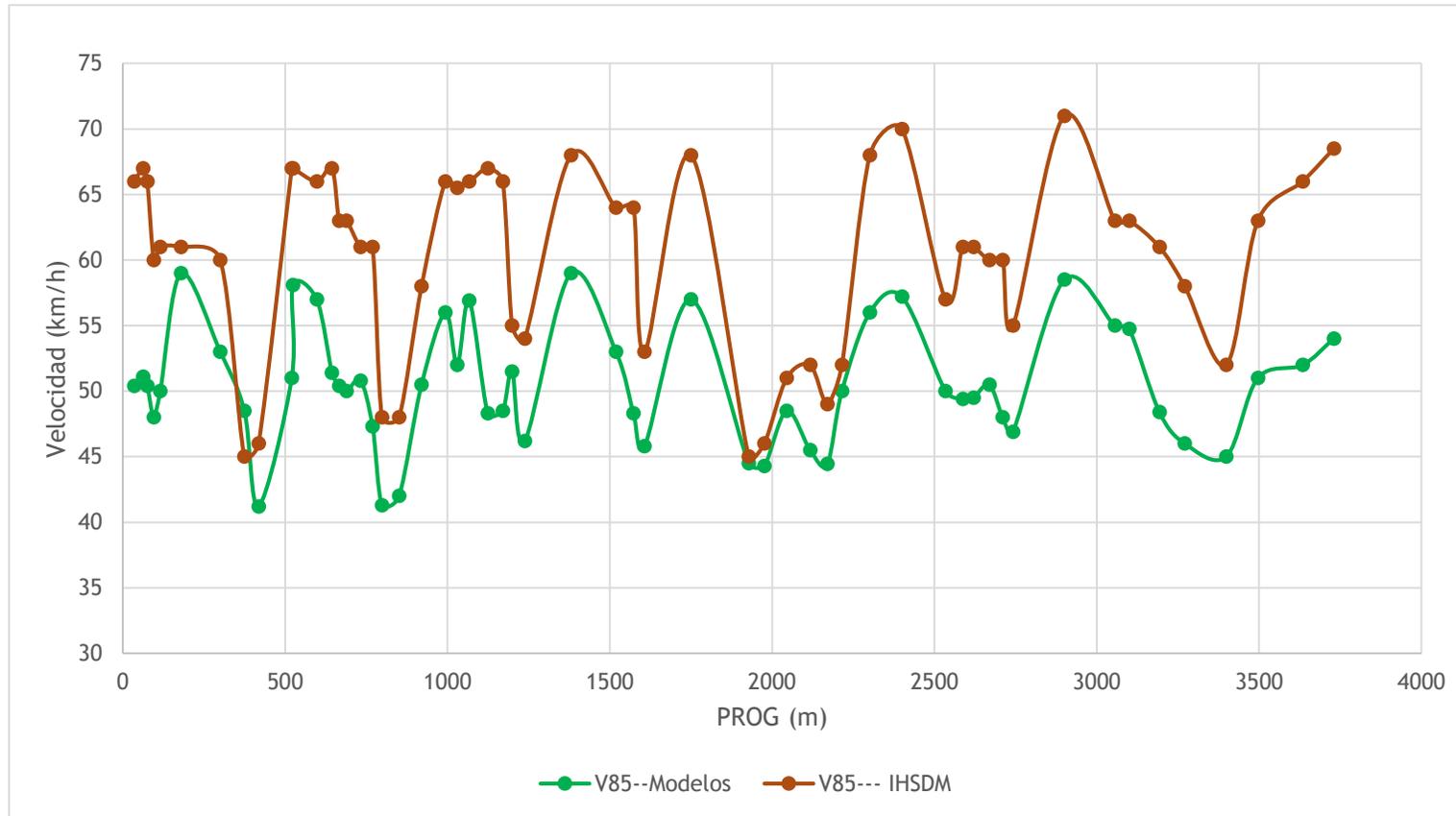
# INVIAS vs MODELO PARA $V_m$

(Pamplona-Bucaramanga)



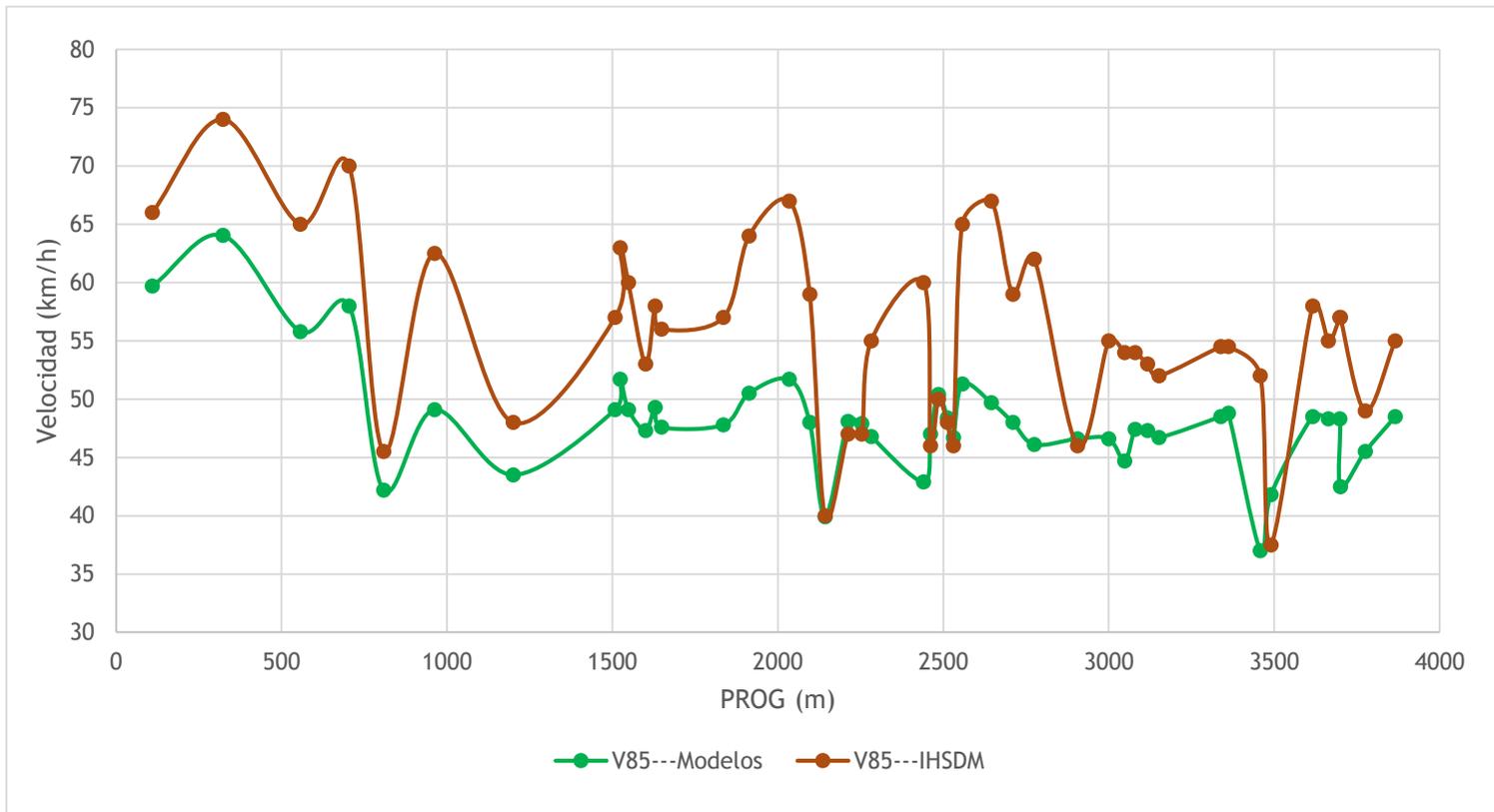
- Al igual que en el tramo anterior los valores de la velocidad media descrita por el INVIAS es un poco mayor a la determinada por los modelos hallados para velocidad media ( $V_m$ )

# Modelos hallados V85 vs IHSDM (Pamplona-Cúcuta)



► En la figura se observa la secuencia en el tramo entre velocidad de operación V85 descrita por el IHSDM y la indicada por los modelos hallados, siendo esta última un poco menor.

## Modelos hallados V85 vs IHSDM (Pamplona-Bucaramanga)



- ▶ Al igual que en el tramo anterior la velocidad descrita por el IHSDM es un poco mayor que la establecida por los modelos, pero mantienen la misma secuencia.

## CONCLUSIONES

Los modelos establecidos para el caso de las curvas presentan mejor correlación que los modelos en rectas. Siguiendo el patrón general encontrado en la mayoría de investigaciones realizadas en EE. UU y Europa, el radio resulta la variable de mayor significancia, mientras en rectas la predicción es menos precisa, pues las variables que intervienen dependen de muchos factores y no siempre son las mismas, por lo cual se puede pensar, que es más difícil la estimación que en curvas.

## CONCLUSIONES

Las velocidades medias obtenidas con los modelos encontrados para curvas, usando las variables significativas y aquellas establecidas en el Manual de capacidad del INVIAS, a partir del radio de la curva, presentan una similitud aceptable, los valores descritos por los modelos son un poco menores a los establecidos por el Manual del INVIAS, con una diferencia promedio en los dos sub-tramos del 15%, o sea  $\pm 7.8$  km/h.

## CONCLUSIONES

La relación entre velocidad de percentil 85 (V85) a través de modelos hallados y los valores del IHSDM, presentan la misma tendencia siendo el segundo un poco mayor, con una diferencia promedio en los dos sub-tramos del 13%, o sea  $\pm 7,5$  km/h.

## RECOMENDACION

Los modelos encontrados pueden ser usados para determinar velocidad media y velocidad de operación, tanto en curvas y rectas, en el caso de carretera dos carriles con características similares a la estudiada, y considerando los rangos de dominio establecidos en el presente estudio.

# REFERENCIAS

- ▶ American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2004). **A Police on Geometric Design of Highway and Streets**. Washington, D.C.
- ▶ Andueza P. J. (2000). Mathematical models of vehicular speed on mountain roads. **Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board**, Vol. 1701, pp. 104-110.
- ▶ Bonneson J.A y Pratt M.P. (2009). A model for predicting speed along horizontal curves on two-lane highway. **88th Annual Meeting Transport Research Board**. Washington D.C.
- ▶ Crisman, B., Marchionna, A., Perco P. y Roberti R. (2005). **Operating speed prediction model for two-lane rural roads**. Departamento de Ingeniería Civil – Universidad de Trieste.
- ▶ Fitzpatrick K., Elefteriadou, L. Harwood, D. W., Collins, J. M., Mc Fadden, J., Anderson, I. B., y otros. (2000). **Speed prediction for two-lane rural highway**. FHWA.

# REFERENCIAS

- ▶ Instituto Nacional de Vías, Universidad del Cauca (1996). **Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles**, Segunda versión, Popayán.
- ▶ Islam, M. N. y P. N. Seneviratne (1994). Evaluation of design consistency of two-lane highway. **ITE J.**, 64 (2), 28-31.
- ▶ Jessen, D. R., K. S. Schurr, P.T. McCoy, G. Pesti y R. R. Huft (2001). Operating speed prediction on crest vertical curves of rural two-lane highway in Nebraska. **Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board**, 1751, 67-75.
- ▶ Lamm, R. A. y E. M. Choueiri (1987). Recommendations for evaluating horizontal design consistency based on investigations in the State of New York. **Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board**, 1122, 68-78.

# REFERENCIAS

- ▶ Nie, B., y Hassan Y. (2007). Modeling driver speed behavior on horizontal curves of different road classifications. **86th Annual Meeting Transportation Research Board**. 21-25 enero 2007. Washington, D.C.
- ▶ Pérez, Z. A., Camacho T. y García G. A. (2011) **La velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistencia de carreteras para la mejora de la seguridad vial**, Cuaderno Tecnológico de la PTC. Plataforma Tecnológica Española de la Carretera. Madrid. España. ISBN: 978-84-615-3971-0
- ▶ Pérez, Z. A. (2013). **Caracterización y modelización de la velocidad de operación en carreteras convencionales a partir de la observación naturalística de la evolución de los vehículos ligeros**. 1era Edición. Mayo 2013. España.
- ▶ Polus, A., Fitzpatrick, K., y Fambro, D. B. (2000). Predicting operation speeds on tangent sections of two-lane rural highways. **Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board**, Vol. 34, pp. 575-585.
- ▶ Reyes, S. R. y Cárdenas G. J. (2018). **Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones**. 9na. Edición. Alfa-omega. México.

Gracias

